

# COMET<sub>a</sub>2014

2nd INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

2nd - 5th December 2014

Jahorina, B&H, Republic of Srpska



University of East Sarajevo

Faculty of Mechanical Engineering

Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications

---

## **Z B O R N I K   R A D O V A**

## **P R O C E E D I N G S**

*Istočno Sarajevo – Jahorina, BiH, RS  
2 - 5. Decembar 2014.*

*East Sarajevo – Jahorina, B&H, RS  
2<sup>nd</sup> – 5<sup>th</sup> December 2014.*

ZBORNIK RADOVA SA 2. MEĐUNARODNE  
NAUČNE KONFERENCIJE  
"Primijenjene tehnologije u mašinskom inženjerstvu"  
COMETA2014, Istočno Sarajevo - Jahorina 2014.

PROCEEDINGS OF THE 2<sup>nd</sup> INTERNATIONAL  
SCIENTIFIC CONFERENCE  
"Conference on Mechanical Engineering  
Technologies and Applications"  
COMETA2014, East Sarajevo - Jahorina 2014.

---

<i>Organizator:</i>	Univerzitet u Istočnom Sarajevu Mašinski fakultet Istočno Sarajevo
<i>Organization:</i>	University of East Sarajevo Faculty of Mechanical Engineering East Sarajevo
<i>Izdavač:</i>	Univerzitet u Istočnom Sarajevu Mašinski fakultet Istočno Sarajevo
<i>Publisher:</i>	University of East Sarajevo Faculty of Mechanical Engineering East Sarajevo
<i>Za izdavača:</i> <i>For publisher:</i>	Prof. dr Ranko Antunović
<i>Urednici:</i> <i>Editors:</i>	Prof. Dr Biljana Marković, Prof. Dr Ranko Antunović, Dr Milija Kraišnik, assistant professor
<i>Tehnička obrada i dizajn:</i> <i>Technical treatment and desing:</i>	Dr Miroslav Milutinović, assistant professor Mr Saša Prodanović, senior asisstant
<i>Izdanje:</i> <i>Printing:</i>	Prvo 1 <sup>st</sup>
<i>Register:</i> <i>Register:</i>	ISBN 978-99976-623-1-6 COBISS.RS-ID4642584
<i>Tiraž:</i> <i>Circulation:</i>	100 primjeraka 100 copies
<i>Rukopis predat u štampu:</i> <i>Manuscript submitted for publication:</i>	20. Novembar 2014. November 20 <sup>th</sup> 2014
<i>Štampa:</i> <i>Printed by:</i>	KOPIKOMERC, Istočno Sarajevo KOPIKOMERC, East Sarajevo



## REVIEWERS

Dr Milosav Ognjanović, full professor  
Dr Vojislav Miltenović, full professor  
Dr Leposava Šiđanin, professor emeritus  
Dr Milan Zeljković, full professor  
Dr Dragiša Vilotić, full professor  
Dr Ljubodrag Tanović, full professor  
Dr Dušan Golubović, full professor  
Dr Milan Šljivić, full professor  
Dr Dejan Ivezić, full professor  
Dr Petar Gvero, associate professor  
Dr Vojislav Filipović, associate professor  
Dr Mihajlo Stojčić, associate professor  
Dr Žarko Petrović, associate professor  
Dr Murčo Obućina, assistant professor  
Dr Mitar Jocanović, assistant professor  
Dr Stojan Simić, associate professor  
Dr Danijel Mijić, assistant professor  
Dr Milija Kraišnik, assistant professor  
Dr Miroslav Milutinović, assistant professor  
Dr Slaviša Moljević, assistant professor  
Dr Bogdan Marić, assistant professor  
Dr Vlado Medaković, assistant professor  
Dr Biljana Marković, associate professor  
Dr Nebojša Radić, associate professor  
Dr Ranko Antunović, associate professor

## INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE

### **Prof. dr Biljana Marković, FME UES (B&H) - president**

Dr.-Ing. Stefan Wagner, IFU, University of Stuttgart (Germany)  
Prof. dr Athanasios Michailidis, Aristotle University of Thessaloniki (Greece)  
Prof. Dr.-Ing. Albert Albers, University of Karlsruhe (Germany)  
Prof. dr Dušan Golubović, FME UES (B&H)  
Prof. dr Aleksandar Veg, FME Belgrade, (Serbia)  
Prof. dr Ranko Antunović, FME UES (B&H)  
Prof. dr Stevan Stankovski, FTS Novi Sad, (Serbia)  
Prof. dr Nebojša Radić, MF FME UES (B&H)  
Prof. dr.-Ing. Sava Ianici, University Resita "Eftimie Murgu" (Romania)  
Prof. dr Milosav Ognjanović, FME Belgrade, (Serbia)  
Prof. dr Vojislav Miltenović, FME Niš (Serbia)  
Prof. dr Radivoje Mitrović, FME Belgrade, (Serbia)  
Prof. dr Slavko Arsovski, FE Kragujevac (Serbia)  
Prof. dr Zoran Ljuboje, FEE UES (B&H)  
Prof. dr Dragiša Vilotić, FTS Novi Sad, (Serbia)  
Prof. dr Ejub Džaferović, FME Sarajevo, (B&H)

Prof. dr Ljubodrag Tanović, FME Belgrade, (Serbia)  
Prof. dr. - Ing. Miroslav Vereš, SUT Bratislava (Slovakia)  
Prof. dr Siniša Kuzmanović, FTS Novi Sad, (Serbia)  
Prof. dr.-Ing. Ljubomir Dimitrov, TU Sofija (Bulgaria)  
Prof. dr Milan Zeljković, FTS Novi Sad, (Serbia)  
Prof. dr Novak Nedić, FMCE Kraljevo (Serbia)  
Prof. dr Safet Brdarević, FME Zenica (B&H)  
Prof. dr Milomir Gašić, FMCE Kraljevo (Serbia)  
Prof. dr Sead Pašić, FME Mostar (B&H)  
Prof. dr Ilija Ćosić, FTS Novi Sad, (Serbia)  
Prof. dr Petar Gvero, FME Banja Luka, (B&H)  
Prof. dr Dragan Spasić, FTS Novi Sad, (Serbia)  
Prof. dr Vojislav Novaković, NTNU Trondheim (Norway)  
Prof. dr Milan Šljivić, FME Banja Luka, (B&H)  
Prof. dr Dragoljub Živković, FME Niš (Serbia)  
Prof. dr Slavko Krajcar, FER Zagreb (Croatia)  
Prof. dr Petar Novak, VSTS Novo Mesto (Slovenia)  
Prof. dr Slobodan Stojadinović, TF Zrenjanin (Serbia)  
Dr.-Ing. Norbert Burkardt, University of Karlsruhe (Germany)  
Prof. dr Miodrag Bulatović, FME Podgorica (MNE)  
Prof. dr Ranko Božičković, FTTE UES (B&H)  
Prof. dr Dragan Milčić, FME Niš (Serbia)  
Prof. dr Darko Petković, FME Zenica (B&H)  
Prof. dr Zdravko Krivokapić, FME Podgorica (MNE)  
Prof. dr Milenko Obad, FME Mostar (B&H)  
Prof. dr Obrad Spaić, PMF UES (B&H)  
Prof. dr Vojislav Filipović, FMCE Kraljevo (Serbia)  
Prof. dr Tale Geramičioski, UKLO Bitola (Macedonia)  
Prof. dr Žarko Petrović, FME UES (B&H)  
Prof. dr Stojan Simić, FME UES (B&H)  
Doc. dr Slaviša Moljević, FME UES (B&H)  
Doc. dr Bogdan Marić, FME UES (B&H)

## **ORGANIZING COMMITTEE**

### **Prof.dr Ranko Antunović, FME UES – president**

Doc. dr Miroslav Milutinović, FME UES

Mr Saša Prodanović, senior assistant, FME UES

Doc.dr Slaviša Moljević, FME UES

Doc.dr Bogdan Marić, FME UES

Doc. dr Vlado Medaković, FME UES

Doc. dr Milija Kraišnik, FME UES

Prof. dr Stojan Simić, FME UES

Mr Aleksandar Košarac, senior assistant, FME UES

Spasoje Trifković, senior assistant, FME UES

Sc.Srđan Vasković, senior assistant, FME UES

Mr Dejan Jeremić, senior assistant, FME UES

Mr Davor Milić, senior assistant, FME UES

## GENERAL SPONSOR

Ministry of Science and Technology Republic of Srpska



## SPONSORS



The conference has been supported by:



*International Federation for  
the Promotion of Mechanism  
and Machine Science*



*Association for Design,  
Elements and Constructions*



## PREFACE

Production in developed countries is based on the modernization and optimization of the production processes with the application of new technologies that are the result of scientific research. The application of new technology enables company's efficient production and competitiveness in the world market.

Faculty of Mechanical Engineering, University of East Sarajevo, organizes the Second international conference "COMETa2014 - Conference on Mechanical Engineering Technologies and Application", which has tasks: to increase economic competitiveness in the region and to give an contribution to creation of unique European Research Area.

Globally, we are witnessing a rapid development and a host of new technological solutions, which occur primarily in the multidisciplinary development (mechatronics) but also in development of completely new technologies, such as nanotechnology, biomaterials, bioengineering, new energy sources, intelligent machines and processes, micro-technique, etc. All of this puts researchers and engineers in the new challenges and creates opportunities for products and technologies that provide a precondition for economic recovery and creation of new jobs.

COMETa2014 conference program structure is consisted of the following thematic areas: Production technologies and advanced materials, Energy and environment, Applied mechanics and mechatronics, Development of products and mechanical systems, Quality and management and Organization and maintenance.

Participation in international conference COMETa2014 was achieved by: 229 authors from 11 countries, with a total of 102 papers, including 3 plenary lectures.

Inside of conference COMETa2014 has been planned organization of three working meeting and one round table discussion based on actual topics of conference. During the conference, it will be presented some of technical solutions produced in companies from our region.

The presence of a large number of participants from Bosnia and Herzegovina and abroad as well as the problems which are processed at the conference, coincide with the themes promoted by the European Union in its development programs.

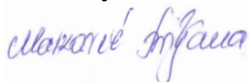
On the basis of previous exposure, a gathering of scientists and researchers at the international conference COMETa should be understood not only as an exchange of knowledge and achievements of the narrower set of scientists and researchers, but also as a constant and serious attempt to focus social consciousness and social life on activities that ensures progress and prosperity of any society, and that is productive work, creating new knowledge and economic development.

On behalf of the Organizing Committee and Scientific Committee of the Conference COMETa2014, we want to express our gratefulness to all authors, reviewers, as well as institutions, companies and individuals who contributed to realization of the Conference.

East Sarajevo, November 19<sup>th</sup>, 2014.

President of the Scientific Committee

Prof. dr Biljana Marković



President of the Organizing Committee

Prof. dr Ranko Antunović





## CONTENT

### **PLENARY LECTURES**

- 1. Milosav Ognjanović, Miloš Ristić, Sanja Vasin**  
HYBRID TECHNICAL SYSTEMS AND THE NEW ALTERNATIVE SOLUTIONS DESIGN 1
- 2. Lubomir Dimitrov, Spas Spasov**  
AUTOMATION IN SMALL SERIES BATCH PRODUCTION. A CASE STUDY 9
- 3. Predrag Ćosić**  
MACHINE TOOLS SELECTION USING AHP METHOD AND MULTIOBJECTIVE OPTIMIZATION 17

### **MANUFACTURING TECHNOLOGIES AND ADVANCED MATERIALS**

*Chairpersons: Darko Petković, Milan Zeljković, Milan Šljivić*

- 4. Mihajlo Popović, Ljubodrag Tanović**  
TAPPING PROCESSES SIMULATION BASED ON ORTHOGONAL CUTTING TESTS 25
- 5. Saša Živanović, Goran Vasilic**  
VARIANTS OF CONFIGURING THE 2-AXIS RECONFIGURABLE PARALLEL MECHANISM – MOMA 33
- 6. Vladimir Blanuša, Milan Zeljković**  
COMPUTER MODELING OF STATIC BEHAVIOR MAIN SPINDLE ASSEMBLY WITH THE DOUBLE ROW CYLINDRICAL ROLLER BEARING 41
- 7. Mirjana Bojanić, Goran Jovičić, Milan Zeljković**  
DETERMINATION OF ACCURACY AND REPEATABILITY OF POSITIONING OF CNC MACHINE TOOL 49
- 8. Goran Jovicic, Mirjana Bojanic, Slobodan Tabakovic**  
DEVELOPMENT GRAPHICAL USER INTERFACE-GUI FOR CALCULATING ACCURACY OF NC MACHINE TOOLS 59
- 9. Ibrahim Plančić, Darko Petković, Samir Lemeš, Hazim Bašić**  
RESEARCH ON IMPACT FACTORS INFLUENCING ROUNDNESS OF PRODUCTS MADE OF AL 99.5% FORMED BY COLD ROTARY EXTRUDING TECHNOLOGY 69
- 10. Igor Kacmarcik, Aljoša Ivanisevic, Dejan Movirn, Miroslav Plancak, Dragisa Vilotic**  
INVESTIGATION OF FORWARD EXTRUSION PROCESS OF BIMETALLIC MATERIALS 75

11.	<b>Mirna Nožić, Himzo Đukić, Daut Denjo</b> HEAT BALANCE OF IRONING PROCESS	81
12.	<b>Amra Talić-Čikmiš, Suad Hasanbegović, Nedeljko Vukojević, Fuad Hadžikadunić</b> THE EXTRA STRESS BECAUSE OF THE BENDING IN THE PROCESS THE DEEP DAWING	89
13.	<b>Miroslav Rogić, Duško Lukač</b> FUTURE OF INDUSTRIAL PRODUCTION	95
14.	<b>Milan Šljivić, Mićo Stanojević, Nenad Grujović, Igor Kuzmanović, Zorana Pašalić</b> DEVELOPMENT OF INDUSTRIAL PRODUCTS BY ADDITIVE MANUFACTURING	103
15.	<b>Ivica Jovanović</b> 3D PRINTING USING WOOD COMPOSITE MATERIALS	111
16.	<b>Mladen Knežević</b> PRODUCTION OF COMPLEX MECHANICAL PARTS BY MIG/MAG WELDING ROBOT	121
17.	<b>Nikola Bajić, Slobodan Stojadinović, Jasmina Pekez</b> THE RESULTS OF THE PRELIMINARY RESEARCH FOR PRODUCING AND APPLICATION OF SPECIAL COATED ELECTRODES	129
18.	<b>Ivan Palinkaš, Eleonora Desnica, Jasmina Pekez, Ljiljana Radovanović</b> PLASMA CUTTING – APPLICATION OF CAD/CAM TOOLS AND ADVANTAGES OF ROBOTICS COMPARING TO CNC MACHINE	135
19.	<b>Luka Panić, Ekrem Nezirović, Atif Hodžić</b> PROJECTING FURNITURE FROM 3D PLYWOOD PLATES	141
20.	<b>Nedeljko Dučić, Žarko Čojbašić, Radomir Slavković</b> THE APPLICATION OF NEURAL NETWORK IN MANAGING WHITE CAST IRON PRODUCTION	149
21.	<b>Svetlana Pelemiš, Dragoljub Mirjanić, Igor Hut</b> SOME OPPORTUNITIES OF NANOTECHNOLOGICAL MATERIALS IN MECHANICS	155
22.	<b>Milija Kraišnik, Dragiša Vilotić, Lepasava Šidanin, Žarko Petrović, Milan Šljivić, Milentije Stefanović</b> MORPHOLOGY OF STEEL C45E MICROSTRUCTURE DURING UPSETTING	161

## **ENERGY AND ENVIRONMENT**

***Chairpersons: Ejub Džaferović, Petar Gvero, Dragoljub Živković***

23.	<b>Miodrag Grujić, Dejan Ivezić, Marija Živković</b> CRITERIA FOR THE SELECTION OF OPTIMAL OPTION FOR CENTRALIZED HEAT SUPPLY SYSTEM DEVELOPMENT	169
24.	<b>Milena Todorović, Dragoljub Živković, Marko Mančić</b> PROCESS OF STARTING UP HOT WATER BOILERS	175
25.	<b>Dragana Temeljkovski, Goran Vučković</b> MECHANISM OF HEAT TRANSFER IN VENTILATED ROOF	183
26.	<b>Almin Halač, Ejub Džaferović</b> CALCULATION OF THE VERTICAL AND INCLINED PNEUMATIC CONVEYING WITH VARIOUS DIAMETER	189



<b>27. Mitar Jocanović, Velibor Karanović, Milija Kraišnik</b>	
SOLID CONTAMINANTS IN HYDRAULIC OIL AND THEIR IMPACT ON THE INTENSITY OF WEAR AND TEAR OF WORKING ELEMENTS IN DIRECTIONAL VALVES	195
<b>28. Srđan Ćurić, Obrad Spaić</b>	
CHOICE OF LOCATION FOR CONSTRUCTION THE SOLAR SYSTEM USING EXPERT SYSTEM	203
<b>29. Marko Mančić, Dragoljub Živković, Milena Todorović</b>	
SIMULATION OF A SOLAR SYSTEM FOR DEMENDS OF AN INDOOR SWIMMING POOL	211
<b>30. Marko Ikić, Slobodan Lubura, Milomir Šoja, Srđan Lale, Srđan Vasković</b>	
HYBRID POWER SUPPLY SYSTEM	219
<b>31. Jovan Nešović, Dragan Arsenijević</b>	
ENERGY EFFICIENCY OF PUBLIC BUILDINGS – ONE OF THE POSSIBLE FACTORS OF DEVELOPMENT AND COMPETENCY INCREASE OF LOCAL GOVERNMENTS IN THE REPUBLIC OF SERBIA	227
<b>32. Merima Maslo, Mersida Manjgo</b>	
APPLICATION OF THE F-CHART METHOD FOR DESIGNING SOLAR THERMAL SYSTEM FOR HEATING DOMESTIC HOT WATER	235
<b>33. Dragan Antunović, Milan Savić</b>	
ENERGY EFFICIENCY OF THE HOSPITAL BUILDING	243
<b>34. Srđan Vasković, Petar Gvero, Vlado Medaković, Velid Halilović, Marko Ikić, Goran Ašonja</b>	
ENERGY INDEX FOR PRODUCTION WOODEN CHIPS	251
<b>35. Srđan Vasković, Petar Gvero, Vlado Medaković, Velid Halilović, Davor Milić</b>	
FEASIBILITY STUDY FOR REPLACMENT HEATING SYSTEM ON NATURAL GAS WITH PELLET BOILERS AT PRIMARY SCHOOL "SVETI SAVA " IN LUKAVICA	259
<b>36. Alojz Tovarović, Veljko Mastilo</b>	
HEAT RECOVERY IN HVAC SYSTEMS	267
<b>37. Alojz Tovarović, Veljko Mastilo</b>	
STRATEGY AND STEPS OF THE EUROPEAN UNION TOWARDS MORE ENERGY EFFICIENT BUILDINGS	273
<b>38. Sanja Stijačić, Davor Milić, Dušan Golubović, Novica Stijačić, Stojan Simić, Mirko Dobrnjac</b>	
HIDRAULIC CALCULATION OF WATER DISTRIBUTION SYSTEM IN WET COOLING TOWERS	281
<b>39. Mile Stojilković</b>	
TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF VEGETABLE OILS	289
<b>40. Jovan Sredojević, Maja Krajišnik</b>	
WASTE TYRES PYROLYSIS PROCESS	297
<b>41. Stojan Simić, Novica Stijačić, Dušan Golubović, Sanja Stijačić, Davor Milić</b>	
ENVIRONMENTAL EMISSIONS AS A RESULT OF OIL REFINING	307
<b>42. Stojan Simić, Novica Stijačić, Dušan Golubović, Davor Milić, Sanja Stijačić</b>	
BASIC ASPECTS OF PREPARATION AND PROCESSING OF REFINERY WATER	313

- 43. Milan Blagojević, Jelena Erić, Ljubica Knežević, Miroslav Živković, Ljiljana Tihaček Šojić**  
 NUMERICAL MODELING OF THE EDENTULOUS MANDIBLE WITH A COMPLETE DENTURE USING MULTIBLOCK METHOD 321
- 44. Nebojša Radić, Dejan Jeremić, Lana Sekulić**  
 BUCKLING ANALYSIS OF ORTHOTROPIC DOUBLE- NANOPLATE- SYSTEMS BASED ON NONLOCAL TWO- VARIABLE REFINED PLATE THEORY 327
- 45. Dejan Jeremić, Nebojša Radić**  
 INFLUENCE OF CARBON FIBER ANGLE ORIENTATION ON BUCKLING PROPERTIES OF COMPOSITE PLATES 339
- 46. Nikola Vučetić, Nebojša Radić, Miroslav Milutinović, Spasoje Trifković, Aleksandar Košarac**  
 CARBON NANOTUBES NATURAL FREQUENCIES RESULTS COMPARISON USING FEM AND ANALYTICAL METHOD 347
- 47. Tale Geramitchioski, Ljupco Trajcevski**  
 DYNAMIC ANALYSIS OF THE SLOPING BRIDGE USING FEM 357
- 48. Miroslav Živković, Marko Topalović, Milan Blagojević, Aleksandar Nikolić, Vladimir Milovanović, Siniša Mesarović, Jagan Padbidri**  
 BOUNDARY IDENTIFICATION AND WEAK PERIODIC CONDITION APPLICATION IN DEM METHOD 365
- 49. Duško Tešanović, Nijaz Puzić, Marko Vasiljević, Relja Jovanović**  
 RECYCLING THE VITAL SETS OF THE RAILWAY VEHICLES AND TRACK GEOMETRY, AS AN ECONOMICAL WAY OF BUSINESS OF THE RAILWAY 371
- 50. Ranko Antunović, Amir Halep**  
 APPLICATION OF FUZZY LOGIC IN THE IDENTIFICATION OF DEFECTS JOURNAL BEARINGS 381
- 51. Radivoje Mitrović, Natasa Soldat, Ivana Atanasovska**  
 DYNAMIC BEHAVIOR OF RADIAL BALL BEARING DUE TO THE PERIODIC VARIABLE STIFFNESS 389
- 52. Darko Knežević, Saša Laloš**  
 THE EFFECT OF RADIAL CLEARANCE ECCENTRICITY ON FLUID FLOW RATE 397
- 53. Miljan Rugar, Remzo Dedić, Adisa Vučina, Haris Đindo**  
 MEASURING EQUIPMENT IN THE RESEARCH AND THE DEVELOPMENT OF HYDRAULIC ABOVE – KNEE PROSTHESIS 407
- 54. Dragoslav Janošević, Vesna Jovanović, Jovan Pavlović, Predrag Milić**  
 ANALYSIS OF A MOVEMENT RESISTANCE OF CRAWLER MOBILE MACHINES 415
- 55. Saša Prodanović, Novak Nedić**  
 NON-CONVENTIONAL CONTROL OF LEVEL AND TEMPERATURE IN THE FLOW TANK 421
- 56. Branislav Gavrilović, Zoran Bundalo, Savo Gavrilović**  
 SIMULATION OF LOCOMOTIVE TENT 443 MANEUVER WORK USING MATLAB - SIMULINK 429

## DEVELOPMENT OF PRODUCTS AND MECHANICAL SYSTEMS

*Chairpersons: Siniša Kuzmanović, Radivoje Mitrović, Mirko Blagojević, Vojislav Miltenović, Lozica Ivanović, Radoslav Tomović*

57. **Zorica Djordjević, Miloš Zuvic, Mirko Blagojević, Saša Jovanović, Miloš Matejić**  
ANALYSIS OF THE VEHICLE DYNAMIC STABILITY 437
58. **Siniša Kuzmanović, Milan Rackov, Miroslav Vereš**  
THE BASIC CHARACTERISTICS OF MODERN BACKLASH GEAR REDUCERS 443
59. **Predrag Živković**  
FORMS AND CAUSES OF FATIGUE GEARS TOOTH FLANK FAILURE AND THEIR IDENTIFICATION 451
60. **Dragan Čukanović, Milan Blagojević, Snežana Vulović, Miroslav Živković**  
ANALYSIS OF PRE-STRESSES CAUSED BY WIRE TENSION OF STONE CUTTING MACHINE 459
61. **Zoran Stamenić, Mileta Ristivojević, Marko Tasić**  
INFLUENCE OF GEOMETRY ON CARDAN JOINT LOAD DISTRIBUTION 463
62. **Miroslav Milutinović, Aleksija Đurić, Spasoje Trifković, Nikola Vučetić**  
MEASUREMENT OF TORQUE ON THE CARDAN SHAFT EMBEDDED IN THE FREIGHT VEHICLE 471
63. **Rade Grujičić, Dejan Bratić, Luka Grubiša, Ognjen Mijanović, Marina Mijanović Markuš, Radoslav Tomović, Zoran Mijanović**  
APPLICATION OF METHODOLOGICAL PROCEDURE OF CONSTRUCTING IN DEVELOPING MECHATRONIC CONSTRUCTIONS 481
64. **Žarko Mišković, Zoran Stamenić, Jefto Terzović, Radivoje Mitrović**  
MECHANICAL TESTING OF METAL BUILDING CONSTRUCTION IN EARTHQUAKE CONDITIONS 491
65. **Radivoje Mitrović, Žarko Mišković, Gradimir Ivanović, Milan Tasić, Zoran Stamenić**  
DEVELOPMENT OF EXPERIMENTAL METHODOLOGY FOR CONVEYOR IDLER'S SEALING GROUP TESTING 497
66. **Miloš Matejić, Lozica Ivanović, Nenad Petrović**  
ADOPTION OF OPTIMAL TEETH PARAMETERS OF GEROTOR PUMP 505
67. **Nenad Kostić, Nenad Petrović, Nenad Marjanović, Mirko Blagojević, Miloš Matejić**  
PARAMETRIC MODELING OF GEAR TRANSMISSIONS IN CAD SOFTWARE WITH DEFINABLE SHAFT AXIS POSITIONS 513
68. **Vesna Jovanović, Dragoslav Janošević, Jovan Pavlović**  
ANALYSIS AND SYNTHESIS DRIVE MOVEMENT OF HYDRAULIC EXCAVATORS 521
69. **Aleksandar Miltenović, Milan Banić, Vojislav Miltenović**  
ROLE AND IMPORTANCE OF LIGHTWEIGHT DESIGN IN THE PRODUCT DEVELOPMENT 529

<b>70. Zdravko Božičković, Bogdan Marić, Dragoslav Dobraš, Gordana Lakić-Globočki, Đorđe Čiča</b>	
VIRTUAL MODELING OF ASSEMBLY AND WORKING ELEMENTS OF HORIZONTAL HYDRAULIC PRESS	539
<b>71. Radoslav Tomović, Rade Grujičić</b>	
METHODOLOGICAL APPROACH TO RISK ASSESSMENT IN PRODUCT DEVELOPMENT PROCESS	547
<b>72. Vojkan Nojner</b>	
A MODULAR APPROACH IN GENERATING A FAMILY OF ACTUAL STANDARD GEARBOXES	555
<b>73. Vladislav Krstić, Vojkan Nojner</b>	
APPLICATION PERSPECTIVE OF A NEW GENERATIONN OF SPLIT SPHERICAL ROLLER BEARINGS	563
<b>74. Srđan Pelkić, Aleksija Đurić, Biljana Marković, Radivojka Vučinić</b>	
DEVELOPMENT OF NEW PRODUCTS IN INDUSTRY OF UPHOLSTERD FURNITURE	571
<b>75. Aleksija Đurić, Biljana Marković, Srđan Pelkić</b>	
BASIC PRINCIPLES AND RULES FOR IMPLEMENTATION OF THE LIGHTWEIGHT DESIGN IN MECHANICAL ENGINEERING	579

### **QUALITY AND MANAGEMENT**

*Chairpersons: Miloš Sorak, Mirsada Oruč, Branko Vučijak*

<b>76. Branko Vučijak, Snežana Mišić Mihajlović, Dino Delibašić, Emir Imamović</b>	
MULTICRITERIA RANKING OF PRIORITY MEASURES FOR IMPROVED MANAGEMENT OF WATER SUPPLY IN RURAL AREA SCHOOLS	589
<b>77. Smail Klarić, Senada Pobrić,</b>	
PROCESS MANAGEMENT – IMPROVEMENT OF QUALITY PROCESS	597
<b>78. Saša Čudić, Miloš Sorak</b>	
A MODEL FOR THE IDENTIFICATION OF ESSENTIAL CHARACTERISTICS OF INSURANCE COMPANIES SERVICES USING TOOLS OF QUALITY	603
<b>79. Biljana Marković</b>	
THE NEXT VERSION OF ISO 9001:2015 - REFLECTION ON QMS OF AN AEROSPACE COMPANY	613
<b>80. Slaviša Moljević, Ranka Gojković, Božo Vukoja, Dalibor Musa</b>	
COMPARATIVE RELATIONS REQUIRES THE BOLOGNA PROCESS AND 9001: 2008 MODEL IN RESPECT OF INSURANCE AND QUALITY MANAGEMENT	621
<b>81. Mirsada Oruč, Sulejman Muhamedagić, Jusuf Duraković, Dragana Agić</b>	
QUALITY IN THE PRODUCTION	629
<b>82. Neira Delić, Fahrudin Tarahija</b>	
QUALITY CONTROL AS A KEY FACTOR IN THE FUNCTIONING OF THE PRODUCTION PROCESSES	633
<b>83. Vlado Medaković, Milan Cvijić</b>	
THE EFFECT OF SMALL ENTERPRISES IN THE REGIONAL DEVELOPMENT	639

<b>84. Vlado Medaković, Savo Šehovac, Srđan Vasković, Davorin Đurović</b>	
THE POSSIBILITY OF MORE EFFECTIVE KNOWLEDGE MANAGEMENT IN THE AREA OF RENEWABLE ENERGY SOURCES	645
<b>85. Elvis Hozdić, Emine Hozdić</b>	
THE FOUNDATIONS OF A NEW INDUSTRIAL REVOLUTION – INDUSTRY 4.0	653
<b>86. Miljan Savić, Goran Tešanović</b>	
BUSINESS CONTINUITY MANAGEMENT	663
<b>87. Predrag Petrović, Marija Petrović, Ana Velimirović, Mina Petrović</b>	
PHILOSOPHICAL APPROACH TO RISK AND PROJECT RISK MANAGEMENT	669

## **ORGANIZATION AND MAINTENANCE**

*Chairpersons: Ljubica Duđak, Zoran Stamenić, Vojin Vukotić*

<b>88. Radivoje Mitrović, Žarko Mišković, Zoran Stamenić</b>	
REVIEW OF MACHINE ELEMENTS AND SYSTEMS TESTING CAPACITIES OF FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING AT UNIVERSITY OF BELGRADE	681
<b>89. Žarko Mišković, Radivoje Mitrović</b>	
ANALYSIS OF CURRENT STATE OF HIGHER EDUCATION IN THE FIELD OF TECHNICAL LEGISLATION AND MACHINE DESIGN AT UNIVERSITY OF BELGRADE – FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING	689
<b>90. Mirko Blagojević, Nenad Petrović, Nenad Kostić, Miloš Matejić, Nenad Marjanović</b>	
PRODUCT DEVELOPMENT AT THE FACULTY OF ENGINEERING UNIVERSITY IN KRAGUJEVAC	697
<b>91. Azra Emić, Neira Delić</b>	
EMPLOYEE MOTIVATION IN METALLURGICAL INSTITUTE "KEMAL KAPETANOVIC" ZENICA AS DETERMINANTS OF ORGANIZATIONAL BEHAVIOR, THUS IMPROVING THE RESULTS OF THE WORK	701
<b>92. Ljubica Dudjak, Tatjana Savic-Sikoparija, Sinisa Mitic</b>	
CORPORATE RESPONSIBILITY IN CREATING COMPETITIVE ADVANTAGE OF A COMPANY	709
<b>93. Biljana Marković, Dejan Jeremić</b>	
PRODUCT DEVELOPMENT AT THE FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING AT THE UNIVERSITY OF EAST SARAJEVO	717
<b>94. Olivera Janković</b>	
M2M COMMUNICATION IN THE SERVICE OF PREDICTIVE MAINTENANCE	725
<b>95. Olivera Janković</b>	
CMMS: SELECTION AND REVIEW OF APPLICATIONS	729
<b>96. Goran Orašanin, Branko Vučijak, Dragana Ristić</b>	
DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR EVALUATION AND REAL WATER LOSS REDUCTION IN WATER SUPPLY SYSTEMS IN TRANSITION COUNTRIES - MEASUREMENT, MONITORING AND MAINTENANCE	737
<b>97. Vojin Vukotić, Rajko Tanasijević</b>	
ANALYSIS OF THE EXISTING SITUATION AND FLOW REVITALIZATION OF BUCKET WHEEL EXCAVATOR ER-1250 17/,15	747

## **STUDENT SESSION**

**Chairpersons: Saša Prodanović, Spasoje Trifković, Aleksija Đurić**

- 98. Mihailo Radojičić, Aleksija Đurić, Nikola Vučetić**  
THE NOISE MEASUREMENT USING SOUND LEVEL METER IN CNC LABORATORY OF FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING IN EAST SARAJEVO 757
- 99. Ratko Joksimović**  
THE POSSIBILITY OF USING SOLAR ENERGY WITH PHOTOVOLTAIC PANELS IN BOSNIA AND HERZEGOVINA 763
- 100. Marko Šolaja**  
TYPES, PURPOSE, AND REPORT OF MECHANICAL AND BRAKES PROOF ON DETACHABLE CHAIRLIFT "OGORJELICA 1" 771
- 101. Ranka Gojković, Marija Kunarac, Vladimir Gojković**  
THE INFLUENCE OF REFRIGERANT TO ENERGY EFFICIENCY OF THE SYSTEM 777

## **APPENDIX**

- 102. Vladimir Gojković, Ranka Gojković, Nedeljko Mijović**  
PROCEDURES FOR IMPLEMENTATION OF SMALL HYDRO POWER PLANTS AND EXTENT OF ITS SIMPLIFICATION 785

## **INDEX OF AUTORS**

793

## **PRESENTATIONS OF PARTICIPANTS**

# COMET<sub>a</sub> 2014

2nd INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

2nd - 5th December 2014  
Jahorina, B&H, Republic of Srpska



University of East Sarajevo  
Faculty of Mechanical Engineering  
Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications

---

## ***PLENARY LECTURES***







## HYBRID TECHNICAL SYSTEMS AND THE NEW ALTERNATIVE SOLUTIONS DESIGN

Milosav Ognjanović<sup>1</sup>, Miloš Ristić<sup>2</sup>, Sanja Vasin<sup>3</sup>

*Abstract: A new generation of technical systems is predominantly based on the existing principles but enriched with electronic and software control (hybrid - multidisciplinary integrated and intelligent systems). Procedure of development is based on reverse engineering (reengineering) of existing systems, refilled by electronic, software function carriers controlled by interactive communication by human (user). These TS can be named "The New Alternative Design Solutions" which carry out existing functions. The article contains presentation of this situation and trend, and then presents methodology of hybrid TS development. The three design solutions of hybrid TS in the area of power transmission, are presented. Gear transmission with continual variation of transmission ratio, presents significant improvement and increase of operating level of existing solutions. Electronic and software control of gear testing load, including testing conditions (heat, oil density, etc), is also the proof of actual direction of hybrid TS development. This test device provides simultaneous test of gear pair set in order to provide data to obtain failure probability function in one test.*

*Key words: Hybrid TS, reverse engineering, power transmission, gear units.*

### 1. INTRODUCTION

Engineering design is the field of human action oriented to the new technical systems (TS) development and design. The term of the new TS is extensive, but in systematisation [1] presented in Fig.1a, the five levels of TS innovation is recognised. The first two levels can be adaptation or optimisation of existing solutions with very low level of innovation. The third level presents variation of existing principle directed to the new alternative solution development based on the same principle of action. Increase of technological level is very often the reason for this variation. The fourth level of innovation understands the new principle of action and fifth level invention based on the new scientific discovery. The last three levels (third to fifth) present innovation of TS in full sense. Realisation of some of them needs fulfilment of basic postulates for technical innovations. The first one is significant scientific discovery which is the base of the new principle of TS action. The second one is appearance of

<sup>1</sup>Prof.dr Milosav Ognjanović, University of Belgrade, Fac. of Mech. Eng., milosav.ognjanovic@gmail.com  
AINS - Academy of Engineering Sciences - Serbia

<sup>2</sup>Assistant Miloš Ristić, University of Belgrade, Fac. of Mech. Eng., mristic@mas.bg.ac.rs

<sup>3</sup>Research Ass. Sanja Vasin, master, University of Belgrade, Fac. of Mech. Eng., vasinsanja@gmail.com

the new power source and technological level increase. The thread one is development and increase of the level of design methodology and tools for this purpose including information technologies. In Fig.1b is presented relation of these postulates and actual results. In the history of TS development it is possible to recognise expansion of the new technical solution in relation with significant scientific discoveries and with the new power sources invention, such as steam engine, engine with internal combustion, electric motor etc. The current situation at the beginning of the 21<sup>st</sup> century is that the all postulates i.e. conditions for the development of the new TS, are not met (Fig.1b). For almost a century there were not significant scientific discoveries that would challenge significant technical innovations. Also there is no appearance of the new sources of energy that would be safe and in large quantity. This century is characterized by the rapid development of technology, methods, procedures and tools for engineering design. Information technologies are in fact the forefront. This situation has contributed to no occurrence TS with the new principles of operation. Improve the existing TS with existing, mostly mechanical principles, structures are becoming mechatronic and TS enriched with software, get hybrid.

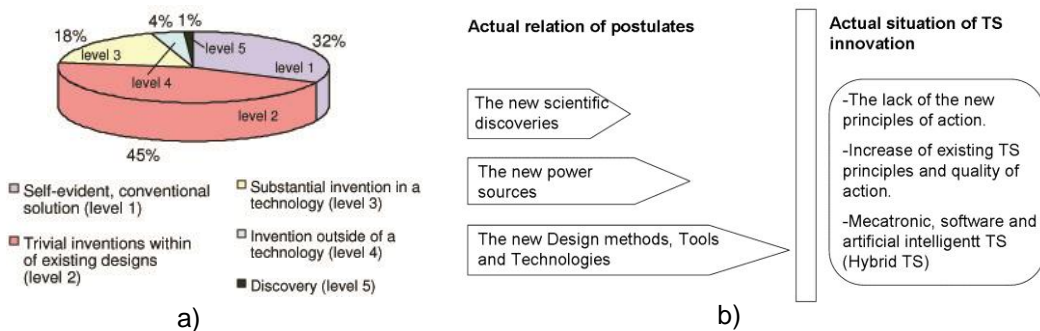


Figure 1. *Innovation levels of TS (a) and actual relation between innovation postulates and innovation results (b)*

The second half of the 20<sup>th</sup> century is characterized by the rapid development of technology and the delay in the appearance of significant scientific discoveries and new energy sources. The arrows in Figure 1b clearly shows these relations. The development of science is based on the premise that “we must learn from nature” and “to live in harmony with nature”. Expansive development of technology is obviously these relationships are violated. Technological development changes the nature and engages the human effort and resources in this direction. Nature Study for scientific discovery is neglected. Scientific human resources instead of discover processes and laws in natural systems, they predominantly dealing with the introduction of the application of information technology products and results. These technologies have become an objective in itself. Certainly contributed to the improvement of some areas but led to undue delays in other areas. The situation could be changed if the increased level of technology, experimental and information technologies focused on the study of processes and laws of nature. The first two postulates (arrows in Figure 1b) can be improved by access to a serious study of processes that occur in biological systems and matter in general. These processes are to a large extent unknown and hiding big secrets that could be used for development of the principally new technical systems.

## 2. PROCEDURE OF HYBRID TS DESIGN

As already mentioned the actual trend in engineering design is increase the quality of function execution of existing technical systems and transformation of mechanical TS into hybrid systems by application reverse engineering approach. In existing TS, predominately with mechanical principle of action, relation between function – F, structure – S and behavior – B is already established [2]. The new, improved TS development understand enlargement of the area of function, structure and TS behavior and creation of the new or improved relation F-B-S. In this reverse direction, desired TS behavior – B (with artificial intelligence or interactive relation with user) it is necessary to transform function structure – F and then to carry out reengineering of TS in order to fulfill the task i.e. to obtain desired behavior of TS. Functional action domain of TS has to be spread out by the new physical actions, software actions and with interactive control carried out by human action. As the rule, the new physical actions (functions) together with software and human functions are in physical contradiction. Input and output signals for these function carriers linking have to be in the same time different and satisfy the both connected function carriers. This contradiction can be solved by application of approach and model presented in [3 and 4]. This means that instead of direct linking of function carriers which are not valet to be direct linked, it is necessary firstly to develop corresponding valence. The process of valence creation contains adapting linking signals of both function carriers [4] by adding complementary secondary functions and carriers for these purposes. In dependence of the level of physical contradiction, the complexity of valence structure can be more or less complex.

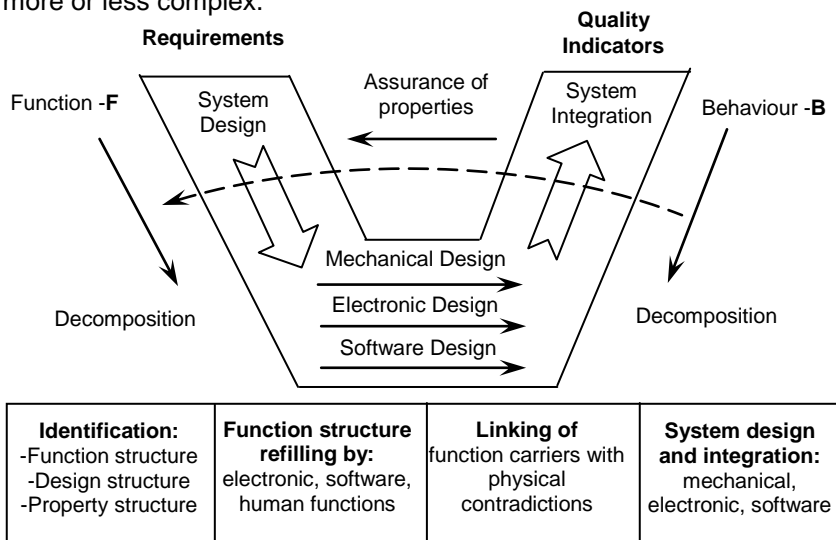


Figure 2. Reverse engineering procedure in transformation of existing mechanical into hybrid technical systems

In Fig. 2 is presented the model of reverse engineering which supporting improvement of TS behavior i.e. transformation existing TS into hybrid [5] which are much more user friendly. The V-model contains TS decomposition for the purpose to TS embodiment design (mechanical, electronic, software,...) and TS integration. In reverse direction desired behavior – B of TS decomposes simultaneously with decomposition of existing TS structure. Decomposition of structure provides possibility to identify existing function structure and properties of design components (first block in

Fig. 2). The next block contains refilling of identified function structure with the new additional functions (electronic, software, human,). Refilling process is based on at desired and decomposed indicators of TS behavior – B. Contradictory principles of these functions carriers action need contradictory signals for linking. The next block contains application presented methodology for linking of function carries with principles in contradiction. The last block in Fig. 2 is final system design and integration which includes additional and secondary function carriers and creation of hybrid TS with high level ob behavior – B.

### 3. THE NEW ALTERNATIVE SOLUTIONS

Mechatronic and then hybrid technical systems were created because of the need for remote control of flatters and related fly systems. One of the first hybrid systems for the general use is the traction system of hybrid passenger car. These cars got the name “hybrid”, but the process of TS hybridization get withers and withers. Hybrid passenger cars are powered by a combination of internal combustion engine and electric motor-generator (Fig.3). In the combination of these power sources, excess of mechanical power is transformed into electric charge of batteries. The car traction provides electric motor and the function of engine is to help electric drive or battery charging. The functions of engine and motor are in multiple physical contradictions. Both of them are the sources of mechanical power, but the direction of this power transmission frequently changes. Furthermore, speed and level of the necessary torque varies. Linking of these two components was a very complex task. Research in this direction resulted in the development of Continually Varying Transmission (CVT) unit. This adapter is based on the mechanical principle similar to the friction (belt) variation (Fig.3). Control of CVT transmission ratio and change of power flow direction, is performed using electronic subsystems. Electronic and software control system of the vehicle SPC generates control signals for the actuator system - AS. Actuators transform these signals into mechanical action of continuous variation of the transmission ratio. As such, the CVT in itself is a complex mechatronic system, whose main function is to link the engine and motor-generator in the traction unit applied in passenger cars. Hybrid powered car is the result of integrated power sources and mechatronic and software control. The principle of functions execution (drive) has remained the same but the quality of her performance raised to a higher level.

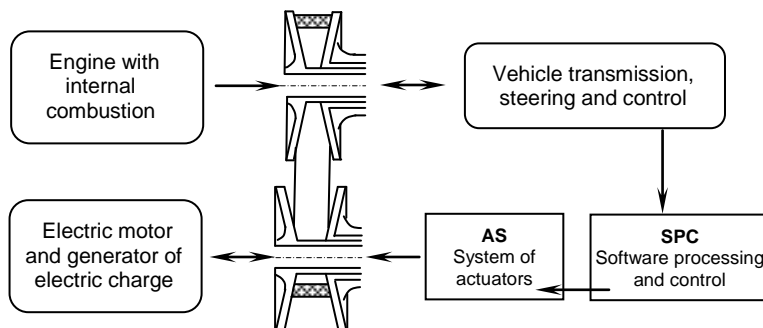


Figure 3. Continual variation of transmission ratio - CVT in hybrid passenger car traction unit (BT-CVT)

Gear transmission units are compact, high load capacity, reliable operation and so on. The main disadvantage of these mechanical systems is a fixed transmission ratio between the speed of the input and output shafts. In this respect particularly are interesting planetary gear units. Pinion 1 with angular  $\omega_{in}$  (Fig.4) drives planetary gears 2 which are supported by toothed ring 3, and produces output speed  $\omega_{out}$  of satellite gears carrier. In the case when inside toothed ring 3 is fixed, transmission ratio between these speeds is also fixed by design parameters of the gears. Variation and control of transmission ratio can be performed by controlled rotation of the ring 3 [6]. This ring has to be toothed inside and outside. Outside toothed system is engaged with pinion 4 connected to controlled motor-generator (M-G). Electric component M-G in one direction of rotation acting as motor, and as electric generator (brake) with rotation in another direction. Control of the transmission ratio is result of M-G control. Value of transmission ratio is proportional to speed and direction of rotation.

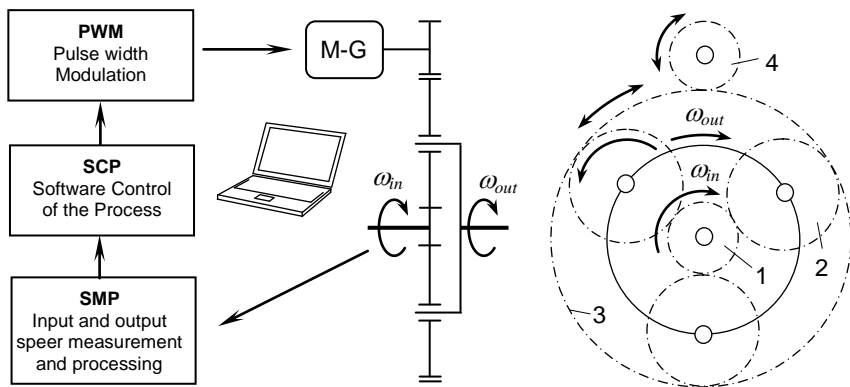


Figure 4. Planetary gear transmission set with continual variation of transmission ratio PT-CVT

The system showed in Figure 4 open the two problems. One is related to the complexity of the motor-generator control, and another one is the fact that the motor-generator consumes energy and reduces efficiency of mechanical power transformation. This reduction is not large because motor-generator power flows in the two directions.

The complexity of the structure of the system extends to the additional mechanical, electrical, electronic and software components [7]. In addition to the structure of the area and expands a function area and the area of the behavior of the system. The input and output angular velocity must be measured, and the measurement results processed and continuously monitored the size of the transmission ratio. Software follows the flow of the process for which the mechanical power is transformed. Correction of the process performs by modulation of the signals for M-G control. Speed and direction of M-G rotation corresponds to necessary transmission ratio. Torque and M-G power are proportional to reactive torque of the ring 3 in Fig.4, which is in relation to mechanical power which transforms by planetary gear set.

The additional problem in M-G control is provision of standing position of ring 3 (Fig.4). In direction of rotation change, zero speed of rotation of this ring has to be provided by zero speed of M-G with corresponding torque. Duration of these conditions can be not short. This unpleasant M-G conditions also have to be saved by electronic protection.

In the next example decomposition of the function F and the system behaviour B (Fig.2) leads to design of mechanical structure, electronic and software system control and to widening of function - F, structure - S and behaviour - B area of the existing systems for similar applications [8]. This is test device for gear endurance testing. Existing test devices are based on the power circulation and provide testing of gear pairs, one by one. For creation of gear flank failure probability distribution function, it is necessary to perform testing of eight gear pairs exposed to the same testing conditions. The new design solution provides simultaneous test of the eight gear pairs under the same conditions. The principle of action is based on the power accumulation instead of the power circulation.

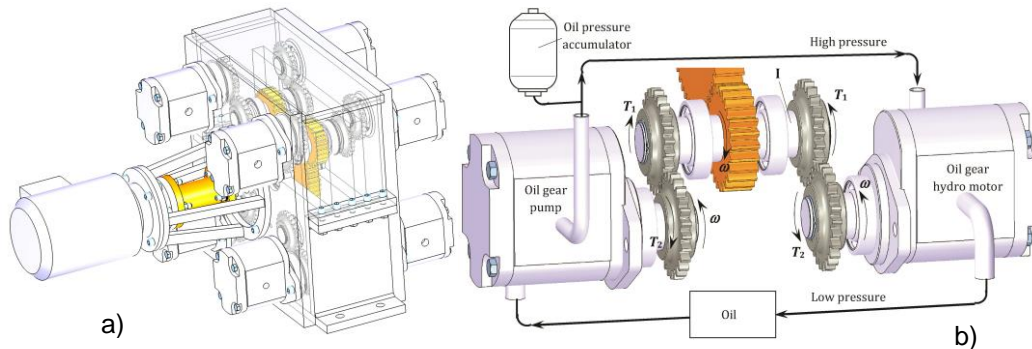


Figure 5. Mechanical and hydraulic structure of gear test device

This test device presented in Fig. 5a consists of four completes with the two gear pair samples for testing connected by shaft in back-to-back relation (Fig.5b). One gear pair is loaded by oil gear pump and another one by oil gear hydro motor. The oil under high pressure provided by gear pump drives gear hydro motor. The oil pressure accumulator maintain necessary oil pressure. Central gear and electric motor (Fig.5a) provides rotation of four completes (Fig.5b) distributed around the gear. Hydraulic system for load creation is connected in the same structure. All gear pumps from the left side (Fig.5a) suppress oil to the hydro motors on the right side (Fig.5a), as presented in Figures 5b and 6. All high-pressure pipes are connected to the same oil pressure accumulator for the pressure and load control as well as for power accumulation. Low pressure pipe system takes oil in and out from the oil tank. Cooling of this hydraulic oil is important to keep the temperature and viscosity within the acceptable range. For this purpose, an additional pump together with a cooler and a filter, connected to the oil tank, is necessary. Torque measurement is carry out in the joint of traction motor and central gear, and measurement of oil pressure and oil temperature take place at oil pressure accumulator.

Lubrication system has to be more complex compared to the hydraulic load system. It is necessary to bring oil into every gear teeth fit and to the bearings. For this purpose, the central part of the housing (Fig.5a) is equipped with connectors for oil pipes which lead oil to all of these places. The oil by a separate additional pump with corresponding pressure and provides permanent and flush lubrication and rinse. The three chambers in the central part of the housing in the bottom area are connected in the same chamber which collects the oil. Another pump draws this oil out and suppresses it to the filter and cooler in the oil tank. Cooling both hydraulic subsystems (system for load creation and lubrication) is a very important task.

Oil viscosity, density, pressure and flow are closely related to the temperature level. This is the reason that the load produced by oil pumps and hydro motors can

vary in a wide range. Also, the resistances in the bearings and in the gear teeth meshes depend of the temperature and oil viscosity. Relation between oil density, oil pressure, temperature and load level have to be kept in the close relation. Electronic measurement, software control and oil pressure correction, create this TS hybrid. Control requires two directions of control, load control and speed control.

Load control system is presented in Figure 6. Measurement of input torque is carried out at the place of traction electromotor coupling at the testing device presented in Figure 5a. All four gear pumps and four gear hydro motors are connected to the same high oil pressure system. It provides possibility for equal distribution of input torque to the eight testing samples. Measurement of air pressure in the pressure accumulator (Fig.6) is carried out simultaneously with input torque measurement. If the torque is out of necessary value, the air pressure has to be regulated. Software signals power the air compressor (actuator) to supplement the amount of air or to open the valve to reduce air pressure. This monitoring and regulation of pressure and quantity of air maintain the same level of torque at the tested samples in the course of the entire testing process.

Speed control is important for acceleration of the testing process and reduction of the testing process duration. Resistances in the gear system and bearings are related to oil viscosity, and speed of rotation. At the beginning of the testing process the resistances are high. High speed of rotation in this moment can produces the troubles. Much better operation provides gradual increase of speed together with temperature increase. Speed control has to provide the possibility for speed increase in relation to temperature increase. Measurement of oil temperature, both hydraulic oil and lubrication oil are the data for speed control. Electric motor has to be equipped with a regulator with software control. In the course of continual testing process, the speed can be very high. The system also has to be equipped with vibration control system and for stress cycles number of failure measurement.

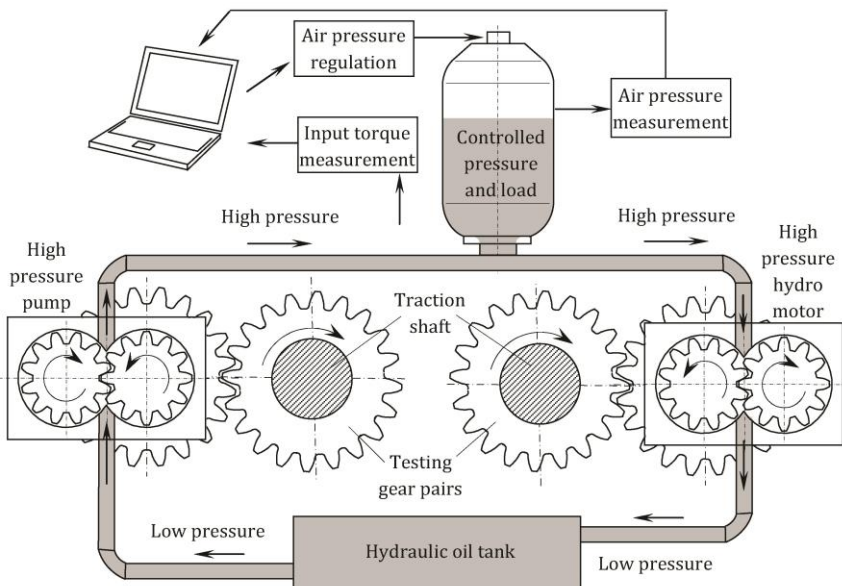


Figure 6. Test load, speed of rotation, temperature and oil pressure control



#### 4. CONCLUSIONS

The main message of this contribution is that at the global level exists the lack of principally new technical systems, at fourth and fifth level of innovation. The reasons for this lie in the fact that not fulfilled all the postulates of innovative development of technical systems. The strong challenge for innovative TS development is significant scientific discoveries and energy sources, which missing, together with the new methods and tools for this purpose.

Actual development of TS is based on the existing principles but enriched with electronic and software control (hybrid TS). Procedure of development is based on reverse engineering (reengineering) of existing systems, refilled by electronic, software function carriers. The procedure and model of this reverse engineering in this article is established, presented and discussed. Following an overview of this development, the three hybrid TS. These are the hybrid vehicle power system based on the application of CVT system, then hybrid planetary gear transmission unit with continuous variation of the transmission ratio and hybrid test device for gear flank failure probability testing. The level functional characteristics and behavior, including structure, are significantly increased in comparing to existing similar TS. In the sense of TS innovation this are design alternatives only and belongs to the thread level of innovation.

#### ACKNOWLEDGMENT

This article is a contribution to the Ministry of Education, Science and Technology Development of Serbia funded project TR 035006.

#### REFERENCES

- [1] Orloff, M.A. (2006). *Inventive thinking through TRIZ – A practical guide*, Springer – Berlin.
- [2] Pourmohamadi, M., Gero, J. (2011) Linko-grapher: An analysis tool to study design protocols based on FBS coding scheme, *e-Proceeding s of the International Conference on Engineering Design – ICED-11*, Copenhagen 2011. (DS68\_2-558)
- [3] Rovida, E., Bertoni, M. and Carulli M. (2009) About the use of TRIZ for product-service development, *e-Proceeding s of the International Conference on Engineering Design – ICED-09*, Stanford 2009. (1-133).
- [4] Ognjanović, M., Babić, J., Vasin, S. (2013) Linking of function carriers with physical contradictions, - *e-Proceedings of the 19<sup>th</sup> International Conference on Engineering Design – ICED-13*, Sungkyunkwan University, SEOUL-Korea, August 2013
- [5] Ognjanovic M., Vasin S., Ristic M.: Hybrid and reverse engineering in actual design of technical systems, - *Proceedings of the Eight International Symposium KOD 2014-Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering*, Balatonfured, Hungary, pp 33-40.
- [6] Hohn B.-R., Future transmissions for wind turbines, *Mechanism and Machine Science* Vol.13, pp. 99-111, 2013
- [7] Vasin S., Ognjanović M., Miloš M.: Gear Drive Unit with Continual Variation of Transmission Ratio – Proceedings of the VIII International Conference “Heavy Machinery-HM 2014”, Zlatibor, 25-28 June 2014, pp E1-E6.
- [8] Ognjanovic M., Ristic M., Vasin S.: Test Device for Symultaneous Probabilistic Testing of Gear Flank Endurance, - *Proceedings of the 31<sup>th</sup> Danubia-Adria Symposium on Advances in Experimental Mechanics – DAS-31*, Kempten, Germany 2014, pp 248-251.





## **AUTOMATION IN SMALL SERIES BATCH PRODUCTION. A CASE STUDY**

**Lubomir Dimitrov<sup>1</sup>, Spas Spasov<sup>2</sup>**

*Abstract: Nowadays products could be described as products with decreased life cycle and increased number of variants in small series. In order to be on the market or to keep the market niche, companies have to be flexible in production, to keep high quality and relatively low prices. This could be done by the use of special approaches and techniques such as LEAN approach, Computer Integrated Manufacturing approach (CIM), Flexible Manufacturing Systems (FMS), Product Lifecycle Management Systems (PLM), Enterprise Resource Planning Systems (ERP) and others. In this paper the experience in single and small series batch production in a factory in Bulgaria is presented as a case study. The Bulgarian company "HES" which is a medium size enterprise, deals with the design and production of hydraulic cylinders, hydraulic pumps, hydraulic motors and other hydraulic elements. The main specific of this production is the small number of elements in a series and the production can be determined as a single and small size batch production. These specifics and the requirement of flexibility, low cost and high quality demand implementation of new innovative technologies in design, production, assembly and testing of the goods produced by the company.*

*Key words: automation, batch production, classification*

### **1. INTRODUCTION**

At the beginning of industrial revolution in the XVIII century the main goal was to increase the number of goods to be produced in order to reduce their price [1]. In the following years industrial machines were change so that they could produce different goods with small adjustment only. This corresponded to people's willingness to be unique, different from others. Finally this process let to the modern industrial production which is characterized by:

- Demassovization, i.e. decreased of number of products produced in series. As a result, most of modern industry production can be described as small series batch production.

---

<sup>1</sup> Prof. Lubomir Dimitrov, Bulgaria, Technical University of Sofia (CA), lubomir\_dimitrov@tu-sofia.bg

<sup>2</sup> Eng. Spas Spasov, Bulgaria, HES Pls, spas.z.spasov@gmail.com

- Reduction of the time needed for commodity production, which is a result of the severe competition on the market and need of very fast introduction of new products.
- High quality of products, which increases requirement to the products design and to the production equipment;
- Reduction of products prime cost: it is important to reduce the cost in such a way that small series products can compete with mass production. At the same time the lower product cost must correspond to their high quality.

These features are satisfied in nowadays industry by employing highly productive reconfigurable equipment (Flexible Manufacturing Systems - FMS) with proper software for planning, designing and production: Enterprise Resource Planning systems (ERP) [2,3,4] and Product Lifecycle Management systems (PLM). Very often all this is called Computer Integrated Manufacturing – CIM [5,6].

On the other side we may say that the milestone of automation in small series batch production is group technology philosophy in design, manufacturing and planning [7,8,9].

## **2. CIM IN SMALL SERIES BATCH PRODUCTION**

The term “Computer-Integrated Manufacturing”, or CIM was introduced by Dr. Joseph Harrington in 1979 in his book with the same name [8]. Until the 1970s, the most aggressive and successful automation was seen in production operations [8,9,10,11]. Discrete parts manufacturing used highly mechanized machines that were driven and controlled by cams and complex devices such as automatic screw machines. Process manufacturers made use of these cam-driven controllers and limit switches for operations such as heat treating, filling and canning, bottling, and some others. The historical approach to automation was focused on individual activities that result in the incorporation of large amounts of computerized activities [6]. In the 1980s, managing information became an important issue. Lately, because of contribution of many researchers and practitioners from universities and from industry, CIM has become a very challenging area. Different people from different disciplines proposed their understanding about CIM. They use their knowledge to solve different problems in industry practice and to contribute the development of CIM methodologies and theories. And finally, nowadays one can't imagine industry and production without information and communication technologies.

Each manufacturing enterprise has a unique set of business processes that is performed in order to design, produce and market the enterprise's products. But no matter how unique an enterprise or its set of processes is, every enterprise shares the same set of high level objectives as follow:

- Develop and design products and manufacturing processes
- Manage manufacturing finance and accounting
- Develop enterprise directives and financial plans
- Conduct manufacturing operations
- Manage external demands

Computer Integrated Manufacturing puts into harness information system technology to integrate these manufacturing and business objectives. When implemented properly, CIM can deliver increased productivity, cost efficiency and responsiveness throughout the enterprise. CIM accomplishes this by addressing each of the major functional areas of the manufacturing enterprise:

- Marketing

- Engineering and Research.
- Production Planning
- Plant Operations
- Physical Distribution
- Business Management

Integrating these functions and their resources requires the ability to share and exchange information about the many events that occur during the various phases of production. All production systems must be able to communicate with the other information systems throughout the enterprise.

### **3. HES PLS**

Hydraulic Elements and Systems (HES Pls) is a company for production of hydraulic cylinders and some other hydraulic elements. The company is located in South East of Bulgaria. During last decade, HES increases the volume of production up to 8 times. HES is among the first 50 Bulgarian companies in sale and is a significant player on the market of hydraulic cylinders in Europe and in the world.

The global economic crises forces industrial companies like HES to reorganize their production in order to be more flexible, to produce cheaper products at relatively good quality. The main characteristic of HES market is that his customers are companies that need small number of items, even a single piece. Therefore we may specify HES production as single or small series batch production. It is not a secret that the large series have been ordered and produces in Far East and mostly in China or India. In order to keep his customers and in order to be on the market HES must offer a wide range of hydraulic elements and to deliver the required items fast, cheap, in small quantities and in high quality. This is the company market niche – single, small and medium size batch production.

### **4. GROUP TECHNOLOGIES**

In the basis of automation and increasing of efficiency in small series batch production is group technology approach [9,10,12]. The idea of it is in grouping of products (elements, parts of elements, slugs, machines etc.) that have similarities in functions, geometry, manufacturing process or others. Generally speaking, group technology bases on a general principle that many problems are similar and by grouping similar problems, a single solution can be found to a set of problems, thus saving time and effort.

In our case the group technology approach is applied to all steps of the product life cycle: design, production (including assembly and testing), purchasing and planning [13,14,15]. In each of these cases we arrange groups of similar features in order to facilitate each of the processes mention above. In this way we classify features in groups, sub groups and elements.

The core of group technology approach is the identification, classification and typification of elements, products or technologies.

*Identification* of an object or process requires an original name (or number) and specification of identifying parameters as follows: define the parameter, limit the parameter deviations, give the parameter current value.

*Classification* – a process of arrangement of objects (or processes) in groups according to their attributes. The result is a “classification structure”. It usually has “hierarchical” structure - attributes inherit characteristics from the above level. Fig.1 illustrates a structure of hydraulic cylinders classification.

*Typification* is a process of determination of a representative object (or process) in a group. This is the final step of any classification. A “representative object” is the last unit in a classification. Which object can be a representative depends on the aim of the classification and it could be: the most common object in the group or the most complicated element in the group.

#### 4.1 Group technologies in design

First the stage of design was automated by the use of CAD/CAM/CAE systems. All cylinders, produced in the factory were divided into groups (were classified) as shown in Figure 1 [12]. At the end of the classification we have a “representative parameterized cylinder” (Parameterized Cylinder – PC). This “Parameterized Cylinder” employs main parameters of its group.

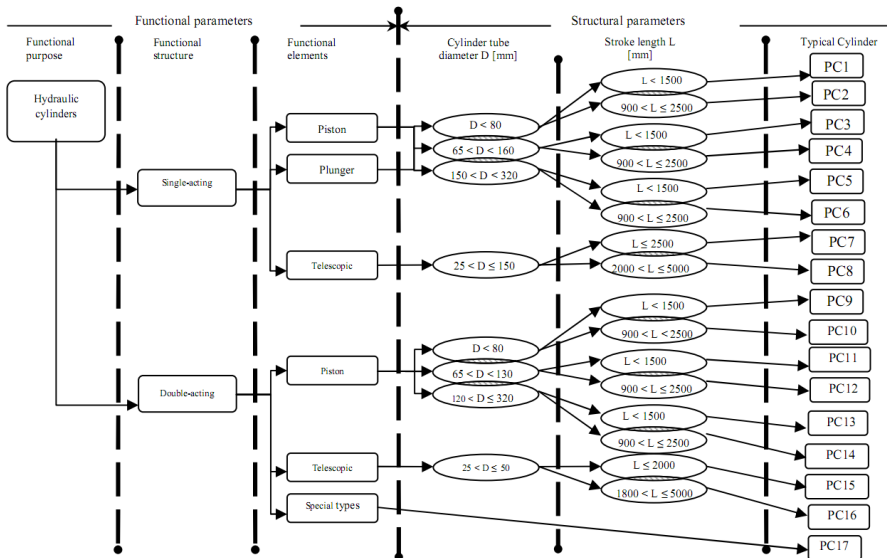


Figure 1. Structure of hydraulic cylinders classification

The main parameters of each “Parameterized Cylinder” are specified and the developed models are analyzed. As an example, a parameterized model of a hydraulic piston cylinder is shown on figures below. Figure 2 illustrates the block scheme used for the parameterization of PC1. Figure 3 illustrates the same assembled cylinder (on the left) with the stress analysis on the right [12].

Similar classifications have been made for all details produced in the factory and, what is very important, for the entire infrastructure.

All elements of the assembly are controlled by the local PLM system SEMBA, as illustrated in Figure 4. This figure shows an example of a single acting piston cylinder. In this case SIEMENS Teamcenter PLM software is used [12].

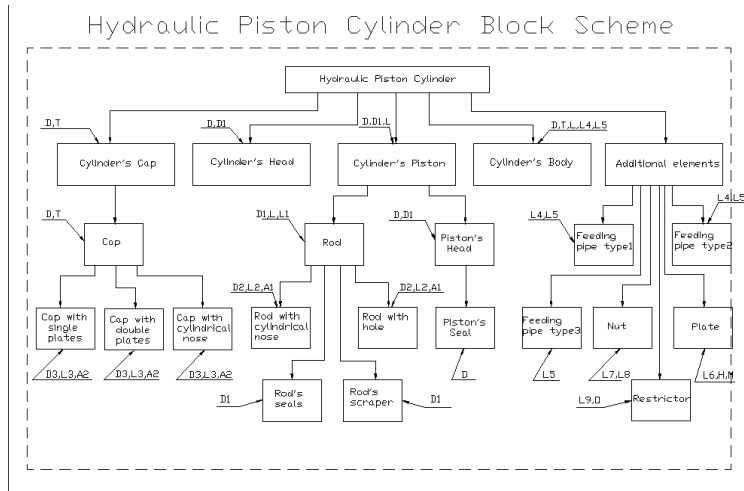


Figure 2. Parameterization block scheme for hydraulic piston single acting cylinder.

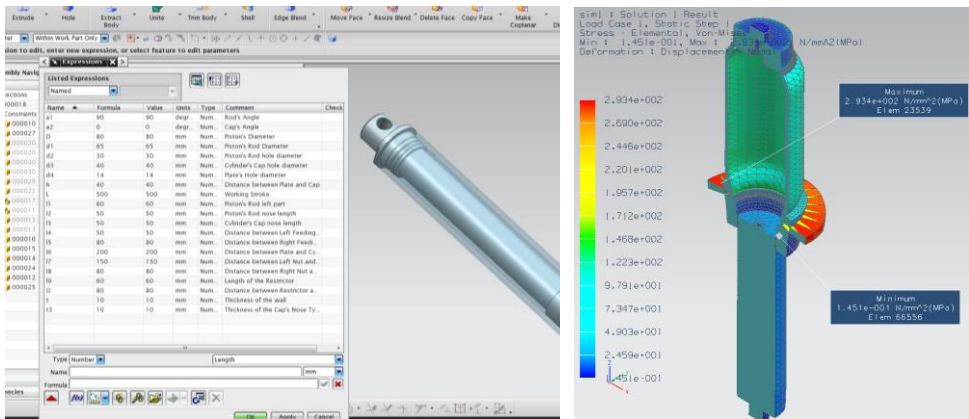


Figure 3. Design and stress analysis of PC1

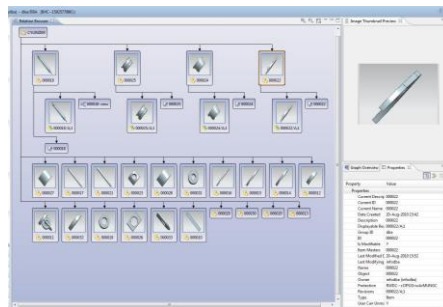


Figure 4. Temcenter Assembly drawing of parameterized hydraulic cylinder

## 4.2 Group technologies in production and flexible manufacturing systems

Initially term “group technology” was associated with manufacturing [7]. The idea is in manufacturing of a group of similar details in a group of machineries with a

similar process as for one particular detail. This could be achieved by the use of “Cellular Manufacturing Systems” [17,18] or “Flexible Manufacturing Systems” [10,11,19] depending of the equipment available. In Cellular Manufacturing Systems machines are grouped together according to the families of details produced. The major advantage is that material flow is significantly improved, which reduces the distance travelled by materials, inventory and cumulative lead times. In the beginning HES arranges the production according to the Cellular Manufacturing principles because there were no suitable machines. Lately, new machines with CNC system have been introduced and the type of production was changed to flexible manufacturing (FMS). In these systems flexibility means the ability to deal with slightly or greatly mixed details allowing variation in their assembly and variations in process sequence, change the production volume, and change the design of certain product being manufactured. The main advantage of an FMS is its high flexibility in managing manufacturing resources like time and effort in order to manufacture a new product.

Generally Flexible Manufacturing Systems consist of three main systems:

- CNC machines;
- automated handling system;
- information system, which controls material movements and machine flow.

### **4.3 Group technologies in assembly and testing**

The same group technology approach was applied to the processes of assembly and testing. Ten Assembly-Testing Flow Lines (ATFL) have been organized in the factory [14,15], as shown in Figure 5. The main role in arranging these assembly-testing lines plays the classification of production. The proper grouping of products allows to use all advantages of group technologies and significantly to reduce the time and cost of production. Analysing the production in the factory, a classification scheme is suggested [14,15]. It covers from one side the approximate annual production list and from the other site - the equipment needed for assembly and testing of a certain group of hydraulic cylinders.

Hydraulic cylinders are classified in the beginning according their functions: single acting and double acting. Type of action requires a special equipment to be installed in lines where these cylinders will be assembled and tested. Next branch in the classification system is devoted to the type of cylinders: piston type, plunger type, telescopic type, and special type. Following, cylinders are subdivided according their sizes. Main considerations taken into account in final arrangement in assembly-testing lines are:

- Big cylinders are heavy and in their assembly-testing line a lifting device should be integrated;
- For long cylinders a horizontal assembly-testing stand is required while for the short cylinders assembly the assembly stands could be vertical.
- Assembly and testing of small (in diameter) and short cylinders could be organized in one line. Stands for them could be with more than one testing place, so in that way the efficiency could be increased.
- Telescopic cylinders have specifications in assembly and testing and they have to be on a separate line.
- There are specifications in assembly and testing in double acting cylinders, therefore they will another separate line.

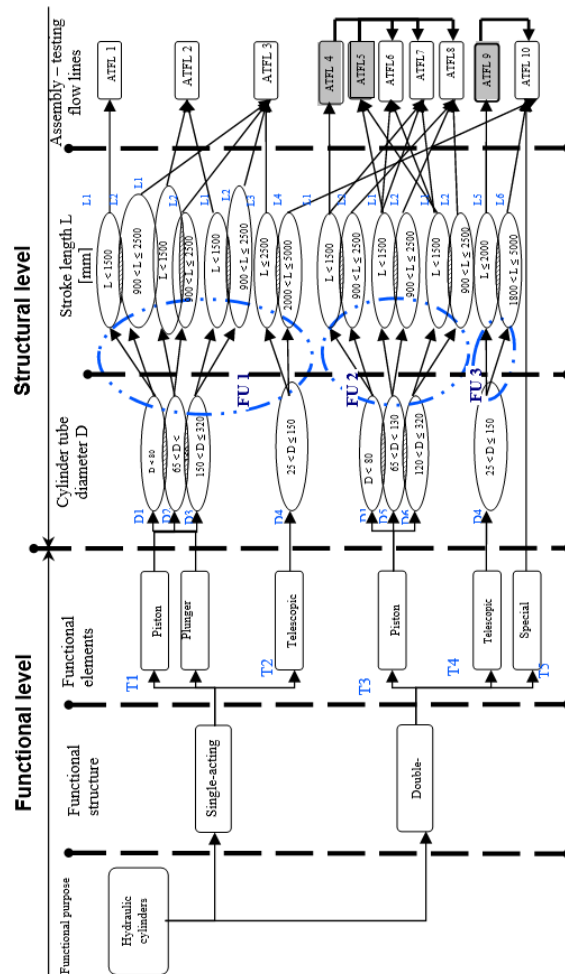


Figure 5. Hydraulic cylinders classification and proposed options for assembly and testing

## 5. CONTROLLING SOFTWARE

All processes in the factory are controlled by the developed in the factory PLM system called SEMBA [16]. Use of such systems shortened the time and helps to avoid possible mistakes. This system covers the process of managing the entire lifecycle of a product from the appearance of the initial idea, through engineering design and manufacture, to service and disposal of manufactured products. It integrates people, data, processes and business systems. It communicates with other computer systems such as CAD, CAM, ERP, PDM and others thus providing an integrated view of all business processes in the factory in real-time by using common databases.

## 6. CONCLUSION

High efficiency and relatively low cost in small series batch production could be achieved by the use of Group Technologies, Computer Integrated Manufacturing

and Flexible Manufacturing Systems. Through applying these techniques in HES factory since 2001 the following goals have been achieved:

- The production volume was increased 2,5 times;
- The number of workers has been decreased 3,1 times;
- The number of customers claims was decreased up to 0,02%;
- The educational level of the employees was significantly improved.
- The production cycle was decreased from about 4 weeks to about 5-6 days;

## REFERENCES

- [1] Stearns, Peter N. (1998). *The Industrial Revolution in World History*. Westview Press.
- [2] Daneva, M. (2004). ERP Requirements Engineering Practice: Lessons Learnt, *IEEE Software*, 21(2), p. 26-33.
- [3] Ross, J., Vitale, M. (2000). The ERP Revolution: Surviving vs. Thriving, *Information Systems Frontiers* 2(2), p. 233-241.
- [4] Monk, E., B. Wagner (2009). *Concepts in Enterprise Resource Planning*, 3<sup>rd</sup> ed., Boston
- [5] Thacker, Robert M. (1989). *A New CIM Model*. Dearborn, MI: Society of Manufacturing Engineers.
- [6] Rehg, J. A., Kraebber, H. (2004). *Computer Integrated Manufacturing*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
- [7] Majchrzak A., J. Cotton. (1988). A longitudinal study of adjustment to technological change: From mass to computer-automated batch production. *Journal of Occupational Psychology*, v. 61/1, p. 43–66.
- [8] Harrington, J. (1979). *Computer Integrated Manufacturing*. Krieger Pub Co.
- [9] Gould, Lawrence S. (1986). What's the technology in GT? *Managing Automation*, July 1986, pp. 51-56.
- [10] Groover, M.P. (2007). *Automation, production systems and computer-integrated manufacturing*. 3<sup>rd</sup> edition, Prentice Hall.
- [11] Zhang, Hong-Chao; Alting, Leo, (1994). *Computerized manufacturing process planning systems*. Springer.
- [12] Swamidass, P.M., (2000). *Encyclopedia of production and manufacturing management*. Springer.
- [13] Dimitrov L., P. Nedyalkov, A. Todorov. (2011). Automation in Design and Analysis of Hydraulic Cylinders. *Proceedings of the 7th International Conference Research and Development of Mechanical Elements and Systems*, Zlatibor, Serbia, p. 209-212.
- [14] Dimitrov, L., R. Shikov, H. Bankov, Klochkova, M. (2009). Automated Assembly of Hydraulic Cylinders in Small and Medium Size Production, *Proc. 32<sup>nd</sup> Congress with Int. Participation HIPNEF*, Vrnjačka Banja, Serbia, p. 25-33.
- [15] Dimitrov, L., Yordanova, S. (2011). Optimal Fuzzy Logic Based Enterprise Resource Planning System for Hydraulic Cylinders Assembly. – *International Journal of Systems Application, Engineering & Development* (UK) 5.5, p. 634-641.
- [16] СЕМБА. Наръчник за потребителя. Ямбол, 2008.
- [17] Irani, Shahrukh. (1999). *Handbook of Cellular Manufacturing Systems*, New York, NY: John Wiley & Sons, Inc.
- [18] Hyer, Nancy and Wemmerlov, Urban. (2002). *Reorganizing the Factory: Competing through Cellular Manufacturing*, Portland, OR
- [19] Tolio, T. (2009). *Design of Flexible Production Systems – Methodologies and Tools*. Berlin: Springer.





## MACHINE TOOLS SELECTION USING AHP METHOD AND MULTIOBJECTIVE OPTIMIZATION

Predrag Ćosić<sup>1</sup>

*Abstract: The application of the AHP method in solving multiple criteria decision making is illustrated through a practical example using Expert Choice (EC) software based on the AHP method. A real machine tools selection problem set in the EC by entering the real data is presented. The finally obtained results are analyzed. In the previously conducted research a strong correlation was found between the features of the product drawing and production time, which resulted with 8 regression equations. They were realized using stepwise multiple linear regression. The applied criteria included: minimum production time, maximum work costs/total costs ratio for a group of workpieces. Independent values that maximize the work costs/total costs ratio and minimize production times were determined. The obtained regression equations for the parts production time and work costs/total costs ratio are included in the objective functions to reduce production time and increase the work costs/total costs ratio at the same time. The values of decision variables that minimize production time and maximize work costs/total costs ratio were determined.*

*Key words: Machine Tool Selection, AHP Method, Stepwise Multiple Linear Regression, Group Technology, Multiobjective Optimization*

### 1. INTRODUCTION

An experienced process planner usually makes decisions based on comprehensive data without breaking them down into individual parameters. This often results in wrong estimates.

A decision on the machine tool selection is one of the essential parts of the production process for many companies [1]. Choosing a machine tool can be considered as a multiple criteria decision problem, since it is necessary to choose the best from a number of different alternatives offered, in the presence of many usually conflicting criteria. One of the most popular methods for multiple criteria decision making is Analytic Hierarchy Process – AHP.

In this paper our attention is also focused on the relationship between product features (geometry, complexity, quantity...) and production times and costs. It has been proved that it is possible to make estimation of production time applying classification, group technology, stepwise multiple linear regression as the basis for accepting or

---

<sup>1</sup>Prof. Predrag Ćosić, PhD, Zagreb, University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering, predrag.cosic@fsb.hr

rejecting of orders, based on 2D drawings and the set basis for automatic retrieval of features from the background of 3D objects and their transfer to regression models.

However, some constraints have been set up: application of standardized production times from the technical documentation or estimations made using CAM software, type of production equipment/technological documentation determines whether it will be single- or low-batch production. Initial steps have been taken regarding medium-batch, large-batch or mass production.

## 2. MULTIOBJECTIVE OPTIMIZATION

If the optimization of regression curves is to be applied (independent variables – product features, dependent variable – production time), it is hard to explain what it would mean for the minimum or maximum production time for a given group of products. The minimum production time could mean a higher productivity, but we do not know about the profit. The maximum production time could suggest that a higher occupancy of capacities may mean higher earnings, although it may not be so. This dual meaning has led us to introduce multiple objective optimization for a new class of variables that differently classify our products. A response variable (dependent variable) can assume several meanings: *maximum profit per product*, *minimum delivery time* (related to production time, and also to organizational waste of time, production balancing...), *ratio between the production cost and the costs of product materials*, *ratio between the production cost and the ultimate production cost*. Thus, the problem-solving approach has become more complex, and is no longer a mere result of intuition and heuristics, but it is a result of more exact assessment of 'common' optimum for more set criteria.

### 2.1 Theoretical background

The aim was to obtain, by considering a series of regression equations, the optimum for multiobjective optimization (*minimal production time*, *labor cost/material cost ratio* or *labor cost/total cost ratio*) for the selected group of products. As multiobjective optimization requires the same variables ( $x_1, \dots, x_7$ ), it was necessary to make new grouping of the basic set (302 workpieces) using new classifiers. New classifiers were defined W(1-5), based on 5 basic features:

W1–material: 1(polymers)-5(alloy steel), W2–shape: 1(rotational)-5(complex), W3–max. workpiece dimension: 1(mini  $V < 120\text{mm}$ )-5( $V > 2000\text{ mm}$ ), W4–complexity, BA – number of dimension lines: 1(very simple  $BA \leq 5$ )-5(5 –very complex  $BA > 75$ ), W5–treatment complexity: 1(very rough)-5(very fine). The conditions were defined based on the range of data about the number of dimension lines on the considered sample of 415 elements. A classifier that is being developed is based on 5 basic workpiece features. For the purpose of the research, a group of workpieces (W1-W5) 41113 was selected for further analysis. The code 41113 means: steel – rotational – small – very simple – commonly complex - workpieces. From the available database, the minimum and maximum values for independent variables, and dependent variable ( $Z_1$ –production time), and derived variable  $Z_2$  were taken (Table 1.).

Table 1. *Minimum and maximum values of selected variables*

PRODUCT TYPE - 41113									
min	2.90	0.100	1.00	11.21	0.22	0.0132	0.001	6.00	0.92
max	100.00	0.400	5.00	19.63	12.50	0.3972	0.820	33.00	1.00
variable	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$Z_1$	$Z_2$

Variable description	Workpiece outer diameter	Narrowest tolerance of measures	Scale of the drawing	Material mass/strength ratio	Wall thickness/length h ratio	Product surface area	Material mass	Production time	Ratio of work costs/total costs
unit of measure	mm	mm	number	number	number	10 <sup>4</sup> mm <sup>2</sup>	kg	h/100	number

Two regression equations,  $Z_1$  (production time) and  $Z_2$  (labor cost/total cost ratio), were selected.

For them multiobjective optimization was also performed. In order to use the same types of variables, new grouping was made using specifically adjusted classifiers.

$$-13.490042 \quad \mathbf{Z}_1 = -13.490042 + 0.86652065X_1 - 0.1993556X_2 + 0.75343156X_3 + 1.41593567X_4 - 1.8669075X_5 + 4.83640676X_6 - 51.274031X_7 \quad \text{Multiple R} = 0.92212166$$

$$0.990439 \quad \mathbf{Z}_2 = 0.990439 + 0.000238X_1 - 0.0039X_2 + 0.00046X_3 + 0.000794X_4 - 0.00107X_5 - 0.04466X_6 - 0.08551X_7 \quad \text{Multiple R} = 0.99207$$

## 2.2 Multiobjective model

The general multiobjective optimization problem with  $n$  decision variables,  $m$  constraints and  $p$  objectives is [2]:

$$\text{maximize } Z(x_1, x_2, \dots, x_n) = [Z_1(x_1, x_2, \dots, x_n), Z_2(x_1, x_2, \dots, x_n), \dots, Z_p(x_1, x_2, \dots, x_n)] \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{s.t. } & g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m \\ & x_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (2)$$

where  $Z(x_1, x_2, \dots, x_n)$  is the multiobjective objective function and  $Z_1( )$ ,  $Z_2( )$ ,  $Z_p( )$ , are the  $p$  individual objective functions. The step method is based on a geometric notion of best, i.e., the minimum distance from an ideal solution, with modifications of this criterion derived from a decision maker's (DM) reactions to a generated solution. The method begins with the construction of a payoff table.

## 2.3 Results

On the basis of the considerations of regression functions in previous sections, the problem of multiobjective optimization with minimization of the objective functions  $\mathbf{Z}_1$  and  $\mathbf{Z}_2$  with related constraints (Eq.3 to Eq.5) is defined.

$$\begin{aligned} \text{Min } \mathbf{Z}_1 = & -13.49004192 + 0.866520652 * \mathbf{x}_1 - 0.199355601 * \mathbf{x}_2 + 0.753431562 * \mathbf{x}_3 + 1.415935668 * \mathbf{x}_4 - \\ & 1.866907529 * \mathbf{x}_5 + 4.836406757 * \mathbf{x}_6 - 51.27403107 * \mathbf{x}_7 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{Min } \mathbf{Z}_2 = & -0.990438731 - 0.000238475 * \mathbf{x}_1 + 0.003897645 * \mathbf{x}_2 - 0.00045981 * \mathbf{x}_3 - 0.000794225 * \mathbf{x}_4 + \\ & 0.0010738 * \mathbf{x}_5 + 0.044664232 * \mathbf{x}_6 + 0.085514412 * \mathbf{x}_7 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\mathbf{x}_1 \leq 100; \quad \mathbf{x}_2 \leq 0.4; \quad \mathbf{x}_3 \leq 5.0; \quad \mathbf{x}_4 \leq 19.63; \quad \mathbf{x}_5 \leq 12.50; \quad \mathbf{x}_6 \leq 0.3972; \quad \mathbf{x}_7 \leq 0.820 \quad (5)$$

The values of objective functions  $Z_1$  and  $Z_2$  in the extreme points of the set of possible solutions (feasible region) are given in Table 2.

It is visible from the table that there is no common set of points  $(x_1, \dots, x_7)$  where the functions  $Z_1$  and  $Z_2$  have extreme (maximum) values, and thus the need for optimization of the given problem is justified.

Table 2. Values of the decision variables and the objective functions

Extreme point	Decision variables							Objective functions	
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$Z_1(x_1, \dots, x_7)$	$Z_2(x_1, \dots, x_7)$
A	100	0	0	0	0	0	0	<b>73.1620</b>	-1.0143
B	0	0.4	0	0	0	0	0	-13.5698	-0.9889
C	0	0	5	0	0	0	0	-9.7229	-0.9927
D	0	0	0	19.63	0	0	0	14.3048	-1.0060
E	0	0	0	0	12.50	0	0	-36.8264	-0.9770
F	0	0	0	0	0	0.3972	0	-11.5690	-0.9727
G	0	0	0	0	0	0	0.820	-55.5347	<b>-0.9203</b>

Since in the given problem there are two objective functions, it is necessary to make calculation of the second compromise solution. It has been decided that the previous value for  $M_1 = 73.1620$  is to be reduced for the value of 33.1620, and thus the new value for  $M_1 = 40$ . The results of the second compromise solution are given in Table 3.

Table 3. Results of the second compromise solution

$x_1 = 3.37147$ ; $x_2 = 0.3711865$ ; $x_3 = 4.553035$ ; $x_4 = 18.92068$ ; $x_5 = 0.2269908$ ; $x_6 = 0.2826709$ ; $x_7 = 2.965111E-2$ ; $\lambda = 7.682257E-2$ <b>Min <math>Z_1(x_1, \dots, x_7) = 19.0013</math>; Min <math>Z_2(x_1, \dots, x_7) = -0.9915</math>; Max <math>Z_2(x_1, \dots, x_7) = 0.9915</math></b>
---

### 3. MACHINE TOOL SELECTION – AHP METHOD

Machine tools are being selected from the existing range of machines in the company production plant. The decision maker needs to define the most important criteria. This also requires the existence of the input data for these criteria from a database of available machines in the company production plant. Some of the most commonly used criteria for choosing a machine tool are listed below.

1. **Production quantity** – It significantly affects the machine tools selection in the sense of economic parameters such as price of the machine, the cost of materials and price of the tools used. It also affects the delivery time and batch size of workpieces.
2. **Machining type** (milling, turning, drilling...)
3. **Geometrical features of the machine** - Selection of the machine tool according to this criterion depends on the shape and dimensions of preparation.
4. **Machine availability** - Influential criterion since it should meet the requirement of the desired product delivery time.
5. **Complexity of the workpiece** – It is related to the criteria of productivity and automation. However, the authors of this work consider this criterion important because it includes the important product-related subcriteria such as number of

required machining axes, number of required production operations, number of required tightenings, production time for one piece.

6. **Productivity** - The most important criterion viewed from the economic standpoint. Production costs should be as low as possible so that the company could make a profit on a given product, which depends on the optimal operating conditions, the price of working hours and the shortest possible production time for one part.
7. **The automation level** - Closely linked to the criterion of productivity. The productivity grows with the increase of the level of automation and the number of workpieces in the series.
8. **Accuracy** - This criterion implies the positioning accuracy of the workpiece which depends on the tightening of the workpiece and describes the deviation of the value measured from its actual value, and the repeatability read of measurements that refers to the accuracy of the axis.

### 3.1 AHP Method

This method is based on a hierarchical structure, which means that complex decision problems are decomposed into simpler elements, which are then linked into a model with a multi-level, hierarchical structure.

### 3.2 Setting criteria priorities by paired comparisons

The first step includes defining the problem and creating the hierarchical model of the decision problem state. In decision making a problem is decomposed into its constituent parts, i.e. simpler components. This structure consists of a goal at the highest level, criteria and subcriteria at lower levels, and alternatives at the bottom of the model. In this step the decision maker has to determine for each pair of criteria, for example, how much is the criterion *A* more important in relation to the criterion *B*. In each node of the hierarchical structure of the problem the elements of this node are being mutually compared by using the Saaty scale which is shown in Table 4.

Table 4. *The Saaty scale*

The Fundamental Scale for Pairwise Comparisons		
Intensity of Importance	Definition	Explanation
1	Equal importance	Two elements contribute equally to the objective
3	Moderate importance	Experience and judgment slightly favor one element over another
5	Strong importance	Experience and judgment strongly favor one element over another
7	Very strong importance	One element is favored very strongly over another; its dominance is demonstrated in practice
9	Extreme importance	The evidence favoring one element over another is of the highest possible order of affirmation
<small>Intensities of 2, 4, 6, and 8 can be used to express intermediate values. Intensities 1.1, 1.2, 1.3, etc. can be used for elements that are very close in importance.</small>		

The Saaty scale is a ratio scale that has five degrees of intensity and four intermediate steps, each of which corresponds to a value judgment about how many times one criterion is more important than another.

### 3.3 Use of Expert Choice (EC) Software

The program provides different possibilities of conducting sensitivity analysis and is especially effective at solving the problem of multi-criteria decision making. The EC allows users to create different reports and is particularly useful for "what-if" scenarios in strategic planning and project budget.

### 3.4 Case Study – Machine Tool Selection

This section presents a practical application of Expert Choice 11 software (EC 11) in the selection of the machine tool for a specific product (workpiece). The case study uses the real data related to products and machine tools from Metal Product Ltd, an electrical equipment production company, located in ZAGREB. The case study considers a machine tool selection problem for the real product “Body MP1030”, Figure 1. The production conditions are the following:

- Two eight-hour shifts, five days a week, 80 working hours per week,
- Production quantity: 50,000 pieces,
- Delivery time: 6 months,
- The facility has three vertical milling machining centres suitable for manufacturing of this product,
- The task is to choose the best machine among the available ones.

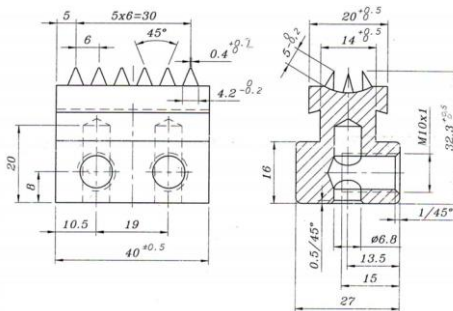


Figure 1. The Body 1030 – Product sketch

Table 5 shows the real data database with the three machines and their characteristics. For this case study three scenarios will be considered. They are shown in Table 6. The difference between these scenarios is in different machine availability for each scenario.

Table 5. Database of the milling machines

No	MACHINE TOOLS:		Super VF3	VCE 500	DMC 65V
1	General data	Company	HAAS	MICRON	DECKEL MAHO
		Machine type	Vertical Machining Centre	Vertical Machining Centre	Vertical Machining Centre
		Dimensions of the machine (height x weight x length)	2750x3900x2700	2600x3000x2600	3420x3250x2420
		Axis number	3+1	3	3
2	Main spindle	Maximum power spindles [kW]	22.4	15	25
		Maximum speed [rot/min]	12000	7000	12000
3	Tool head	Number of tools positions	24	20	30
4	Additional functions		A-axis; Dividing head; Rinse the spindle; Quick tool change (2.4 s)	-	Changing the palette (2x) - 5 s; Rinse the spindle
5	Working area	Table length [mm]	1219	600	850
		Table width [mm]	457	450	540

		T-slot [mm]	16 (5x)	16 (5x)	14 (5)
		The maximum permissible table load [kg]	800	600	250
6	Axis travel and feed rates	X axis [mm]	1016	660	850
		Y axis [mm]	508	350	500
		Z axis [mm]	635	520	400
		Working feedrate [mm/min]	21,000	16,000	20,000
		Fast feed rate [m/min]	35	22	30
7	Accuracy	Positional accuracy (X axis; Z axis)[ $\mu$ m]	0.005	0.005	0.005
8	Working hour cost, kn/h		133.50	116.40	99.70

Table 6. Three scenarios with different machine availability

Machine tool	Super VF3	VCE 500	DMC 65V
Scenario 1	70 %	80 %	80 %
	In this scenario two alternatives are equal and have the highest priority according to the criterion of availability: DMC65V – the best working hour price and the best manufacturing time. VCE500 – the second-ranked alternative with respect to the working hour price and number of axis machining. - This scenario is set up this way to check the sensitivity of the EC program to the defined weights of the criteria. It is expected to select the alternative DMC65V.		
Scenario 2	70 %	80 %	50 %
	In this scenario the percentage of the availability of the alternatives DMC65V, which is assumed to be the best, is reduced on purpose, while the availability of the remaining alternatives remains the same. The aim is to demonstrate the ability of the program EC to select the next following best alternative with a higher percentage of availability, but also the optimum values according to other criteria. It is expected to select the alternative VCE500 with the best availability and good working hour price.		
Scenario 3	80 %	80 %	50 %
	In this scenario the alternatives Super VF3 and VCE500 are equal according to the criterion of availability. The aim is to show how much the criterion of productivity affects the selection of alternatives in relation to the criterion of the automation level. It is expected to select the alternative Super VF3 because of the short manufacturing time, since this criterion is assigned greater importance.		

The problem is set in the EC software. The hierarchy and criteria that are important for solving this problem have been defined, Figure 2.

### 3.5 Assessing the weights of the criteria

Figure 3 shows pairwise comparisons of the main criteria of the problem. It is evident that the criteria of productivity and automation have the highest importance.

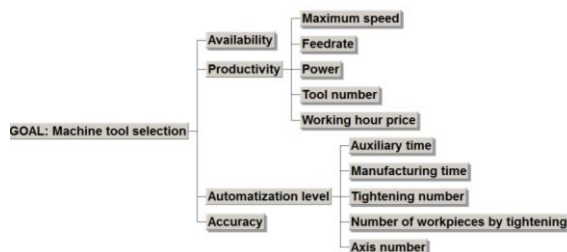


Figure 2. Hierarchical structure– machine tool selection for the product “Body MP1030“

with respect to: GOAL: Machine tool selection																			
1	Availability	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Productivity
2	Availability	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Automatization level
3	Availability	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Accuracy
4	Productivity	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Automatization level
5	Productivity	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Accuracy
6	Automatization level	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Accuracy

Figure 3. Assessing the weights of the criteria

### 3.6 Results for decision-making problems

Figure 4 shows the Model View window with the solution of decision-making problems under the first scenario. It is evident that the optimal solution is the machine DMC 65 V.

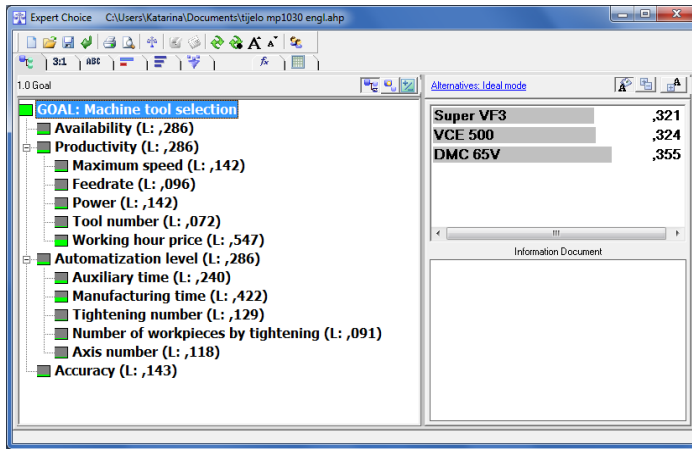


Figure 4. Model View window

## 4. CONCLUSION

The conclusions were made concerning the sensitivity of the program Expert Choice to the variation of defined factors, as well as its reliability and capacity to select the optimal alternative. The program demonstrated good sensitivity and the resulting solution to the given problem is in line with expectations. The paper presents research on the development of a model for the estimation of production time for unit production or medium size batch production. The following can be concluded: it is cost-effective to manufacture products with minimum outside diameter ( $x_1$ ), maximum (wider range) tolerance ( $x_2$ ), maximum scale ( $x_3$ ), maximum strength/mass ratio ( $x_4$ ), minimum of wall thickness/length ratio ( $x_5$ ), maximum product surface area ( $x_6$ ) and minimum mass of material ( $x_7$ ).

## REFERENCES

- [1] Saaty, T. L. Vargas, L. G. (2012), *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process*, Springer.
- [2] Cohon, Jared L (1978), *Multiobjective programming and planning*, Academic Press, Inc. New York.



# COMET<sub>a</sub> 2014

2nd INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

2nd - 5th December 2014  
Jahorina, B&H, Republic of Srpska



University of East Sarajevo  
Faculty of Mechanical Engineering  
Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications

---

## ***MANUFACTURING TECHNOLOGIES AND ADVANCED MATERIALS***





## SIMULACIJA PROCESA UREZIVANJA NAVOJA NA OSNOVU TESTOVA ORTOGONALNOG REZANJA

Mihajlo Popović<sup>1</sup>, Ljubodrag Tanović<sup>2</sup>

**Rezime:** U radu je prikazana procedura za simulaciju sila i momenta urezivanja navoja, koja se zasniva na transformaciji rezultata koji su dobijeni ortogonalnim rezanjem u koso rezanje. Obradom rezultata dobijenih eksperimentima ortogonalnog rezanja na strugu, statističkom analizom, izvršena je identifikacija skupa parametara rezanja koji su primenjivi za konkretan par materijala alata i obratka na svaki proces obrade rezanjem. Relacije između uglova ureznika u ravnima statičke i kinematičke geometrije, dobijene su analizom reznog dela ureznika sa pravim žlebovima, preko odgovarajućih transformacionih matrica nad koordinatnim sistemima ureznika, koristeći konvencije za njihov opis i predstavljanje koje se koristi i u problemima modeliranja tela, tj. kompjuterskoj grafici. Položaj i dužina glavnih i pomoćnih sečiva reznog dela ureznika preuzeta je sa parametarski definisanog CAD modela. Rezultati simulacije urezivanja navoja M10, prikazani su uporedo sa eksperimentalnim rezultatima urezivanja pri istim uslovima obrade.

**Ključne riječi:** Urezivanje, transformacija ortogonalno-koso rezanje, simulacija, CAD

### TAPPING PROCES SIMULATION BASED ON ORTHOGONAL CUTTING TESTS

**Abstract:** In this paper the procedure for the cutting forces and torque simulation in tapping is presented, which is based on the transformation of the results obtained by orthogonal to oblique cutting. Analyzing the results of orthogonal cutting experiments on lathe by statistical analysis, identification of a set of cutting parameters was made that is applicable for any machining process with a specific tool-workpiece material combination. Relations between the tap angles in tool-in-hand and the tool-in-use geometry, were obtained by analyzing the active part of straight fluted taps, through appropriate transformation matrix of the coordinate systems, using the conventions for their description and representation which are used in modeling problems of the body, ie. in computer graphics. The position and length of major and minor cutting edges was taken from the parametric defined CAD model. Simulation results for tapping with M10 tap are presented along with experimental results at the same conditions.

**Key words:** Tapping, orthogonal-oblique transformation, simulation

<sup>1</sup> Mr Mihajlo Popović, Beograd, Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, (CA), mpopovic@mas.bg.ac.rs

<sup>2</sup> Prof. dr Ljubodrag Tanović, Beograd, Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, ltanovic@mas.bg.ac.rs

## 1. UVOD

Odgovor na sve složenije zahteve koje nameće savremena industrija u vidu kompleksnosti proizvoda i smanjenja vremena izrade proizvoda nameće istraživački pravac koji je poslednjih godina označen kao virtuelni proces obrade [1].

Sušтина virtuelnog procesa obrade je da se proces obrade pre svoje fizičke realizacije u realnom svetu, simulira što realističnije u virtuelnom svetu kroz računarsku simulaciju. Računarska simulacija ima kao prvi cilj da za projektovanu tehnologiju obrade dela, pruži uvid u efekte procesa obrade i njegove izlaze. U ovom radu je težište stavljeno na analizu sila rezanja duž putanje alata.

Sve operacije rezanja dele iste principe mehanike rezanja, ali njihova geometrija i kinematika se razlikuju. U radu se polazi od razmatranja relativno jednostavnog procesa ortogonalnog rezanja u kome je sečivo upravno na pravac relativnog kretanja, a deformacije se javljaju u ravni, da bi se rezultati analize dalje koristili kao osnova za razvoj mnogo opštijeg slučaja kosog rezanja u kome je sečivo pod uglom različitim od  $90^\circ$  u odnosu na pravac relativnog kretanja, i to na primeru procesa urezivanja navoja. Ureznici i operacije urezivanja se smatraju za najsloženije i najmanje shvaćene rezne alate i procese obrade koji se koriste u praksi. Ureznik je višesečni alat, čija su sečiva po žlebovima prekidna.

Uspostavljanje analitičkih modela za simulaciju sila i momenta urezivanja navoja koji se bazira na geometriji i akciji sečiva u procesu urezivanja navoja, a na bazi rezultata ortogonalnog rezanja istom kombinacijom materijala alata i obratka razmatrano je u radovima [2, 3, 4 i 5], stim što većina autora razmatra uticaj glavnih sečiva ureznika. U ovom radu uzet je u obzir i uticaj pomoćnih sečiva ureznika.

## 2. TESTOVI ORTOGONALNOG REZANJA

Kod analitičkog modeliranja procesa obrade rezanjem prvi korak je definisanje procesa kao funkcije materijala obratka, geometrije i materijala alata, debljine strugotine i brzine obrade. Na ovaj način se dolazi do identifikacije parametara rezanja koji se koriste za simulaciju sila rezanja, momenata, snage i granica stabilnosti za određenu kombinaciju geometrije alata i materijala alata i obratka. Parametri rezanja se mogu odrediti koristeći mehaniku ortogonalnog rezanja ili mehanističke modele [5, 6, 7].

Praćenje sila/otpora u obradi rezanjem istraživači intenzivno koriste radi provere analitičkih modela procesa, otkrivanja otkaza alata i sl. U identifikaciji pokazatelja otpora rezanja (glavnog otpora i otpora prodiranja) izvršeno je ortogonalno rezanje cevastog priprema od legiranog čelika za cementaciju Č4320 prečnika 85 mm i debljine zida 2,1mm uzdužnim kretanjem. Korišćeni su alati sa četiri različita grudna ugla ( $5^\circ$ - $20^\circ$ ). Brzina obrade,  $v$ , varirana je u opsegu od 5 do 20 m/min čime je pokrivena većina zahvata obrade rezanjem korišćene grupe materijala i alatima od brzoreznog čelika prema tablicama preporučeni vrednosti [8]. Korak je variran od 0,01 do 0,15 mm/o, što pri ortogonalnom rezanju predstavlja i debljinu rezanog sloja  $h$ . Širina obrade jednaka je debljini zida priprema:  $b=2,1$ mm.

Za merenje otpora rezanja korišćen je dvokomponentni dinamometar (konstruisan i izrađen u Zavodu za mašine alatke Mašinskog fakulteta), merni pojačivači KWS 3082-A firme HBM, akvizicioni sistem kompanije NI - *National Instruments* koji se sastoji iz NI CompactDAQ USB cDAQ-9174 sa modulom NI 9215 za analogni ulaz napona  $\pm 10V$ , 16-o bitni sa 4 kanala i 100 kS/s/ch i laptop računar sa *Windows 7* operativnim sistemom i instaliranim softverom za akviziciju podataka *LabVIEW*. Na slici 1 prikazani su obradni i merno-akvizicioni sistem za merenje otpora

rezanja pri ortogonalnom rezanju na obradnom sistemu KNU revolver struga.



Slika 1. Prikaz obradnog i merno-akvizicionog sistema KNU struga

Prilikom izvođenja eksperimenata, uzimani su uzorci strugotine (slika 2), koja je numerisana i odlagana da bi se odredila njena debljina i na taj način odredio koeficijent sabijanja strugotine  $r_s$ .



Slika 2. Uzorci strugotine

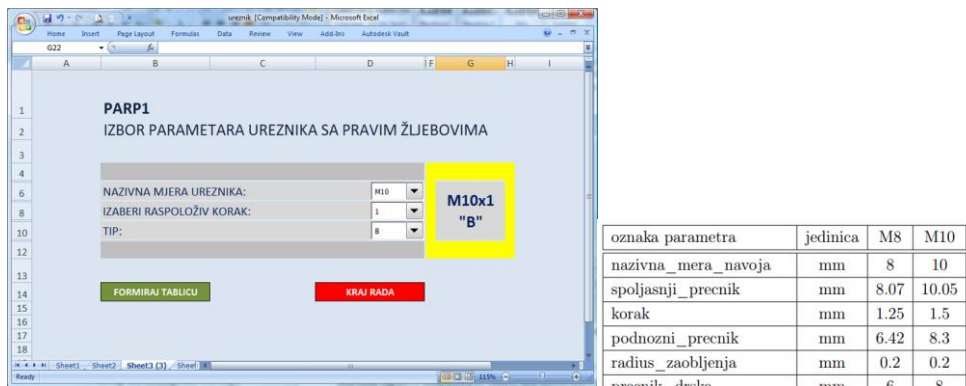
Na osnovu izmerenih sila i debljina strugotine, dolazi se do parametara potrebnih za analitički opis sila [7]:

- Osrednjena vrednost napona smicanja,  $\tau_s = 558 \text{ N/mm}^2$ .
- Ugao trenja  $\rho = 35.18 + 0.627\gamma$ , gde je  $\gamma$  grudni ugao.
- Koeficijent sabijanja strugotine  $r_s = C_0 h^{C_1}$ , gde je  $C_0 = 0.942 - 0.012\gamma$ , a  $C_1 = 0.391 - 0.01\gamma$ .
- Srednje vrednosti koeficijenata ivičnih sila  $K_{1e} = 28.8 \text{ N/mm}$  i  $K_{2e} = 21.5 \text{ N/mm}$ .

### 3. MODELIRANJE UREZNIKA

Familija ureznika sa pravim žlebovima je modelirana u programskom okruženju CAD aplikacije *Autodesk Inventor 11* koristeći tehniku parametarskog modeliranja. Na ovaj način, ulaz u program je skup parametara koji opisuju ureznik konkretnih dimenzija, dok je model definisan jednom, koristeći usvojene parametre, a na osnovu redosleda iz operacionih lista izrade ureznika. Parametri se mogu zadavati u

standardizovanom .xml formatu (eXtensible Markup Language, jezik za označavanje tekstualnih dokumenata) ili u formatu programa za tabelarne proračune (.xls). Za izbor parametara za konkretan alat, formirana je baza podataka familije ureznika sa pravim žlebovima iz koje se kroz jednostavan dijalog u programu za izbor (slika 3), na osnovu zadatih ulaznih veličina: nazivne mere ureznika, njegovog koraka i tipa ulaznog dela automatski dobija skup konkretnih vrednosti parametara koje prepoznaje formirani model ureznika.



Slika 3. Ulazni podaci programa za formiranje skupa parametara

Model ureznika prepoznaje preko 20 parametara od kojih su najbitniji oni za formiranje reznog dela ureznika: spoljašnji prečnik, korak, dužina reznog dela, ugao konusa, početni prečnik, grudni ugao i broj žlebova. Na slici 4 je prikazan model ureznika M10 sa tri prava žleba sa uvećanim reznim delom na jednom od žlebova. Modeli ureznika su prvenstveno korišćeni za identifikaciju položaja i dužine pojedinačnih glavnih i pomoćnih sečiva ureznika, potrebnih za simulaciju procesa urezivanja navoja.



Slika 4. Parametarski definisan mašinski ureznik sa pravim žlebovima

#### 4. SIMULACIJA PROCESA UREZIVANJA

Simulacija procesa urezivanja navoja na osnovu analize ortogonalnog rezanja i eksperimentalnih rezultata za kombinaciju materijala obratka i alata izvedena je pod sledećim pretpostavkama: napon smicanja i koeficijent trenja su isti kod kosog i ortogonalnog rezanja; ugao smicanja i grudni ugao kod ortogonalnog rezanja poistovećuju se sa uglom smicanja i grudnim uglom u ravni  $P_n$  (upravnoj na sečivo); ugao odvođenja strugotine jednak je uglu između sečiva i pravca brzine rezanja. Za identifikaciju ostalih geometrijskih veličina izvršena je analiza reznog dela ureznika sa pravim žlebovima u proizvoljnoj tački sečiva. Uspostavljene su relacije između uglova ureznika u ravnima statičke i kinematičke geometrije [9], preko odgovarajućih transformacionih matrica nad koordinatnim sistemima ureznika, koristeći konvencije za njihov opis i predstavljanje koje se koristi i u problemima modeliranja tela, tj. kompjuterskoj grafici.

Da bi se izvršila simulacija, usvojen je metod za modeliranje procesa urezivanja navoja u kojem se vrši diskretizacija, pa se svako sečivo ureznika deli na veći broj elementarnih klasičnih pojedinačnih kosih sečiva. Sile na svakom elementu se nalaze iz Ernst-Merčantove analize izmenjene da uključuju i ivične sile [1, 5]. Svaka od ovih elementarnih sila se pretpostavlja da je koncentrisana u sredini elementarnog sečiva. Na ovaj način, definisane su sledeće elementarne sile: glavna sila,  $F_t$ , radijalna  $F_r$  i aksijalna sila  $F_a$ , kao:

$$\begin{aligned} dF_t &= K_{tc}bh + K_{te}b, \\ dF_r &= K_{rc}bh + K_{re}b, \\ dF_a &= K_{ac}bh + K_{ae}b. \end{aligned} \quad (1)$$

Usvojeni model sile rezanja u jednačini 1, čine komponenta koja se javlja usled smicanja, proporcionalna preseku strugotine koja se prikazuje kao proizvod širine rezanja,  $b$ , i debljine rezanog sloja,  $h$  u zoni smicanja, i komponenta ivične sile, proporcionalna širini rezanja.

Specifični otpori rezanja, ( $K_{ic}$ ) se izražavaju u funkciji napona smicanja, grudnog ugla, materijala obratka i osrednjenog koeficijenta trenja između strugotine i grudne površine alata. Koeficijenti ivičnih sila ( $K_{ie}$ ) su identifikovani eksperimentima ortogonalnog rezanja u tački 2, ekstrapolacijom izmerenih sila za nultu dubinu rezanja.

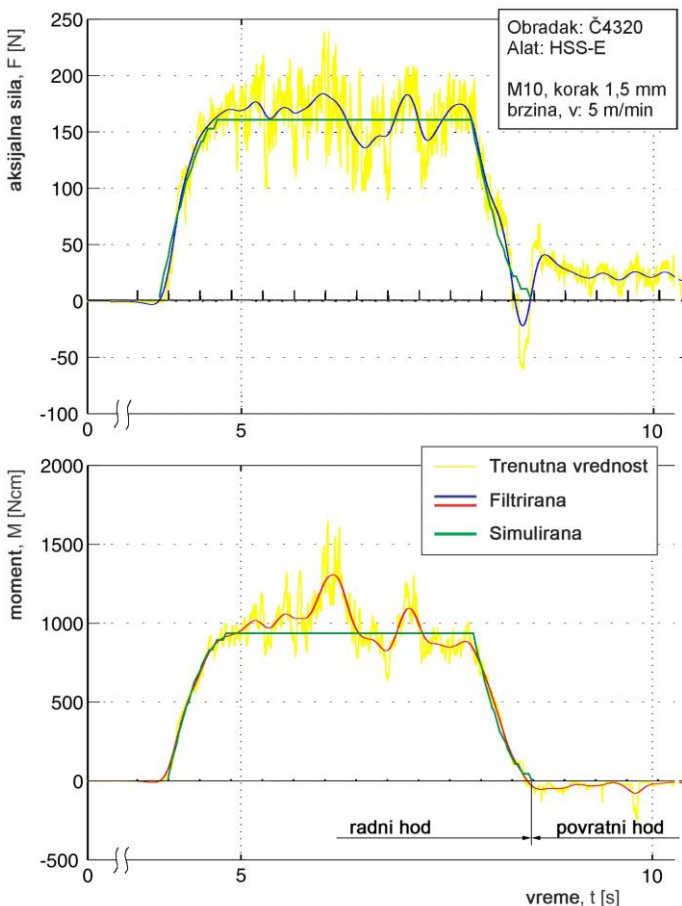
Ukupna aksijalna sila i obrtni moment sada se dobijaju na sledeći način:

$$F_a = \sum_i dF_{a_i}, \quad M = \sum_i dF_{t_i} \cdot r_i. \quad (2)$$

Simulacija sila i momenta urezivanja navoja prema usvojenom analitičkom modelu izvršena je na osnovu ulaznih podataka koje su vezani za obradak (prečnik i dubina rupe/otvora, materijal) i alat (prečnik ureznika, broj žlebova, ugao konusa reznog dela-napadni ugao, korak navoja, grudni ugao i minimalni prečnik reznog dela). Na osnovu kombinacije materijala obratka i alata i uslova obrade određeni su parametri obrade. U tački 2 ovi parametri su dati za kombinaciju materijala alata i obratka Č9780/Č4320. Na osnovu podataka vezanih za alat sledi formiranje skupa tačaka koji čine sečiva ureznika na osnovu formiranog parametarskog CAD modela koji je prikazan u tački 3. Proračun elementarnih sila vrši se na svakom elementarnom sečivu koje je u zahvatu, a po žlebovima ureznika. Na osnovu početnih i krajnjih koordinata elementarnog sečiva proračunava se prečnik i ugaoni položaj reprezentativne tačke sečiva da bi se došlo do aksijalne sile, kao i glavne sile koja

pravi moment. Kao rezultat simulacije na izlazu dobijamo vrednosti sile  $F_a$  i momenta  $M$  u funkciji vremena obrade.

Na slici 5 prikazane su simulirane vrednosti aksijalne sile i momenta u vremenu, uporedo sa eksperimentalnim rezultatima (trenutna i filtrirana vrednost), za urezivanje navoja kroz otvor, ureznikom sa tri prava žleba M10 standardnog koraka 1.5. Materijal ureznika je brzorezni čelik Č9780 (HSS-E), materijal obratka Č4320. Na slici je prikazan deo dijagrama koji se odnosi na radni hod.



Slika 5. Usporedni prikaz eksperimentalno dobijenih i simuliranih vrednosti aksijalne sile i momenta

Simulacija se takođe izvodi samo u radnom hodu ureznika, i to kada su sečiva ureznika u zahvatu sa obratkom. Aksijalna sila i moment rastu dok konusni (reznii) deo ureznika ulazi u otvor. Kada su sva sečiva reznog dela ušla u zahvat, izlazne vrednosti ostaju konstantne, jer dejstvo sečiva na kalibrišućem delu ureznika u ovom trenutku nisu uzeta u obzir. Kada ureznik počne da izlazi iz otvora, tako sila i moment počinju da opadaju do trenutka kad konusni, rezni deo ureznika potpuno ne izađe iz otvora i kada se vrši samo pročišćavanje navoja kalibrišućim delom ureznika. Na dijagramu se primećuju zone sa konstantnim vrednostima izlaznih veličina i dok je rezni deo u



zahvatu, što je u korelaciji sa položajem ureznika, tj. postoje poprečne zone, u kojima zbog toga što su sečiva isprekidana duž žleba, nema dejstva nijednog sečiva.

Eksperimentalni zapis sa slike 5, dobijen je na obradnom sistemu horizontalnog obradnog centra LOLA HMC500, koristeći mernu opremu za merenje sile i momenta: dvokomponentni piezoelektrični dinamometar Kistler 9271, pojačivači Kistler 5007 i ranije pomenuta akvizicija NI CompactDAQ 9174 sa modulom NI 9215 u okruženju aplikacije *LabVIEW*.

Odstupanja simuliranih vrednosti od eksperimentalnih u situaciji kada su sečiva ureznika u zahvatu su veća za aksijalnu silu nego za moment i nalaze se u okviru zadovoljavajućih 10%.

## 5. ZAKLJUČCI

Sile rezanja i njeni momenti koji deluju na rezni alat imaju veliki značaj u teoriji obrade metala. Parametri koji su identifikovani kroz tačku 2, za konkretnu kombinaciju materijala alata i obratka, i koji su ovde iskorišćeni za simulaciju procesa urezivanja navoja, mogu se koristiti u analizi bilo kog drugog procesa obrade. U tom slučaju, potrebno je samo izvršiti novu analizu geometrije reznog dela korišćenog alata.

Istraživanja procesa urezivanja su izuzetno korisna kako bi se izbegao lom alata i loš kvalitet navoja koji mogu imati ekstremno skupe posledice, a posebno u odnosu na vrednost koja se proizvodu dodaje operacijom urezivanja. Bolje razumevanje procesa urezivanja i sistema sila u urezivanju je korisno i za proizvođače alata, kao i za definisanje režima obrade sa ciljem povećanja produktivnosti.

## NOMENKLATURA

$b$  širina rezanja, mm

$C_0, C_1$  koeficijenti

$F_b, F_r, F_a$  glavna, radijalna i aksijalna sila, N

$h$  debljina rezanog sloja, mm

$K_{tc}, K_{rc}, K_{ac}$  specifični otpori rezanja,  $N/mm^2$

$K_{te}, K_{re}, K_{ae}$  koeficijent ivične sile, N/mm

$M$  moment, Nm

$P_n$  ravan upravna na sečivo

$r_i$  rastojanje elementarnog sečiva od ose, mm

$r_s$  koeficijent sabijanja strugotine

$v$  brzina obrade, m/s

### Grčki alfabet

$\gamma$  grudni ugao, °

$\rho$  ugao trenja, °

$\tau_s$  napon smicanja,  $N/mm^2$

### Subskripti

c sile smicanja

e ivične sile

i brojač

## LITERATURA

- [1] Altintas, Y., Brecher, C., Weck, M., Witt, S. (2005). Virtual Machine Tool, *Cirp Annals-Manufacturing Technology*, vol. 54, no. 2, pp. 115-138
- [2] Armarego, E.J.A. (2000). The Unified-Generalized Mechanics Of Cutting Approach – A Step Towards A House Of Predictive Performance Models For Machining Operations, *Machining Science and Technology*, 4:3, 319-362
- [3] Puzovic, R., Kokotovic, B. (2006). „Prediction of thrust force and torque in tapping operations using computer simulation”, *FME Transactions* , Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, v34 No 1, 1-5
- [4] Chen, N.M., Smith, A.J.R. (2010). "Modelling of Machine Tapping with Straight Flute Taps", Proceedings of the 36th International MATADOR Conference, pp. 189-192
- [5] Altintas, Y. (2012). *Manufacturing Automation*, Cambridge University Press, UK
- [6] Cao, T., Sutherland J.W. (2002). Investigation of thread tapping load characteristics through mechanistics modeling and experimentation, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 42, pp. 1527-1538
- [7] Popović, M., Tanović, Lj., Mladenović, G. (2014). “Orthogonal turning experiments for predicting the cutting forces”, XII International conference Maintenance and production engineering “KODIP – 2014”, Proceedings, pp.247-253
- [8] Kalajdžić, M., i ostali, (2012). *Tehnologija obrade rezanjem - Priručnik*, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd
- [9] ISO 3002/1, (1982). “Geometry of the Active part of Cutting Tools. Part I: General Terms, Reference Systems, Tool and Working Angles, Chip Breakers.”



## VARIJANTNOST KONFIGURISANJA DVOOSNOG REKONFIGURABILNOG PARALELNOG MEHANIZMA - MOMA

Saša Živanović<sup>1</sup>, Goran Vasilic<sup>2</sup>

*Rezime: U radu su pokazane neke od postojećih konfiguracija mašina sa paralelnom kinematikom koje sadrže dvoosni paralelni mehanizam, i predložena jedna moguća klasifikacija dvoosnih paralelnih mehanizama. Glavna tema rada je prikazati varijantnost različitih konfiguracija razvijenog dvoosnog rekonfigurabilnog paralelnog mehanizma MOMA, koji u osnovi predstavlja modularni sistem koji je u radu prikazan primenom morfoloških matrica.*

*Cljučne riječi: konfigurisanje, rekonfigurabilni, modularni sistem, paralelni mehanizam*

### VARIANTS OF CONFIGURING THE 2-AXIS RECONFIGURABLE PARALLEL MECHANISM – MOMA

*Abstract: The paper presents some of the existing parallel kinematic machines configurations containing the 2-axis parallel mechanism, and suggested one possible classification for the 2-axis parallel mechanisms. The main topic of this paper is show variants of different configurations developed 2-axis reconfigurable parallel mechanism MOMA, which is basically a modular system performance which is shown in this paper by using morphological matrix.*

*Key words: configuring, reconfigurable, modular system, parallel mechanism*

#### 1. UVOD

Dvoosni rekonfigurabilni paralelni mehanizam, pripada generaciji rekonfigurabilnih tehnoloških modula [1], koji može egzistirati samostalno ili u kombinaciji sa drugim mehanizmima, gradeći nove mašine alatke. U radu se razmatra varijantnost konfigurisanja modularne mašine alatke otvorene arhitekture upravljanja (MOMA), na bazi dvoosnog rekonfigurabilnog paralelnog mehanizma.

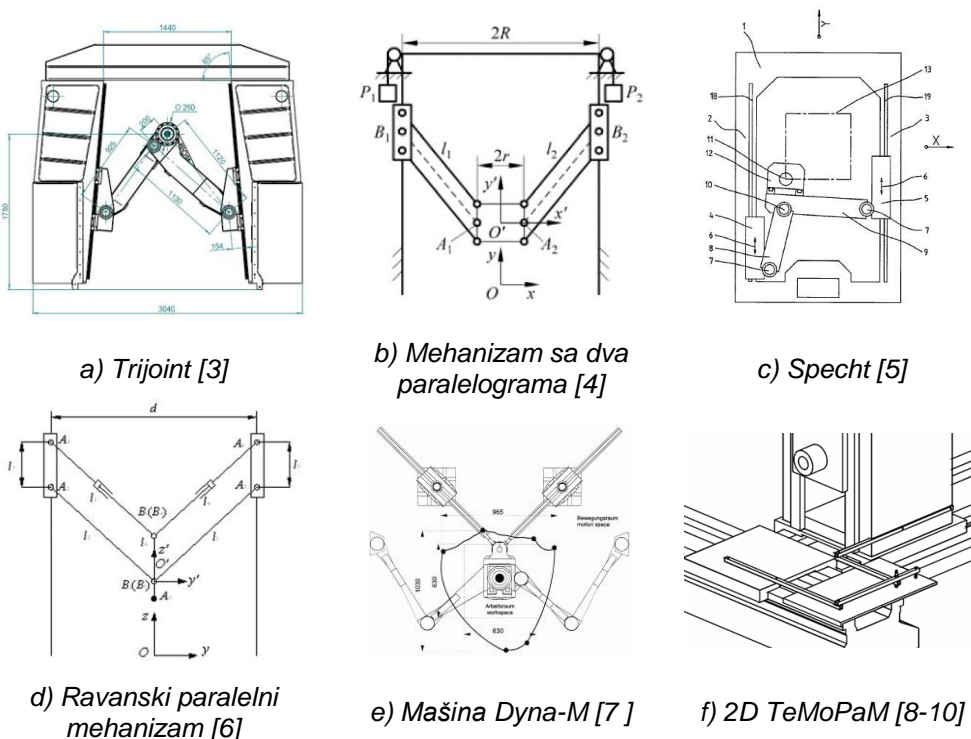
MOMA je uspostavljena kao sistem sastavnih elemenata (modularni sistem), na osnovu koga se može vršiti rekonfigurisanje i hardverskog i softverskog dela sistema. U ovom radu se razmatra samo deo koji se odnosi na rekonfigurisanje hardvera različitih konfiguracija mogućih mašina na bazi razvijenog modularnog

<sup>1</sup> Doc. dr Saša Živanović, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, szivanovic@mas.bg.ac.rs

<sup>2</sup> Goran Vasilic, dipl.maš.inž., student doktorskih studija, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, goran.v.vasilic@gmail.com

sistema. MOMA je u osnovi namenjena za edukaciju u: (i) konfigurisanju i rekonfigurisanju novih mašina alatki, (ii) programiranju i (iii) upravljanju na bazi softvera otvorene arhitekture.

Do danas ima mnogo objavljenih rezultata iz oblasti mašina sa paralelnom kinematikom [2-10]. Izdvojićemo samo neke od mašina sa paralelnom kinematikom, pokazanih na slici 1, koje u osnovi imaju neku od varijanti dvoosnog paralelnog mehanizma, koji je predmet ovog rada.



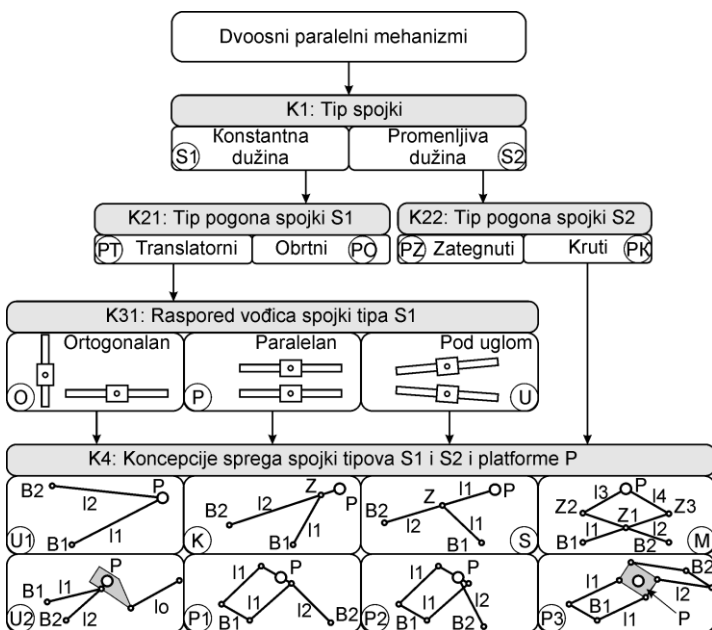
Slika 1. Neki od realizovanih paralelnih mehanizama koji u osnovi imaju dvoosni paralelni mehanizam

U ovakve mašine mogu se ubrojiti *Trijoint*, slika 1a [3], mehanizam sa dva paralelograma slika 1b [4], mašina *Specht*, slika 1c [5], redundantno pogonjeni ravanski paralelni mehanizam, slika 1d [6], mašina *Dyna-M* [7], slika 1e i dvoosni tehnološki modul sa paralelnim mehanizmom 2D *TeMoPaM*, koji radi kao funkcionalni simulator dvoosne mašine sa paralelnom kinematikom, slika 1f [8-10]. Valja uočiti da su dvoosni paralelni mehanizmi na slikama 1a,b,c,f sa konstantnim dužinama spojki, dok preostala dva, slika 1d,e, imaju i spojke promenljivih dužina. Takođe se mogu uočiti i rasporedi vođica po kojima se kreću klizači za mehanizme sa spojkama konstantne dužine, koji mogu biti paralelni, pod nekim uglom i ortogonalni. Ovo je samo deo paralelnih mehanizama koji su razmatrani pri formiranju klasifikacije dvoosnih paralelnih mehanizama u narednom poglavlju. U trećem poglavlju je predstavljen konfigurisani dvoosni rekonfigurabilni paralelni mehanizam MOMA, dok je u četvrtom poglavlju predstavljen jedan konfigurator kao dokumentovani formalizam u vidu morfoloških matrica za opis modularnog sistema razmatrane mašine.

## 2. JEDNA KLASIFIKACIJA DVOOSNIH PARALELNIH MEHANIZAMA

Istraživanja na ovu temu na Mašinskom fakultetu, Univerziteta u Beogradu, su započeta sa dvoosnim paralelnim mehanizmom 2D TeMoPaM (**T**ehnološki **M**odul sa **P**aralelnim **M**ehanizmom) [8-10], koji je pokazan na slici 1f. Uopštavanjem ovog dvoosnog paralelnog mehanizma dobijen je dvoosni rekonfigurabilni paralelni mehanizam za gradnju stone dvoosne rekonfigurabilne mašine sa paralelnom kinematikom – MOMA (**M**odularna **M**ašina **A**latka sa upravljanjem **O**tvorene arhitekture) [11-13].

Za orijentaciju je pokazan i pregled mogućih rešenja za hardver mašine MOMA, slika 2. Po ovoj klasifikaciji može se sastaviti i morfološka matrica modularnog sistema za mehanizam dvoosne mašine sa paralelnom kinematikom. Klasifikacija je predstavljena prema 4 kriterijuma: (K1) prema tipu spojki, (K2) prema tipu pogona spojki, (K3) prema rasporedu vodica spojki i (K4) prema koncepcijama sprega spojki i platforme. Proučavanjem ove klasifikacije potrebno je odabrati pogodnu koncepciju prema uspostavljenom kriterijumu ili predložiti novu koncepciju i nadograditi postojeću klasifikaciju novim mehanizmom.



### Legenda:

**V1 i V2:** Baze pogonskih osa.

**I1 i I2:** Spojke pogonskih osa, ali i dužine tih spojki, fiksne, ili promenljive.

**P:** Platforma, istovremeno i osa glavnog vretena.

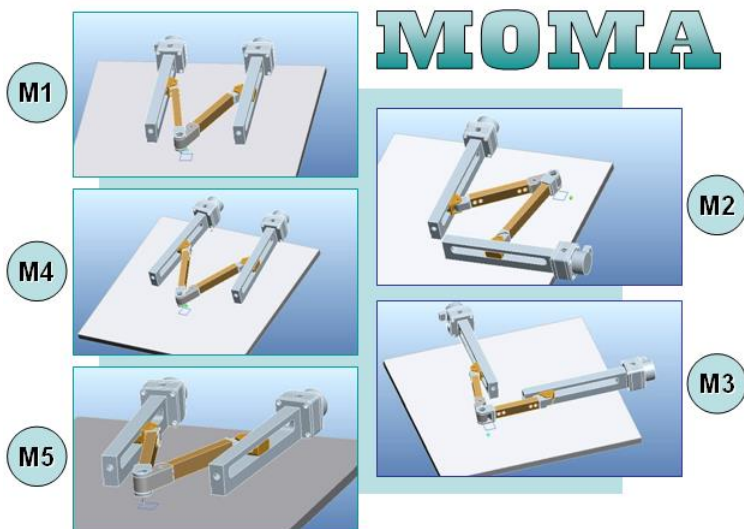
**Z:** Pomoćni zglob na mehanizmu, za kompletiranje kinematike celog mehanizma.

Slika 2. Klasifikacija polaznih koncepcija rekonfigurabilnog dvoosnog paralelnog mehanizma [13]

Prilikom koncipiranja jednog mehanizma treba samostalno isključiti nemoguće i/ili jako loše kombinacije rešenja po izabranim kriterijumima. U svakoj od koncepcija sprega po kriterijumu K4 planirano je da se razmotri mogućnost da spojke budu i tipa S1 i tipa S2, kada je god to moguće. Po ovoj klasifikaciji može se sastaviti i morfološka matrica sistema sastavnih elemenata za mehanizam dvoosne mašine sa paralelnom kinematikom.

### 3. DVOOSNI REKONFIGURABILNI PARALELNI MEHANIZAM – MOMA

Ravanski rekonfigurabilni paralelni mehanizam MOMA je mehanizam sa dva stepena slobode, koji se sastoji od dve identične pogonske translatorne ose, po kojima se kreću dva klizača. Klizači su pomoću dve spojke povezane u paralelni mehanizam. Spojke su sa klizačima i međusobno povezane obrtnim zglobovima. Dvoosni rekonfigurabilni paralelni mehanizam se konfigurira prema programu gradnje. Prikaz osnovnih pet tipova (M1 do M5) iz plana gradnje stone dvoosne rekonfigurabilne mašine MOMA je dat je na slici 3.

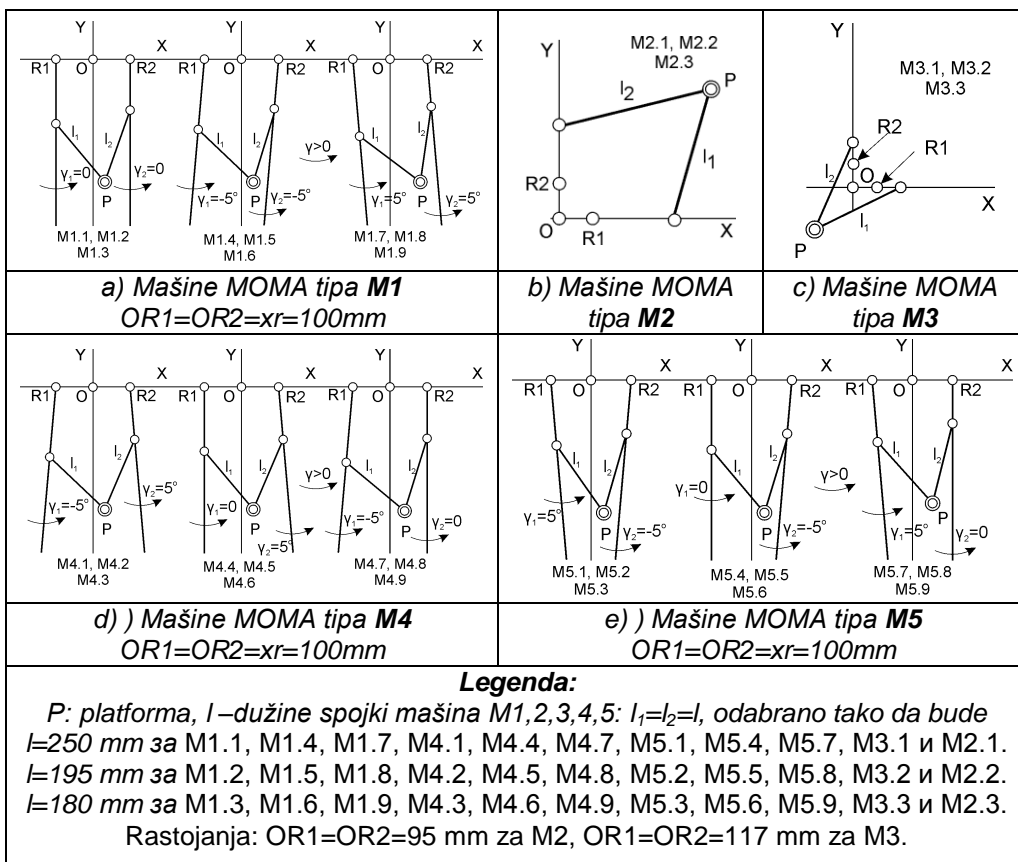


Slika 3. Osnovnih pet tipova M1- M5 stone dvoosne rekonfigurabilne mašine [11]

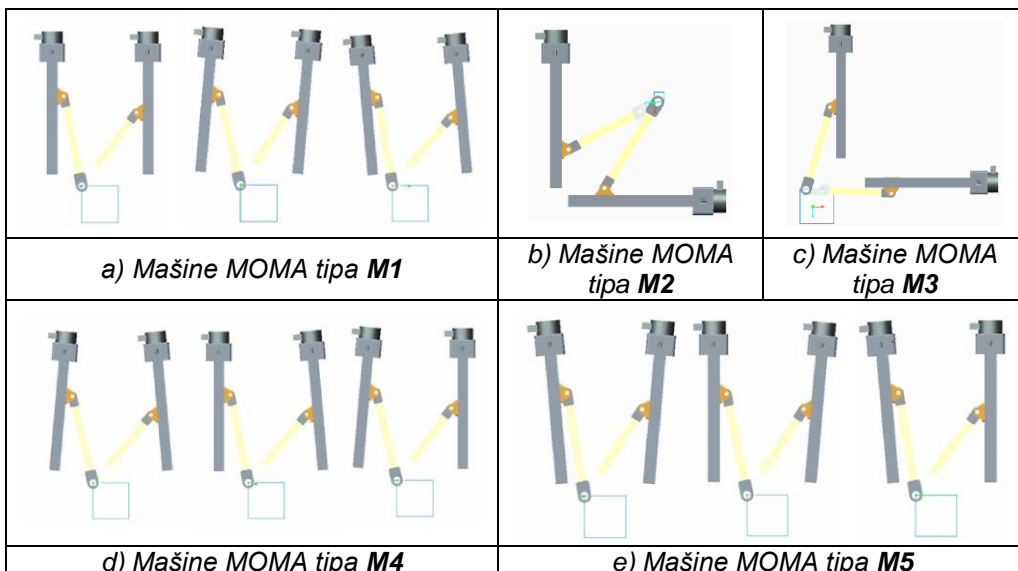
Sve aktuelne podvarijante osnovnih pet tipova paralelnog mehanizma MOMA pokazane su na slici 4. Za mašine M1, M4 i M5 upotrebljeni su uglovi  $\gamma_1$  i  $\gamma_2$  u naznačenom pozitivnom smeru ( $\gamma > 0$ ) za opisivanje odstupanja pravca pogonskih osa od pravca ose Y. Mašine tipa M1, M4 i M5 imaju svaka po 9 verzija (slika 4a,d,e), koje se razlikuju po položaju vođica za klizače i po dužinama spojki. Za mašine M2 i M3 koriste se samo po tri verzije (slika 4b,c), koje se među sobom razlikuju samo po dužinama spojki. Za sve konfiguracije su dužine spojki jednake ( $l_1 = l_2 = l$ ) u tri nominalne veličine (250, 195 i 180 mm).

Očekivani glavni rezultat konfigurisanja je jedna, prema nekom kriterijumu izabrana, konfiguracija mašine MOMA. Do glavnog rezultata potrebno je preći put konfigurisanja, od geometrijskih i kinematičkih modela, preko Jakobijana inverzne kinematike i analize singulariteta, analize radnog prostora, optimizacije nekih elemenata mašine (npr. dužina spojki), dobijanje virtuelnog prototipa, simulacija na virtuelnim prototipovima do konfigurisanja hardvera mašina na bazi raspoloživog fonda modula i testiranja upravljanja za konačnu verifikaciju konfigurisane nove mašine alatke [11].

Na slici 5 su uporedo prikazani i CAD modeli svih podvarijanti rekonfigurabilnog paralelnog mehanizma. Svaka od podvarijanti se može dobiti različitim kombinovanjem nagnutosti svake pogonske ose i različitim dužinama spojki. Ovo je kombinovani prikaz CAD modela i dobijene konture putanje alata u obliku kvadrata, pri simulaciji rada mašine po zadatom programu u CAD/CAM okruženju.



Slika 4. Podvarijante mašina u okviru svakog od pet osnovnih tipova mašine alatke MOMA [11, 13]



Slika 5. CAD modeli podvarijanti u okviru svakog od pet osnovnih tipova mašine alatke

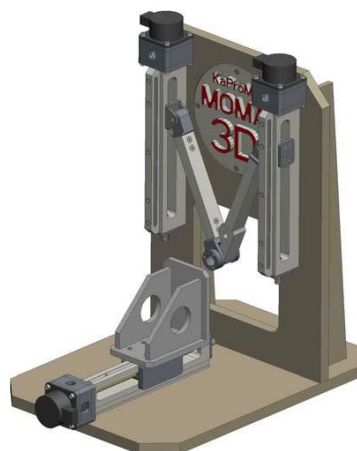


Varijantnost strukture već prikazanog osnovnog rekonfigurabilnog dvoosnog paralelnog mehanizma omogućava, po definiciji, široku primenljivost ovog mehanizma kao tehnološkog modula za vertikalne i horizontalne troosne mašine alatke sa hibridnom (paralelno-serijskom) kinematikom. Na primer, moguća je primena ovog upotrebljenog dvoosnog paralelnog mehanizma, sa još jednom dodatom serijskom translatorskom osom, radi dobijanja troosne mašine alatke. To je pokazano na slici 6. Model na slici 6a, je idejno rešenje koje koristi identičnu treću pogonsku osu za pomeranje po horizontalnoj Z osi, dok je na slici 6b prikazana jedna od mogućih rekonstrukcija dvoosnog paralelnog mehanizma u troosnu mašinu. Na ovaj način se mogu nadograditi sve osnovne varijante mehanizma M1, M4 i M5, uključujući i sve podvarijante. Na slici 6 su prikazane dve varijante mašine tipa M1, zajedno sa dodatom horizontalnom translatorskom osom, koja ovde predstavlja osu Z mašine.

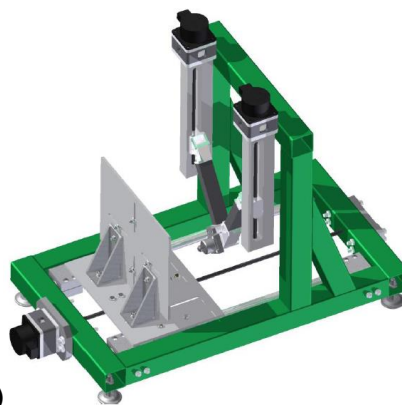
#### 4. JEDAN KONFIGURATOR NA BAZI MODULARNOG SISTEMA

Za projektovanu rekonfigurabilnu mašinu alatku neophodno je uspostaviti sistem sastavnih elemenata, ili modularni sistem, sa bazom raspoloživih modula i pravilima pomoću kojih je moguće njeno rekonfigurisanje. To je u stvari jedan konfigurator kao dokumentovana procedura za konfigurisanje. Sistem sastavnih elemenata stane rekonfigurabilne mašine MOMA, najlakše može biti predstavljen formalizmom morfološke matrice, kao što je pokazano na slici 7. Na ovoj slici su prikazane osnovne funkcionalne celine (FC) kao što su: baze, aktuatori, zglobovi i spojke, kao i plan gradnje sa primerima konfigurisanih sklopova CAD modela za osnovne konfiguracije rekonfigurabilne mašine od M1 do M5, kao i raspoložive realizacije svake od funkcionalnih celina. Mašine tipova M1, M4 i M5, koriste istu bazu B145, dok mašine tipova M2 i M3 koriste bazu B23. Aktuatori paralelnog mehanizma su identični za sve tipove mašina. Spojke koriste identične obrtne zglobove i mogu biti u već pominjane tri nominalne dužine (250, 195 i 180 mm).

Redosled poslova za konfigurisanje i/ili rekonfigurisanje i pripremu za rad na mašini je sledeći: (1) Konfigurisanje i sklapanje hardvera mašine, na osnovu morfološke matrice sa slike 7, za izabrani tip mašine MOMA i prema zadatim parametrima. (2) Konfigurisanje upravljačkog softvera EMC2, koje uključuje proveru osnovnih parametara mašine i jednačina inverzne i direktne kinematike, koje su implementirane u softver za upravljanje i njihovo prilagođavanje za izabrani tip mašine MOMA [11]. U okviru svake osnovne varijante postoje još i podvarijante koje se mogu



a)


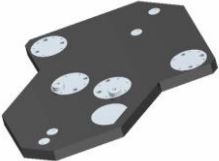
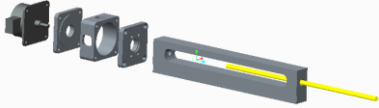
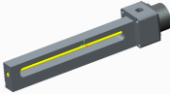
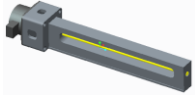

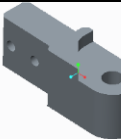


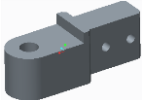
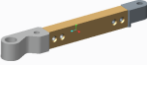
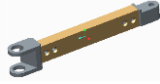
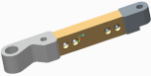
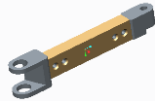

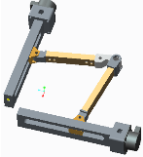
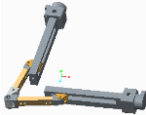
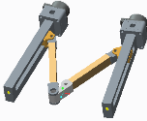
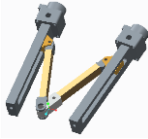


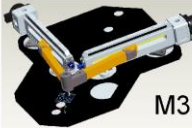
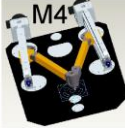
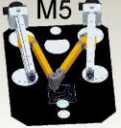


b)

Slika 6. Prikaz dve varijante troosne stane rekonfigurabilne mašine alatke MOMA [11, 12]



realizovati prema slikama 4 i 5.

FC↓	Realizacije				
Baza	 B145		 B23		
Aktuatori					
Zglobovi					
Spojke					...
T <sub>p</sub>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>	<b>M5</b>
CAD model paralelnog mehanizma					
CAD modeli mašine MOMA	 M1	 M2	 M3	 M4	 M5

Slika 7. Morfološka matrica pet osnovnih konfiguracija dvoosne rekonfigurabilne mašine alatke MOMA

## 5. ZAKLJUČCI

Stona dvoosna rekonfigurabilna mašina sa paralelnom kinematikom –MOMA konfigurisana je na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Ova mašina predstavlja značajan doprinos u edukaciji za razvoj i korišćenje mašina alatki nove generacije, kao što su rekonfigurabilne mašine alatke i mašine alatke sa paralelnom kinematikom, koje su realizovane na bazi upravljanja otvorene arhitekture. Mašina se već koristi u nastavi na Mašinskom fakultetu na grupi predmeta Mašine alatke.

Razmatrana mašina je istovremeno i osnova za uspostavljanje metoda za pravljenje kvalitetnih, čak i neuobičajenih mašina alatki za sopstvene potrebe. U planu daljih istraživanja je konceptijsko projektovanje novih mašina alatki sa

osobinama rekonfigurabilnosti i multifunkcionalnosti, sa paralelnom i/ili hibridnom kinematikom, a koje u sebi sadrže bar jedan dvoosni rekonfigurabilni paralelni mehanizam MOMA.

## ZAHVALNOST

Ovaj rad je nastao u okviru istraživanja na projektu „TR35022 Razvoj nove generacije domaćih obradnih sistema”, koji je podržan od strane Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Vlade Republike Srbije.

## LITERATURA

- [1] Koren Y., Heisel U., Jovane F., Moriwaki T., Pritschow G., Ulsoy G., Brussel H.V. (1999). Reconfigurable Manufacturing Systems, *Annals of the CIRP*, 48/2, p. 527-540.
- [2] Weck, M., Staimer, D. (2002). Parallel kinematic machine tools-current state and future potentials, *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 51/2, p. 671–683.
- [3] Šika, Z., Hamrle, V., Valášek, M., Beneš, P. (2012). Calibrability as additional design criterion of parallel kinematic machines, *Mechanism and Machine Theory*, 50, p. 48-63.
- [4] Jun, W., Jinson, W., Tiemin, L., Liping, W. (2007). Dynamic analysis of the 2-DOF planar parallel manipulator of a heavy duty hybrid machine tool , *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol 34., p.413-420.
- [5] Hanrath, G., Stengele, B.: *Machine tool for triaxial machining of workpieces*. United States Patent. Patent number: 6,328,510. Date of Patent: dec. 11. 2001.
- [6] Jun, W., Jinson, W., Liping, W. (2008). Optimal Kinematic Design and Application of a Redudantly Actuated 3DOF planar Parallel Manipulator, *Journal of Mechanical design*, Vol 13.
- [7] Weck, M. et al., Device for machining and/or assembling of workpieces. United States Patent. Patent number: 5,919,014. Date of Patent: jul. 6. 1999.
- [8] Živanović, S., Glavonjić M., *Edukaciona 2D paralelna mašina alatka kao tehnološki modul*, 26. JUPITER konferencija, 22. simpozijum NU - Roboti - FTS, Zbornik radova, str. 3.247-3.254, Mašinski fakultet, Beograd, 2000.
- [9] Živanović, S.: *Tehnološki modul sa paralelnim mehanizmom*, Magistarska teza, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, 24. 7. 2000.
- [10] Živanović, S. (2000). Parallel Kinematic Machines, *International Journal of Production Engineering and Computers*, vol. 3, no. 3, p.49-54.
- [11] Živanović, S., Glavonjić, M., Kokotović, B., Dimić, Z.: *Stona dvoosna rekonfigurabilna mašina sa paralelnom kinematikom – MOMA*, Tehničko rešenje (Novi laboratorijski proizvod, M82), Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, 2014.
- [12] Vasilić, G. (2013). *Rekonstrukcija učila MOMA-2 u troosnu mašinu alatku*, Diplomski (M.Sc.) rad, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet
- [13] Glavonjić, M., Zadatak za seminarski rad. Tema 1: MOMA sa paralelnom kinematikom.[http://cent.mas.bg.ac.rs/nastava/ma\\_bsc/pdf\\_m/zadatak\\_za\\_seminarski\\_komplet.pdf](http://cent.mas.bg.ac.rs/nastava/ma_bsc/pdf_m/zadatak_za_seminarski_komplet.pdf), septembar, 2013.



## RAČUNARSKO MODELOVANJE STATIČKOG PONAŠANJA SKLOPA GLAVNOG VRETENA ULEŽIŠTENOG SA CILINDRIČNO VALJKASTIM DVOREDIM LEŽAJEM

Vladimir Blanuša<sup>1</sup>, Milan Zeljković<sup>2</sup>

*Rezime: U radu je izvršena predikcija statičkog ponašanja sklopa glavnog vretena uležištenog cilindrično valjkastim dvoredim ležajem i kugličnim ležajem sa kosim dodirom u prednjem osloncu pod dejstvom kombinovanog opterećenja (aksijalnog i radijalnog). Računarskim modelovanjem određene su vrednosti pomeranja karakterističnih tačaka na vrhu vretena. Vrednosti pomeranja upoređene su sa vrednostima pomeranja za slučaj uležištenja sa kugličnim ležajevima sa kosim dodirom u prednjem osloncu u "tandem O" rasporedu.*

*Ključne riječi: Sklop glavnog vretena, cilindrično valjkasti dvoredi ležaj, pomeranje vrha vretena*

### COMPUTER MODELING OF STATIC BEHAVIOR MAIN SPINDLE ASSEMBLY WITH THE DOUBLE ROW CYLINDRICAL ROLLER BEARING

*Abstract: In this paper performed on of the static behavior of main spindle assembly support double-row cylindrical roller and ball bearing with angular contact in front of support under the influence of axial, radial and combined loads. Computer modeling of determined value displacement characteristic points at the top of the spindle. The values of the displacements were compared with the values of displacements for the case of support with ball bearings with angular contact in front of support for "tandem O" arrangement.*

*Key words: Main spindle assembly, double row cylindrical roller bearing, displacements top of spindle*

#### 1. UVOD

Glavna vretena mašina alatki, sa stanovišta namene, predstavljaju sklopove kojima se dovodi obrtno kretanje (eventualno i pravolinijsko) i obrtni momenat na obradak ili alat radi ostvarivanja procesa obrade rezanjem, sa vrlo značajnim, često limitirajućim, uticajem na tačnost, proizvodnost i kvalitet same mašine. Po svojim konstrukcionim karakteristikama su osnosimetrična, a najveće narušavanje simetrije

<sup>1</sup>Vladimir Blanuša, istraživač saradnik Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka, blanus@uns.ac.rs

<sup>2</sup>Dr Milan Zeljković, redovni profesor Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka, milanz@uns.ac.rs

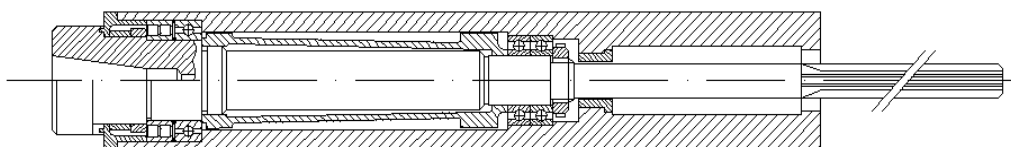
nastaje zbog spojeva delova sklopa, netačnosti izrade i nejednakosti karakteristika u određenim radijalnim pravcima, obično uslovljenim nesimetričnošću elemenata uležištenja [7].

Jedan od ciljeva procesa projektovanja sklopa glavnog vretena je predikcija njegovog ponašanja u eksploataciji, pod dejstvom opterećenja. Pored toplotnog i dinamičkog, sklop glavnog vretena je izložen i statičkom opterećenju. Predikcija ponašanja ovih sklopova se najčešće vrši metodom konačnih elemenata. Da bi se izvršila predikcija statičkog ponašanja sklopa glavnog vretena metodom konačnih elemenata potrebno je definisati proračunski model koji uzima u obzir što veći broj parametara koji utiču na ponašanje ovog sklopa u eksploataciji.

Složenost sklopa glavnog vretena, i njegov nesumnjivo veliki uticaj na ponašanje mašine alatke, kao celine, u eksploataciji su razlozi što je predmet istraživanja u ovom radu usmeren na predviđanje njegovog statičkog ponašanja, kao jednog od važnih poremećajnih podsistema.

## 2. MODELOVANJE STATIČKOG PONAŠANJA SKLOPA GLAVNOG VRETENA

Cilj analize statičkog ponašanja sklopa glavnog vretena uležištenog cilindrično valjkastim dvoredim ležajem i kugličnim ležajem sa kosim dodirnom u prednjem osloncu, je određivanje deformacija karakterističnih tačaka vrha vretena pod dejstvom statičkog opterećenja. Konstrukciono rešenje analiziranog sklopa glavnog vretena je prikazano na slici 1.



Slika 1. Sklop glavnog vretena sa valjkastim dvoredim ležajem u prednjem osloncu

Analiza statičkog ponašanja sklopa glavnog vretena izvršena je za slučaj kombinovanog opterećenja (opterećenje aksijalnom silom intenziteta  $F_A=6000$  [N] preko unutrašnjeg konusa na vrhu vretena i opterećenje radijalnom silom intenziteta  $F_R=3000$  [N] koja se prenosi takođe preko unutrašnje konusne površine).

Na osnovu podataka proizvođača ležaja vrednosti krutosti u prednjem i zadnjem uležištenju za ovaj tip uležištenja prikazane su u tabeli 1.

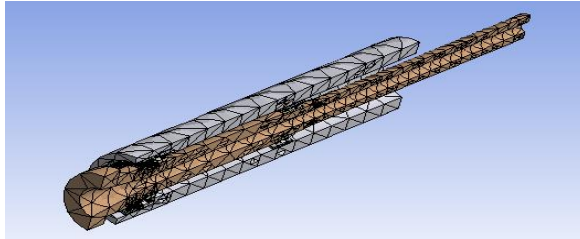
Tabela 1. Aksijalna i radijalna krutost uležištenja [5,6]

	Prednje uležištenje	Zadnje uležištenje
Aksijalna krutost [N/ $\mu$ m]	108	48
Radijalna krutost [N/ $\mu$ m]	2600 <sup>3</sup>	280

Na osnovu zapreminskog modela primenom metode konačnih elemenata definisana je mreža od 32610 konačnih elemenata, 100474 čvorova i 212 kontaktnih parova. Pri diskretizaciji je korišćen 3D konačni element SOLID 87 (linearni tetraedar), dok su za definisanje kontaktnih parova korišćeni konačni elementi TARGET 170 za definisanje površine kontakta i CONTA 174 za uspostavljanje kontakta između

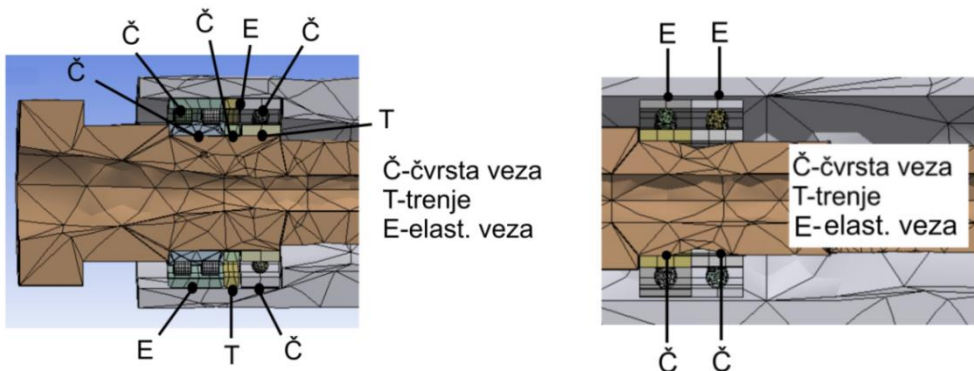
<sup>3</sup>Radijalna krutost u prednjem uležištenju je posledica dejstva čisto valjkastog ležaja.

kotrljajnih tela i staza kotrljanja kao i kontakta između prstenova i vretena odnosno prstenova i pinole. Na slici 2 je prikazan diskretizovan model sklopa glavnog vretena.



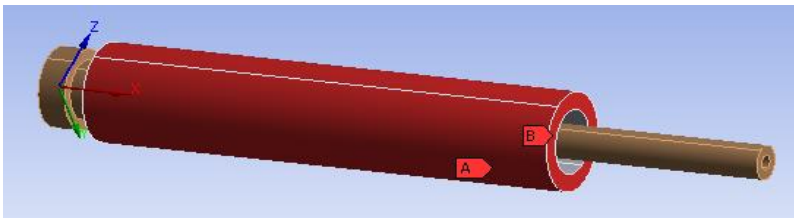
Slika 2. Diskretizovan model sklopa glavnog vretena sa 3D konačnim elementima

Za zadavanje aksijalne i radijalne krutosti koristi se kombinacija različitih tipova kontaktnih parova. Definisanjem krutosti opruge zadaje se krutost uležištenja (elastična veza). Kontaktni parovi koji su korišćeni za kontakt između elemenata u prednjem i zadnjem osloncu prikazani su na slici 3.



Slika 3. Kontaktni parovi u prednjem i zadnjem osloncu

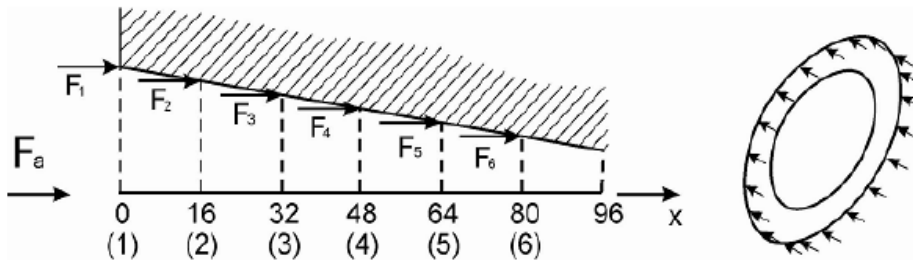
Pored prethodnih parametara potrebno je definisati granične uslove. Slika 4 pokazuje definisane granične uslove na sklopu glavnog vretena. Površina „A“ ograničena je u pravcima Z i Y ( $U_Z=0$  i  $U_Y=0$ ), a površina „B“ ima ograničenje u pravcu „X“ ose ( $U_X=0$ ).



Slika 4. Granični uslovi

**Aksijalno opterećenje** [7]. Zadavanje aksijalnog opterećenja je izvršeno definisanjem odgovarajućih komponenta sila u čvorovima mreže konačnih elemenata. Opterećenje na unutrašnjoj konusnoj površini deluje u 6 preseka, a na svakom preseku

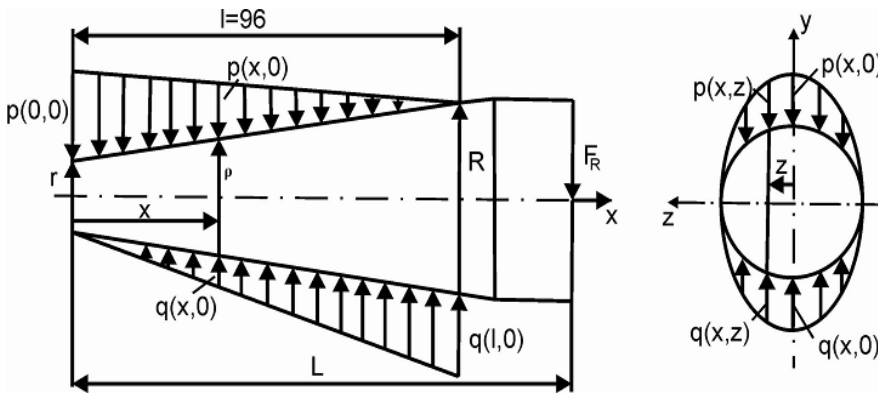
deluje 20 komponenata sile. Slika 5 pokazuje preseke i komponente sile koji deluju na unutrašnju konusnu površinu. U svakom preseku ima po 20 komponenti sile.



Prstenasta površina	1	2	3	4	5	6
Spoljašnji poluprečnik $D_s$ [mm]	22,5	20,167	17,833	15,5	13,167	10,833
Unutrašnji poluprečnik $D_U$ [mm]	20,167	17,833	15,5	13,167	10,833	8,5
Sila u čvoru $F_i$ [N]	68,8	61,4	53,8	46,3	38,7	31,2

Slika 5. Izgled preseka i komponenti sile koje deluju po preseku [7]

**Radijalno opterećenje** [7]. Kao i aksijalno opterećenje posledica je dejstva otpora rezanja na glavno vreteno i prenosi se putem unutrašnjeg konusa. Za pretpostavljenu linearnu zavisnost rasporeda pritiska duž ose konusa i eliptičnu zavisnost u svakom poprečnom preseku (slika 6) mogu se definisati specifični pritisci u pojedinim čvorovima konusne površine.



Slika 6. Način raspodele pritiska po konusnoj površini pri radijalnom opterećenju [7]

Raspodela pritiska duž ose konusa određena je sledećim izrazima:

$$q(x, 0) = \frac{x}{l} \cdot q(l, 0) \quad ; \quad p(x, 0) = \left(1 - \frac{x}{l}\right) \cdot p(0, 0) \quad (1)$$

A po poprečnim presecima:

$$\frac{p^2(x, z)}{p^2(x, 0)} + \frac{z^2}{\rho^2} = 1 \quad ; \quad \frac{q^2(x, z)}{q^2(x, 0)} + \frac{z^2}{\rho^2} = 1 \quad (2)$$

Rešenja jednačina ovako postavljenog problema su:

$$p(0,0) = \frac{12[r \cdot (2L-l) + R \cdot (4L-3l)] \cdot F}{\pi \cdot l^2 \cdot (r^2 + 4rR + R^2)} ; \quad (3)$$

$$q(l,0) = \frac{12[r \cdot (4L-l) + R \cdot (2L-l)] \cdot F}{\pi \cdot l^2 \cdot (r^2 + 4rR + R^2)} \quad (4)$$

Za konkretan slučaj nepoznata je jedino veličina "L" – udaljenost napadne tačke sile od početka konusa, koja je određena na osnovu analize mogućnosti obrade sa različitim alatima i usvojena je vrednost L=180 [mm]. Sada su vrednosti specifičnih pritisaka sledeće:

$$p(0,0) = 11,072 [N/mm^2], \quad q(l,0) = 10,406 [N/mm^2] \quad (5)$$

Da bi se odredile vrednosti sila u pojedinim čvorovima mreže konusne površine se, na osnovu prethodnih izraza, mogu odrediti prema sledećim jednačinama:

$$q(x,z) = q(l,0) \cdot \frac{x}{l} \sqrt{1 - \frac{z^2}{\rho^2}} ; \quad p(x,z) = p(0,0) \cdot \left(1 - \frac{x}{l}\right) \cdot \sqrt{1 - \frac{z^2}{\rho^2}} ; \quad (6)$$

Na osnovu poznate projektovane površine i proračunskih vrednosti specifičnih pritisaka izračunate su vrednosti radijalni sila u svakom čvoru gornje (P) i donje (Q) konusne površine (tabela 2). Vrednost sila u tabeli je u Njutnima.

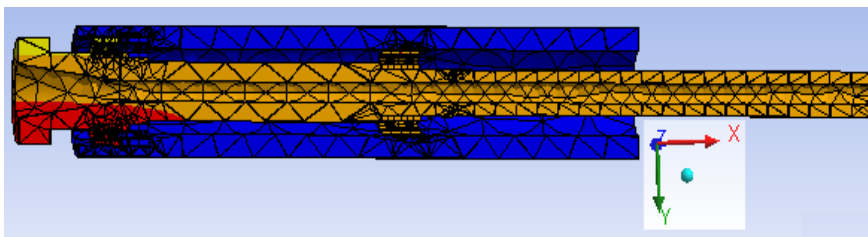
Tabela 2. Vrednosti radijalnih sila u pojedinim čvorovima konusne površine

Mesto sile	Koor. "X"	Z za φ=0		Z za φ=18°		Z za φ=36°		Z za φ=54°		Z za φ=72°	
		Q(x,z)	P(x,z)	Q(x,z)	P(x,z)	Q(x,z)	P(x,z)	Q(x,z)	P(x,z)	Q(x,z)	P(x,z)
1	0	0	-535,7	0	-702,5	0	-306,5	0	-142,9	0	-25,9
2	16	89,9	-554,3	110,0	-726,7	48,0	-317,6	22,4	-147,9	40,57	-26,8
3	32	208,3	-529,7	273,2	-694,4	119,4	-303,4	55,6	-141,3	10,1	-25,6
4	48	373,3	-461,8	489,5	-605,6	213,8	-264,2	99,6	-123,2	18,1	-22,3
5	64	578,7	-351,1	758,9	-460,3	331,1	-200,8	154,4	-93,7	27,9	-16,9
6	80	824,8	-197,0	1081,4	-258,4	471,8	-112,7	220,1	-52,6	39,9	-9,5
7	96	1111,3	0	1457,2	0	653,7	0	296,5	0	53,7	0

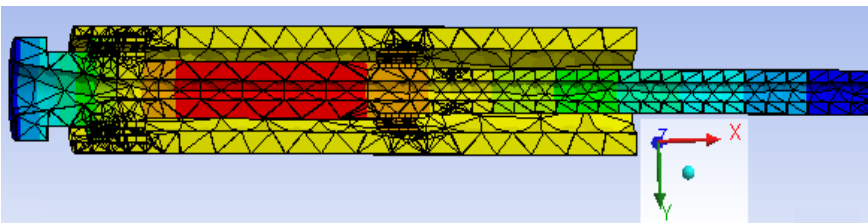
Nakon postprocesiranja dobijaju se rezultati statičkog ponašanja sklopa glavnog vretena (pri aksijalnom i radijalnom opterećenju).

Na slikama 7a., 7b. i 7c. prikazani su rezultati u grafičkom obliku računarskog modelovanja statičkog ponašanja sklopa glavnog vretena pod dejstvom kombinovanog opterećenja.

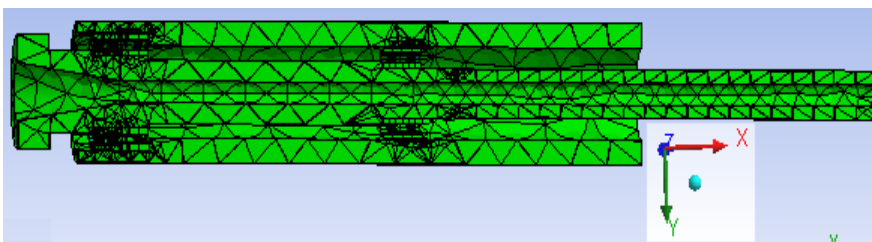




a) pravac X ose



b) pravac Y ose

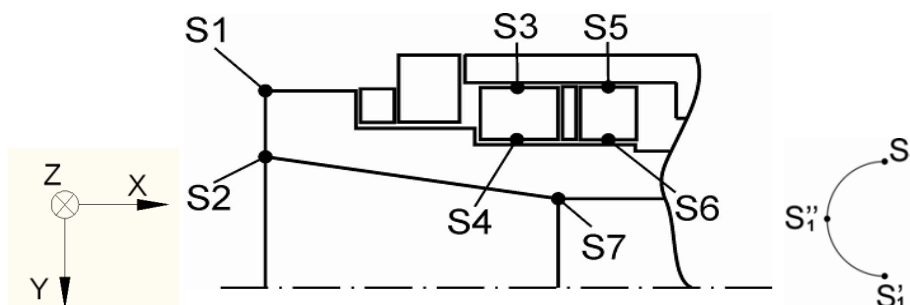


c) pravac Z ose

Slika 7. 3D računarski model sklopa glavnog vretena pri kombinovanom opterećenju

### 3. REZULTATI

Pomeranja su određena u karakterističnim tačkama vrha vretena, a karakteristične tačke na vrhu vretena prikazane su na slici 8.



Slika 8. Karakteristične tačke vrha vretena

Vrednosti pomeranja karakterističnih tačaka vrha vretena pri kombinovanom (aksijalnom i radijalnom) opterećenju prikazane su u tabeli 3.



Tabela 3. Pomeranje karakterističnih tačaka vrha vretena pri kombinovanom opterećenju

Pomeranja karakterističnih tačaka	Karakteristične tačke						
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>
u pravcu X ose [μm]	53,6	58,2	53,9	57,2	2,1	6,6	61,1
u pravcu Y ose [μm]	23	23,2	4,9	5,1	0	0	2,3
u pravcu Z ose [μm]	0	0	0	0	0	0	0
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>
u pravcu X ose [μm]	68,2	72,6	71,7	68,3	2,2	6,6	64,2
u pravcu Y ose [μm]	22,9	23	3,2	4,5	0	0	2,1
u pravcu Z ose [μm]	0	0	0	0	0	0	0
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>
u pravcu X ose [μm]	63,1	63,2	62,8	62,7	2,3	6,7	62,7
u pravcu Y ose [μm]	23,2	23	4,7	4,8	0	0	2
u pravcu Z ose [μm]	0	0	0	0	0	0	0

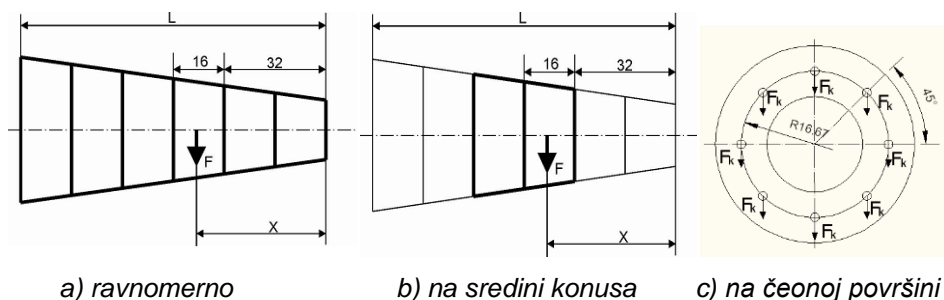
Najvažnija pomeranja su u karakterističnim tačkama S<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>7</sub>, S<sub>7</sub> i S<sub>7</sub> jer se one nalaze na unutrašnjoj konusnoj površini vrha vretena a preko ove površine se pozicionira i steže držač alata sa alatom. Iz tog razloga ova pomeranja mogu imati značajan uticaj na greške koje se javljaju pri obradi.

Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli 3 vidi se da je maksimalno aksijalno pomeranje u karakterističnoj tački S<sub>2</sub> i iznosi 72,6 μm a u tački S<sub>7</sub> iznosi 64,2 μm.

Maksimalno radijalno pomeranje u karakterističnoj tački S<sub>2</sub> iznosi 23,2 μm a u tački S<sub>7</sub> iznosi 2,3 μm.

Za slučaj uležištenja sa kugličnim ležajevima sa kosim dodirnom u "tandem O" rasporedu aksijalno pomeranje u tački S<sub>2</sub> iznosi 77 μm, a radijalno pomeranje iznosi 102 μm [7].

U cilju razmatranja tačnosti izrade konusa glavnog vretena i držača alata variran je način zadavanja radijalnog opterećenja. Na slici 9a je prikazan način zadavanja opterećenja za slučaj idealne raspodele opterećenja po unutrašnjoj konusnoj površini (idealni konus u glavnom vretenu i držaču alata), a na 9b je prikazan slučaj netačnih konusa kada se opterećenje prenosi samo na srednjoj trećini konusne površine. Slučaj prenošenja opterećenja preko čeonog površine je prikazan na slici 9c.



Slika 9. Raspored radijalnog opterećenja

U tabeli 4 su prikazane vrednosti pomeranja karakterističnih tačaka vrha vretena pri radijalnom opterećenju.

Tabela 4. Pomeranje karakterističnih tačaka vrha vretena

Pomeranja karakterističnih tačaka u pravcu Yose [ $\mu\text{m}$ ]	Karakteristične tačke	
	$S_2$	$S_7$
Ravnomerno	15,7	1,4
Na sredini konusa	31,4	2,6
Na čeonj površini	13	2

#### 4. ZAKLJUČAK

U ovom radu je izvršena predikcija statičkog ponašanja sklopa glavnog vretena primenom programskog sistema opšte namene na bazi metoda konačnih elemenata. Na osnovu rezultata računarskog modelovanja može se zaključiti da deformacije površina za prihvatanje alata vrha vretena imaju značajan uticaj na tačnost obrade i da je potrebno posvetiti pažnju pri definisanju tehnologije izrade.

Netačnost izrade površina za pozicioniranje glavnog vretena i držača alata ima veliki uticaj na veličinu deformacija. Isti efekat se dobija i u slučaju stezanja kada na navedenim površinama ima nečistoća ili oštećenja, jer to utiče na raspodelu opterećenja po konusnoj površini što direktno utiče na statičke deformacije.

Konceptijsko rešenje sklopa glavnog vretena sa cilindrično valjkastim dvoredim ležajem ima veću krutost u radijalnom pravcu u odnosu na konceptijska rešenja sklopova glavnog vretena sa kugličnim ležajem sa kosim dodirrom.

#### NAPOMENA:

U radu je prikazan deo rezultata istraživanja na projektu "Savremeni prilazi u razvoju specijalnih rešenja uležištenja u mašinstvu i medicinskoj protetici" TR 35025, koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

#### LITERATURA

- [1] Blanuša, V. (2013). Računarsko modelovanje ponašanja sklopa glavnog vretena uležištenog cilindrično valjkastim dvoredim ležajem, Ispitni rad, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
- [2] Creighton, A., Honegger, A., Tulsian, A., Mukhopadhyay, D. (2010). Analysis of thermal errors in a high-speed micro-milling spindle, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 50, Pages 386-393.
- [3] Huei-Huang, L. (2010). Finite element simulations with Ansys Workbench 12, Department of Engineering Science National Cheng Kung University, Taiwan.
- [4] Liu, D., Zhang, H., Tao, Z., Su, Y. (2011). Finite element analysis of high-speed motorized spindle based on ANSYS, *The Open Mechanical Engineering Journal*, Vol. 5, Pages. 1-10.
- [5] SKF, Angular contact ball bearings, (2003), Publication 5002E, SKF.
- [6] SKF, Precision bearings, (1987), Catalogue 3700 E, SKF.
- [7] Zeljković, M. (1996). Sistem za automatizovano projektovanje i predikciju ponašanja sklopa glavnog vretena mašina alatki, Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
- [8] Zeljković, M., Gatalo, R. (1999). Experimental and computer aided analysis of high-speed spindle assembly behavior, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 48/1, p. 325–328.



## ISPITIVANJE TAČNOSTI POZICIONIRANJA NUMA

Mirjana Bojanić<sup>1</sup>, Goran Jovičić<sup>2</sup>, Milan Zeljković<sup>3</sup>

*Rezime: Pozicioniranje predstavlja zauzimanje položaja izvršnog organa mašine alatke. Pod tačnošću pozicioniranja podrazumeva se odstupanje stvarnog položaja izvršnog organa mašine od programiranog, pri njegovom višestrukom dvosmernom pozicioniranju u različitim tačkama po svakoj od koordinatnih osa (pri nezavisnom kretanju duž ose - nezavisne ose).*

*U radu je dat prikaz osnovnih parametara za četiri standard koja se odnose na tačnost pozicioniranja NUMA. Ispitivanje je izvršeno na obradnom centru za glodanje i rezultati su prikazani za sva četiri standarda, gde je kod ISO 230-2: 2014 standarda data i merna nesigurnost.*

*Ključne reči: Tačnost pozicioniranja, merna nesigurnost, laserski merni sistem, NU mašina alatka*

### **DETERMINATION OF ACCURACY AND REPEATABILITY OF POSITIONING OF CNC MACHINE TOOL**

*Abstract: Positioning represent taking the position of the executive body machine tools. The positioning accuracy means the deviation of the actual position of the executive body of the machine programmed, with its multiple bidirectional positioning at different points in each of the coordinate axes (the independent movement along the axes - independent axes).*

*This paper presents the basic parameters for four standard relating to the positioning accuracy NUMA. Testing was performed on the machining center for milling and results are presented for all standards, where is given measurement uncertainty for ISO 230-2: 2014 standard.*

*Key words: Positioning accuracy, Measurement uncertainty, Laser measuring system, CNC machine tools*

## 1. UVOD

Kao jedan od osnovnih ciljeva savremene industrije prerade metala nameće se razvoj proizvoda zadovoljavajuće tačnosti. Da bi ovaj cilj bio ispunjen metaloprerađivačkoj industriji su potrebne mašine alatke koje će takve proizvode

<sup>1</sup>M.Sc. Mirjana Bojanić, asistent, Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka, bojanicm@uns.ac.rs

<sup>2</sup>Goran Jovičić, istraživač saradnik, Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka, goran.jovicic@uns.ac.rs

<sup>3</sup>Dr Milan Zeljković, redovni profesor, Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka, milanz@uns.ac.rs

izrađivati uz minimalan procenat škarta. Opšte je poznato da delove sa uskim tolerancijama mogu da izrađuju samo precizne, odnosno mašine alatke sa odgovarajućom tačnošću. Tačnost predstavlja jedan od pokazatelja kvaliteta mašine alatke. Kontrolom parametara tačnosti od samog početka eksploatacionog veka mašine, moguće je održavati u dozvoljenim granicama njene karakteristike kvaliteta.

Tačnost pozicioniranja i ponovljivost su osnovni pokazatelji karakteristika mašina alatki i ukazuju na njihov očekivani nivo. Postoji ne mali broj standarda i preporuka koji ukazuju kako ispitati tačnost pozicioniranja i ponovljivost, i oni se razlikuju u analizi i u definiciji parametara. Brojčani rezultat kao izveštaj o tačnosti pozicioniranja i ponovljivosti za bilo koju mašinu mogu varirati u zavisnosti od toga, koji je standard primenjen [5].

Cilj ovog rada je prikaz rezultata dobijenih po različitim standardima za tačnost pozicioniranja NU mašina alatki. Kako je važnost standarda ravnopravna, važno je znati razliku između njih i kako se različite proračunate vrednosti međusobno mogu porediti. Merenje tačnosti pozicioniranja je izvršeno na obradnom centru za glodanje, rezultati su prikazani tabelarno za sve tri ose.

## **2. PRIKAZ STANDARDA ZA ISPITIVANJE NUMA**

Postoji više standarda i preporuka koji ukazuju kako ispitati tačnost pozicioniranja i ponovljivost. Osnovna razlika između njih je u analizi i u definiciji parametara. Kako svi standardi podjednako važe, važno je znati razlike između pojedinih standarda i kako se različite proračunate vrednosti međusobno poredi. U nastavku je prikazana analiza nekih od standarda koji se koriste u Evropi i u našoj zemlji:

- ISO 230-2: 2014
- DIN ISO 230-2: 2000
- VDI/DGQ 3441
- SRPS M.GO.101: 1991

### **2.1 ISO 230-2: 2014**

Najnoviji standard ISO 230-2: 2014 - deo 2, odnosi se na ispitivanje mašina alatki, odnosno određivanje tačnosti pozicioniranja i ponovljivosti numerički upravljanih mašina alatki.

Prethodne verzije ovog standarda su: ISO 230-2: 2006, ISO 230-2: 1997 i ISO 230-2: 1998. Ne postoji ni jedan međunarodni standard zasnovan na ISO 230-2: 2014. Predmet standarda je definisanje metode ispitivanja tačnosti pozicioniranja i ponovljivosti numerički upravljanih mašina alatki i komponenti za direktno merenje nezavisnih osa mašine. Koristi se za ispitivanje pri preuzimanju mašine od kupca, poređenju i za periodičnu verifikaciju parametara mašine.

U verziji 2014 i 2006, se definiše i merna nesigurnost, koja u ranijim verzijama nije bila uključena u izveštaj kao važan parametar. Izračunavanje merne nesigurnosti je definisano navedenim standardom, što će u nastavku rada biti prikazano za obradni centar.

### **2.2 DIN ISO 230-2: 2000**

DIN ISO 230-2 nemački standard zasnovan je na međunarodnom ISO 230-2: 1997. standardu. Odnosi se na ispitivanje mašina alatki - deo 2, odnosno određivanje tačnosti pozicioniranja i ponovljivosti kod numerički upravljanih mašina alatki.

Predmet standarda je definisanje metode ispitivanja tačnosti pozicioniranja i ponovljivosti numerički upravljanih mašina alatki i komponenti za direktno merenje nezavisnih osa. Koristi se kao i prethodno opisan standard za ispitivanje pri preuzimanju mašine od kupca, poređenju i za periodičnu verifikaciju parametara mašine.

### 2.3 VDI/DGQ 3441

Statističko ispitivanje radne tačnosti i tačnosti pozicioniranja mašina alatki. Prevod nemačkog izdanja 3/1977. Ova preporuka nema ranijih verzija, takođe nema ni drugih međunarodnih standarda zasnovanih na VDI/DGQ 3441.

Oblast standarda su smernice koje pokazuju kako se statističke metode mogu primeniti na mašine koje su i koje nisu vezane na određeni deo za određivanje radne tačnosti i tačnosti pozicioniranja mašina alatki. Preporuka se sastoji iz dva dela, jedan deo se odnosi na radnu tačnost. Cilj ispitivanja u okviru radne tačnosti je određivanje tačnosti sa kojim se može izraditi izradak na konkretnoj mašini. Drugi deo preporuke opisuje tačnost pozicioniranja mašine direktnim merenjem, u uslovima praznog hoda.

### 2.4 SRPS M.GO.101-1991

Ovim standardom se utvrđuju metode ispitivanja tačnosti i ponovljivosti položaja elemenata mašine alatke sa numeričkim upravljanjem, direktnim merenjem nezavisnih osa na mašini. Metode se primenjuju za pravolinijska ili obrtna kretanja. Odnosi se na merenje ponovljivosti i tačnosti pozicioniranja pokretnih delova duž ili oko svake ose mašine.

Standard je u skladu sa ISO 230-2 iz 1988., a razlikuje se samo u tome što ne sadrži tačku 8, koja se odnosi na dogovor između kupca i prodavca.

### 2.5 Poređenje parametara između pojedinih standarda

U tabeli 1 dati su preporučeni parametri, koje treba da sadrži svaki izveštaj, nakon ispitivanja tačnosti pozicioniranja mašina alatki.

U tabelama 2, 3, i 4 dati su standardi i parametri koji se porede međusobno, kao i njihove sličnosti i razlike. DIN ISO 230-2, nije poreden sa drugim standardima, jer je identičan sa ISO 230-2: 2014, sa izuzetkom merne nesigurnosti. U nomenklaturi je dat spisak korištenih oznaka.

Tabela 1. Preporučeni parametri prema standardu

ISO 230-2: 2014	DIN ISO 230-2: 2000	VDI/DGQ 3441	SRPS M.GO.101 1991
$A_{14}$ ; nesigurnost (k=2)	$A$	$P_a$	$A$
$A \uparrow_{14} \text{ i } A \downarrow_{14}$	$A \uparrow \text{ i } A \downarrow$	$P_{smax}$	$R$
$E_{14}$ ; nesigurnost (k=2)	$E$	$\bar{P}_s$	$R \uparrow \text{ i } R \downarrow$
$E \uparrow_{14} \text{ i } E \downarrow_{14}$	$E \uparrow \text{ i } E \downarrow$	$U_{max}$	$\bar{B}$
$M_{14}$ ; nesigurnost (k=2)	$M$	$\bar{U}$	-
$R_{14}$ ; nesigurnost (k=2)	$R$	-	-
$R \uparrow_{14} \text{ i } R \downarrow_{14}$	$R \uparrow \text{ i } R \downarrow$	-	-
$B_{14}$ ; nesigurnost (k=2)	$B$	-	-
$\bar{B}_{14}$	$\bar{B}$	-	-

Tabela 2. *Identični i slični parametri u ISO 230-2: 2014 i VDI/DGQ 3441*

ISO 230-2: 2014	VDI/DGQ 3441	Identičan ili sličan
Srednja vrednost raspona odstupanja duž ispitivane ose, $M_{14}$ $M_{14} = \max[\bar{x}_i] - \min[\bar{x}_i]$	Raspon odstupanja centralnih vrednosti pozicioniranja, $P_a$ $P_a =  \bar{x}_{jmax} - \bar{x}_{jmin} $	<i>Identičan</i> - Razlika između srednje maksimalne i minimalne vrednosti odstupanja duž ispitivane ose u pozitivnom i negativnom smeru.
Srednja povratna greška, $\bar{B}_{14}$ $\bar{B}_{14} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m B_i$ gde je: $B_i = \bar{x}_i \uparrow - \bar{x}_i \downarrow$	Centralna vrednost raspona odstupanja srednjih vrednosti, $\bar{U}$ $\bar{U} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m U_i$ gde je: $U_i =  \bar{x}_i \uparrow - \bar{x}_i \downarrow $	<i>Sličan</i> - Centralna vrednost raspona odstupanja srednjih vrednosti. Zbog neznatnih razlika u izrazima vrednosti mogu da variraju.
Raspon odstupanja srednjih vrednosti duž ispitivane ose $B_{14} = \max[ B_i ]$	Maksimalni raspon odstupanja srednjih vrednosti $U_{max} = \max[U_j]$	<i>Identičan</i> - Maksimalna raspon srednjih vrednosti.
Tačnost pozicioniranja ose pri dvosmernom kretanju, $A_{14}$ $A_{14} = \max[\bar{x}_i \uparrow + 2s_i \uparrow; \bar{x}_i \downarrow + 2s_i \downarrow; -\min[\bar{x}_i \uparrow - 2s_i \uparrow; \bar{x}_i \downarrow - 2s_i \downarrow]]$	Raspon odstupanja pozicioniranja, $P$ $P = \left[ \bar{x}_j + \frac{1}{2}(U_j + P_{sj}) \right]_{Max} - \left[ \bar{x}_j - \frac{1}{2}(U_j + P_{sj}) \right]_{Min}$	<i>Sličan</i> - maksimalna vrednost zasnovana na osnovu greške pozicioniranja, odgovara standardnoj devijaciji i povratnoj greški duž ose.
Raspon odstupanja pojedinačnih vrednosti pri pozicioniranju u jednom smeru, $R_{14} \uparrow$ ili $R_{14} \downarrow$ $R_{14} \uparrow = \max[4s_i \uparrow]$ $R_{14} \downarrow = \max[4s_i \downarrow]$	Maksimalni raspon odstupanja pojedinačnih vrednosti pozicioniranja, $P_{smax}$ $P_{smax} = P_{sjmax} = \max[6\bar{s}_j]$	<i>Sličan</i> -označava maksimalnu širinu mernih tačaka koje su nastale u pojedinačnoj programiranoj poziciji. $P_{smax}$ će uvek biti veće od $R_{14} \uparrow$ ili $R_{14} \downarrow$ , gde $P_{smax}$ koristi tri puta standardnu devijaciju za proračun, dok $R_{14} \downarrow$ koristi samo dva puta. Treba voditi računa da je $P_{smax}$ prosečno odstupanje u oba pravca.
Raspon odstupanja pojedinačnih izmerenih vrednosti pri dvosmernom pozicioniranju, $R_{14}$ $R_{14} = \max[R_i]$	Nema ekvivalentnih parametara	Ako su $B_{14}$ i $U$ nula, onda $2/3P_{smax}$ može biti slično $R_{14}$ . U suprotnom se očekuje da $\bar{U} + 2/3P_{smax}$ bude slično $R_{14}$ .

Tabela 3. *Identični i slični parametri u ISO 230-2: 2014 i SRPS M.GO.101: 1991*

ISO 230-2: 2014	SRPS M.GO.101 1991	Identičan ili sličan
Srednja povratna greška, $\bar{B}_{14}$ $\bar{B}_{14} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m B_i$	Srednja povratna greška, $\bar{B}$ $\bar{B} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n B_j$	<i>Identičan</i> - Srednja povratna greška.
Tačnost pozicioniranja ose pri dvosmernom kretanju, $A_{14}$ $A_{14} = \max[\bar{x}_i \uparrow + 2s_i \uparrow; \bar{x}_i \downarrow + 2s_i \downarrow; -\min[\bar{x}_i \uparrow - 2s_i \uparrow; \bar{x}_i \downarrow - 2s_i \downarrow]]$	Tačnost pozicioniranja ose pri dvosmernom kretanju, $A$ $A = \max[\bar{x}_j \uparrow + 3s_j \uparrow; \bar{x}_j \downarrow + 3s_j \downarrow; -\min[\bar{x}_j \uparrow - 3s_j \uparrow; \bar{x}_j \downarrow - 3s_j \downarrow]]$	<i>Sličan</i> - SRPS M.GO.101: 1991 koristi tri standardne devijacije za proračun, dok verzija ISO iz 2014 koristi dve. $A$ je očekivano veće od $A_{14}$ .
Raspon odstupanja pojedinačnih vrednosti pri pozicioniranju u jednom smeru, $R_{14} \uparrow$ ili $R_{14} \downarrow$ $R_{14} \uparrow = \max[4s_i \uparrow]$ $R_{14} \downarrow = \max[4s_i \downarrow]$	Raspon odstupanja pojedinačnih vrednosti pri pozicioniranju u jednom smeru, $R \uparrow$ ili $R \downarrow$ $R \uparrow = \max[6s_j \uparrow]$ $R \downarrow = \max[6s_j \downarrow]$	<i>Sličan</i> - Postoji direktna konverzija između dva standarda, $R_{14} \uparrow = 2/3R \uparrow$ $R_{14} \downarrow = 2/3R \downarrow$ Isto tako, $R \uparrow = 3/2R_{14} \uparrow$ $R \downarrow = 3/2R_{14} \downarrow$

ISO 230-2: 2014	SRPS M.GO.101 1991	Identičan ili sličan
Raspon odstupanja pojedinačnih vrednosti pri dvosmernom pozicioniranju, $R_{14}$  $R_{14} = \max[R_i]$ gde je: $R_i = [2s_i \uparrow + 2s_i \downarrow +  B_i ; R_i \uparrow; R_i \downarrow]$	Raspon odstupanja pojedinačnih vrednosti pri dvosmernom pozicioniranju, $R$  $R = \max[R_j]$ gde je: $R_j = [3s_j \uparrow + 3s_j \downarrow +  B_j ; R_j \uparrow; R_j \downarrow]$	<i>Sličan</i> - bazira na istom konceptu, međutim SRPS M.GO.101: 1991 koristi tri standardne devijacije za proračun, dok su dve standardne devijacije korištene u ISO 230-2: 2014. $R$ će biti veće od $R_{14}$ .

Tabela 4: Identični i slični parametri u SRPS M.GO.101: 1991 i VDI/DGQ 3441

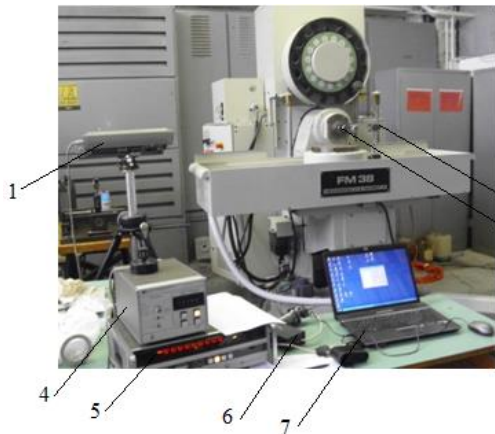
SRPS M.GO.101 1991	VDI/DGQ 3441	Identičan ili sličan
Srednja povratna greška, $\bar{B}$  $\bar{B} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n B_j$ gde je: $B_j = \bar{x}_j \uparrow - \bar{x}_j \downarrow$	Centralna vrednost raspona odstupanja srednjih vrednosti, $\bar{U}$  $\bar{U} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m U_j$ gde je: $U_j =  \bar{x}_j \uparrow - \bar{x}_j \downarrow $	<i>Sličan</i> - Srednja povratna razlika. Zbog neznatnih razlika u izrazima vrednosti mogu da variraju.
Tačnost pozicioniranja ose pri dvosmernom kretanju, $A$  $A = \max[\bar{x}_j \uparrow + 3s_j \uparrow; \bar{x}_j \downarrow + 3s_j \downarrow]$ $- \min[\bar{x}_j \uparrow - 3s_j \uparrow; \bar{x}_j \downarrow - 3s_j \downarrow]$	Raspon odstupanja pozicioniranja, $P$  $P = \left[ \bar{x}_j + \frac{1}{2}(U_j + P_{sj}) \right]_{Max}$ $- \left[ \bar{x}_j - \frac{1}{2}(U_j + P_{sj}) \right]_{Min}$	<i>Sličan</i> - maksimalni raspon vrednosti baziran na greški pozicioniranja i odgovara standardnoj devijaciji za svaki programirani položaj. Kao raspon odstupanja pozicioniranja $P$ koristi prosečnu standardnu devijaciju u pozitivnom i negativnom smeru i očekuje se manja vrednost od dvosmerne tačnosti pozicioniranja, $A$ .
Raspon odstupanja pojedinačnih vrednosti pri pozicioniranju u jednom smeru, $R \uparrow$ ili $R \downarrow$  $R \uparrow = \max[6s_j \uparrow]$ $R \downarrow = \max[6s_j \downarrow]$	Maksimalni raspon odstupanja pojedinačnih vrednosti pozicioniranja, $P_{smax}$  $P_{smax} = P_{smax} = \max[6\bar{s}_j]$	<i>Sličan</i> - ukazuje na maksimalno rasipanje podataka koji su nastali u pojedinačnim programiranim položajima. $P_{smax}$ se bazira na standardnoj devijaciji i očekuje se da je neznatno manji od $R \uparrow$ ili $R \downarrow$ .
Raspon odstupanja pojedinačnih vrednosti pri dvosmernom pozicioniranju, $R$  $R = \max[R_j]$ Gde je: $R_j = [3s_j \uparrow + 3s_j \downarrow +  B_j ; R_j \uparrow; R_j \downarrow]$	Nema ekvivalentnih parametara.	Ako su $B$ i $U$ nula, onda $P_{smax}$ može biti slično $R$ . U suprotnom se očekuje da $\bar{U} + P_{smax}$ bude slično $R$ .

### 3. MERNJA INSTRUMENTACIJA

Ispitivanje tačnosti pozicioniranja numerički upravljano obradno centar FM 38 izvršeno je pomoću laserskog mernog sistema (LMS) 5526A firme „Hewlett-Packard“. Na slici 1 dat je numerički upravljani obradni centar FM 38 sa postavljenim LMS.

Laserska glava 5500C je jedna od prvih HP-ovih lasera za metrologiju koji ima integrisani optički prijemnik za povratni laserski zrak [4].

Automatski kompenzator 5510A se koristi da bi korigovao uticaj okoline, kao što su: temperatura, vlažnost i pritisak vazduha, za koje postoje odgovarajući senzori, priključeni na automatski kompenzator. Napajanje se vrši od laserskog pokazivača 5505A, preko priključnog kabla. Kompenzator pojednostavljuje proces kompenzacije i eliminišući potrebu da operator vrši bilo kakve proračune.



1. Laserska glava  
(He- Ne gasni laser)- 5500 C;
2. Interferometar;
3. Reflektor;
4. Automatski kompenzator;
5. Laserski pokazivač- displej HP-5505A;
6. AD kartica;
7. Računarski sistem sa odgovarajućim programskim sistemom

Slika 1. Numerički upravljani obradni centar FM sa LMS

Od optičkih komponenta za merenje tačnost pozicioniranja korištene su: daljinski interferometar (slika 2) i daljinski reflektor (slika 3).



Slika 2. Interferometar



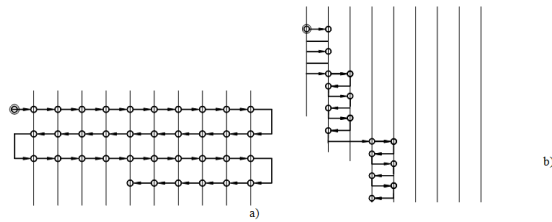
Slika 3. Reflektor

### 3.1 Metodologija ispitivanja

Metodologija ispitivanja tačnosti pozicioniranja numerički upravljanih mašina alatki je usvojena u skladu sa VDI/DGQ 3441. Standardi kao što je SRPS M.G0.101:1991 i ISO 230-2: 1988., kao i novije verzije su vrlo slični u pogledu metodologije ispitivanja.

Prema VDI/DGQ 3441 ispitivanje tačnosti pozicioniranja se vrši u neopterećenom i stacionarnom temperaturnom stanju mašine. Na upravljačkoj jedinici mašine programira se kretanje izvršnog organa tj. klizača duž ispitivane ose. Ovo kretanje se može vršiti po linearnom ciklusu ili ciklusu koraka (slika 4). U preporuci VDI/DGQ 3441 ovo nije definisano, dok standardi SRPS M.G0.101: 1991 preporučuje ova dva ciklusa kretanja pri ispitivanju tačnosti pozicioniranja. Pri ispitivanju tačnosti pozicioniranja obradnog centra FM 38 korišten je linearni ciklus kretanja.





Slika 4. Ciklusi kretanja pri ispitivanju tačnosti pozicioniranja:  
(a) linearni, (b) ciklus koraka

#### 4. PRIKAZ REZULTATA

Merenje tačnosti pozicioniranja je izvedeno na obradnom centru za glodanje koji je instalisan u Laboratoriji za mašine alatke na Fakultetu tehničkih nauka. U tabelama 5, 6 i 7 su prikazani obrađeni rezultati ispitivanja u pravcu sve tri ose. Direktno učitane vrednosti sa displeja na računar pomoću odgovarajućeg interfejsa nisu date u ovim tabelama, niti su data odstupanja od programiranih vrednosti, već su dati obrađeni podaci, zbog nedostatka prostora.

Tabela 5. Rezultati ispitivanja X ose obradnog centra FM 38

VDI/DGQ 3441		SRPS M.GO.101		DIN ISO 230-2		ISO 230-2	
P	25,682	A	25,5121	A	19,0315	A	19,0315
P <sub>a</sub>	6,26	$\bar{B}$ (B <sub>sr</sub> )	1,022	A↑ (A <sub>d</sub> )	18,6344	A↑ (A <sub>d</sub> )	18,6344
$\bar{P}_s$ (P <sub>srs</sub> )	18,643	R↑ (R <sub>d</sub> )	21,4117	A↓ (A <sub>i</sub> )	19,0315	A↓ (A <sub>i</sub> )	19,0315
P <sub>smax</sub>	19,4825	R↓ (R <sub>i</sub> )	19,0286	E	6,96	E	6,96
$\bar{U}$ (U <sub>sr</sub> )	1,146	R	21,396	E↑ (E <sub>d</sub> )	5,78	E↑ (E <sub>d</sub> )	5,78
U <sub>min</sub>	0,18	x	x	E↓ (E <sub>i</sub> )	6,92	E↓ (E <sub>i</sub> )	6,92
U <sub>max</sub>	2,2	x	x	M	6,26	M	6,26
x	x	x	x	R	14,9974	R	14,9974
x	x	x	x	R↑ (R <sub>d</sub> )	14,2745	R↑ (R <sub>d</sub> )	14,2745
x	x	x	x	R↓ (R <sub>i</sub> )	12,6857	R↓ (R <sub>i</sub> )	12,6857
x	x	x	x	B	2,2	B	2,2
x	x	x	x	$\bar{B}$ (B <sub>sr</sub> )	1,022	$\bar{B}$ (B <sub>sr</sub> )	1,022

Tabela 6. Rezultati ispitivanja Y ose obradnog centra FM 38

VDI/DGQ 3441		SRPS M.GO.101		DIN ISO 230-2		ISO 230-2	
P	30,1049	A	30,4866	A	28,311	A	28,311
P <sub>a</sub>	22,61	$\bar{B}$ (B <sub>sr</sub> )	4,7	A↑ (A <sub>d</sub> )	25,1021	A↑ (A <sub>d</sub> )	25,1021
$\bar{P}_s$ (P <sub>srs</sub> )	6,81848	R↑ (R <sub>d</sub> )	8,13216	A↓ (A <sub>i</sub> )	28,311	A↓ (A <sub>i</sub> )	28,311
P <sub>smax</sub>	7,53757	R↓ (R <sub>i</sub> )	7,16743	E	23,96	E	23,96
$\bar{U}$ (U <sub>sr</sub> )	5,144	R	14,5356	E↑ (E <sub>d</sub> )	21,26	E↑ (E <sub>d</sub> )	21,26
U <sub>min</sub>	0,48	x	x	E↓ (E <sub>i</sub> )	3,96	E↓ (E <sub>i</sub> )	3,96
U <sub>max</sub>	7,26	x	x	M	22,61	M	22,61
x	x	x	x	R	12,0771	R	12,0771
x	x	x	x	R↑ (R <sub>d</sub> )	5,42144	R↑ (R <sub>d</sub> )	5,42144
x	x	x	x	R↓ (R <sub>i</sub> )	4,77828	R↓ (R <sub>i</sub> )	4,77828
x	x	x	x	B	7,26	B	7,26
x	x	x	x	$\bar{B}$ (B <sub>sr</sub> )	4,7	$\bar{B}$ (B <sub>sr</sub> )	4,7

Tabela 7. Rezultati ispitivanja Z ose obradnog centra FM 38

VDI/DGQ 3441		SRPS M.GO.101		DIN ISO 230-2		ISO 230-2	
P	12,5399	A	13,5448	A	12,5232	A	12,5232
P <sub>a</sub>	8,46	$\bar{B}$ (B <sub>Sr</sub> )	1,264	A↑ (A <sub>d</sub> )	12,5232	A↑ (A <sub>d</sub> )	12,5232
$\bar{P}_S$ (P <sub>Srs</sub> )	2,29717	R↑ (R <sub>d</sub> )	4,35982	A↓ (A <sub>i</sub> )	7,09968	A↓ (A <sub>i</sub> )	7,09968
P <sub>Smax</sub>	4,98743	R↓ (R <sub>i</sub> )	7,14626	E	10,48	E	10,48
$\bar{U}$ (U <sub>Sr</sub> )	2,08	R	7,60743	E↑ (E <sub>d</sub> )	10,48	E↑ (E <sub>d</sub> )	10,48
U <sub>min</sub>	1,62	x	x	E↓ (E <sub>i</sub> )	6,44	E↓ (E <sub>i</sub> )	6,44
U <sub>max</sub>	2,62	x	x	M	8,46	M	8,46
x	x	x	x	R	5,94496	R	5,94496
x	x	x	x	R↑ (R <sub>d</sub> )	2,91454	R↑ (R <sub>d</sub> )	2,91454
x	x	x	x	R↓ (R <sub>i</sub> )	4,71084	R↓ (R <sub>i</sub> )	4,71084
x	x	x	x	B	2,62	B	2,62
x	x	x	x	$\bar{B}$ (B <sub>Sr</sub> )	1,264	$\bar{B}$ (B <sub>Sr</sub> )	1,264

Pri svakom merenju neizbežne su greške merenja. Veličina grešaka zavisi od merenih uređaja, uslova u kojima se izvodi merenje kao i od znanja i veštine onoga ko vrši merenje. Kao i kod većine drugih ispitivanja i pri ispitivanju tačnosti pozicioniranja potrebno je definisati uslove okoline i stanja same mašine radi eliminisanja grešaka merenja u što većoj meri. Automatski kompenzator daje korektnu kompenzaciju za promenu talasne dužine zbog promene uslova okoline (temperatura, pritisak i relativna vlažnost vazduha) i kompenzacije za dilataciju delova mašina usled promene temperature materijala, pa se za te veličine pri proračunu merne nesigurnosti uzima vrednost 0. U nastavku je data tabela 8, za sve tri ose obradnog centra sa izračunatom mernom nesigurnošću prema standardu ISO 230-2: 2014. Ako se pogledaju izračunate vrednosti, vidi se da su iste, pošto je pri proračunu broj zaokružen na dve decimale, razlika u pojedinim vrednostima se javlja na petoj decimali, što je zanemarljivo, jer su sve izračunate vrednosti u mikrometrima.

Tabela 8. Merna nesigurnost za X, Y i Z osu

	X osa				Y osa				Z osa			
	Par	Jed	U	Jed	Par	Jed	U	Jed	Par	Jed	U	Jed
Merna dužina	305	mm			216	mm			270	mm		
U <sub>uređaja</sub>			0,1				0,1				0,1	
R <sub>neusaglašeno</sub>	1				1				1			
U <sub>neusaglašeno</sub>			0,0010	μm			0,0014				0,0011	μm
U <sub>M,maš. alatke</sub>			0				0				0	
U <sub>M,uređaja</sub>			0				0				0	
U <sub>VE</sub>	1,7	μm			1,7	μm			1,7	μm		
U <sub>EVE</sub>			1,02	μm			1,02	μm			1,02	μm
U <sub>R+,R-</sub>			2,04	μm			2,04	μm			2,04	μm
U <sub>B</sub>			0,92	μm			0,92	μm			0,92	μm
U <sub>R</sub>			2,24	μm			2,24	μm			2,24	μm
U <sub>E,E+,E-</sub>			0,47	μm			0,47	μm			0,47	μm
U <sub>M</sub>			0,34	μm			0,34	μm			0,34	μm
U <sub>A</sub>			2,09	μm			2,09	μm			2,09	μm

## 5. ZAKLJUČAK

Problematika izložena u radu odnosi se na ispitivanje tačnosti pozicioniranja mašina alatki. S obzirom na male vrednosti odstupanja tačnosti pozicioniranja na mašinama sa numeričkim upravljanjem ovakva ispitivanja je moguće izvesti samo primenom laserskih mernih sistema.

Osnovni cilj izvršenih ispitivanja je postizanje zadovoljavajuće tačnosti pozicioniranja za sve tri ose ispitivanog obradnog centra. Prema dostupnim preporukama i standardima nije definisana vrednost dozvoljenih odstupanja pojedinih parametara pozicioniranja za određene vrste mašina alatki, pa je zbog toga podešavanje ove mašine vršeno sa ciljem da se maksimalno smanje vrednosti raspona odstupanja pozicioniranja i vrednosti sistematske i slučajne greške u pravcu ispitivanih osa. Prvo ispitivanje je uvek vršeno bez unetih korekcija u upravljačku jedinicu mašine, a nakon toga je prema rezultatima merenja upisivana korekcija u svakoj tački. Obzirom da je ispitivanje vršeno u više koraka, zbog obimnosti, nisu prikazani rezultati koji prethode rezultatima koji su dati kao završni.

Izračunata merna nesigurnost za X, Y i Z osu je ista i veoma je mala, pa se može zaključiti da je merna oprema veoma tačna. Sem toga maloj mernoj nesigurnosti doprinosi i primena automatskog kompenzatora, koji automatski kompenzuje uticaj okoline.

## ZAHVALNICA

Rad predstavlja deo istraživanja na projektu "Savremeni prilazi u razvoju specijalnih uležištenja u mašinstvu i medicinskoj protetici", TR 35025, podržanom od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, Republike Srbije.

## NOMENKLATURA

$A\uparrow; A\downarrow$  Tačnost pozicioniranja ose pri kretanju u jednom smeru

$A$  Tačnost pozicioniranja ose pri dvosmernom kretanju

$E\uparrow; E\downarrow$  Sistemsko odstupanje od pozicije duž ose pri kretanju u jednom smeru

$E$  Sistemsko odstupanje od pozicije duž ose pri dvosmernom kretanju

$M$  Srednja vrednost raspona odstupanja duž ispitivane ose

$B$  Raspon odstupanja srednjih vrednost duž ispitivane ose

$R\uparrow; R\downarrow$  Raspon odstupanja pojedinačnih vrednost pri pozicioniranju u jednom smeru

$R$  Raspon odstupanja pojedinačnih vrednost pri dvosmernom pozicioniranju

$\bar{x}_i \uparrow; \bar{x}_i \downarrow$  Srednja vrednost pojedinačnih izmerenih vrednosti pri pozicioniranju u jednom smeru

$\bar{x}_i$  Srednja vrednost pojedinačnih izmerenih vrednosti pri dvosmernom pozicioniranju

$s_i \uparrow; s_i \downarrow$  Standardna devijacija izmerenih vrednosti u tački „i“ u jednom smeru

$\bar{B}$  Srednja povratna greška

$P_{smax}$  Maksimalni raspon odstupanja pojedinačnih vrednosti pozicioniranja

$U_{max}$  Maksimalni raspon odstupanja srednjih vrednosti

$\bar{U}$  Centralna vrednost raspona odstupanja srednjih vrednosti

$P_a$  Raspon odstupanja centralnih vrednosti pozicioniranja

$P$  Raspon odstupanja pozicioniranja

$\bar{x}_j$  Centralna vrednosti

$\bar{s}_j$  Srednja standardna devijacija

## LITERATURA

- [1] DIN ISO 230-2, *Werkzeugmaschinen Prüfredeln für Werkzeugmaschinen Teil 2: Bestimmung der Positionierunsicherheit und der Wiederholpräzision der Positionierung von numerisch gesteuerten Achsen* (ISO 230-2 : 1997), 2000.
- [2] ISO 230-2, *Test code for machine tools - Part 2: Determination of accuracy and repeatability of positioning of numerically controlled axes*, 2014.
- [3] Jovičić, G., Bojanić, M.: *Analiza različitih prilaza za ispitivanje tačnosti pozicioniranja mašina alatki*, Ispitni rad u okviru doktorskih studija, Fakultet tehnički nauka, Novi Sad, 2014.
- [4] Laser Measurement System 5526A, *Operator's handbook supplement for straightness interferometers*, Hewlett Packard, Santa Clara, 1982.
- [5] Mullany, B.: *Evaluation And Comparison Of The Different Standards Used To Define The Positional Accuracy And Repeatability Of Numerically Controlled Machining Center Axes*, University of North Carolina, Charlotte, 2007.
- [6] SRPS M.G0.101:1991, *Mašine alatke - Uslovi ispitivanja tačnosti - Utvrđivanje tačnosti i ponovljivosti položaja elemenata mašina sa numeričkim upravljanjem*, 1991.
- [7] VDI/DGQ 3441, *Statistische Prufung der Arbeits- und Positionsgenauigkeit von Werkzeugmaschinen Grundlagen*, 1977.



## RAZVOJ GRAFIČKOG KORISNIČKOG INTERFEJSA – GKI ZA ISPITIVANJE TAČNOSTI POZICIONIRANJA NUMA

Goran Jovičić<sup>1</sup>, Mirjana Bojanić<sup>2</sup>, Slobodan Tabaković<sup>3</sup>

*Rezime: Rešavanje inženjerskih zadataka u praksi često može da bude naporan i dugotrajan posao. U cilju rešavanja ovog problema često se pristupa razvoju različitih inženjerskih programa (programskih rešanja) koji ove zadatke rešavaju mnogo brže, bolje i efikasnije sa mogućnošću prikazivanja rezultata u pogodnom obliku za korisnika. U okviru ovog rada prikazano je jedno takvo rešenje koje je razvijeno za ispitivanje tačnosti pozicioniranja numerički upravljanih mašina alatki sa verifikacijom na horizontalnom obradnom centru FM 38.*

*Ključne reči: grafički korisnički interfejs, ispitivanje tačnosti pozicioniranja, programsko rešenje, numerički upravljane mašine alatke.*

### DEVELOPMENT GRAPHICAL USER INTERFACE-GUI FOR CALCULATING ACCURACY OF NC MACHINE TOOLS

*Abstract: Solving engineering tasks in practice can be difficult and durable job. In order to solve this problem often access to development of various engineering programs (softwares) that these tasks are solved much faster, better and more efficiently with the ability to display the results in a suitable form for the user. In this paper one such solution that has been developed for analysis the accuracy of NC machine tools with verification on a horizontal machining center FM 38.*

*Key words: graphical user interface, analysis of the accuracy, software, NC machine tools.*

## 1. UVOD

Grafički korisnički interfejs (eng. *Graphical User Interface - GUI*) predstavlja deo programskog rešenja koje svoju funkciju obavlja primenom konzistentnog skupa grafičkih elemenata [1]. Razlog razvoja ovakvog pristupa rešenju je taj što se od korisnika očekuje da zna samo funkciju svakog grafičkog elementa, bez dovoljnog razumevanja pozadine samog rešenja.

Prednosti primene grafičkog korisničkog interfejsa su sledeće:

<sup>1</sup>Goran Jovičić, istraživač saradnik, Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka, goran.jovicic@uns.ac.rs

<sup>2</sup>M.Sc. Mirjana Bojanić, asistent, Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka, bojanicm@uns.ac.rs

<sup>3</sup>Dr Slobodan Tabaković, vanredni profesor, Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka, tabak@uns.ac.rs

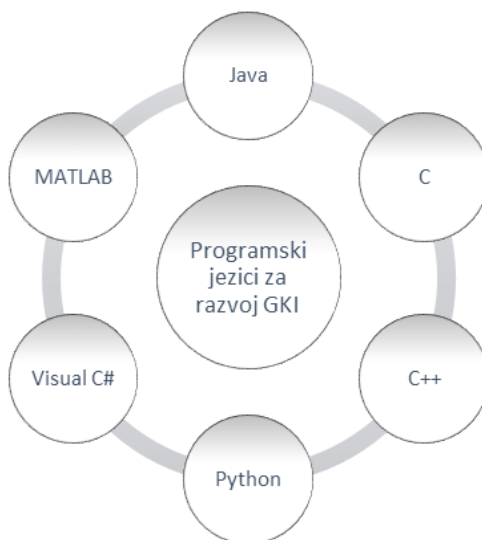
- Korisnik ne mora da unosi parametre preko komandne linije što je često dugotrajan i naporan posao,
- Jednostavnost unosa potrebnih ulaznih podataka,
- Jednostavnost kreiranja grafičkog korisničkog interfejsa, kao i kreiranje odgovarajućih funkcija i podprograma,
- Očekivani izlazni rezultati mogu se prikazati u pogodnom obliku za korisnika,
- Razvijeno rešenje može da se koristi nezavisno od platforme na kojoj je projektovano i
- Proračunate vrednosti se mogu prikazati u okviru grafičkog korisničkog interfejsa, a ne u svakom pojedinačnom prozoru.

U okviru ovog rada biće prikazan razvoj grafičkog korisničkog interfejsa koji je razvijeno u programskom jeziku „Matlab“ kao deo programskog rešenja za ispitivanje tačnosti pozicioniranja numerički upravljanih mašina alatki. Pored toga prikazaće se i verifikacija razvijeno rešenja na primeru horizontalnog obradnog centra FM 38 sa karakterističnim rezultatima ispitivanja.

## 2. PRIKAZ RAZVIJENOG PROGRAMSKOG REŠENJA

### 2.1 Programski jezici za razvoj programskog rešenja

Programski jezik predstavlja skup instrukcija pomoću kojih se ostvaruje komunikacija između čoveka i računara. Do sada je razvijeno veliki broj programskih jezika i ovaj broj iz godine u godinu rapidno raste. Poznatiji programski jezici koji se koriste za razvoj grafičkog korisničkog interfejsa prikazani su na slici 1.



Slika 1. Prikaz programskih jezika za razvoj grafičkog korisničkog interfejsa

Programski jezici kao što su C++ ili Java nemaju takozvane ugrađene funkcije (eng. *built-in functions*) koje se mogu koristiti za rešavanje inženjerskih problema. „Matlab“ sadrži ove ugrađene funkcije što ga čini jednostavnijim za projektovanje različitih inženjerskih programa u odnosu na pomenute programske jezike.

## 2.2 Koncept razvoja programskog rešenja

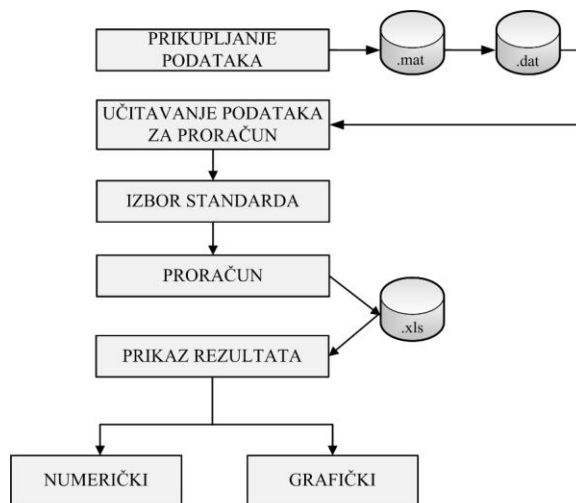
Na osnovu analize odabranih standarda za ispitivanje tačnosti pozicioniranja mašina alatki (SRPS.M.GO.101, VDI/DGQ 3441, DIN ISO 230-2 i ISO 230-2 2006) [2,3,4,5] razvijeno je programsko rešenje pod nazivom „Ispitivanje tačnosti pozicioniranja numerički upravljanih mašina alatki“ u programskom jeziku „Matlab“ (R2014a), odnosno u verziji 8.3 [6].

Opšti algoritam razvijenog programskog rešenja prikazan je na slici 2. U okviru ovog algoritma, pored opštih podataka, koji će detaljnije biti objašnjeni u narednom algoritmu, odnosno algoritmu toka proračuna, neophodno je da se pre samog početka izvršavanja proračuna prikupe neophodni podaci. U ove ulazne podatke spadaju merne pozicije, koje predstavljaju programirane merne tačke i izmerene vrednosti, koje predstavljaju podatke koji su očitani sa laserskog pokazivača, a dobijeni su putem laserskog mernog sistema. Ovde se pri prikupljanju podataka prikupljaju ulazni podaci koje čini tekstualna datoteka iz koje se automatski izdvajaju podaci za proračun koje čini datoteka sa ekstenzijom *.dat*.

Početnu fazu realizacije procesa analize tačnosti pozicioniranja NUMA obuhvata učitavanje podataka, odnosno učitavanje vrednosti mernih pozicija i izmerenih vrednosti.

Posle učitavanja vrši se izbor standarda prema kojem se vrši proračun, gde se zatim svi karakteristični rezultati ispitivanja snimaju u *Excel* datoteku (ekstenzija.xls).

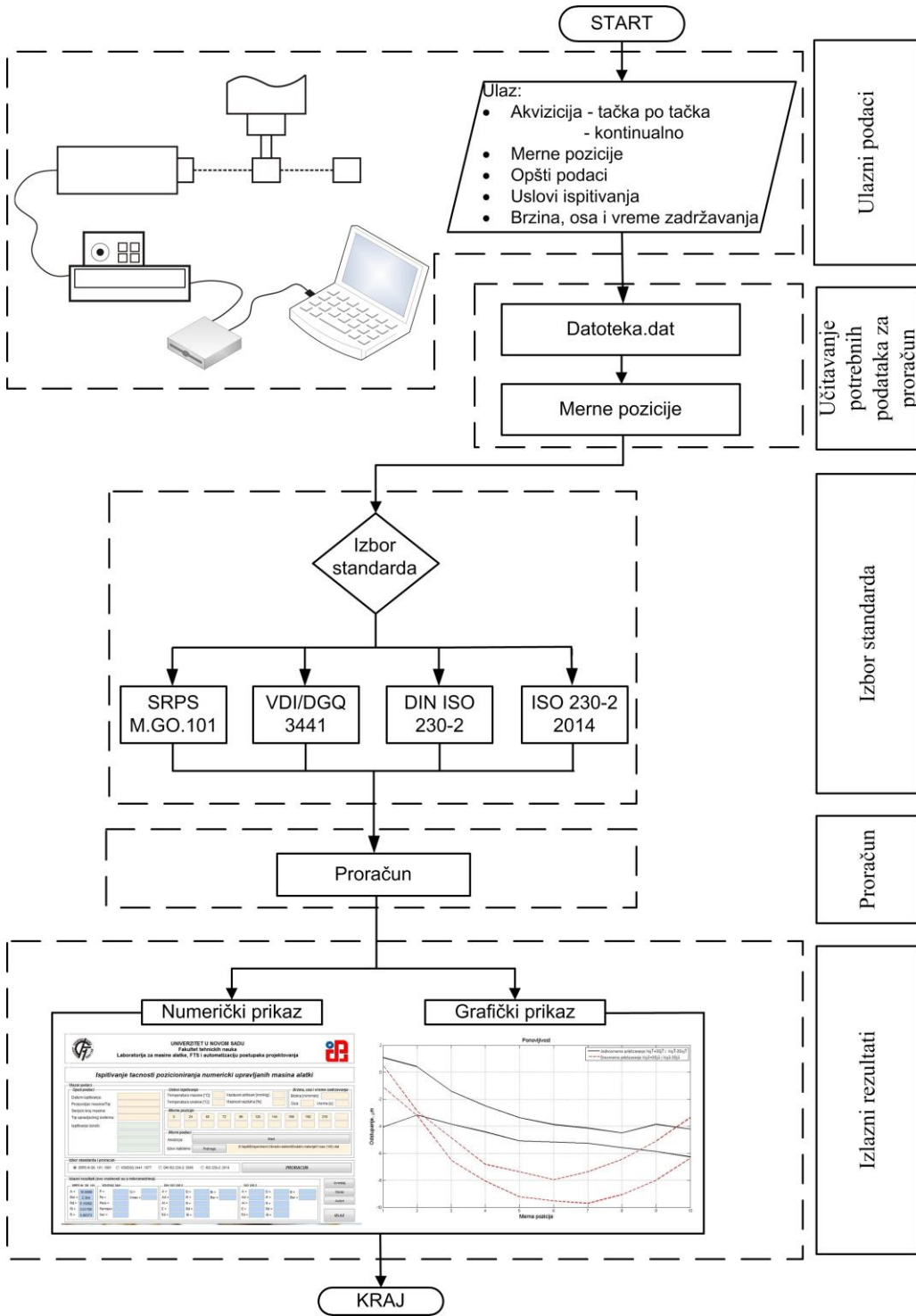
Na samom kraju sledi prikazivanje rezultata, koje može biti predstavljeno numerički ili grafički u okviru grafičkog korisničkog interfejsa.



Slika 2. Opšti algoritam programskog rešenja za ispitivanje tačnosti pozicioniranja numerički upravljanih mašina alatki [7]

Algoritam toka proračuna razvijenog rešenja prikazan je na slici 3, sa koga se može uočiti pet ključnih faza, i to:

- Definisane i prikupljanje ulaznih podataka (ulazni podaci),
- Učitavanje potrebnih podataka za proračun,
- Izbor standarda po kome će se vršiti proračun,
- Izvršavanje proračuna i
- Prikaz izlaznih karakterističnih rezultata ispitivanja.



Slika 3. Algoritam toka proračuna razvjenog rešenja za „Ispitivanje tačnosti pozicioniranja numerički upravljanih mašina alatki“ [7]



U okviru prve faze definišu se ulazni parametri kao što su: metoda i parametri koji obuhvataju proces akvizicije podataka, merne pozicije, opšti podaci, uslovi ispitivanja, kao i brzina kretanja u pravcu ose, izbor ose merenja i vreme zadržavanja u mernoj poziciji. Akvizicija podataka može da se vrši ručno, gde operater vrši očitavanje merne pozicije, ili kontinualno, gde se prikupljanje podataka vrši automatski pri prolasku klizača mašine kroz željenu tačku. Merne pozicije obuhvataju merne tačke (programirane pozicije) na kojima se vrši merenje. Opšti podaci odnose se na datum ispitivanja, proizvođača mašine alatke i tip, serijski broj, tip upravljačkog sistema, kao i izvršioce ispitivanja. Uslovi ispitivanja obuhvataju temperaturu mašine alatke, pritisak vazduha, temperaturu okoline i vlažnost vazduha, dok se na samom kraju ove faze nalazi izbor ose, brzina kretanja u pravcu svake ose, kao i vreme zadržavanja u mernim pozicijama.

U okviru druge faze vrši se učitavanje potrebnih podataka za proračun, odnosno, definisanih mernih pozicija i izmerenih vrednosti. Merne pozicije se definišu putem tastature, gde se nakon unosa vrednosti mernih pozicija te vrednosti automatski učitavaju u okviru grafičkog korisničkog interfejsa koje se kasnije koriste za proračun. Izmerene vrednosti, ako su dobijene akvizicijom, se prvo automatski izdvajaju (u *.dat* ekstenziju) i učitavaju u okviru grafičkog korisničkog interfejsa koje se takođe kasnije koriste za proračun. Ako su pak izmerene vrednosti dobijene nekim drugim programskim rešenjem neophodno je samo učitati datoteku sa *.dat* ekstenzijom.

Treća faza odnosi se na izbor metodologije, odnosno, standarda po kome će se izvršiti proračun.

Četvrta faza odnosi se na proračun, na osnovu učitanih mernih pozicija i izmerenih vrednosti, koji se zatim izvršava na osnovu izabranog standarda. Nakon izvršenog proračuna, karakteristični rezultati ispitivanja se zapisuju u *Excel* formatu (ekstenzija *.xls*), zatim se ovi podaci koriste u petoj fazi.

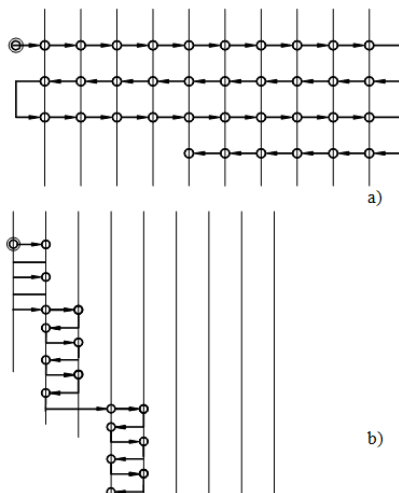
Poslednja faza odnosi se na prikaz karakterističnih rezultata ispitivanja koji mogu biti numerički ili grafički. U okviru numeričkih vrednosti prikazuju se rezultati koji su preporučeni određenim standardom, dok se u okviru grafičkih rezultata prikazuju karakteristični rezultati ispitivanja, takođe u skladu sa preporukama standarda.

Ovde je takođe neophodno naglasiti da je razvijeno programsko rešenje prevedeno u formu izvršne aplikacije (*.exe*) [8] (Windows 7(32bita), Windows 7(64 bita), Windows XP (32 bita)) kako bi se moglo nezavisno koristiti od razvojnog programskog jezika i operativnog sistema.

### 3. METODOLOGIJA ISPITIVANJA TAČNOSTI POZICIONIRANJA

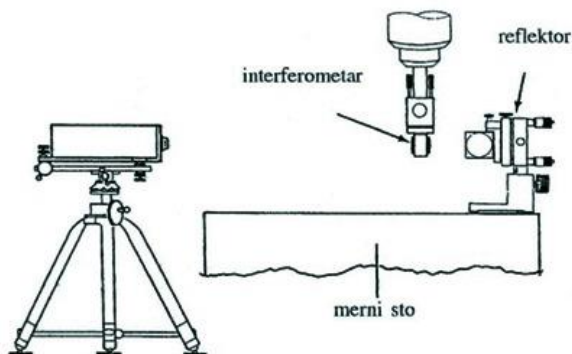
Metodologija ispitivanja tačnosti pozicioniranja numerički upravljane mašine alatke je usvojena u skladu sa VDI/DGQ 3441 standardom. Prema ovom standardu ispitivanje tačnosti pozicioniranja se vrši u neopterećenom i stacionarnom temperaturnom stanju mašine. Na upravljačkoj jedinici mašine programira se kretanje izvršnog organa tj. klizača duž ispitivane ose. Ovo kretanje se može vršiti po linearnom ciklusu ili ciklusu koraka, slika 4. Prilikom verifikacije programskog rešenja na horizontalnom obradnom centru FM 38 koristi se linearni ciklus kretanja.

Kao i kod većine drugih ispitivanja i pri ispitivanju tačnosti pozicioniranja potrebno je definisati uslove okoline i stanja same mašine radi eliminisanja grešaka merenja u što većoj meri. U tu svrhu koristi se automatski kompenzator koji daje korektne kompenzacije za promenu talasne dužine zbog promene uslova okoline (temperatura, pritisak i relativna vlažnost vazduha) i kompenzacije za dilataciju delova mašina usled promene temperature materijala.



Slika 4. Ciklusi kretanja pri ispitivanju tačnosti pozicioniranja:  
(a) linearni, (b) ciklus koraka [2]

Pri postavljanju komponenata laserskog mernog sistema (laserske glave, interferometra i reflektora) treba voditi računa da se u što većoj mjeri smanji broj naknadnih podešavanja. Laserska glava se postavlja na laserski tronožac, slika 5, koji omogućuje lako dovođenje u pravac sa mernom osom, pri tome izbor mesta postavljanja treba tako izvršiti da se se postigne maksimalni broj merenja bez premeštanja laserske glave.



Slika 5. Šematski prikaz merenja tačnost pozicioniranja  
pomoću laserskog mernog sistem [9]

Mašina za ispitivanje mora biti potpuno sastavljena (sa izuzetkom sigurnosne zaštite). Sve neophodne operacije nivelisanja, ispitivanja geometrijske tačnosti i funkcionalnosti moraju se izvršiti ranije, pre početka ispitivanja tačnosti pozicioniranja.

Sva ispitivanja se vrše u uslovima bez opterećenja. Laserska glava se postavlja ispred mašine okrenuta ka mašini, a optičke komponente su postavljene na odgovarajući način na radni sto i u glavno vreteno mašine, u zavisnosti koja osa se u datom momentu ispituje.

Ispitivanju mašine pod normalnim radnim uslovima prethodi postupak zagrevanja, prema uputstvu proizvođača mašine. Ako uslovi nisu određeni, prethodna kretanja se moraju izvršiti u mjeri neophodnoj za postavljanje merne instrumentacije.

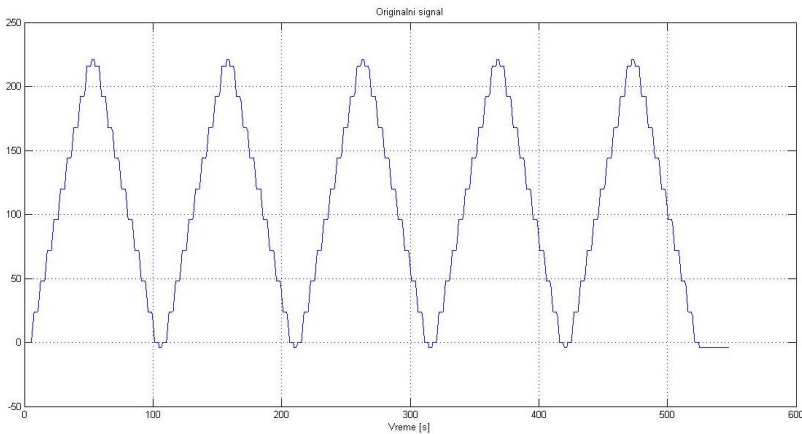
#### 4. OPIS I VERIFIKACIJA RAZVIJENOG PROGRAMSKOG REŠENJA

Pre početka rada u razvijenom programskom rešenju neophodno je povezati lasersku mernu opremu sa mašinom alatkom, u ovom slučaju, horizontalnim obradnim centrom za glodanje FM 38, kao i povezati USB konverter sa računarom.

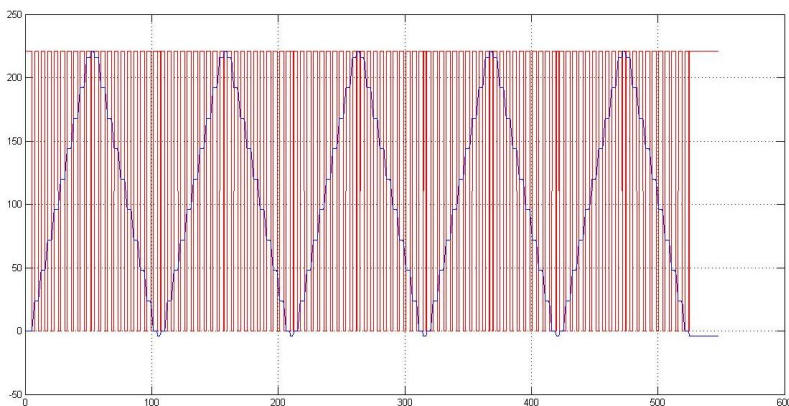
Nakon što je oprema povezana pokreće se razvijeno programsko rešenja putem programskog jezika „Matlab“ ili putem izvršne aplikacije koja je nezavisna od programskog jezika.

Posle pokretanja programskog rešenja potrebno je popuniti ulazne podatke koji su karakteristični za mašinu alatku čija se tačnost ispituje.

Nakon unosa mernih pozicija, pristupa se akviziciji mernih podataka i učitavanju istih, ili se vrši izbor datoteke podataka koji su prethodno prikupljeni nekim drugim programskim rešenjem. Akvizicija mernih podataka vrši se pokretanjem tastera „Start“, a završava pritiskom „Stop“ gde programsko rešenje automatski izbacuje dva grafika. Na prvom grafiku prikazani su svi ulazni podaci koji su prikupljeni sa mašine alatke čija se tačnost ispituje, slika 6, dok su na drugom grafiku prikazane izdvojene vrednosti, odnosno, vrednosti koje se koriste za proračun, koje predstavljaju srednje vrednosti prikupljenih podataka za svaku mernu poziciju, slika 7. Vremenski period prikupljanja podataka zavisi od programiranog broja ciklusa na ispitivanoj mašini alatki.

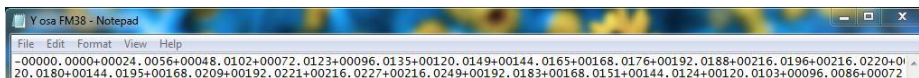


Slika 6. Grafički prikaz ulaznih podataka [7]



Slika 7. Grafički prikaz izdvojenih vrednosti [7]

Prikupljeni podaci koji su izdvojeni za proračun (ekstenzija .dat) prikazani su na slici 8, dok su ti isti podaci učitani u okviru razvojnog programskog jezika prikazani na slici 9.



Slika 8. Prikaz dela rezultata (.dat) koji ulaze u proračun

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0												
2	24.0056												
3	48.0102												
4	72.0123												
5	96.0135												
6	120.0149												
7	144.0165												
8	168.0176												
9	192.0188												
10	216.0196												
11	216.0220												
12	192.0154												

Slika 9. Prikaz očitanih podataka učitanih u okviru programskog jezika „Matlab“

Nakon akvizicije podataka pristupa se učitavanju istih preko opcije „Izbor datoteke“, zatim se bira standard po kome će se vršiti proračun „Izbor standarda“, a zatim se izvršava proračun klikom na dugme „Proračun“. Rezultati ovog proračuna prikazani su na slici 10 prema sva četiri standarda, dok je grafički prikaz rezultata prikazan na slici 11.

UNIVERZITET U NOVOM SADU  
Fakultet tehničkih nauka  
Laboratorija za masine alatke, FTS i automatizaciju postupaka projektovanja

### Ispitivanje tacnosti pozicioniranja numericki upravljanih masina alatki

**Ulazni podaci:**

**Opsti podaci:**  
Datum ispitivanja: 08.11.2014.  
Proizvođač masine/Tip: Heidenreich&Harbeck FM38  
Serijski broj masine: 80-4075-0102  
Tip upravljačkog sistema: SINUMERK 840D SL  
Ispitivanje izvršili: Jovičić Goran, Bojanić Mirjana, Tabaković Slobodan

**Uслови ispitivanja:**  
Temperatura masine [°C]: 29.4 Vazdusni pritisak [mmHg]: 749.4  
Temperatura okoline [°C]: 29.6 Vlaznost vazduha [%]: 36

**Brzina, osa i vreme zadržavanja:**  
Brzina [mm/min]:  
Osa: Y Vreme [s]:

**Merne pozicije:**  
0 24 48 72 96 120 144 168 192 216

**Merni podaci:**  
Akvizicija: Start Stop Merna vrednost  
Izbor datoteke: Pretraga D:\DESKTOP\Desktop 3\Rezultati za rad na Jupyter\REZULTATI\Gledalica FM38\Y\_osa FM38.dat

**Izbor standarda i proračun:**  
SRPS M.GO. 101: 1991 VDI/DGQ 3441: 1977 DIN ISO 230-2: 2000 ISO 230-2: 2014 PRORACUN

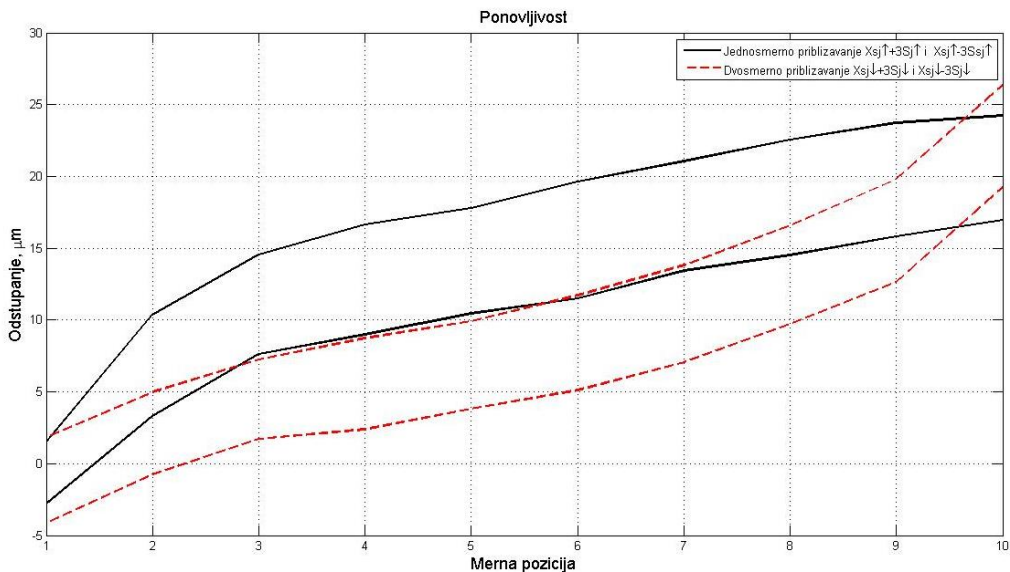
**Izlazni rezultati (sve vrednosti su u mikrometrima):**

SRPS M. GO. 101	VDI/DGQ 3441	DIN ISO 230-2	ISO 230-2
A = 30.4886	P = 30.1049 Umin = 0.48	A = 28.311 E1 = 23.96 B = 7.26	A = 28.311 E1 = 23.96 B = 7.26
Bsr = 4.7	Pa = 22.61 Umax = 7.26	Ad = 25.1021 M = 22.61 Bsr = 4.7	Ad = 25.1021 M = 22.61 Bsr = 4.7
Rd = 8.13216	Para = 6.81848	Al = 28.311 R = 12.0771	Al = 28.311 R = 12.0771
Rl = 7.16743	Psrmax = 7.53757	E = 23.96 Rd = 5.42144	E = 23.96 Rd = 5.42144
R = 14.5356	Usr = 5.144	Ed = 21.26 Rl = 4.77828	Ed = 21.26 Rl = 4.77828

Izvestaj  
Obrisi  
Autori  
IZLAZ

Slika 10. Prikaz izlaznih rezultata prema sva četiri standarda (SRPS.M.GO.101, VDI/DGQ 3441, DIN ISO 230-2 i ISO 230-2 2006)

Pored ovoga, grafički korisnički interfejs takođe sadrži i formu koja se koristi za kreiranje izveštaja, formu za brisanje svih grafičkih polja u okviru grafičkog korisničkog interfejsa, formu za prikaz autora, kao i formu za izlaz iz grafičkog okruženja.



Slika 11. Grafički prikaz rezultata prema SRPS standardu za Y osu

## 5. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

U okviru ovog rada prikazan je razvoj grafičkog korisničkog interfejsa koji predstavlja sastavni deo programskog rešenja za ispitivanje tačnosti pozicioniranja numerički upravljanih mašina alatki – NUMA, u okviru programskog jezika „Matlab“, kao i opis i verifikacija na primeru horizontalnog obradnog centra FM 38.

Takođe, u okviru ovog rada je prikazana i prednost programskog jezika „Matlab“ u odnosu na druge programske jezike. Programski jezik „Matlab“ poseduje ugrađene funkcije koji ga čine jednostavnijim za projektovanje različitih programskih rešenja. Predznanje koje je neophodno kako bi se kreiralo ovakvo rešenje se praktično ne razlikuje od opšteg predznanja za korišćenje samog programskog jezika.

Pored toga što se sa razvijenim rešenjem može brže, bolje i efikasnije odrediti tačnost pozicioniranja određene mašine alatke, kao ključna prednost može se istaći uporedni prikaz merenja prema sva četiri standarda. Ovo je od izuzetne važnosti iz razloga što greške merenja mogu da se kreću od svega nekoliko procenata pa do čak 30% u zavisnosti od izabranog standarda, odnosno, metodologije merenja.

Razvijeno programsko rešenje svoju primenu može da nađe u proizvodnim pogonima raznih preduzeća gde je neophodno izvršiti tačnost pozicioniranja mašine alatke pre puštanja u rad.

Iz priloženog se može zaključiti da ovakav vid razvoja programskih rešenja nudi brojne prednosti među kojima se mogu istaći:

- Jednostavan postupak projektovanja,
- Kreiranje aplikacija koje su nezavisne od operativnog sistema i
- Prikaz rezultata prema zahtevima samog korisnika.

Buduća istraživanja mogu biti usmerena na usavršavanju postojećeg rešenja implementacijom merne nesigurnosti, proširivanjem sa pojedinim standardima kako bi se dobio širi pogled na uticaj standarda na tačnost merenja ili pak detaljnijim praćenjem pojedinih parametara koji utiču na tačnost merenja.

## LITERATURA

- [1] Stojšavljević, M., HDL Design House: Dizajn grafičkog korisničkog interfejsa korišćenjem programskog paketa Matlab, *XII Telekomunikacioni forum TELFOR*, pp. 23-25, Beograd, 2004.
- [2] SRPS M.G0.101:1991, Mašine alatke - Uslovi ispitivanja tačnosti - Utvrđivanje tačnosti i ponovljivosti položaja elemenata mašina sa numeričkim upravljanjem, 1991.
- [3] VDI/DGQ 3441, Statistische Prufung der Arbeits- und Positionsgenauigkeit von Werkzeugmaschinen Grundlagen, 1977.
- [4] DIN ISO 230-2, Werkzeugmaschinen Prüfregeln für Werkzeugmaschinen Teil 2: Bestimmung der Positionierunsicherheit und der Wiederholpräzision der Positionierung von numerisch gesteuerten Achsen (ISO 230-2 : 1997).
- [5] ISO 230-2, Test code for machine tools- Part 2: Determination of accuracy and repeatability of positioning of numerically controlled axes, 2014.
- [6] Matlab tutorial1: MATLAB® Creating Graphical User Interfaces R2014a.
- [7] Jovičić, G., Bojanić, M.: Analiza različitih prilaza za ispitivanje tačnosti pozicioniranja mašina alatki, Ispitni rad u okviru doktorskih studija, Fakultet tehnički nauka, Novi Sad, 2014.
- [8] Matlab tutorial2: MATLAB® Compiler™-User's Guide R2011b.
- [9] Kosinar, M., Kuric, I.: Geometric Errors in CNC Machine Tools, *Manufacturing and Industrial Engineering*, , Vol. 11, Issue 3, Pages 22–25, 2012.





## ISTRAŽIVANJE UTICAJNIH FAKTORA NA KRUŽNOST IZRADAKA OD AL 99,5 % OBLIKOVANIH TEHNOLOGIJOM ISTOSMJERNOG HLADNOG ROTACIONOG ISTISKIVANJA

Ibrahim Plančić<sup>1</sup>, Darko Petković<sup>2</sup>, Samir Lemeš<sup>3</sup>, Hazim Bašić<sup>4</sup>

*Rezime: Obrada deformisanjem u hladnom stanju se odlikuje brojnim prednostima koje su uglavnom rezultat ojačavanja materijala tokom formiranja finalnog izratka. Efekti ojačavanja materijala se ogledaju u tačnosti izrade i poboljšanju mehaničkih karakteristika izradaka. Postupak istosmjernog hladnog rotacionog istiskivanja valjanjem (IHRI) je jedan od specifičnih postupaka obrade deformisanjem kojim se oblikuju različiti rotaciono simetrični dijelovi u vojnoj, vazduhoplovnoj, nuklearnoj i drugim industrijskim granama, koji koristi pozitivne efekte očvršćavanja oblikovanih dijelova. Oblikovanje izradaka za izuzetno zahtjevne industrijske grane, pored dimenzione kontrole, zahtijeva i provjeru preciznosti njihovog kružnog oblika. U radu je na primjeru izrade cjevastih izradaka iz Al 99,5% tehnologijom IHRI predstavljen način određivanja kružnosti izradaka primjenom 3D koordinatne mjerne mašine i analiziran uticaj broja obrtaja, posmaka i stepena deformacije na odstupanje kružnosti.*

*Ključne riječi: Al 99,5%, istosmjerno hladno rotaciono istiskivanje, kružnost izradaka*

### **RESEARCH ON IMPACT FACTORS INFLUENCING ROUNDNESS OF PRODUCTS MADE OF AL 99.5% FORMED BY COLD ROTARY EXTRUDING TECHNOLOGY**

*Abstract: Cold forming is characterized by a number of advantages which are mainly result of material strengthening during the final workpiece formation. Effects of material strengthening are reflected in shaping accuracy and in improving mechanical characteristics of workpieces. A method of forward cold rotary extrusion rolling (FCRER) is one of the specific forming methods used to form different parts of rotationally symmetrical parts in military, aeronautical, nuclear and other industries, which uses positive effects of the material strengthening. Design of products for extremely demanding industries, in addition to dimensional control, requires checking the accuracy of their circular shape. This paper, through the example of making tubular workpieces from Al 99.5% using FCRER technology, presents a method for determining the workpiece roundness using a 3D Coordinate Measuring Machine and analyzes the influence of number of revolutions, shift and the deformation rate to the deviation of roundness.*

*Key words: Al 99.5%, Forward Cold Rotary Extrusion, Workpiece Roundness*

<sup>1</sup>Dr.sc. Ibrahim Plančić, Zenica, Univerzitet u Zenici, Mašinski fakultet Zenica, BiH, [iplancic@mf.unze.ba](mailto:iplancic@mf.unze.ba)

<sup>2</sup>Dr.sc. Darko Petković, Zenica, Univerzitet u Zenici, Mašinski fakultet Zenica, BiH, [dpetkovic@mf.unze.ba](mailto:dpetkovic@mf.unze.ba)

<sup>3</sup>Dr.sc. Samir Lemeš, Zenica, Univerzitet u Zenici, Mašinski fakultet Zenica, BiH, [slemes@mf.unze.ba](mailto:slemes@mf.unze.ba)

<sup>4</sup>Dr.sc. Hazim Bašić, Univerzitet u Sarajevu, Mašinski fakultet Sarajevo, BiH, [basic@mef.unsa.ba](mailto:basic@mef.unsa.ba)

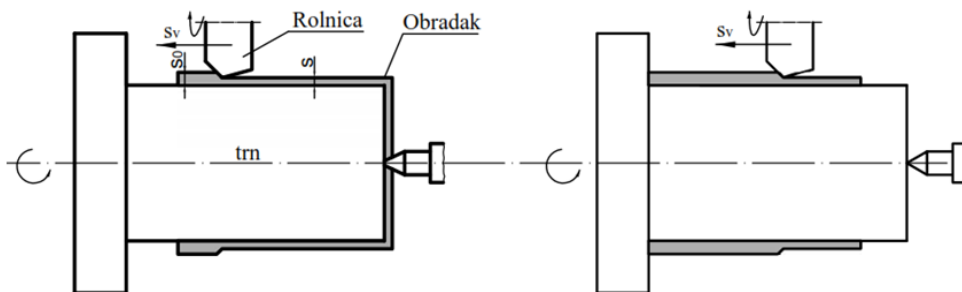
## 1. UVODNI DIO

Istosmjerno hladno rotaciono istiskivanje kao jedan specifičan postupak rotacionog oblikovanja omogućava pored dobijanja dijelova različitih dimenzija i redukciju debljine stijenke. Usljed redukcije debljine u hladnom stanju dolazi do efekta ojačavanja materijala koji je praćen poboljšanjem mehaničkih karakteristika.

Pored poboljšanja čvrstoćnih karakteristika izrađenih dijelova jako značajno je da se ovim postupkom mogu oblikovati dijelovi zadovoljavajuće tačnosti oblika i dimenzija. Nedostatak praktičnih preporuka i iskustava u pogledu efikasnog oblikovanja dijelova od aluminijuma čistoće Al 99,5 % (tehnički čisti aluminijum) postupkom IHRI su razlozi za ovo istraživanje. Stoga su, s ciljem sagledavanja uticajnih faktora na tačnost oblika i dimenzija izrađenih dijelova postupkom IHRI provedena eksperimentalna istraživanja na pripremcima iz tehnički čistog aluminijuma Al 99,5.

## 2. TEHNOLOGIJA ISTOSMJERNOG HLADNOG ROTACIONOG ISTISKIVANJA

Sušтина postupka IHRI kao jednog od postupaka rotacionog oblikovanja je da se pod dejstvom pritiska rollica (dvije ili tri) materijal prevede u područje plastičnog tečenja i istiskuje u aksijalnom pravcu uz smanjenje prečnika i povećanje dužine izratka. Postoji nekoliko metoda HRIV cjevastih dijelova, a dvije osnovne vrste tehnološkog postupka HRIV su: istosmjerno ili direktno (IHRIV) i suprotnosmjerno, odnosno indirektno (SHRIV). Varijante se uglavnom razlikuju prema načinu tečenja materijala u odnosu na pravac kretanja rollica, dok je deformisanje metala u obje varijante lokalizovano na usku dodirnu zonu kontakta alata-rolnice i materijala obradka. Na slici 1. je šematskim prikazom predstavljen princip oblikovanja predmetnim varijantama HRIV sa prikazom radnih elemenata alata.



Slika 1. Šematski prikaz postupka istosmjernog (lijevo) i suprotnosmjernog (desno) HRIV [1]

Pri istosmjernom (direktnom) IHRIV (slika 1, lijevo) tečenje nedeformisanog materijala priprema/predoblika i kretanje rollica (alata) je u istom smjeru, dok je kod suprotnosmjernog (indirektnog) SHRIV (slika 1, desno) tečenje materijala u suprotnom smjeru u odnosu na smjer kretanja rollica. Kako je svrha ovog istraživanja bila prvenstveno da se utvrde mogućnosti dobijanja izradaka tehnologijom IHRI iz Al 99,5 zadovoljavajuće tačnosti oblika i dimenzija sa adekvatnim čvrstoćnim karakteristika neophodno je pored kontrole dobijenih dimenzija izradaka provjeriti i preciznost njihove geometrije kroz mjerenje kružnosti na 3D koordinatnoj mjerneoj mašini.

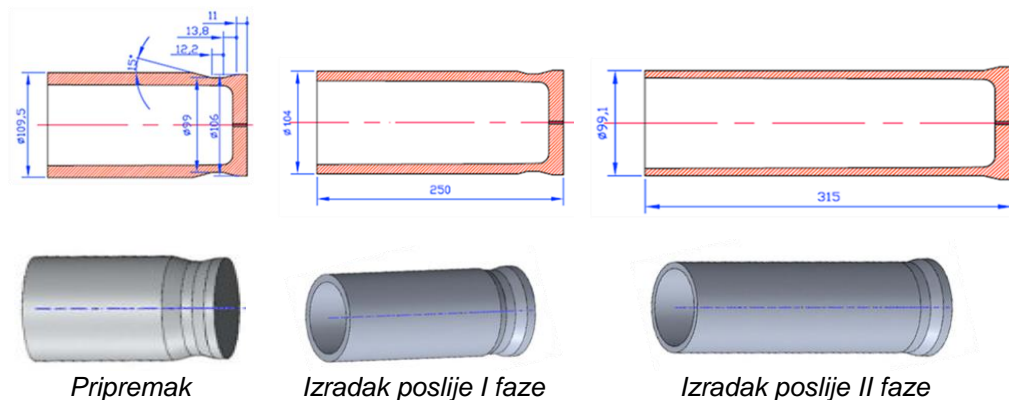


### 3. KRUŽNOST IZRADAKA I NAČINI NJENOG MJERENJA

Prema definiciji, kružnost se odnosi na stanje kružne linije ili površine kružnog dijela, kod kojeg su sve tačke na liniji ili na obodu poprečnog presjeka dijela, jednako udaljene od središnje tačke. Odstupanje od kružnosti je radijalna širina prstenaste površine između dvije koplanarne, međusobno koncentrične kružnice. Još od davne 1950. godine kada je kao pojam uveden, pojam kružnosti je definisan kao jedna od važnih karakteristika obrade kojim je unaprijeđen kvalitet definisanja dijelova kružnog oblika. Vremenom su razvijani uređaji za njeno mjerenje i kontrolu. Očigledno je da danas najveću primjenu u specifikacijama potrebne opreme za tehničku kontrolu i mjerenja u velikim, ali i malim proizvodnim organizacijama zbog niza prednosti imaju koordinatne mjerne mašine. Pored niza drugih mjerenja one omogućavaju i mjerenje kružnosti savremenim metodama. To su metode ispitivanja kružnosti s vanjskom mjernom referencom (tip rotirajućeg stola i tip rotirajućeg ticala) za razliku od konvencionalnih metoda s unutrašnjom mjernom referencom (dijametralno ispitivanje kružnosti, ispitivanje kružnosti primjenom mjernih šiljaka i ispitivanje kružnosti primjenom V-prizmi). Za mjerenje kružnosti kao i drugi uređaji koordinatne mjerne mašine detektuje mala odstupanja od idealnog oblika kruga (engl."out of-round"), a danas se za procjenu odstupanja od kružnosti koriste četiri karakteristične metode i to: Metoda najmanjih kružnih kvadrata, Metoda najmanje kružne zone; Metoda najmanje opisane kružnice i Metoda najveće upisane kružnice. Razlika u rezultatima mjerenja kružnosti po ovim metodama iznosi u prosjeku 10-15 % [4].

### 4. EKSPERIMENTALNI RAD

S ciljem utvrđivanja preciznosti izrade dijelova od tehnički čistog aluminijuma tokom hladne obrade deformisanjem izvršeno je oblikovanje Al 99,5 komore u dvije faze IHRIV. Na slici 2. su predstavljene dimenzije pripremk a i izradaka po fazama IHRI.



Slika 2. Izgled i dimenzije pripremk a i izradaka po fazama IHRIV

#### 4.1 Plan eksperimenta

Za provođenje eksperimentalnih ispitivanja primjenjen je potpuni faktorni plan eksperimenta sa tri nezavisno promjenjiva faktora ( $k=3$ ) i ponavljanjem eksperimenta u

centralnoj tački plana (nulta tačka plana). Plan matrica i nivoi varijacije faktora u prvj i drugoj fazi predstavljeni su u tabelarnom prikazu rezultata istraživanja, tabela 1.

Tabela 1. Komparativni podaci o mjerenju kružnosti poslije prve i druge faze IHRI

Br. exp.	Plan matrica i nivoi varijacije faktora u:						Prosejni finalni prečnici izradaka:			$\varphi_{\text{ukupno}}$ [%]	Parametri kružnosti			
	I fazi			II fazi			Vanjski		Unutrašnji na		Poslije I faze		Poslije II faze	
	n [°/min]	s <sub>r</sub> [mm <sup>2</sup> ]	Δs [mm]	n [°/min]	s <sub>r</sub> [mm <sup>2</sup> ]	Δs [mm]	∅A [mm]	dužini 37,15 mm	dužini 100 mm		Kružnost [μm]	Broj tačaka	Kružnost [μm]	Broj tačaka
0	Pripremak						109,6	83,9	83,8		0,02577	1036	-	-
1	140	60	2	140	60	3,5	98,8	83,4	83,8	53,5	0,10912	998	0,16090	1836
2	240	60	2	240	60	3,5	98,8	83,4	83,8	53,4	0,17314	998	0,24337	1837
3	140	100	2	140	100	3,5	99,0	83,5	83,8	52,3	0,15110	1004	0,28626	1840
4	240	100	2	240	100	3,5	98,7	83,4	83,8	57,6	0,19841	999	0,15883	1836
5	140	60	3,5	140	60	2	99,0	83,5	83,8	51,7	0,20961	967	0,12755	1843
6	240	60	3,5	240	60	2	99,0	83,5	83,8	51,6	0,35027	966	0,12252	1840
7	140	100	3,5	140	100	2	99,2	83,5	83,8	50,7	0,20391	971	0,05995	1843
8	240	100	3,5	240	100	2	99,0	83,5	83,8	52,0	0,25744	969	0,06742	1847
9	190	80	2,75	190	80	2,75	-	-	-	0,14998	988	-	-	
10	190	80	2,75	190	80	2,75	98,5	83,4	83,8	55,2	0,13363	988	0,08723	1842
11	190	80	2,75	190	80	2,75	98,8	83,4	83,8	53,2	0,10681	988	0,18138	1834
12	190	80	2,75	140	60	3,5	99,0	83,4	83,8	52,2	0,09001	984	0,18004	1836

Na osnovu plana eksperimenta izrađeno je 12 uzoraka obradom hladnim plastičnim deformisanjem postupkom IHRIV u dvije faze.

Ostvareni ukupni stepen deformacije tokom oblikovanja je u rasponu 50,7 do 57,6 %, dok su parcijalni stepeni deformacije po pojedinim fazama u rasponu  $\varphi_I=15,3$  do 35,4 % i  $\varphi_{II}=16,3$  do 37 %.

Ukupna procentualno izvučena dužina u oba prolaza zavisno od rednog broja uzorka se kreće od 35,5 % do 50,3 % (od  $L_{\text{ukupno}}=74$  mm do 104 mm), a ukupni logaritamski stepen deformacije po dužini se kreće od  $\varphi_{\text{min}}=0,27$  do  $\varphi_{\text{max}}=0,59$ .

U nastavku su predstavljeni rezultati mjerenja kružnosti.

#### 4.2 Kontrola kružnosti na Al 99,5 izradcima dobijenim u prvj i drugoj fazi IHRIV

Kontrola kružnosti na izrađenim uzorcima prema planiranom eksperimentu, uključujući i pripremak za hladno IHRIV izvršena je na 3D koordinatnoj mjerneoj mašini marke Zeiss Contura G2 u Laboratoriji za mjernu tehniku na Mašinskom fakultetu u Zenici.

Korištena je mjerna sonda sa kuglicom radijusa R=5 mm, slika 3.

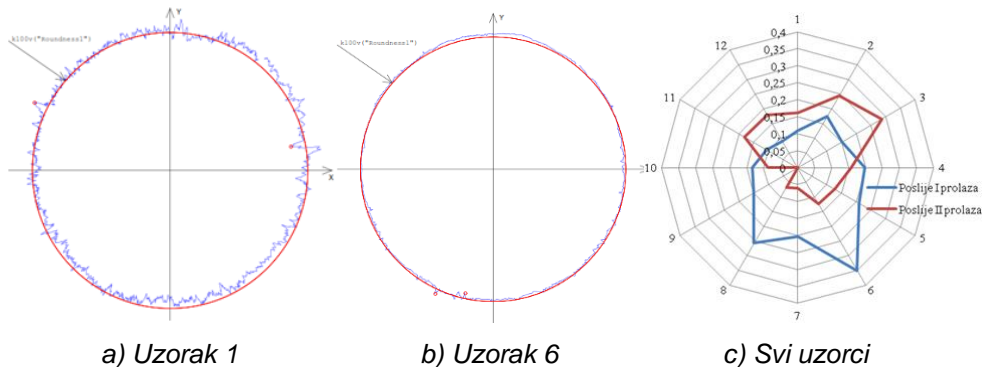


Slika 3. 3D koordinatna mjerna mašina, način mjerenja sa mjernom sondom za kontrolu kružnosti

Odstupanje kružnosti je vršeno metodom najmanjih kružnih kvadrata, a softver za identifikaciju i obradu podataka Zeiss Calypso CNC Geometry koordinatne mjerne mašine ovu vrijednost odstupanja od idealnog kruga ispisuje direktno u izvještaju o mjerenju.

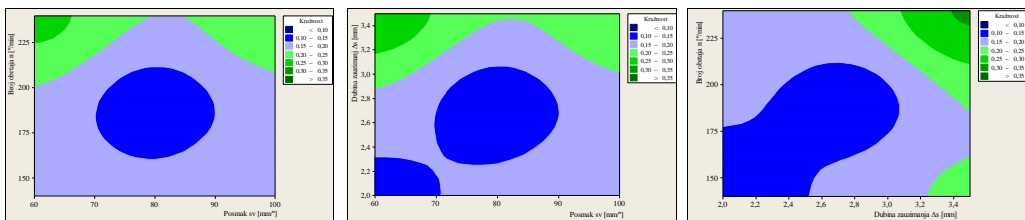
### 4.3 Rezultati ispitivanja

Na slici 4. su predstavljeni primjeri grafičkih prikaza odstupanja kružnosti pojedinih izradaka nakon druge faze IHRIV i sumarni dijagramski prikaz rezultata mjerenja na svim uzorcima nakon prve i druge faze IHRIV.



Slika 4. Primjer grafičke interpretacije odstupanja kružnosti izradaka od Al 99,5% poslije druge faze (a i b) i komparativni rezultati poslije prve i druge faze IHRIV na svim uzorcima (c)

Komparirajući grafičke prikaze svih uzoraka uočava se da je najmanje rasipanje odstupanja kružnosti poslije druge faze IHRIV kod izradaka izrađenih sa minimalnim i srednjim vrijednostima parametara izrade ( $n$ ,  $sv$ ,  $\Delta s$ ), odnosno na uzorcima 6, 7, 8 i 10, dok je maksimalno odstupanje (cca 0,3  $\mu\text{m}$ ) na uzorcima 2 i 3 izrađenim sa kombinacijom maksimalnih procesnih parametara. Isti zaključci se mogu izvesti i za izratke oblikovane u prvoj fazi IHRIV, a na slici 5. je data grafička interpretacija odstupanja kružnosti poslije prve i druge faze u funkciji  $n$ ,  $s$  i  $\Delta s$ .



Slika 5. Dijagrami odstupanja kružnosti u funkciji  $n$ ,  $s$  i  $\Delta s$

Na osnovu ovih dijagrama moguće je ustanoviti optimalne vrijednosti ulaznih parametara oblikovanja za dobijanje minimalnih vrijednosti odstupanja kružnosti finalnih izradaka.

## 5. ZAKLJUČAK

Tehnologijom IHRIV uz adekvatne geometrijske karakteristike alata (prečnik, radijus, napadni ugao, radijalno i aksijalno podešavanje i dr.), tehnološke ( $n$  i  $s$ ) i druge procesne parametre (pritisak rolnica, sredstvo za hlađenje i podmazivanje i sl.), te

ostvarene ukupne stepene deformacije tokom oblikovanja u rasponu 51 do 58 % (parcijalni stepeni deformacije po pojedinim fazama u rasponu  $\phi I=15$  do 35 % i  $\phi II=16$  do 37 %) efikasno se mogu oblikovati osnosimetrični izradci zadovoljavajuće tačnosti oblika i dimenzija i sa poboljšanim čvrstoćnim karakteristikama u odnosu na materijal priprema.

Sa predstavljenih dijagrama se uočava da je najmanja vrijednost odstupanja kružnosti za oblikovanje Al 99,5 postupkom IHRIV kod izradaka oblikovanih srednjim vrijednostima broja obrtaja (170-200 o/min), posmaka (70-90 mm/o) i dubine zauzimanja (2-3 mm).

Podaci o odstupanju kružnosti nakon druge faze IHRIV ukazuju da su one niže nego kod predmetnih izradaka poslije prve faze. Tokom obje faze IHRIV nešto veći uticaj na kružnost ima dubina zauzimanja rolnica.

Povećanjem njene vrijednosti i odstupanje kružnosti je izraženije. Stoga se za dobijanje preciznijih kružnih oblika cjevastih izradaka trebaju birati manje dubine zauzimanja rolnica pri oblikovanju.

Provedena regresiona analiza ukazuje da se nemože dovoljno pouzdano uspostaviti matematički model zavisnosti kružnosti od  $n$ ,  $s$  i dubine zauzimanja ( $\Delta s$ ), odnosno stepena deformacije.

Komparirajući dobijene podatke o mjerenju odstupanja kružnosti izradaka nakon prve i druge faze IHRIV može se konstatovati da se navedenim postupkom izrade (oblikovanja) rotaciono simetričnih izradaka od Al 99,5 sa sigurnošću mogu dobiti dijelovi sa maksimalnim odstupanjem od idealnog kružnog oblika u granicama 0,2 do 0,4  $\mu\text{m}$ .

## LITERATURA

- [1] Ekinović S., Plančić I., Begović E., Đukić H., Muminović B. (2014). Očvršćavanje materijala pri oblikovanju cjevastih izradaka iz Al 99,5% kod istosmjernog hladnog rotacionog istiskivanja, *X Naučno/stručni simpozij sa međunarodnim učešćem "Metalni i nemetalni materijali" Bugojno*, BiH, 21-22. april 2014.
- [2] Nikačević M., Radović Lj. (2010). Rotaciono valjanje: specifična tehnologija za izradu delova raketa, kumulativna naučnotehnička informacija, Vojnotehnički institut Beograd, *Naučno tehničke informacije*, ISSN 1820-3418, Vol. XLIV No. 2.
- [3] Šotra V., Raković A. (2008). Merenje tolerancija oblika i položaja delova kružnog oblika, *Tehnička dijagnostika* (1), 19-24, UDC: 62-422.11-777:629.05, Beograd.
- [4] Nugent P. (2008). *Form Measurement Fundamentals*, Metrology center Mahr.
- [5] Pavelić V. (1995). *Specifične tehnologije u proizvodnji oružja*, Novi Travnik-Zagreb, MORH-TP-4/95.



## INVESTIGATION OF FORWARD EXTRUSION PROCESS OF BIMETALLIC MATERIALS

Igor Kacmarcik<sup>1</sup>, Aljosa Ivanisevic<sup>2</sup>, Dejan Movrin<sup>3</sup>,  
Miroslav Plancak<sup>4</sup>, Dragisa Vilotic<sup>5</sup>

*Abstract: Bimetallic extrusion consists of several metal forming technologies in which two or more metal materials are simultaneously extruded. The aim of these processes is to obtain final parts that are composed of different materials at different part sections, which enables exploitation of various material properties at different segments. For example, outer segment of a tube can be made of stronger and inner segment of lighter material. Other favorable properties that can be combined are: low market price, electrical conductivity, thermal expansion, corrosion resistance in various environments, low friction, ect. This paper elaborates the most common bimetallic operation - forward extrusion. Schematics and detailed description of this process is given as well as previous experimental investigation. Numerical analysis of aluminium/copper forward bimetallic extrusion is presented and performed in Simufact Forming software. Influence of billet geometry on material flow and final part geometry was analysed and discussed.*

*Key words: Bimetallic extrusion, Cu/Al, Metal forming, Material flow*

### 1. INTRODUCTION

Cold extrusion is well established technology which can be used for manufacturing of small and medium size components. With cold extrusion, components are produced usually from mono-metal materials. Comparing with other manufacturing methods, cold extrusion offers a number of advantages such as short production time, excellent mechanical properties, better material utilization and good surface quality of extruded workpieces.

<sup>1</sup> MSc, Igor Kacmarcik, Novi Sad, Serbia, University of Novi Sad, Faculty of technical Science, igorkac@uns.ac.rs

<sup>2</sup> MSc, Aljosa Ivanisevic, Novi Sad, Serbia, University of Novi Sad, Faculty of technical Science, aljosa@uns.ac.rs

<sup>3</sup> MSc, Dejan Movrin, Novi Sad, Serbia, University of Novi Sad, Faculty of technical Science, movrin@uns.ac.rs

<sup>4</sup> PhD, Miroslav Plancak, Novi Sad, Serbia, University of Novi Sad, Faculty of technical Science, plancak@uns.ac.rs

<sup>5</sup> PhD, Dragisa Vilotic, Novi Sad, Serbia, University of Novi Sad, Faculty of technical Science, vilotic@uns.ac.rs

One of the significant research fields in this context is development of a new extrusion processes which would enable even wider industrial application of this technology. Bi-metallic extrusion is metal forming operation where billet is composed of two different metallic materials or two different alloys of the same material which are than simultaneously extruded into final workpiece. Final workpiece consists of two different materials at different zones of its volume, depending on the initial billet composition and extrusion process development. Using this technology beneficial utilization of favorable properties of both materials is enabled. Using bi-metallic extrusion it is possible to manufacture components that consist of inner strong material, for example steel, and outer softer, anti-corrosive material, for example aluminum. Plain bearings are one more component which can be produced using bi-metallic extrusion. In this case, inner layer of bearing is made by anti-frictional metal and outer carrier is produced by stronger steel.

There are a number of different materials properties which can be exploited and combined in the bi-metallic extrusion such as thermal expansion, electric conduction, anti-corrosion, mechanical strength etc. Beside a number of advantages that offers this technology, there are some problems in connection with the fabrication of bi-metallic products. Main problem which occurs in fabrication of bi-metallic products are different properties of applied materials which cause different behaviors during plastic deformation.

There are number of parameters which influence on bi-metallic extrusion [1]. Influence of billet design for co-extrusion of ferrous material tubes is presented in [2]. In [3] authors elaborated bi-metallic rod extrusion. Finite element analysis and experimental investigation have been performed in [4] in order to obtain optimal shape of bi-metallic coin materials. Load to split the central part from outer ring of the coin has been determined experimentally. Die geometry influence on plastic flow during forward extrusion is elaborated in [5]. In the paper [6] comparative view of FE simulation and experiment in case of upsetting of bi-metallic billets is presented. Forward, backward and radial extrusion of bi-metallic billets is elaborated in paper [7]. In current paper numerical analysis of forward bi-metallic extrusion is presented. Materials used for analysis are aluminum and copper.

## **2. FORWARD EXTRUSION OF BIMETALLIC MATERIALS**

In forward bimetallic extrusion, a billet composed from two different materials is simultaneously extruded by standard tools for forward extrusion.

In Figure 1, schematics of bimetallic extrusion process is given. Billet is usually composed of inner cylinder and outer ring element, but other billet compositions are possible as well.

Several experimental investigations in the field of forward bimetallic extrusion were performed at Faculty of technical science in Novi Sad, Serbia in recent years. In [8] the comparison between experimental investigation and simple analytical calculation were investigated. Pure copper and pure aluminium were used as billet materials. In this case, the outer material (aluminium) is softer than inner material (copper).

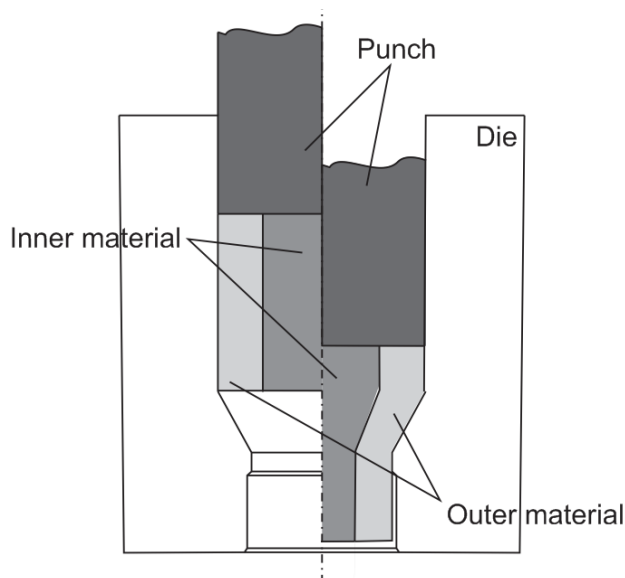


Figure 1. Schematics of forward bimetallic extrusion (left: beginning of the process, right: end of the process)

As it can be observed from Figure 2, there exists a very good correlation between experiment and analytical calculation. As pure aluminium is softer than pure copper, it flows faster and the height difference between two materials is in favor of aluminium.

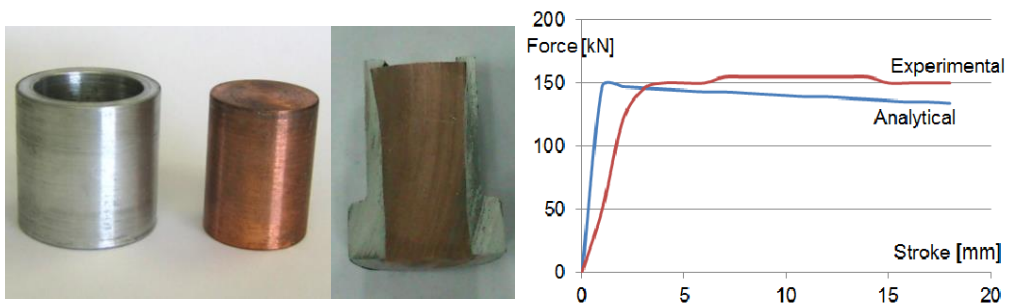


Figure 2. Billets prior and after forward extrusion and load – stroke curve obtained by analytical calculation and experiment [10]

### 3. NUMERICAL ANALYSIS BY FINITE ELEMENT SOFTWARE

The main goal for numerical simulation was to get an insight on the influence of billet geometry (sleeve thickness) on final geometry of extruded part when aluminium alloy as outer material is used. Outer sleeve thickness ( $s$ , Figure 3) was varied in specific range and the final height difference between both materials was measured after 20 mm punch stroke. Inner (core) material was pure copper, while outer (sleeve) material was aluminum alloy AW-6082 t6. Stress – strain curves for both materials were determined by Rastegaiev test:

$$\sigma_{Cu} = 315 \cdot \varphi^{0.54} \text{ [MPa]} \quad (1)$$

$$\sigma_{Al} = 376 \cdot \varphi^{0.035} \text{ [MPa]} \quad (2)$$

As it can be seen from figure 3, aluminum alloy exhibits higher strength compared to copper, especially with lower deformation values. This case is completely different from previous experimental research, where the inner (copper) material was stronger, as pure aluminum was used.

Numerical simulation of the process of bimetallic forward extrusion was performed by Simufact forming software available at Faculty of technical science. As this process is axi-symmetrical, a 2D simulation was performed. A standard finite element solver and an initial 0.3 mm mesh size were used for both inner (core, copper) and outer (sleeve, aluminum) material. A special reinforcement box was set at critical location at conical part of the die in order to increase accuracy of simulation process. Reinforcement boxes are used to further decrease element size in critical locations where the most severe deformations occur.

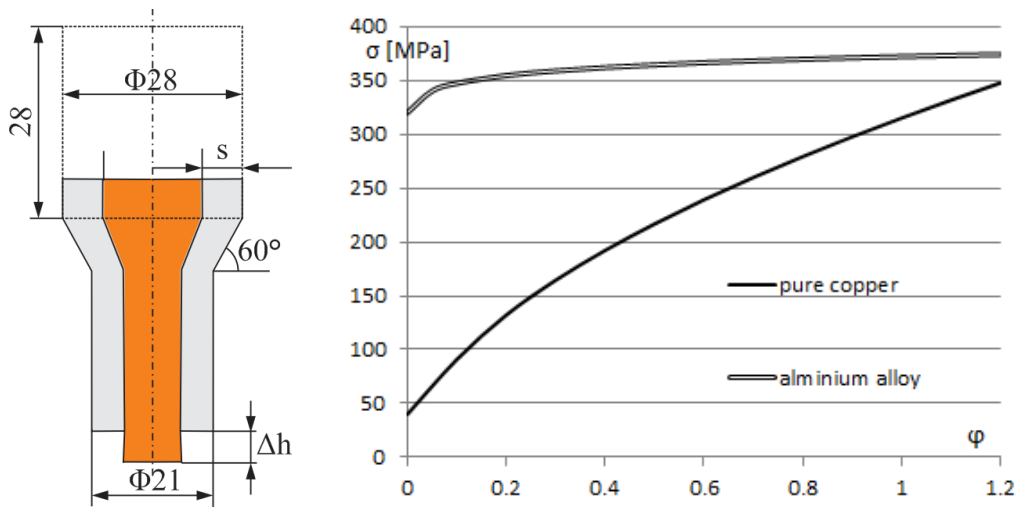


Figure 3. Left: Geometry of the workpiece (initial billet geometry in dashed line), right: Stress-strand curves for materials used in investigation

Both die and punch materials were set as rigid bodies. Friction coefficient was set as  $\mu = 0,12$  and room temperature conditions were applied. A standard punch for forward extrusion with  $\phi 28$  mm was taken, as well as classical die with 1.33 reduction ratio and  $60^\circ$  extrusion angle.

#### 4. RESULTS AND CONCLUSIONS

Figures 4 and 5 show billet constellations for different outer sleeve thicknesses after 20 mm punch stroke. Only one half of each workpiece is shown. As it can be seen from these pictures, the thicker the aluminum sleeve the harder it is for inner core copper material to flow.



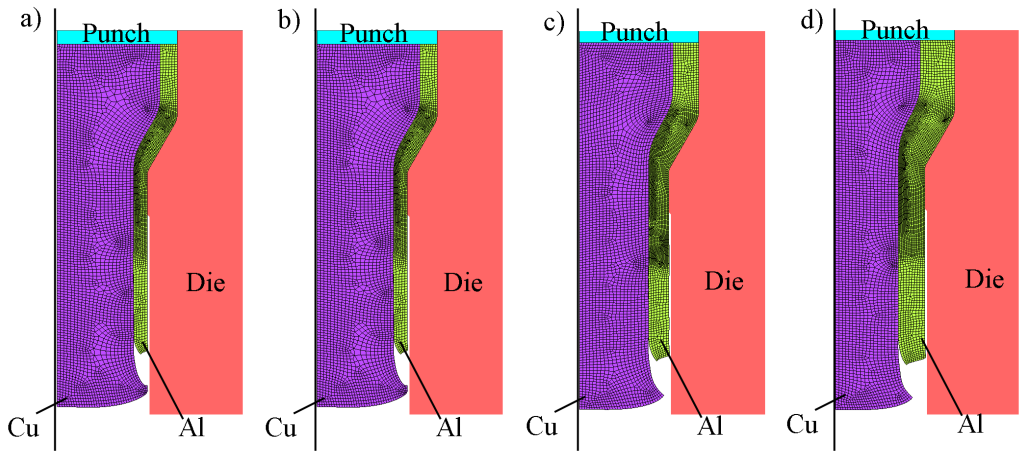


Figure 4. Material flow after 20 mm punch stroke for different outer sleeve thickness: a)  $s = 1$  mm, b)  $s = 2$  mm, c)  $s = 3$  mm, d)  $s = 4$  mm

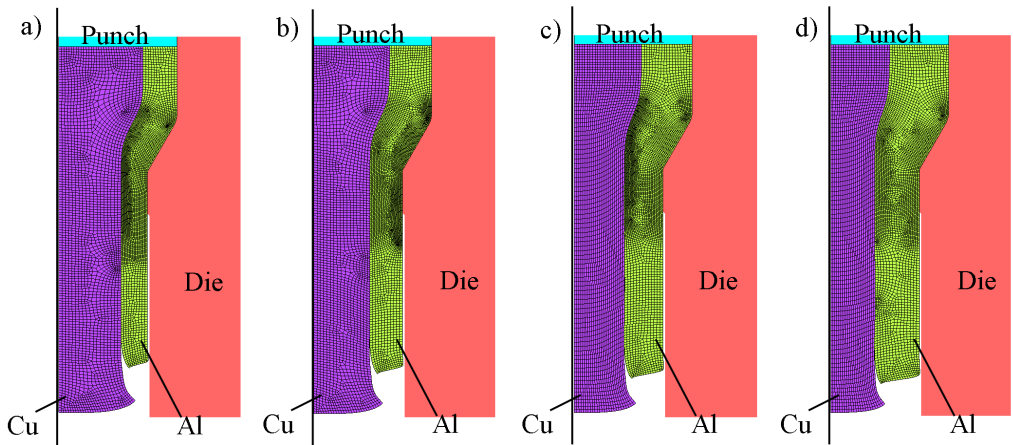


Figure 5. Material flow after 20 mm punch stroke for different outer sleeve thickness: a)  $s = 5$  mm, b)  $s = 6$  mm, c)  $s = 7$  mm, d)  $s = 8$  mm

Diagram in Figure 6 shows the influence of outer sleeve thickness on the height difference of two materials after extrusion process ( $\Delta h$  in Fig. 3).

The height difference significantly reduces in cases where sleeve material is thicker. The material flow is completely different compared to previous experimental research where aluminum material moved faster. This phenomenon is due to the fact that in experimental research softer (pure) aluminum was used.

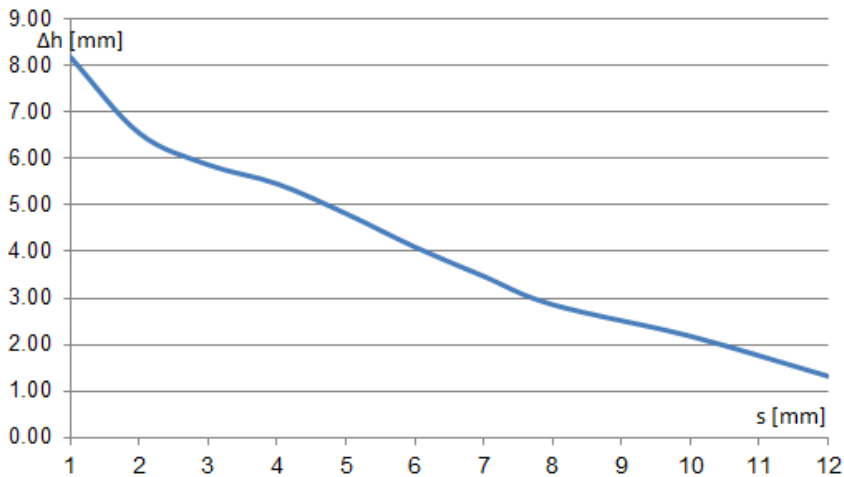


Figure 6. Influence of sleeve thickness ( $s$ ) on the height difference of extruded part

## 5. FURTHER WORK

Further work in this field would include experimental verification of the results obtained by numerical simulation, as well as development of theoretical approach based upon Upper bound method. Variation of initial billet geometry is planned also.

## REFERENCES

- [1] Avitzur B. (1983). Handbook of Metal-Forming Processes, Wiley, New York.
- [2] Epler M.E., Misiolek W. Z., (2006). Novel billet design for co-extrusion of ferrous material tubes, *Materials Science and Engineering A* 429, p.p. 43-49.
- [3] Kazanowski P., Epler M. E., Misiolek W. (2004), Bi-metal rod extrusion – process and product optimization, *Materials Science and Engineering A369*, pp. 170-180.
- [4] Barata Marques M.J.M., Martins P.A.F. (1991). A study of bi-metal coins by finite element method, *Journal of Materials Processing Technology*, 26, pp. 337-348.
- [5] Nowotynska I., Smykla A. (2009). Influence of die geometric parameters on plastic flow of layer composites during extrusion process, *Journal of Materials Processing Technology* 209, p. 1943-1949.
- [6] Essa K., Kacmarcik I., Hartely P., Plancak M., Vilotic D. (2012). Upsetting of bimetallic ring billets, *Journal of Materials Processing Technology* 212, p.p. 817-824
- [7] Kacmarcik I., Movrin D., Plancak M., Vilotic D. (2013). Preliminary investigation of cold forward, backward and radial extrusion of bi-metallic billets, *Journal for Technology of Plasticity*, Vol. 38, No. 2, p.p. 133-142
- [8] Plancak M., Vilotic D., Car Z., Movrin D., Kacmarcik I., Krsulja M. (2012). Forward extrusion of bi-metallic components, *4th International Scientific and Expert Conference TEAM 2012 Technique, Education, Agriculture & Management*, Slavonski Brod.



## TOPLOTNI BILANS PROCESA IZVLAČENJA SA REDUKCIJOM DEBLJINE ZIDA

Mirna Nožić<sup>1</sup>, Himzo Đukić<sup>2</sup>, Daut Denjo<sup>3</sup>

*Rezime: Pri izvlačenju sa redukcijom debljine zida, zbog pretvaranja mehaničke energije u toplotnu, dolazi do znatnog zagrijavanja alata. Temperatura alata ne smije preći određenu granicu i ta granica se reguliše količinom rashladnog sredstva, koje je ujedno i sredstvo za podmazivanje.*

*U ovom radu su eksperimentalnim putem u proizvodnim uslovima, metodom termovizije, izmjerene temperature: alata, radnog predmeta, izratka i rashladnog sredstva, a metodom tenzometrije snimljeni dijagrami sile izvlačenja. Na osnovu postavljene jednačine za toplotni bilans moguće je odrediti masu rashladnog sredstva sa kojim će se održavati stabilna temperatura alata.*

*Ključne riječi: izvlačenje sa redukcijom debljine zida, temperatura alata, toplotni bilans*

### HEAT BALANCE OF IRONING PROCESS

*Abstract: Tool heats in the process of ironing by reason of converting mechanical energy into heat. The temperature of the tool must not exceed a certain limit and this limit is regulated by the amount of refrigerant, which is also a lubricant. Temperature of tool, the workpiece and refrigerant are determined experimentally, using the thermal vision in the production conditions. Diagrams of drawing forces were recorded by thermovision method. The equations for heat balance allows determining the mass of refrigerant for maintain a stable temperature tools.*

*Key words: ironing process, the temperature of the tool, heat balance*

### 1. UVOD

Izrada cilindričnih elemenata procesom dubokog izvlačenja sa redukcijom debljine zida izvodi se na višestepenim alatima, u velikoserijskoj i masovnoj proizvodnji. Proces se izvodi kontinuirano kroz više prstenova, koji su u alatu postavljeni jedan iza drugog. Sam prikaz procesa upućuje na složen mehanizam deformisanja, kod kojeg se prolaskom radnog predmeta (obratka) kroz alat vrši

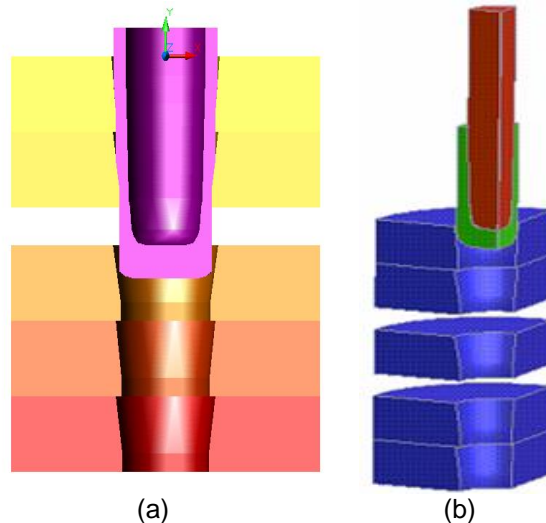
---

<sup>1</sup> Van.prof.dr.Mirna Nožić, Mostar, Mašinski fakultet Univerziteta "Džemal Bijedić, (mirna.nozic@unmo.ba)

<sup>2</sup> Prof.dr.Himzo Đukić, Mostar, Fakultet strojarstva i računarstva Sveučilišta u Mostaru, (himzo.djukic@sve-mo.ba)

<sup>3</sup> Doc.dr.Daut Denjo, Mostar, Mašinski fakultet Univerziteta "Džemal Bijedić, (daut.denjo@unmo.ba)

istovremena redukcija po prečniku i po debljini zida, Slika 1 (a. 2D prikaz, b. 3D prikaz). Objašnjenje nedostatka informacija koje bi validirale ovu tehnologiju, može se naći u činjenici da se ovaj vid proizvodnje najčešće koristi u vojnoj industriji. Rezultati velikog broja istraživanja ne mogu se uzeti kao pouzdani, zbog bitnih razlika između uslova istraživanja i tehnoloških uslova proizvodnje.



Slika 1. Shema izvlačenja na višestepenim alatima

Rast temperature u procesu potrebno je kontrolisati zbog zagrijavanja alata, što znači da je neophodno tačno odrediti količinu rashladnog sredstva, koja će obezbjediti ostvarenje uslova stabilnog proizvodnog procesa. Da bi to bilo moguće neophodno je odrediti koji dio mehaničke energije se u procesu transformiše u toplotu.

## 2. ODREĐIVANJE DIJELA ENERGIJE KOJI SE U PROCESU IZDVAJA U VIDU TOPLOTE

Značajnu ulogu u procesima hladne deformacije ima toplotni efekat, tj. toplota izdvojena za vrijeme deformacije. Prema nekim literaturnim pokazateljima oko 80 – 90 % mehaničke energije utrošene za deformacioni rad izdvađa se u metalu u vidu toplote, dok onaj preostali dio 20-10 % ostaje u metalu u vidu zaostalih naprežanja [3]. Izdvojena toplota dovodi do povišenja temperature deformirajućeg metala, odnosno obratka. Sa povišenjem temperature obratka dolazi do smanjenja njegove čvrstoće, tj. do smanjenja otpora deformaciji. Ako se radi o visokim brzinama deformacije, materijal obratka omekšava i povećava se njegova plastičnost. Na taj način se smanjuje količina energije potrebna za deformaciju. Pri većim brzinama deformacije, gubici toplote koji nastaju isijavanjem u okolinu mogu se zanemariti.

Da bi bilo moguće pratiti transformaciju energije, potrebno je prvo definisati sistem. Pod sistemom se podrazumijeva sve ono što je predmet posmatranja i što je na neki način ograničeno.

Svaki sistem, odnosno element sistema karakteriše određeno energetska stanje. Razlikuju se dva osnovna vida energije, i to:

- 1) Energija sistema (elemenata sistema) , koja je vezana za sistem.

Promjena te energije mjerljiva je promjenom nekih makroskopskih osobina sistema i njena vrijednost se izražava u odnosu na neko referentno ishodište.

- 2) Energija prelaznog oblika koja se pojavljuje u energetske interakciji između elemenata sistema ili između sistema i okoline.

Energiju sistema (elemenata sistema) čine: unutrašnja, kinetička, potencijalna, hemijska, električna i nuklearna energija. Za energiju sistema vrijedi zakon aditivnosti, tj. ukupna energija sistema dobija se kao suma njenih pojedinačnih oblika:

$$E = U + E_k + E_p + E_c + E_e + E_n = \sum_i E_i [J] \quad (1)$$

gdje su:

E - ukupna energija sistema (elemenata sistema)

U - unutrašnja energija

$E_k$  - kinetička energija

$E_p$  - potencijalna energija

$E_c$  - hemijska energija

$E_e$  - električna energija

$E_n$  - nuklearna energija

Kako u procesima koji se izučavaju, ne dolazi do promjene hemijske, elektromagnetne i nuklearne energije, promjena energije sistema se može opisati jednostavnijom jednačinom:

$$\Delta E = \Delta U + \Delta E_k + \Delta E_p \quad (2)$$

Zatvorene sisteme karakterišu dva oblika prelazne energije, i to: toplota Q i mehanički rad W. Toplota i rad predstavljaju veličine promjene stanja radne materije i postoje samo ukoliko postoji promjena stanja. Toplota predstavlja energetske interakciju koja nastupa zbog postojanja razlika u vrijednostima temperatura elemenata sistema.

Ukoliko se radi sa čvrstim ili tečnim materijama, u obradnim procesima ne dolazi do promjene zapremine, te se oni mogu smatrati izohornim. Količina toplote za neku promjenu stanja radne materije može se izračunati pomoću izraza:

$$dQ = m \cdot c \cdot dT \quad (3)$$

gdje su:

m - masa radne materije, c - specifična toplota, dT - promjena temperature.

Važno je napomenuti da specifična toplota c zavisi od vrste radne materije i načina promjene njenog stanja. U proračunima toplote treba uzeti u obzir zavisnost specifične toplote od temperature.

Za čvrste i tečne materije koristi se vrijednost prave specifične toplote za neku referentnu temperaturu, tj.  $c(T_{ref})$ , koja se očitava iz toplotnih tabela za zadanu radnu materiju i definisanu referentnu temperaturu. Obično se za referentnu temperaturu uzima aritmetička sredina zadanih temperatura  $T_1$  (u stanju "1" kao početnom stanju promjene) i  $T_2$  (u stanju "2" kao konačnom stanju promjene), tj:

$$T_{ref} = \frac{1}{2}(T_1 + T_2) \quad (4)$$

Razmjenjena količina toplote u procesu od nekog početnog stanja "1" do konačnog stanja "2" može se izračunati pomoću izraza:

$$Q_{1,2} = mc\Delta T_{12} = m \cdot c \cdot (T_2 - T_1) \quad (5)$$

Mehanički rad (W) je drugi vid prelazne energije i može se definisati kao skalarni proizvod vektora sile i vektora pomaka:

$$W = \vec{F} \cdot \vec{l} = F \cdot \cos \varphi \cdot l = F_l \cdot l \quad (6)$$

gdje su:

F- sila

l- put (pomak) na kojem ta sila djeluje

F<sub>l</sub> – komponenta (projekcija) sile u smjeru pomaka l

Ako je sila funkcija puta, tj. F<sub>l</sub>= F<sub>l</sub> (l), mehanički rad se računa pomoću izraza:

$$W_{1,2} = \int_1^2 \vec{F}(l) d\vec{l} = \int_1^2 F(l) \cos \varphi dl = \int_1^2 F_l(l) dl [J] \quad (7)$$

Istraživanja u ovom radu ograničena su na energiju prelaznog oblika, tj. na utvrđivanje odnosa količine toplote i deformacionog rada u procesu dubokog izvlačenja sa redukcijom debljine zida.

Da bi bilo moguće procentualno odrediti odnos energije koja se izdvaja u vidu toplote i energije koja se troši na deformaciju (deformacionog rada), proces izvlačenja se posmatra kao idealizirani slučaj zatvorenog sistema, izolovanog u odnosu na okolinu.

Elementi sistema su : izvlakač, obratci, prstenovi za izvlačenje i rashladno sredstvo.

Po analogiji sa izrazom (5), razmjenjena količina toplote od početnog stanja "1" do konačnog stanja "2" za ovaj sistem računa se po izrazu:

$$Q_{1,2} = m_i \cdot c_i \cdot (T_{i2} - T_{i1}) + N_i \cdot m \cdot c \cdot (T_2 - T_1) + m_p \cdot c_p \cdot (T_{p2} - T_{p1}) + m_{rs} \cdot c_{rs} \cdot (T_{rs2} - T_{rs1}) [J] \quad (8)$$

gdje su:

m<sub>i</sub> - masa izvlakača;

c<sub>i</sub> - specifična toplota materijala izvlakača za T<sub>ref</sub>=1/2(T<sub>i1</sub>+T<sub>i2</sub>)

T<sub>i1</sub> - temperatura izvlakača u stanju 1; T<sub>i2</sub> - temperatura izvlakača u stanju 2

N<sub>i</sub> - broj izradaka izvučenih od stanja 1 do stanja 2

m - masa priprema (izratka)

c - specifična toplota materijala izradaka za T<sub>ref</sub>=1/2(T<sub>o1</sub>+T<sub>o2</sub>)

T<sub>1</sub> - temperatura priprema u stanju 1; T<sub>2</sub> - temperatura izradaka u stanju 2

m<sub>p</sub> - masa prstenova za izvlačenje

c<sub>p</sub> - specifična toplota materijala prstenova za T<sub>ref</sub>=1/2(T<sub>p1</sub>+T<sub>p2</sub>)

T<sub>p1</sub> - temperatura prstenova u stanju 1; T<sub>p2</sub> - temperatura prstenova u stanju 2

m<sub>rs</sub> - masa rashladnog sredstva

$c_{rs}$  - specifična toplota rashladnog sredstva za  $T_{ref}=1/2(T_{rs1}+T_{rs2})$

$T_{rs1}$  - temperatura rashladnog sredstva u stanju 1

$T_{rs2}$  - temperatura rashladnog sredstva u stanju 2

Deformacioni rad u procesu izvlačenja, između referentnih stanja 1 i 2, može se dobiti integraljenjem dijagrama zavisnosti deformacione sile od hoda (puta izvlačenja) i množenjem te vrijednosti sa brojem izvučenih izradaka.

Poređenjem ovako dobijenih vrijednosti toplote ( $Q_{1,2}$ ) i deformacionog rada ( $W_{1,2}$ ) dobiće se odgovor na pitanje o procentualnom odnosu energije koja se izdvaja na toplotu i koja se troši na deformaciju.

Iz izraza (8) može se izračunati potrebna masa rashladnog sredstva u procesu:

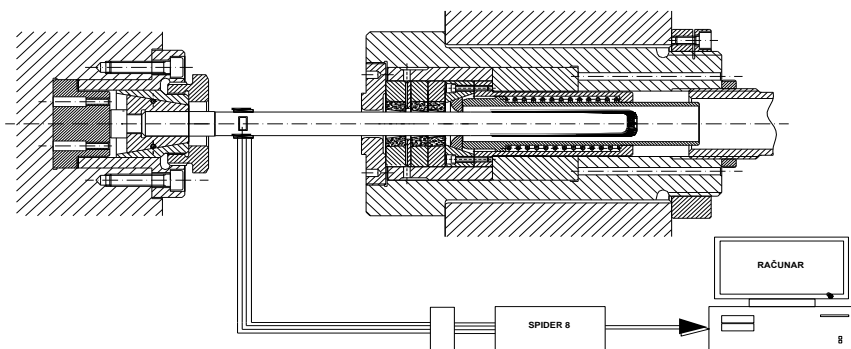
$$m_{rs} = \frac{Q_{12} - m_i c_i (T_{i2} - T_{i1}) - N_i m c (T_2 - T_1) - m_p c_p (T_{p2} - T_{p1})}{c_{rs} (T_{rs2} - T_{rs1})} \quad (9)$$

### 3. EKSPERIMENTALNO ISTRAŽIVANJE DIJELA ENERGIJE KOJI SE U PROCESU IZDVAJA U VIDU TOPLOTE

Ekperimentalna istraživanja, provedena sa ciljem određivanja dijela mehaničke energije koji se u procesu dubokog izvlačenja sa redukcijom debljine zida transformiše u toplotu, obuhvatala su:

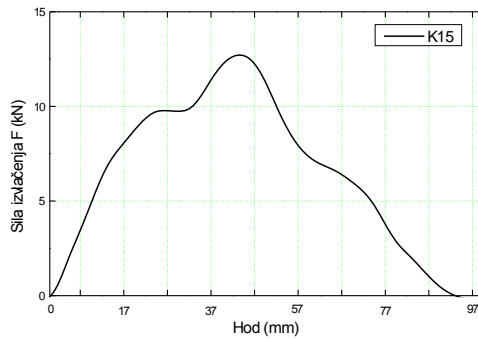
- mjerenje i registraciju deformacione sile;
- mjerenje temperatura svih elemenata sistema (pripremača, izvlakača, prstenova za izvlačenje, rashladnog sredstva i izradaka) prije i poslije izvlačenja.

Za određivanje deformacione sile izvlačenja metodom tenzometrije korišten je uređaj "Spider 8" sa pripadajućim softverom. Skica mjernog lanca za registraciju deformacione sile u procesu dubokog izvlačenja na višestepenim alatima data je na Slici 2.



Slika 2. Mjerenje i registracija deformacione sile u proizvodnim uslovima

Dobiveni su dijagrami zavisnosti deformacione sile od vremena. Množenjem vremena sa apscise sa srednjom brzinom deformisanja, dobiveni su dijagrami zavisnosti deformacione sile od hoda izvlačenja (F-h). Na Slici 3. dat je izgled dobivenog dijagrama zavisnosti F-h pri izvlačenju na petostepenom alatu.



Slika 3. Dijagram zavisnosti sile izvlačenja od hoda

Integraljenjem krive zavisnosti deformacione sile od hoda, dobija se vrijednost energije utrošene na deformaciju, tj. deformacionog rada. Izvršena su po tri mjerenja temperatura, pomoću laserskog uređaja, za dva referentna stanja sistema: početno – prije procesa izvlačenja (stanje “1”) i konačno- nakon izvlačenja (stanje “2”). Nakon mjerenja temperatura, izvršeno je snimanje temperaturnih polja elemenata sistema pomoću kamere za termoviziju za stanja “1” i “2”.

#### 4. REZULTATI EKSPERIMENTALNOG ISTRAŽIVANJA DIJELA ENERGIJE KOJI SE U PROCESU IZDVAJA U VIDU TOPLOTE

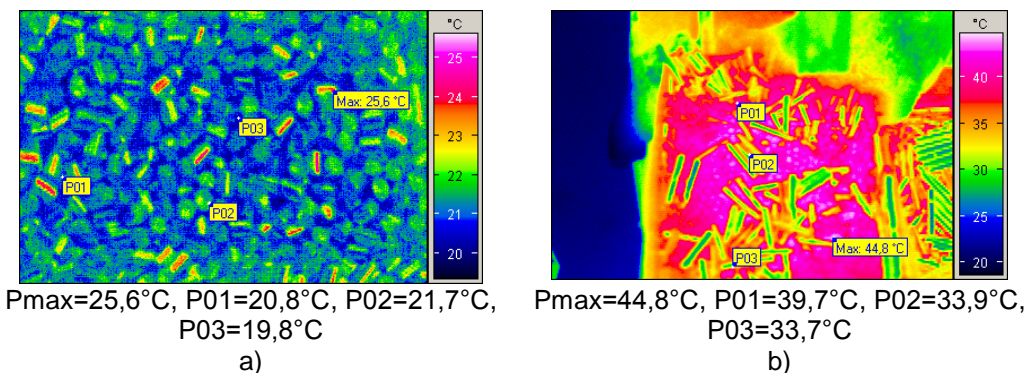
Rezultati mjerenja temperatura u početnom stanju (1) i konačnom stanju (2) dati su u Tabeli 1.

Tabela 1. Izmjerene temperature elemenata sistema u stanjima „1“ i „2“

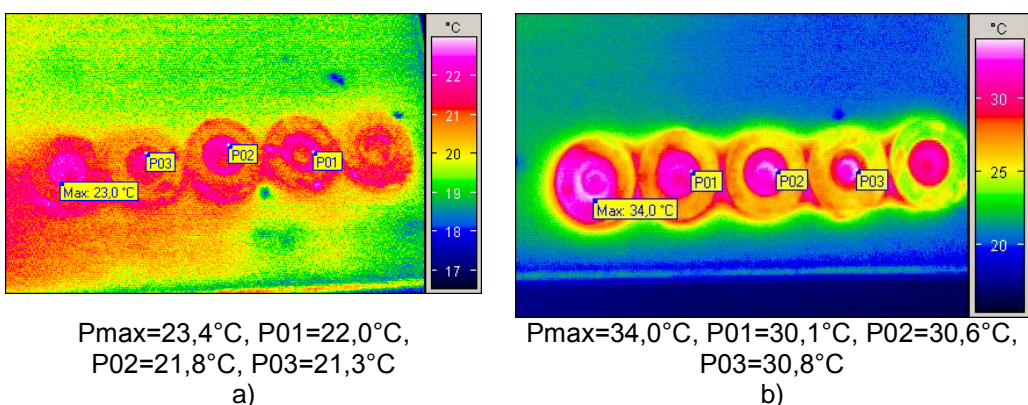
Vrijednosti temperatura elemenata sistema u stanju “1”						
Red. broj	Temperatura izvlakača $T_{i1}$ (°C)			Temperatura priprema $T_1$ (°C)	Temperatura prstenova $T_{p1}$ (°C)	Temperatura rashladnog sredstva $T_{rs1}$ (°C)
	Mjerna mjesta					
	1	2	3			
1	20	21	21	22	21	29
2	22	22	22	22	21	33
3	22	21	22	22	21	33
Vrijednosti temperatura elemenata sistema u stanju “2”						
1	40	35	34	39	29	35
2	40	35	34	40	30	35
3	40	39	35	39	30	36

Početno i konačno stanje posmatranog sistema registrovani su pomoću kamere za termoviziju. Na Slikama 4. i 5. dat je prikaz temperaturnih polja na pripremcima, izrtcima i prstenovima za izvlačenje.





Slika 4. Temperaturno polje na pripremcima u stanju "1" (a) i na izratcima u stanju "2" (b)



Slika 5. Temperaturno polje na prstenovima za izvlačenje u stanju "1" (a) i u stanju "2" (b)

Podaci korišteni za proračun razmjenjene količine toplote ( $Q_{1,2}$ ), od stanja "1" do stanja "2" posmatranog sistema, su srednje vrijednosti izmjerenih temperatura elemenata sistema, njihove mase i specifične toplote, i to:

- stanje "1"

$$T_{i1}=21^{\circ}\text{C}; T_1=22^{\circ}\text{C}; T_{p1}=21^{\circ}\text{C}; T_{rs1}=32^{\circ}\text{C}$$

- stanje "2"

$$T_{i2}=37^{\circ}\text{C}; T_2=39^{\circ}\text{C}; T_{p2}=30^{\circ}\text{C}; T_{rs2}=35^{\circ}\text{C}$$

- masa izvlakača  $m_i = 0.127 \text{ kg}$

- masa izratka  $m = 0.0072 \text{ kg}$

- masa prstenova (pet prstenova)  $m_p = 0.473 \text{ kg}$

- masa rashladnog sredstva  $m_{rs} = 69.87 \text{ kg}$

- specifična toplota za materijal izvlakača (čelik) i temperaturu  $20^{\circ}\text{C}$   $c_i = 0.461 \text{ kJ/kg K}$

- specifična toplota za materijal izradaka (mesing) i  $T_{ref} = 31^{\circ}\text{C}$   $c = 0.382 \text{ kJ/kg K}$

- specifična toplota za materijal prstenova (čelik) i temperaturu  $20^{\circ}\text{C}$   $c_p = 0.461 \text{ kJ/kg K}$

- specifična toplota za rashladno sredstvo (vodu) i  $T_{ref} = 33.5^{\circ}\text{C}$   $c_{rs} = 4.176 \text{ kJ/kg K}$

- broj izradaka  $N_i = 1920$

Vrijednosti specifične toplote za materijal izvlakača i prstenova (čelik) usvojene su za temperaturu od  $20^{\circ}\text{C}$ , jer u toplotnim tabelama nisu navedene vrijednosti za

referentne temperature. Uvrštavajući navedene podatke u izraz (8) dobija se razmjenjena količina toplote posmatranog sistema ,od stanja "1" do stanja "2" :

$$Q_{1,2}=967.79 \text{ kJ}$$

Vrijednost deformacionog rada  $W_{1,2}$  dobije se kad se pomnoži deformacioni rad za jedan izradak ( $W=0.638 \text{ kNm}=0.638 \text{ kJ}$ ) sa brojem izvučenih izradaka  $N_i=1920$ , tj.

$$W_{1,2}=1224.96 \text{ kJ}$$

Iz izmjerenih temperatura alata nakon procesa izvlačenja uočava se da su one više na izvlakaču ( $T_{i2} = 37^\circ \text{C}$ ), a nešto niže na prstenovima za izvlačenje ( $T_{p2} = 30^\circ \text{C}$ ).

Ako se temperatura alata u procesu ograniči, uz nepromijenjene uslove ispitivanja, iz izraza (9) moguće je odrediti masu rashladnog sredstva koja obezbjeđuje stabilan proces izvlačenja.

Ako se za ostvarenje stabilnog procesa izvlačenja maksimalna temperatura alata ograniči na  $T = 40^\circ \text{C}$ , onda je prema izrazu (9) neophodno obezbjediti da u procesu cirkuliše  $m_{rs} = 69,67 \text{ kg}$  rashladnog sredstva.

## ZAKLJUČCI

Na osnovu rezultata eksperimentalnih mjerenja temperatura za dva posmatrana stanja elemenata sistema (izvlakač, prstenovi za izvlačenje, pripremc, izratci i rashladno sredstvo) dobivena je izdvojena količina toplote u procesu izvlačenja.

Poredeći izračunatu vrijednost toplote i deformacionog rada, utvrđeno je da energija izdvojena na toplotu iznosi oko 79 % energije utrošene na deformaciju, što navodi na zaključak da se eksperimentalni rezultati dobiveni za izvlačenje sa redukcijom debljine zida dobro slažu sa vrijednostima navedenim u literaturi, koje se odnose na sve procese obrade deformisanjem.

Određivanjem razmjenjene količine toplote u procesu dubokog izvlačenja sa redukcijom debljine zida moguće je izračunati masu rashladnog sredstva, koja će obezbjediti održavanje temperature alata u dozvoljenim granicama i stabilan proces izvlačenja.

## LITERATURA

- [1] Nožić, M. (2005). Prilog istraživanju pojedinačnog i ukupnog opterećenja višestepenih alata za izvlačenje sa redukcijom debljine zida", Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Mostar.
- [2] Đukić, H., Nožić, M. (2013). Obrada deformisanjem, Univerzitet „Džemal Bijedić“ Mašinski fakultet Mostar.
- [3] Čaušević, M. (1979). Plastična prerada metala, Svjetlost Sarajevo.
- [4] Nožić, M., Đukić, H. (2012). Toplotni efekat u procesima dubokog izvlačenja sa velikim brzinama, MATRIB'12 International Conference MATERIALS, TRIBOLOGY, RECYCLING, Vela Luka, Croatia.



## DODATNI NAPONI ZBOG SAVIJANJA U PROCESU DUBOKOG IZVLAČENJA

Amra Talić-Čikmiš<sup>1</sup>, Suad Hasanbegović<sup>2</sup>,  
Nedeljko Vukojević<sup>3</sup>, Fuad Hadžikadunić<sup>4</sup>

*Rezime: Opće rješenje, problema u uvjetima ravninskog stanja deformacije za plastično područje, dano je u radu [3]. Ovo rješenje ograničeno je na polarne koordinate i ne očvršćavajuće materijale. U radu [4] dana su neka pojedinačna rješenja ovakvih ravninski problema u plastičnom području na bazi općeg rješenja.*

*Na bazi rezultata dva prethodno spomenuta rada, dat je način na koji se izračunavaju glavna normalna naprezanja, u idealiziranim uvjetima i polarnim koordinatama, koja su posljedica savijanja lima preko prstena za izvlačenje u procesu dubokog izvlačenja rotacionih posuda s dnom. Na taj način omogućava se direktno izračunavanje dodatnog naprezanja zbog savijanja i ispravljanja lima preko radijusa prstena za izvlačenje u spomenutom procesu koje povećava naprezanja u zidovima posude i silu izvlačenja.*

*Ključne riječi: duboko izvlačenje, plastično područje, dodatni naponi savijanja*

### THE EXTRA STRESS BECAUSE OF THE BENDING IN THE PROCESS THE DEEP DRAWING

*Abstract: The general solution of the plane problem in plastic region was given in the paper [3]. This solution is limited to polar coordinates and the non-hardening material. In the paper [4] are found some individual solutions of problems in the plastics region on the basis the general solution. In this paper, on the basis the resultants of two papers earlier mentioned, the principal normal stresses is calculated in the ideal conditions and polar coordinates, which are the effect of a bending a sheet metal in the process of the deep drawing rotation caps with a bottom. I this way, the directly calculation of the extra stress because of the bending and the correcting a sheet across a radius of a die for the drawing is enabled in a mentioned process, which increased a stresses in a wall of the cap and a force of a drawing.*

*Keywords: deep drawing, plastic region, exstra bending stress*

<sup>1</sup>Doc. dr. Amra Talić-Čikmiš, Mašinski fakultet Univerziteta u Zenici, acikmis@mf.unze.ba

<sup>2</sup>Prof. dr. Suad Hasanbegović, Mašinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, hasanbegovic@mef.unsa.ba

<sup>3</sup>V.prof. dr. Nedeljko Vukojević, Mašinski fakultet Univerziteta u Zenici, vukojevic@mf.unze.ba

<sup>4</sup>Doc. Dr. Fuad Hadžikadunić, Mašinski fakultet Univerziteta u Zenici, hfud@mf.unze.ba

## 1. UVOD

Nalaženje sile i deformacionog rada u procesu dubokog izvlačenja rotacionih posuda s dnom vezano je za određivanje ukupnog radnog naprezanja. Kao što je poznato, ovo radno naprezanje dobiva se tako što se na teorijsku vrijednost radijalnog naprezanja dodaju preostala naprezanja koja se pojavljuju u realnim uvjetima.

## 2. OSNOVNI KOMPONENTNI NAPONI

U uvjetima ravninske deformacije  $\varepsilon_z = 0$ , za plastično područje je  $\nu = 0,5$ , treće normalno naprezanje  $\sigma_z = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} = \sigma_3$  jest i glavno normalno naprezanje.

Komponentna naprezanja  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  i  $\tau$  ( $\tau = \tau_{xy} = \tau_{yx}$ ) mogu se izraziti posredstvom glavnih normalnih naprezanja  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  i ugla nagiba  $\varphi$  prvog glavnog normalnog naprezanja  $\sigma_1$  u odnosu na osu  $x$  u vidu [1]

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cos 2\varphi \\ \sigma_y &= \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} - \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cos 2\varphi \\ \tau &= \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \sin 2\varphi. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

U ravnini  $xy$  sa

$$\sigma = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}, \quad \tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \quad (2)$$

određeno je srednje normalno naprezanje  $\sigma$ , koje je invarijantna veličina, i maksimalno tangencijalno (smičuće) naprezanje  $\tau_{\max}$ . Naprezanja  $\sigma$  i  $\tau_{\max}$  djeluju na trajektorijama linija klizanja.

Po hipotezi najveće deformacione energije utrošene na promjenu oblika (kriterij von Misesa), uvjet početka plastičnog tečenja za ravninsko stanje deformacije izražava se u vidu [2]

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau^2} = k_s, \quad (3)$$

gdje je zbog jednostavnijeg izražavanja uvedena reducirana vrijednost  $k_s$  specifičnog deformacionog otpora  $k$  ( $2 k_s = \frac{2}{\sqrt{3}} k$ ).

Iz (1), uzimajući u obzir (2) i (3), dobiva se

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \sigma + k_s \cos 2\varphi \\ \sigma_y &= \sigma - k_s \cos 2\varphi \\ \tau &= k_s \sin 2\varphi \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

sistem jednadžbi koje zadovoljavaju uvjet plastičnog tečenja. Radi toga kod daljnjeg razmatranja problema i operiranja sa sistemom (4) nije potrebno uzimati u obzir i uvjet plastičnog tečenja, jer će ovaj uvjet biti zadovoljen za proizvoljne vrijednosti ugla  $\varphi$ .

### 3. TRANSFORMACIJA JEDNAČINA RAVNOTEŽE

Polarni sistem koordinata ( $O$ ;  $r$ ,  $\varphi$ ) postavlja se tako da se podudara (poklapa) s glavnim pravcima normalnih naprezanja  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ . Drugim riječima, polarne koordinate  $r$ ,  $\varphi$  su i glavni pravci normalnih naprezanja  $\sigma_1 = \sigma_r$ ,  $\sigma_2 = \sigma_\varphi$ . Tada je veza osnovnih  $x$ ,  $y$  i polarnih koordinata  $r$ ,  $\varphi$  dana sa

$$x = r \cos \varphi, \quad y = r \sin \varphi. \quad (5)$$

Diferencijalna jednačba ravnoteže elementa koji se nalazi u uvjetima ravninskog stanja, uz zanemarivanje inercionih (zapreminskih) sila imaju predstavljane u vidu

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial \tau}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = 0. \quad (6)$$

U idealnim uvjetima plastičnog tečenja (bez očvršćavanja)  $k_s = \text{konstant.}$ , jednačbe (6), u polarnom koordinatnom sistemu  $r$ ,  $\varphi$ , transformiraju se u jednačbu [3]

$$r \frac{\partial \sigma}{\partial r} + \frac{\cos \varphi - \sin \varphi}{\cos \varphi + \sin \varphi} \frac{\partial \sigma}{\partial \varphi} = -2k_s. \quad (7)$$

Jednačba (7) je linearna, nehomogene i prvog reda.

### 4. OPĆE RJEŠENJE

Za jednačbu

$$r \frac{\partial \sigma}{\partial r} + \frac{\cos \varphi - \sin \varphi}{\cos \varphi + \sin \varphi} \frac{\partial \sigma}{\partial \varphi} = -2k_s \quad (\sigma_r > \sigma_\varphi)$$

prvi nezavisni integrali dani su sa [3]

$$\left. \begin{aligned} \ln r + \ln(\cos \varphi - \sin \varphi) &= C_1 \\ \sigma - 2k_s \ln(\cos \varphi - \sin \varphi) &= C_2. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Za jednačbu

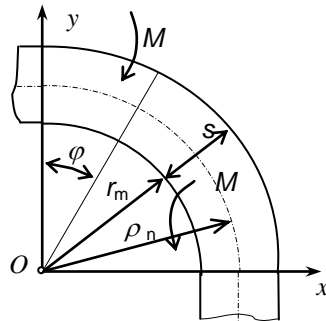
$$r \frac{\partial \sigma}{\partial r} - \frac{\sin \varphi - \cos \varphi}{\cos \varphi + \sin \varphi} \frac{\partial \sigma}{\partial \varphi} = -2k_s \quad (\sigma_r < \sigma_\varphi)$$

prvi nezavisni integrali dani su sa [4]

$$\left. \begin{aligned} \ln r + \ln(\sin \varphi - \cos \varphi) &= C_1 \\ -\sigma - 2k_s \ln(\sin \varphi - \cos \varphi) &= C_2. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

## 5. SAVIJANJE MOMENTIMA

U procesu dubokog izvlačenja preko zaobljene ivice prstena za izvlačenje polumjera  $r_m$  (slika 1) lim se savija. Ako se pretpostavi da se u procesu ne koristi držač lima, zanemari trenje između alata i radnog dijela može se uzeti da se savija momentima u plastičnom području.



Slika 1. Savijanje momentima

Glavno radijalno naprezanje  $\sigma_r$  po čitavom presjeku je tlačno. Glavno obimno naprezanje  $\sigma_\varphi$  tlačno je u zoni  $r < \rho_n$  i vlačno za  $r > \rho_n \leq r_m + s = R_1$ , gdje je  $\rho_n$  polumjer neutralnog vlakna. Treće glavno normalno naprezanje je  $\sigma_\theta = \frac{\sigma_r + \sigma_\varphi}{2}$ , pod uvjetom da se proces odvija u uvjetima ravninskog deformiranja.

Uz pretpostavku da nema očvršćavanja, postavljanje pravouglavog koordinatnog sistema u centar polumjera  $r_m$ , tačkaka O, prstena za izvlačenje omogućava korištene općih rješenja danih u radovima [3,4].

U zoni  $r > \rho_n$  prvo glavno normalno naprezanje je obimno naprezanje  $\sigma_\varphi$  ( $\sigma_r < \sigma_\varphi$ ). Srednje normalno naprezanje  $\sigma = \sigma_z$ , za plastično deformiranu oblast, dano je sa [4]

$$\sigma = k_s \left( 1 - 2 \ln \frac{R_1}{r} \right). \quad (10)$$

Koristeći uvjet plastičnog tečenja i definiciju srednjeg normalnog naprezanja

$$\left. \begin{aligned} \sigma_\varphi - \sigma_r &= 2k_s \\ \sigma_r + \sigma_\varphi &= 2\sigma, \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

dobivaju se vrijednosti druga dva glavna normalna naprezanja

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= -2k_s \ln \frac{R_1}{r} \\ \sigma_\varphi &= 2k_s \left( 1 - \ln \frac{R_1}{r} \right). \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

U zoni  $r < \rho_n$  sva tri glavna normalna naprezanja su naprezanja pritiska. Prvo glavno normalno naprezanje je radijalno naprezanje  $\sigma_r$  ( $\sigma_r > \sigma_\varphi$ ). Srednje normalno naprezanje  $\sigma = \sigma_z$ , za plastično deformiranu oblast, dano je sa [4]

$$\sigma = -k_s \left( 1 + 2 \ln \frac{r}{r_m} \right). \quad (13)$$

Koristeći uvjet plastičnog tečenja i definiciju srednjeg normalnog napreznja

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r - \sigma_\varphi &= 2k_s \\ \sigma_r + \sigma_\varphi &= 2\sigma, \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

dobivaju se vrijednosti druga dva glavna normalna napreznja koja djeluju u uzdužnim ravninama

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= -2k_s \ln \frac{r}{r_m} \\ \sigma_\varphi &= -2k_s \left( 1 + \ln \frac{r}{r_m} \right). \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

## 6. DODATNO NAPREZANJE ZBOG SAVIJANJA

Ukupno napreznje, pri proračunu sile u procesu dubokog izvlačenja, sadrži i napreznje zbog savijanja i ispravljanja lima preko zaobljene ivice prstena za izvlačenje. Prema slici 2 srednja vrijednost obimnog napreznja  $\sigma_{\varphi s}$  po debljini lima na mjestu savijanja i također na mjestu ispravljanja lima (slika 1) može se izraziti sa

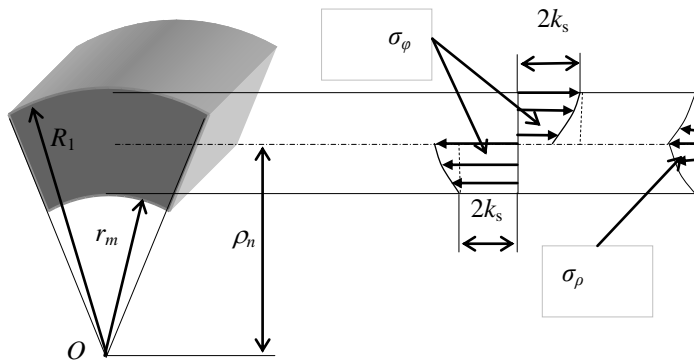
$$\sigma_{\varphi s} = \frac{1}{s} \int_{r_m}^{R_1} \sigma_\varphi dr = \frac{1}{s} 2k_s \left( \int_{\rho_n}^{R_1} 1 - \ln \frac{R_1}{r} - \int_{r_m}^{\rho_n} 1 + \ln \frac{r}{r_m} \right) dr.$$

Nakon integracije dobiva se

$$\frac{1}{s} \int_{r_m}^{R_1} \sigma_\varphi dr = \frac{1}{s} 2k_s \left( R_1 - 2\rho_n + r_m + \rho_n \ln \frac{R_1 r_m}{\rho_n^2} \right).$$

Ako se za polumjer neutralne linije uzme vrijednost [ ]  $\rho_n = \sqrt{R_1 r_m}$  dobiva se

$$\sigma_{\varphi s} = \frac{2k_s}{s} \left( R_1 - 2\sqrt{R_1 r_m} + r_m \right) = \frac{4k_s}{s} \left( \frac{R_1 + r_m}{2} - \rho_n \right). \quad (16)$$



Slika 2. Dijagrami napreznja

U izrazu (16) na lijevoj strani u zagradi pojavljuje se razlika između vrijednosti srednjeg polumjera  $\rho_s = \frac{R_1 + r_M}{2}$  i neutralnog polumjera  $\rho_n = \sqrt{R_1 r_M}$  savijenog lima.

Prema tome, kod savijanja lima momentima pojavljuje se i obimna sila, što je suprotno od dosadašnjih shvaćanja da kod savijanja lima momentima ova sila ne postoji.

Prema slici 1 u prvoj operaciji procesa dubokog izvlačenja pojavljuje se dodatno naprezanje  $\Delta\sigma_\rho$  zbog savijanja i ispravljanja lima s vrijednošću dva puta većom od  $\sigma_{\varphi s}$

$$\text{iz (16), tj. } \Delta\sigma_\rho = \frac{2k_s}{s} \cdot \frac{R_1 + r_M}{2} - \sqrt{R_1 r_M},$$

odnosno

$$\Delta\sigma_\rho = 2k_s \frac{\rho_s - \rho_n}{s}. \quad (17)$$

## 7. ZAKLJUČAK

Rezultat ovog rada jest analitički izraz (17) za izračunavanje dodatnog naprezanja  $\Delta\sigma_\rho$  koje se pojavljuje u procesu dubokog izvlačenja zbog savijanja i ispravljanja lima preko polumjera  $r_M$  prstena za izvlačenje. Po ovom izrazu, dodatno naprezanje zbog savijanja  $\Delta\sigma_\rho$  direktno je proporcionalno pomjeraju neutralne linije,  $\rho_s - \rho_n$ , u procesu savijanja lima prema centru savijanja.

Ustvari, to je vrijednost srednjeg obimnog naprezanja  $\sigma_{\varphi s}$  (16) po debljini lima u procesu savijanja momentima. Ovo je suprotno od dosadašnjih shvaćanja da u procesu savijanja momentima srednje obimno naprezanje  $\sigma_{\varphi s}$  je jednako nuli kod ne očvršćavajućih materijala [5].

U dosadašnjoj praksi smatralo se da dodatno naprezanje, u procesu dubokog izvlačenja zbog savijanja lima, nastaje na dijelu trase prstena gdje se pojavljuje skokovita izmjena njegovog polumjera. Na toj ideji dolazilo se do ovog dodatnog naprezanja posredstvom izjednačavanja radova obimne sile i momenta savijanja [6]. Pri tome se kod izračunavanja momenta  $M$  za polumjer neutralne linije koristio izraz  $\rho_n = \sqrt{R_1 r_m}$ , a kod izračunavanja dodatnog naprezanja  $\Delta\sigma_\rho$  koristio se izraz  $\rho_n = r_M + 0,5 s$ .

## LITERATURA

- [1] Musafia, B., (1974). *Primijenjena teorija plastičnosti I i II dio*, Univerzitet u Sarajevu
- [2] Sokolovskij, V.V., (1969). *Teorija plastičnosti*, Visšaja škola, Moskva
- [3] Hasanbegović, S., (1997). Opće rješenje ravninskog problema u polarnim koordinatama za plastično područje, *Mašinstvo 1(1)*, p.23-27.
- [4] Hasanbegović, S., (1998). Neka rješenja ravninski problema u polarnim koordinatama za plastično područje, *Mašinstvo 1(2)*, Zenica, p. 15-21.
- [5] Storožev, M. V., Popov, E. A., (1977). *Teorija obrabotki metallov davieniem*, Mašinstroenie, Moskva
- [6] Talić-Čikmiš A. (2009). *Prilog analizi napona i deformacija u procesu izvlačenja pravougljih tijela*, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet Univerziteta u Zenici





## BUDUĆNOST INDUSTRIJSKE PROIZVODNJE

Miroslav Rogić<sup>1</sup>, Duško Lukač<sup>2</sup>

*Rezime: Industrije razvijenih zemalja nalaze se na pragu novog evolutivnog razvoja koga eksperti označavaju kao 4. Industrijska revolucija. U radu se razmatraju vizije, zahtjevi, sistemi i benefiti koje sa sobom nosi budućnost nove digitalne proizvodnje u inteligentnim fabrikama.*

*Ključne riječi: Industrija 4.0, Intenet stvari i servisa, digitalna memorija proizvoda, pametna fabrika, pametni proizvod, RFID.*

### FUTURE OF INDUSTRIAL PRODUCTION

*Abstract: Industries in developed countries are on the threshold of a new evolutionary development which experts refer to as the fourth industrial revolution. This paper discusses the vision, requirements, systems and the benefits that brings with it the future of new digital production in Smart Factories.*

*Key words: Industry 4.0, Intenet of Things, Internet of Services, RFID, Semantic Product Memory, Smart Factory, Smart Product*

#### 1. UVOD

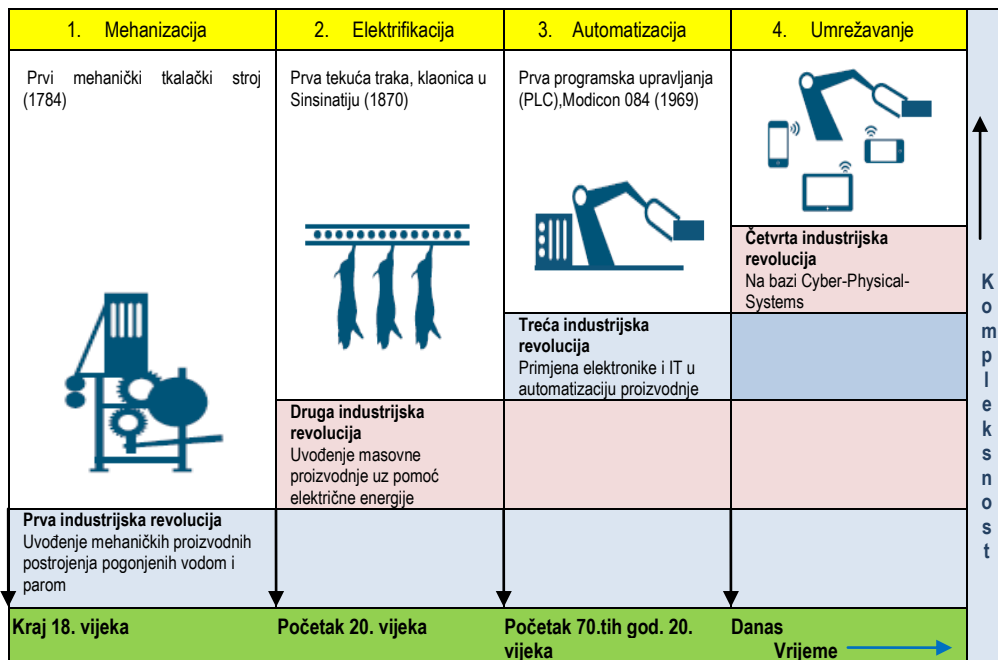
Industrijska proizvodnja se nalazi na pragu novog evolutivnog razvoja, sa velikim promjenama, koje treba do donesu komparativne prednosti u odnosu na trenutni nivo tehnologije. Nakon mehanizacije, elektrifikacije i informatizacije industrije, ulaz *Interneta stvari i usluga (Internet of things, Internet of services)* u fabrike najavljuje *4. industrijsku revoluciju*. U budućnosti će preduzeća širom svijeta umrežiti svoje mašine, skladišne sisteme, proizvode i pogonska sredstva u formi sajber-fizičkih sistema (*Cyber-Physical Systems - CPS*). Ovo omogućava da inteligentni proizvodi, mašine, skladišni sistemi i pogonska sredstva u proizvodnji samostalno izmjenjuju informacije, pokreću akcije i međusobno se samostalno upravljaju.

Da se radi o značajnim promjenama koje će promijeniti svijet proizvodnje u narednim desetljećima najbolje govore aktivnosti koje se u posljednje dvije godine organizovano i sistematično odvijaju u najrazvijenijim industrijskim zemljama u svijetu.

---

<sup>1</sup> Prof.Dr Miroslav Rogić, Banjaluka, Faculty of Mechanical Engineering, University of Banjaluka, Republika Srpska (rogicmiroslav@gmail.com)

<sup>2</sup> Dr Duško Lukač, Rheinische Fachhochschule Köln gGmbH, University of Applied Sciences, Köln, Deutschland (e-mail: lukac@rfh-koeln.de)



Slika 1. Tehnološke promjene u industrijskom razvoju

Najveće kompanije u SAD su AT&T, Cisco, General Electric, IBM i Intel osnovale su (2014) *Industrial Internet Consortium (IIC)* – grupu sa otvorenim pristupom. Oni su postavili za cilj da industrijske tokove i podatke jednostavnije povežu i optimiraju. Industrijski procesi trebaju biti vertikalno i horizontalno povezani kroz sve industrijske grane. Zbog značaja ovog razvoja za reindustrijalizaciju SAD ekonomije, vlada SAD ulaže godišnje 100 miliona dolara u istraživanje i razvoj Cyber-Physical Systems.

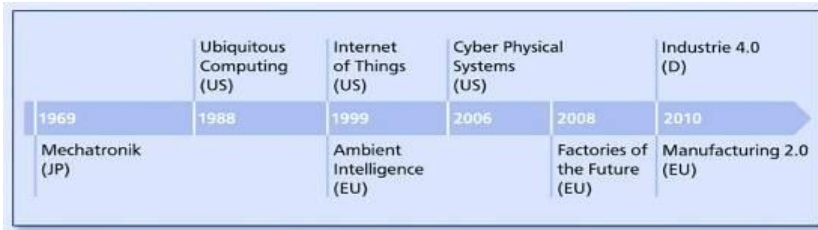
Ovaj američki projekt je zapravo pandam njemačkom projektu *Industrie 4.0* koji je, uz podršku vlade Njemačke (500 mliona evra za 3 godine), pokrenula (april 2013) istraživačka zajednica u saradnji sa udruženjima njemačke mašinske industrije VDIMA, elektroindustrije ZWEI i informatičke industrije BITKOM.

Slične projekte već imaju i azijske industrije Kina, Koreja i Japan. Cilj svih ovih projekata je obezbijediti konkurentsku sposobnost i dominaciju ovih industrija u svjetskoj ekonomiji koristeći najsavremenije tehnologije sadašnjosti i budućnosti.

## 2. EVOLUCIJA OD EMBEDDED SYSTEMS DO CYBER-PHYSICAL SYSTEMS

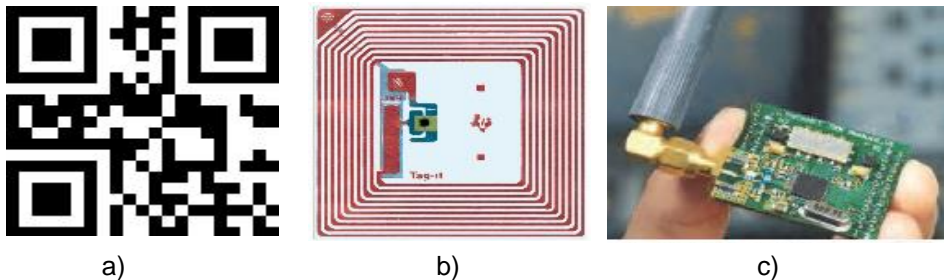
Zahvaljujući razvoju informaciono-komunikacionih tehnologija (IKT) i Interneta u posljednjih nekoliko decenija svijet proizvodnje je takođe značajno unaprijeđen, jer je skoro 90% industrijskih proizvodnih procesa danas podržano sa IKT. Pojmovima „*Smart Production*“, „*Smart Manufacturing*“ i „*Smart Factory*“ označava se digitalno umrežavanje proizvodnje u jedan inteligentni proizvodni system u kome se ostvaruje umrežavanje resursa, informacija, objekata i ljudi u vidu *Interneta stvari i servisa*. Naime, personalni računari (PC) su razvijeni do nivoa inteligentnih uređaja (*Smart Devices*), a IT infrastrukture i servisi sve više se isporučuju preko inteligentnih mreža (*Cloud Computing*). U vezi sa napretkom minijaturizacije i Interneta došlo se do opšte prisutnosti računarski podržane obrade informacija (*Ubiquitous Computing*). Moćni,

autonomni mikrokompjuteri (*Embedded Systems*) sve više se međusobno povezuju i putem Interneta. Fizikalni i virtualni svijet se stapaju u tzv. *Cyber - Physical Systems* (CPS). Sa uvođenjem novog Internet protokola IPv6 (2012.g.) na raspolaganju je dovoljno IP adresa za povezivanje inteligentnih objekata u formi *Interneta stvari i servisa*.



Slika 2. Istorijski razvoj ključnih tehnologija za nastajanje Smart Factory

Ključni element za razvoj *Interneta stvari* koji povezuje fizički i virtuelni svijet, tj. CPS je digitalna memorija proizvoda (*Semantic Product Memory – SemProM*) u formi tzv. “*Smart Labels*“ (bar kodovi(QR,DMC), RFID, NFC, CPS).



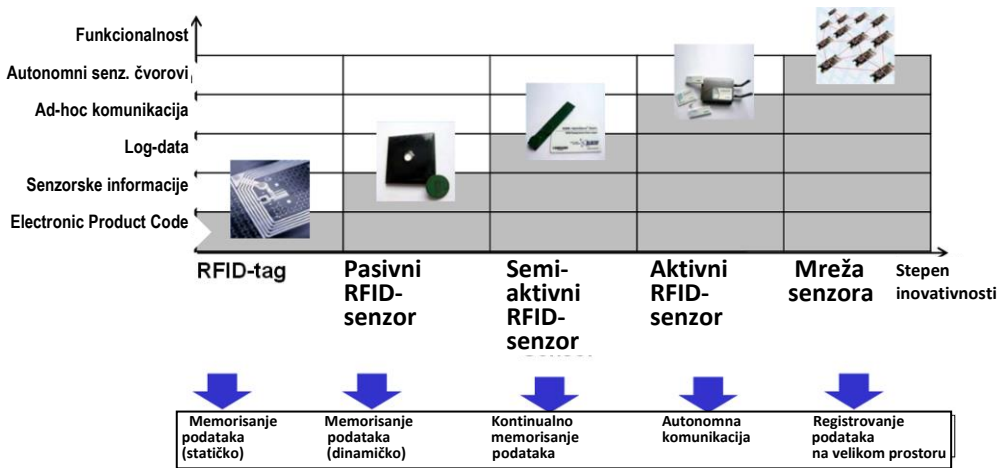
Slika 3. Digitalne memorije a) Barkod b) pasivni RFID c) aktivni RFID sa antenom

Ona omogućava da do sada pasivni objekti postanu dio informacione mreže koja ljudima omogućava da se tokom cijelog životnog vijeka proizvoda, u svakom trenutku, prate sve relevantne informacije o porijeklu, predistoriji, tehnološkom postupku izrade, trenutnom stanju proizvoda, tj. informacijama o cjelokupnom životnom vijeku proizvoda (PLM), od proizvodnje, logistike i trgovine, pa do krajnjeg kupca.



Slika 4. Sprezanje virtuelnog i fizičkog svijeta preko digitalnih memorija proizvoda

Ove digitalne memorije minijaturne izvedbe snabdjevene su dodatno i sa senzorskim, pozicionim i komunikacionim sposobnostima koji na taj način od pasivnog objekta u procesu stvaraju aktivnog učesnika u M2M (mašina sa mašinom) komunikaciji u realnom vremenu.



Slika 5. Tipovi RFID memorija

### 3. ŠTA DONOSI INTELIGNTNA FABRIKA

Karakteristike buduće forme industrijske proizvodnje su jako individualiziranje proizvoda u uslovima visoko fleksibilne (velikoserijske) proizvodnje, široka integracija kupaca i poslovnih partnera u procese stvaranja nove vrijednosti i poslovne procese, te povezivanje proizvodnje i visoko kvalitetnih uslužnih djelatnosti, koji se stapaju u tzv. hibridne proizvode.

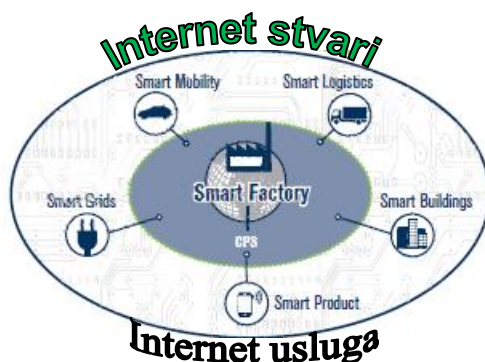
Industrija 4.0 se fokusira na proizvodnju inteligentnih proizvoda, postupaka i procesa (*Smart Production*). Važan element Industrije 4.0 je inteligentna fabrika čije su karakteristike kompleksnost, manje ispada i povećana efikasnost proizvodnje. U fabrikama budućnosti će klasična hijerarhijska proizvodnja biti zamijenjena sa decentralizovanom samoorganizacijom na bazi sajber-fizičkih sistema. Dijelovi postrojenja i proizvodni procesi će izrađivati, samostalno i fleksibilno, čak i najmanje serije uz brzu izmjenu proizvoda i veliki broj varijanti.

Budući automatski sistemi će imati sposobnost:

- samoumrežavanja,
- samodijagnosticiranja i
- optimalnog samoprilagođavanja.

Danas u automatizaciji već postoji mnogo takvih dijelova, ali još ne i cjelovita rješenja.

U inteligentnim fabrikama ljudi, mašine i resursi komuniciraju sasvim normalno kao u jednoj socijalnoj mreži. Inteligentni proizvodi (*Smart Products*) raspolazu sa znanjem o svom procesu proizvodnje i budućoj primjeni. Oni aktivno podržavaju proizvodni proces („kada ću ja biti proizveden, sa kakvim parametrima ja moram biti obrađen, kuda je moram biti isporučen“, itd.). Sa svojim interefejnsima ka *Smart Mobility*, *Smart Logistics* i *Smart Grid* inteligentna fabrika je važan element buduće inteligentne infrastrukture.



Slika 6. Interfejsi Smart Factory prema drugim Smart Systems

Potencijal Industrije 4.0 je ogroman: *Smart Factory* može uzeti u obzir *individualne želje kupaca* i rentabilno proizvoditi pojedinačne komade. U Industriji 4.0 su poslovni i inženjring procesi dinamički oblikovani, a to znači da se proizvodnja može kratkotrajno promijeniti i fleksibilno reagovati na smetnje i ispade, npr. od dobavljača. Proizvodnja je univerzalno transparentna i omogućava optimalno odlučivanje. Kroz Industriju 4.0 nastaju nove forme *kreativnosti i novi poslovni modeli*. Upravo se novim i malim preduzećima ovdje pružaju šanse da razviju i ponude uslužne djelatnosti.

Razvoj inteligentnih fabrika ne donosi samo promjene postojeće proizvodnje, već obezbjeđuje i nove proizvodne mogućnosti u oblasti snabdijevanja drugih fabrika i tržišta sa novim sajber fizičkim komponentama.

Zahvaljujući inteligentnom upravljanju sistemom proizvodnje fabrike budućnosti obećavaju i značajne uštede resursa, kao što su sirovine, materijal, energija i pogonska sredstva.

#### 4. PUTEVI REALIZACIJE INTELIGENTNIH FABRIKA

Projekt nove *Smart Factory* nije samo jedan, čisto tehnički izazov, ili isključivo IT pitanje. Tehničke promjene će istovremeno imati organizacione posljedice i zahtjeve za stvaranje novih modela poslovanja, nove koncepcije preduzeća i novog okvira za zaposlene. Proces poslovanja se moraju poboljšati u svim industrijskim granama.

Da bi se ostvarila predviđena strategija Industrije 4.0 moraju se sprovesti odgovarajuće mjere u oblasti industrije i politike (industrijskopoličke i industrijske odluke).

Prema ocjeni njemačkih eksperata put ka Industriji 4.0 zahtijeva enormne napore u istraživanju i razvoju. Udruženje Industrija 4.0 vidi potrebu aktivnosti u sljedećih osam područja:

1. *Standardizacija i referentna arhitektura*: Kolaborativni rad elemenata sistema je moguć samo uz pomoć zajedničkih, jedinstvenih standarda. Za njihove tehničke opise i primjenu neophodna je referentna arhitektura.
2. *Ovladavanje kompleksnim sistemima*: Inženjeri moraju imati u ruci metode i alate da bi izradili takve modele.





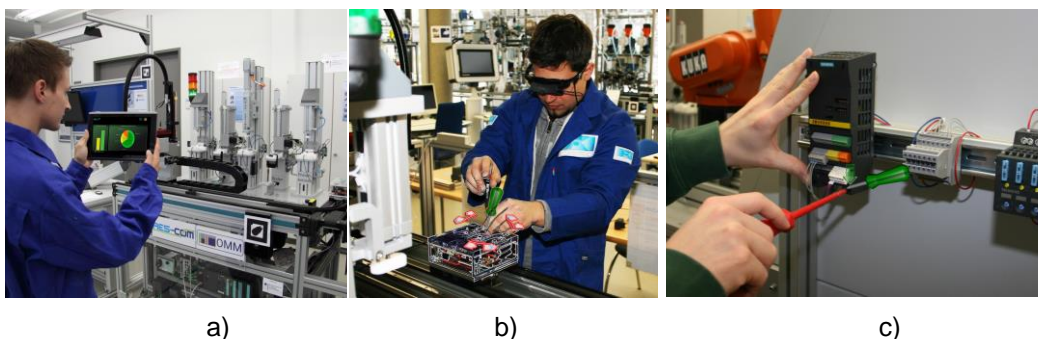
nalaze pod velikim vremenskim i proizvodnim pritiskom da što prije osposobe postrojenje.



Slika 8. Vertikalna integracija mreža kreativnosti (Siemens)

Zato se u Smart Factory razvijaju *inteligentni dijagnostički asistenti* koji operateru pravovremeno ukazuju na probleme i habanje (prepoznavanje anomalija), kod identifikacije uzroka grešaka (dijagnoze) i pomažu kod servisiranja postrojenja. Kao već prisutni dijagnostički servisi koji se nalaze u zapaženoj fazi razvoja mogu se pomenuti:

- asistent sistemi za povećanje efikasnosti resursa;
- asistent sistemi bazirani na *Augmented Reality* tehnologiji;
- asitent sistemi bazirani *Look-Through* tehnologiji.



Slika 9. Asistent sistemi a) za povećanje efikasnosti b) *Augmented Reality* c) *Look-Through*

## 5. ZAKLJUČAK

Industrijska proizvodnja se nalazi na pragu nove industrijske revolucije čije su obelježje pametne fabrike. Ovakvi sistemi se djelimično već nalaze u praksi, ali je njihovo usavršavanje i široka distribucija već u velikoj mjeri započela kroz aktivnosti industrijskih zemalja (*Industrie 4.0, IIC*). Bazirane na usavršavanju postojećih tehnologija sa novom funkcionalnošću, one sa sobom donose evolutivne promjene koje povećavaju efikasnost resursa i nude novi kvalitet proizvodnje u uslovima stalno mijenjajućih tržišnih zahtjeva.

## 6. LITERATURA

- [1] Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft–Wissenschaft (2013). Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern, Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0; Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0, AGacatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V., p.1-116.
- [2] Wahlster, W. (2014). Industry 4.0: The Semantic Product Memory as a Basis for Cyber-Physical Production Systems, SGAIICO Forum: Recent Trends in Artificial Intelligence and Cognitive Science Zürich, p.1-54.
- [3] Wahlster, W. (2010). Das digitale Produktgedächtnis: Kundenmehrwerte und Verkaufsvorteile, Innovative Technologien für den Handel 2010., St. Wendel, p.1-51.
- [4] Wu N., Li X. (2011), RFID Applications in Cyber-Physical System, Deploying RFID – Challenges, Solutions, and Open Issues, Dr. Cristina Turcu (Ed.), ISBN: 978-953-307-380-4, InTech, p.291-302.
- [5] VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. (2013), Die deutsche Normungs-Roadmap Industrie 4.0, Frankfurt, p.1-60.
- [6] Bauer W., Schlund S., Marrenbach D., Ganschar O. (2014), Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland, Studie, BITKOM Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V., Fraunhofer-Institut IAO, p.1-46.
- [7] Wahlster, W. (2014). Industry 4.0: Normung und Standardisierung - Schlüssel zum Erfolg von Industrie 4.0, Gemeinsamer Workshop von Plattform-I40 mit DKE unter Schirmherrschaft des BMWi, p.1-79.
- [8] Jasperneite J., (2012). Was hinter Begriffen wie Industrie 4.0 steckt, Computer-Automation, Heft 12/12.
- [9] Fleisch, E., Mattern F., (2005). Das Internet der Dinge, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.





## RAZVOJ INDUSTRIJSKIH PROIZVODA POMOĆU ADITIVNE PROIZVODNJE

Milan Šljivić<sup>1</sup>, Mićo Stanojević<sup>2</sup>, Nenad Grujović<sup>3</sup>,  
Igor Kuzmanović<sup>4</sup>, Zorana Pašalić<sup>5</sup>

*Rezime: U radu se prezentuje razvoj pneumatskog cilindra i poklopca lančanika motocikla primjenom aditivne proizvodnje, tj. postupkom modeliranja deponovanjem (ekstrudiranjem) istopljenog materijala (eng. Fused Deposition Modeling – FDM). Ovim postupkom se omogućava brza i efikasna izrada veoma kompleksnih fizičkih modela proizvoda, što je kraće i efikasnije od klasičnih načina izrade i to već od prve faze – ideje i razvoja. Prilikom izbora i odlučivanja za aditivnu proizvodnju kod ulaska u razvoj i osvajanje jednog novog proizvoda ili poboljšanja postojećeg, dominantno utiču tri najuticajnija faktora, a to su: kvalitet, troškovi i vrijeme. Uticajnost i signifikantnost navedenih faktora određuje cijenu proizvoda, a zadatak je da se u fazi razvoja proizvoda od ideje do početka proizvodne serije za svaki proizvod nađe optimalna kombinacija ovih uticajnih faktora. Proces FDM se zasniva na građenju fizičkog modela uz kompjutersku podršku, direktno iz kreiranog 3D virtuelnog modela proizvoda koji se pomoću STL datoteke (Stereolithography file), generiše na odgovarajućoj mašini – Dimension Elite (Stratasys) sukcesivnim, slojevitim nanošenjem materijala bez korištenja alata i pribora.*

*Ključne riječi: aditivna proizvodnja, Fused Deposition Modeling – FDM, pneumatski cilindar, poklopac lančanika motocikla*

### **DEVELOPMENT OF INDUSTRIAL PRODUCTS BY ADDITIVE MANUFACTURING**

*Abstract: This paper presents the development of pneumatic cylinder and sprocket cover motorcycle applying additive manufacturing, ie. process modeling by depositing (extrusion) of molten material - Fused Deposition Modeling (FDM). This procedure allows the rapid and efficient production of very complex physical model of the product, and thereby shorter and more efficient than conventional methods of development and that from the very first stage - ideas and development. When choosing and deciding for additive production by entering into development and the conquest of a new product or*

<sup>1</sup>Dr.sc. Milan Šljivić, Banja Luka, redovni profesor, Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet, RS, milan.sljivic@unibl.rs

<sup>2</sup>Mr Mićo Stanojević, Banja Luka, Republička agencija za mala i srednja preduzeća, Banja Luka, RS, mico.stanojevic@unibl.rs

<sup>3</sup>Dr.sc. Nenad Grujović, redovni profesor, Kragujevac, Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nauka, Srbija, gruja@kg.ac.rs

<sup>4</sup>Igor Kuzmanović, dipl.ing., Mašinski fakultet Banja Luka, RS, igor.kuzmanovic@unibl.rs

<sup>5</sup>Zorana Pašalić, dipl.inž. maš., Mašinski fakultet Banja Luka, RS, zorana.pasalic@unibl.rs

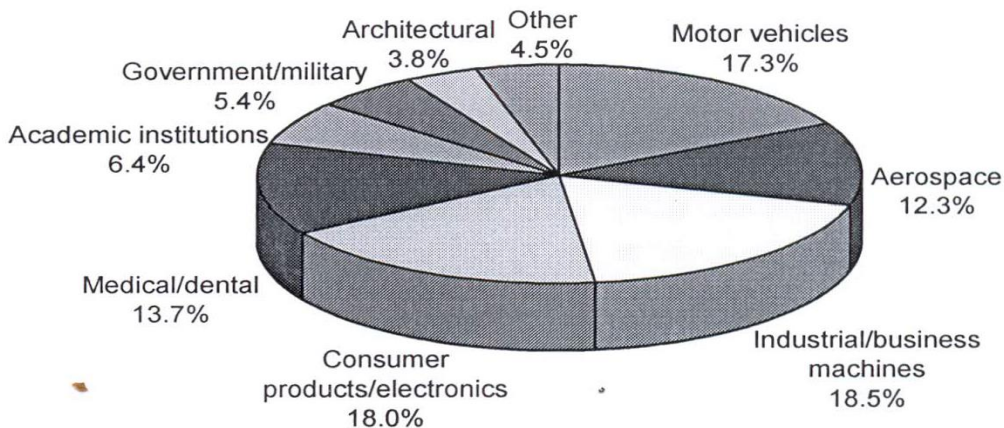
improving an existing one, it is predominantly influenced by three key factors, namely: quality, cost and time. Affectivity and the significance of these factors determines the price of the product, and the task is to be at the stage of product development from concept to the start of series production for each product find the optimal combination of these influencing factors. The process FDM is based on the construction of physical models with computer support directly from the created 3D virtual model of products using STL files (Stereolithography file), generate the appropriate machine - Dimension Elite (Stratasys) successively layered application of material without the use of tools and accessories.

**Key words:** Additive Manufacturing, Fused Deposition Modeling – FDM, pneumatic cylinder, sprocket cover motorcycle

## 1. UVODNI DIO

Aditivna proizvodnja (Additive manufacturing - AM) je termin za industrijsku proizvodnju prema ASTM i ISO i predstavlja izradu objekata dodavanjem sloj po sloj. 3D printing (štampanje) je takođe aditivna proizvodnja i standardni je termin za ovaj vid proizvodnje poznat i pod nazivom brza proizvodnja prototipova i alata (Rapid Prototyping and Rapid Tooling) [1]. Aditivnom proizvodnjom se izgrađuje fizički model, prototip, komponente alata i proizvodnja dijelova iz plastike, metala, keramike, kompozitnih materijala i stakla. AM je u suštini alat za modernizaciju i brzi razvoj proizvoda i procesa.

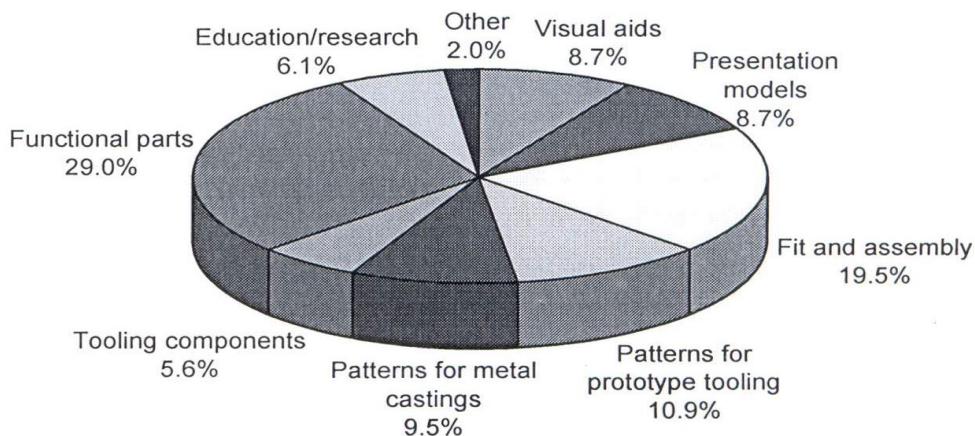
Prema rezultatima godišnjeg istraživanja (Source: Wohlers Associates, Inc) zastupljenost primjene aditivne proizvodnje prikazana je na grafikonu (slika 1), iz koga se vidi dominantna primjena za industriju/biznis (18,5%), potrošače proizvoda /elektronike (18,0%) i motornih vozila (17,3%) [1].



Source: Wohlers Associates, Inc

Slika 1. Područja primjene aditivne proizvodnje [1]

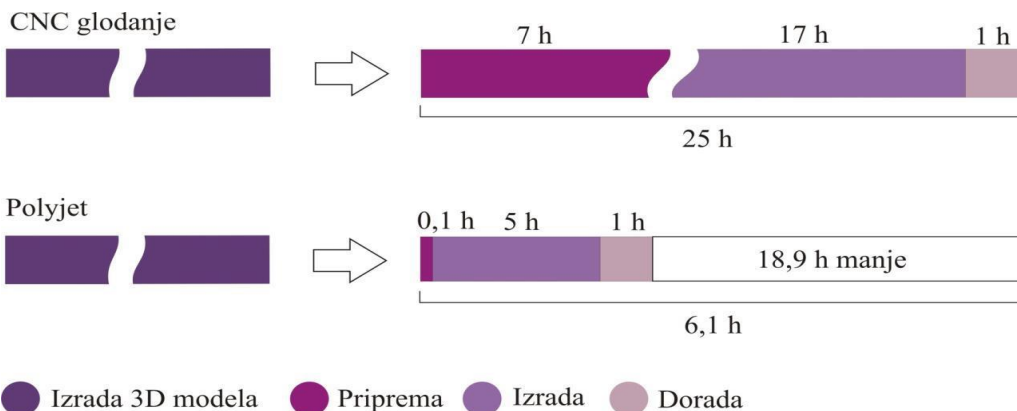
Industrijski aditivni proizvodni sistemi, prema istom izvoru [1], (grafikon na slici 2), upotrebljavaju se za aplikacije u oblastima od edukacija/istraživanje (6,1%), prezentacije modela (8,7%) do vizuelnih prikaza (8,7%).



Source: Wohlers Associates, Inc

Slika 2. Prikaz oblasti aplikacija aditivne proizvodnje [1]

Ako se uporedi konvencionalna obrada, npr. CNC glodanje i aditivna proizvodnja onda je značajna ušteda na strani aditivne proizvodnje, što se vidi iz prikaza sa slike 3.



Slika 3. Poređenje CNC glodanja i aditivne proizvodnje [2]

## 2. RAZVOJ POKLOPCA LANČANIKA MOTOCIKLA I PNEUMATSKOG CILINDRA PRIMJENOM ADITIVNE PROIZVODNJE

Za razvoj pneumatskog cilindra i poklopca lančanika motocikla korištena je aditivna proizvodnja, primjenom postupka modeliranja ekstrudiranjem istopljenog materijala (Fused Deposition Modeling – FDM) na mašini Dimension Elite - Stratasys (Laboratorija za tehnologiju plastičnosti - Mašinski fakultet Banja Luka) i to sukcesivnim, slojevitim nanošenjem materijala bez korištenja alata i pribora.

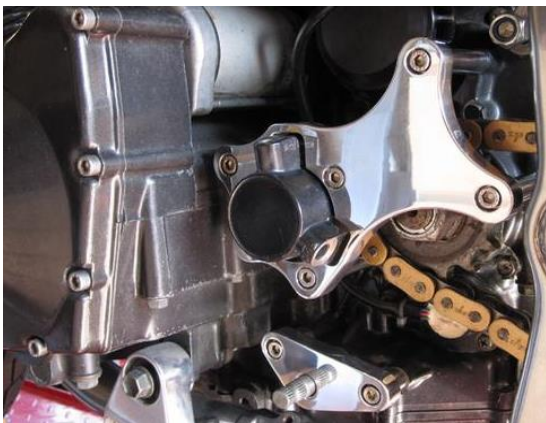
Proces izrade je definisan kroz nekoliko osnovnih koraka, od modeliranja komponenti u nekom od programskih paketa, do završne obrade izrađenog sklopa, a princip rada prikazan je na slici 4.



Slika 4. Principijelna šema aditivne proizvodnje

## 2.1 Razvoj poklopca lančanika motocikla

Pri razvoju poklopca lančanika motocikla aditivnom tehnologijom, koji je prikazan na slici 5, postoji nekoliko postupaka koje je potrebno izvršiti da bi se dobio proizvod, ali bez obzira koji postupak se primjenjuje, procedura koja dovodi do gotovog proizvoda je ista i sastoji se od sljedećih koraka:

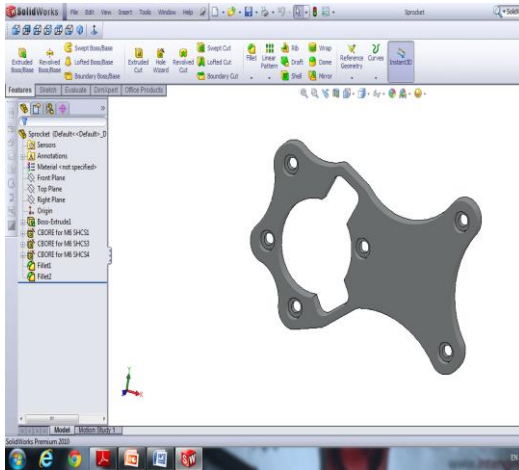


- Konstrukcija ili dizajn proizvoda u CAD 3D programskom paketu;
- Pretvaranje CAD modela u STL format;
- Prenos STL datoteke na računar koji upravlja trodimenzionalnim štampačem;
- Ispis trodimenzionalnog modela u slojevima;
- Vađenje gotovog fizičkog modela iz uređaja i
- Dodatna obrada izrađenog dijela.

Slika 5. Poklopac lančanika na motociklu

Izgled poklopca lančanika modeliranog u programskom paketu SolidWorks prikazan je na slici 6, a podešavanje parametara na mašini „Dimension Elite” koja ima program CatalystEX u kojem se vrši odabir orijentacije modela, isjecanje na slojeve i odabir pozicije na podlozi na kojoj se vrši izrada, prikazano je na slici 7.



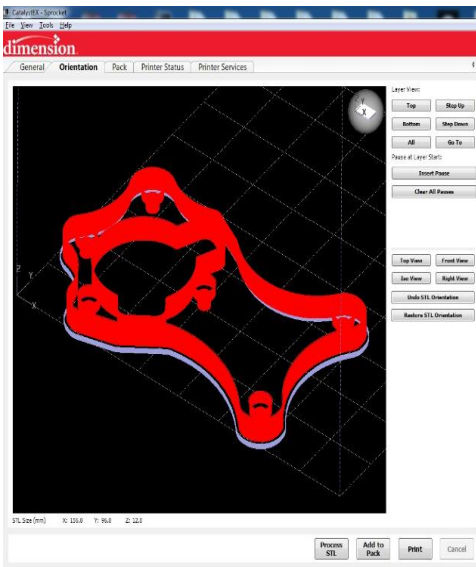


Slika 6. Model lančanika

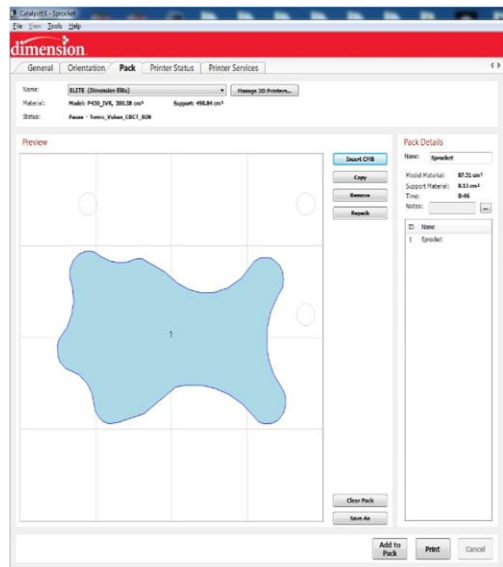


Slika 7. Podešavanje parametara na mašini "Dimension Elite"

Nakon podešavanja parametara izvodi se procesiranje (slika 8), i postavljanje modela na radnu ploču štampača (slika 9).

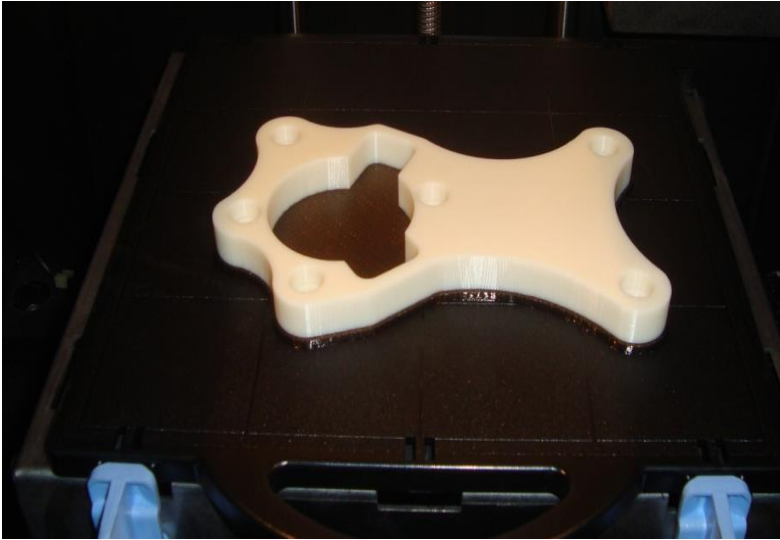


Slika 8. Procesiranje



Slika 9. Pozicioniranje modela na ploči štampača

Za štampanje lančanika, kao materijal, korišćena je ABS plastika u koturu iz žice. Unutar štampača odvija se proces pripreme materijala, pri čemu se materijal uvodi u glavu za štampanje, gdje se zagrije do polu-tečnog stanja i konačno istisne u tankim, preciznim slojevima. Izgled odštampanog modela lančanika prikazan je na slici 10.



Slika 10. Izgled odštampanog modela lančanika na ploči mašine

## 2.2 Razvoj pneumatskog cilindra

Razvoj izrade prototipa obostrano djelujućeg pneumatskog cilindra, slika 11, koristeći aditivnu tehnologiju izveden je takođe na mašini "Stratasys - Dimension Elite", kroz nekoliko osnovnih koraka koji su primjenjeni i kod razvoja poklopca lančanika motocikla.



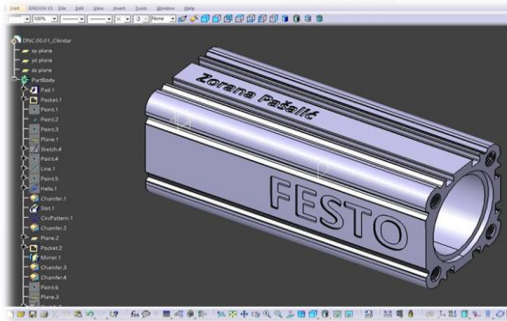
Slika 11. Pneumatski cilindar "FESTO"

Pneumatski cilindar je definisan kao jedan funkcionalan sklop, sa svim njegovim komponentama, a to su: cilindar, gornji poklopac, donji poklopac i klip sa klipnjačom. Priprema STL fajla, odnosno prikaz modela u mrežnom obliku, urađen je za svaki element cilindra odvojeno.

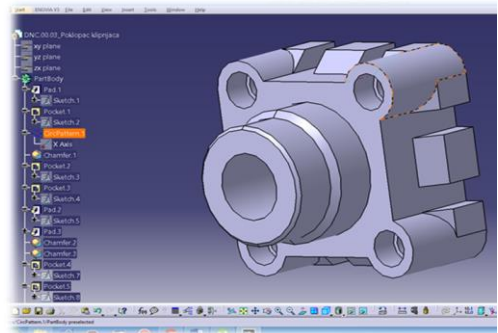
Preporučene dimenzije gabarita ukupnog sklopa su 200mm x 200mm x 250mm i one se mogu realizovati na mašini.

Za model pneumatskog cilindra korištena je ABS plastika, čije karakteristike mogu zadovoljiti potrebna funkcionalna ispitivanja.

Dizajnirani 3D modeli cilindra i gornjeg poklopca prikazani su na slici 12 a) i 12 b).



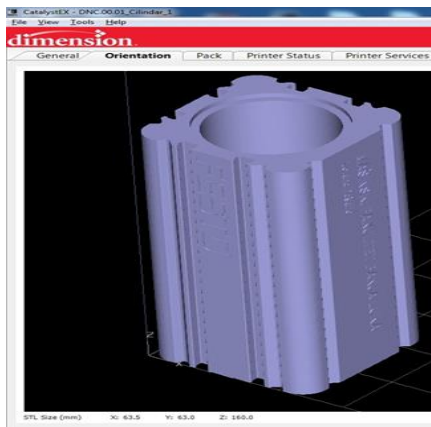
a)



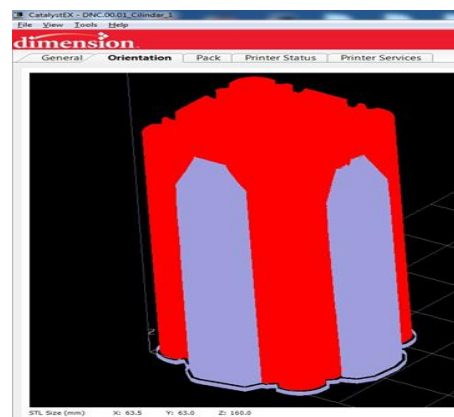
b)

Slika 12. a) Model cilindra i b) Model gornjeg poklopca

Na slici 13 a) i b) prikazan je proces procesuiranja modela cilindra koristeći program CatalystEX.



a)



b)

Slika 13. Proces procesuiranja modela cilindra

Izgled elemenata pneumatskog cilindra u toku procesa aditivne proizvodnje prikazan je na slici 14.



Slika 14. Elementi pneumatskog cilindra u toku procesa aditivne proizvodnje

Na slici 15. prikazan je izgled završenog pneumatskog cilindra koji je dobijen tehnologijom aditivne proizvodnje.



*Slika 15. Izgled završenog pneumatskog cilindra koji je dobijen tehnologijom aditivne proizvodnje*

### 3. ZAKLJUČAK

Rezultati razvoja pneumatskog cilindra i poklopca lančanika motocikla primjenom aditivne proizvodnje pokazuju da su u pogledu tačnosti i kvaliteta izrade u potpunosti zadovoljeni tehnički uslovi postavljeni pred ove proizvode. Ovim je vrijeme izrade značajno skraćeno uz zadovoljavajući kvalitet, a ukupni troškovi proizvodnje su redukovani u odnosu na konvencionalne metode. Naravno, ovo daje jednu generalnu preporuku za mnogo intenzivnije korištenje aditivne proizvodnje u gotovo svim oblastima, od istraživanja i razvoja do primjene funkcionalnih elemenata, uz odabir odgovarajućeg materijala i aditivnog sistema za proizvodnju.

### LITERATURA

- [1] Wohlers Report 2014: 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry Annual Worldwide Progress Report, WOHLERS ASSOCIATES, INC. Colorado 80525 USA. (Single-user license provided to Milan Sljivic of University of Banja Luka on 11 Aug 2014).
- [2] Frank W. Liou,.: Rapid Prototyping and Engineering Applications: A Toolbox for Prototype Development (Dekker Mechanical Engineering, 2008), Columbus, Ohio.
- [3] M. Šljivić,.: Tehnologija brze izrade prototipskih proizvoda i alata, (Rapid prototyping and Rapid Tooling), Mašinski fakultet Univerziteta Banja Luka, ISBN 978-99938-39-18-7, Banja Luka, 2007.
- [4] N. Grujović, J. Borota, M. Šljivić, D. Divac, V. Ranković.: ART AND DESIGN OPTIMIZED 3D PRINTING, 34<sup>th</sup> International Conference on Production Engineering, Niš, 2011.
- [5] I. Kuzmanović,.: Primjena aditivne proizvodnje za izradu poklopca lančanika motocikla, Diplomski rad, Mašinski fakultet Banja Luka, 2014.
- [6] Z. Pašalić, Razvoj tehnologije 3D štampanja pneumatskog cilindra iz ABS plastike Diplomski rad, Mašinski fakultet Banja Luka, 2014.





## 3D PRINTING USING WOOD COMPOSITE MATERIALS

Ivica Jovanović<sup>1</sup>

*Abstract: This paper presents the application of composite materials, based on wood and plastics, in 3D printing, which imitate the natural structure of wood enhanced with plastic properties. Two examples provided hereinafter present all procedures and operations included in the process of product creation, using Rapid prototyping technique, accompanied with the concluding remarks and effectiveness of using this type of materials. The process of making composite materials, specific equipment used and characteristics of the applied Laywood-D3 material are elaborated hereinafter. This paper specifically focuses on using only readily available free software, proposing to the users employed in wood industry one of promptly applicable combinations in the product creation chain, using 3D printing.*

*Key words: 3D printing, Laywoo-D3, Rapid prototyping, Google SketchUp, RapMan*

### 1. INTRODUCTION

Technology of developing thermoplastic polymer-natural wood composite materials -filaments has been improved during the last decade through new treatment processes, adequate machines and developed specific admixtures (fillers, softeners, pigments). These materials, aiming to combine the best properties of these natural and synthetic materials in a product, are applicable in various industries, which primarily or mainly rely on the application of plastics and wood (interior, automotive industry, public facilities...).

The current trend in the field of 3D printing technologies, which enable producing complex physical objects using 3D geometric model as an input, shows the application of composite materials (filaments), whereby plastics (PLA, ABS) is combined with certain percentage of natural materials (copper, bronze, stone, wood...). One of the most recently developed filaments FDM (fused deposition modeling) represents wood-plastic polymer composite (combining pulverized sawdust and plastic polymer (PLA)), having such characteristics that it enables the produced model to have the majority of the wood properties, enriched with some useful plastic properties.

There are 5 major steps in the production chain of objects using 3D printing: 1) 3D modeling, 2) data conversion and transfer, 3) review and preparation, 4) realization and 5) post-processing [2]. Having in mind the fact that many users in wood industry have no experience in applying these technologies, this paper is used to present two

---

<sup>1</sup> MSc Ivica Jovanović, Belgrade, MBB "Kolubara-Lazarevac", joivica@gmail.com

practical examples of using wood composite in FDM process, as well as theoretical grounds relevant for the applied hardware and software solutions. The advantages of the process described step-by-step within this paper, are primarily reflected in the fact that all software used is free and available to anyone.

This means that if individuals and small companies have a good idea, and they use the aforementioned software, they will not need to make any additional investments, apart for 3D printer and materials in order to design, make and test prototypes and objects using wood composites.

## 2. FEATURES OF 3D MODELS AND MODELING

Modern CAD/CAM software, used to design geometric models of the future prototypes, contains specialized modules, enabling the voltage analysis, FEM analysis, production planning, including NC programming, etc.[1]. Due to the existence of different systems and machines used to make a prototype, the selection of the optimum CAD tools is of crucial importance for the successful outcome of the *Rapid Prototyping* process. Tridimensional, digital, geometric model, created by modeling in some of the CAD software, must be presented with solid surfaces providing the volume to the object. Horizontal cross-sections of these enclosed, tridimensional, geometric models are all solid surfaces, which is of crucial importance for the integrity of the RP process [2]. Professional software solutions require expensive user's licenses, since, apart from the basic modeling tools, they provide complex modules enabling advanced solutions for prototype management throughout its life cycle. However, more often now than before, free software can be found for these purposes, which, due to their open code and upgrade options, can meet the requirements. Software package Google SketchUp, which was used in this case, is the software of this type.

### 2.1 Examples of holders for shelf segments and jointer's tools

The problem of making a prototype of a universal holder which can enable joining wooden shelf segments was the first task considered in this paper. Finding a solution for quick assembly and dismantling of various wooden shelf segments, of the standard thickness, 16mm, was the primary aim. Based on the idea and a rough sketch, we concluded that inner opening of the 16mm holder should be of T-shape, having certain elasticity in order to provide firmer contact between the segments (Figure 1.). Slotted holes are left on a part of the holder in order to achieve the required elasticity, and ribs are added laterally to provide some reinforcement. The method foreseen for making this prototype holder is the method of melted material extrusion (FDM), whereby the wood composite was used.

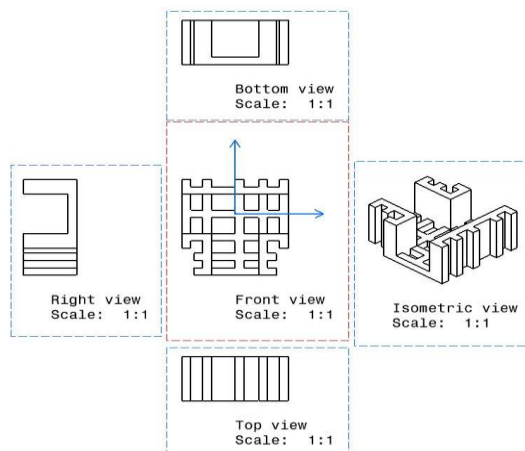


Figure 1. Drawing of the holder for

making this prototype holder is the method of melted material extrusion (FDM), whereby the wood composite was used.

The other problem refers to designing the prototype tool –joiner's tool (Figure 2.), which enables creating firmer bond between wooden furniture segments, using screws. This tool practically provides an opening for screwing a drywall screw, when joining wooden segments, driven under the 15-degree angle to the plank surface, enabling the screw to come into the perfect position. Apart from achieving the correct angle, the screw needs to enter the planks at the exact place. Therefore, it needs to be of adequate length and structure. The tool created hereby, is intended for joining the planks, thickness 18 mm. The calculations relevant for other plank thicknesses might be done based on the tool structure [4]. Material used for this model might have been classic ABS or PLA. However, the very structure of the model was used to inspect the state of the layers and identify any potential deformations of the model, obtained in a wood composite printing.

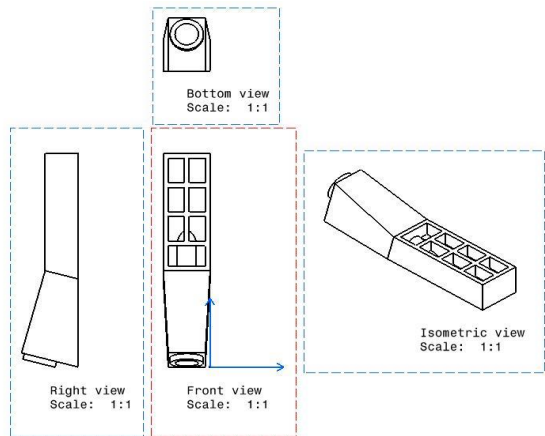


Figure 2. Drawing of the joiner's tool

The basic version of the software package *Google SketchUp* is free software, upgraded by advanced tools written in RUBY programming language in a form of scripts. The number of possible opportunities for the application of this software in product prototype modeling is significantly increased. It is intended for design activities in the field of architecture, civil engineering, mechanical engineering, but it is also used in film making, video games, etc. This program is designed as a user-friendly tool which primarily enables uploading 3D models to the Internet, within the Google Earth application. Ruby is an interpreted scripting language intended for easy and quick object-oriented programming. *Google SketchUp Ruby API* represents a manner in which a Ruby programmer can widen the scope of *SketchUp* abilities, in order to obtain advanced modeling options. Created scripts are copied into *SketchUp* folder *Plugins*, after which new tools become available within the user interface.

## 2.2 Software package *Google SketchUp*

The basic version of the software package *Google SketchUp* is free software, upgraded by advanced tools written in RUBY programming language in a form of scripts. The number of possible opportunities for the application of this software in product prototype modeling is significantly increased. It is intended for design activities in the field of architecture, civil engineering, mechanical engineering, but it is also used in film making, video games, etc. This program is designed as a user-friendly tool which primarily enables uploading 3D models to the Internet, within the Google Earth application. Ruby is an interpreted scripting language intended for easy and quick object-oriented programming. *Google SketchUp Ruby API* represents a manner in which a Ruby programmer can widen the scope of *SketchUp* abilities, in order to obtain advanced modeling options. Created scripts are copied into *SketchUp* folder *Plugins*, after which new tools become available within the user interface.

## 2.3 Modeling outcomes

Finished models of prototypes, saved in .skp format are obtained after the completion of modeling in software package *Google SketchUp*. Since the model structures were not very demanding and that special structural analysis was not required, their modeling in this program was smooth and fast. Prototype model of the holders for shelf segments is presented on the Figure 3 (a) while the prototype model of the joiner's tool is given of the Figure 3 (b), both after the successful completion of the modeling process.

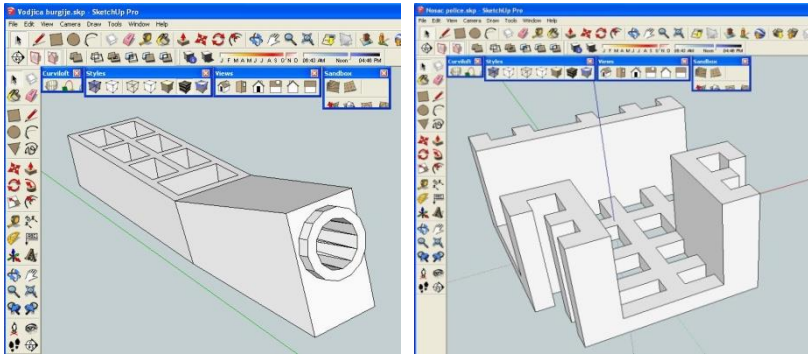


Figure 3. Models of holders for shelf segments (a) and joiner's tool (b) made using the GoogleSketchUp program

### 3. DATA CONVERSION AND TRANSFER

The step that follows the completion of modeling process in the Rapid Prototyping chain is the conversion and then the transfer of the model in the format recognizable by the device which produces the physical prototype. The most common format for uploading solid models into the software of the machine is .stl format (Stereolithography), which determines the surface of the model by dividing it into a large number of triangles. Saved and appropriately converted files should be transferred from the computer used for modeling to the RP system computers, connected with the machines. Data conversion and transfer represent a standard procedure irrespective of the type of material (in this case wood composite) which shall be used. STL format is most commonly used standard for describing geometric model prototypes which enables a digital volumetric model, created in certain CAD system, to be described by various polygons and the surface to be determined in the tessellation process, all for the purpose of transferring the model to the device producing the prototype (Figure 4.).

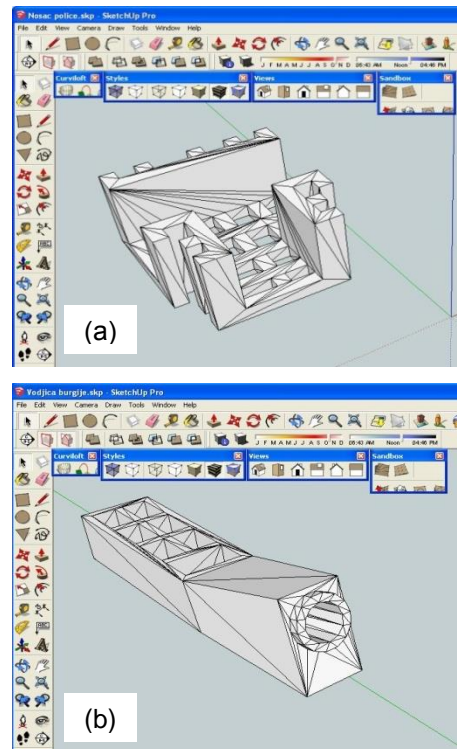


Figure 4. Models after performing tessellation, loaded in .stl format

#### 3.1 Transferring model data

All more significant CAD/CAM software packages include CAD-STL interface which enables the conversion of the model from its original format into .stl format. After this conversion, the file is transferred from the workstation, which is usually located in the design department, to the computer within the *Rapid Prototyping* system, located in the workshop or laboratory. Data transfer is performed using mobile memory storage

devices (flash memories, CD), computer network (LAN) or using certain Internet service if the computers are located on a greater distance [6]. This procedure is the simplest and shortest procedure within RP chain, during which the file soundness shall not be verified. In this case, transfer of models in .stl format (Figure 4.) which was created by the method of melted material extrusion, to the production machine (RapMan printer), was performed by SD memory card.

#### 4. REVIEW AND PREPARATION

Performance and quality of the modeling process and model realization depend the adequate selection of CAD system within which the modeling shall be performed, quality of CAD-STL interface performing conversion, adequate specification of parameters of tool behavior during CNC processing, operator's qualifications and training and quality of the post-processing. Errors occurring in the production process based on .stl presentation very often arise from ill-specified parameters of cutting algorithms, which causes the holes, gaps and fissures to appear on the model. The process of reviewing and preparing digital models is the same in most cases, irrespective of the foreseen type of material which shall be used in the production process. Using wood composite in this particular case did not require any alterations, compared to the standard realization settings when using PLA or ABS material.

##### 4.1 Planning the realization process using 3Dprinter RapMan

When preparing the realization of the model of the holders for shelf segments and the model of joiner's tool, specific characteristics of the method of melted material extrusion were taken into consideration since the operation of the RapMan printer is based on this principle. RapMan printer [2] requires certain level of preparing the process using CAM program. CAM program then analyzes 3D object and sets the commands for RapMan printer. Standard programming language for CNC machines (G-code) is used in this case. Two basic CAM packages are available for use with RapMan. The first one is Skeinforge, which is an "open source" option and it is applicable on almost all available operating systems. This software offers vast variety of options for the optimization of printing process, but it is fairly difficult to use since it does not have any user interface. The other CAM package is AXON, free software provided by the company Bits From Bytes. It is based on Skeinforge package, but it has its own graphical user interface. AXON is applicable only in Microsoft Windows operating system.

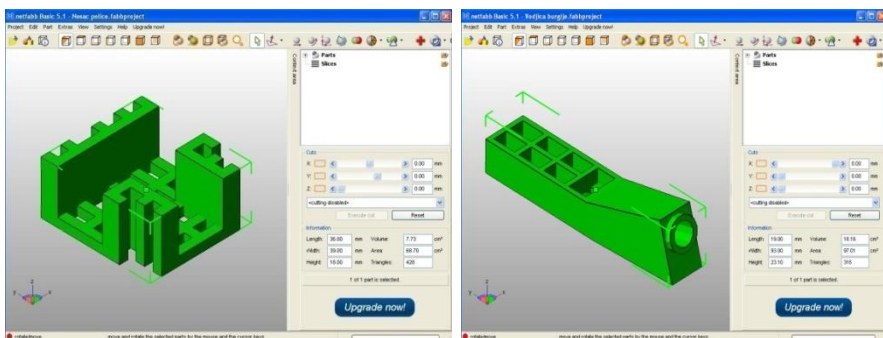


Figure 5. Models in.stl format, uploaded into the software Netfabb Studiobasic



Certain problems might occur when importing .stl format. These problems appear due to certain errors in the process of modeling the object. Errors within .stl file may be corrected within the Netfabb Studio application (“basic” version is available with no additional charges, while “professional” version requires paying fees). Operating environment within Netfabb Studio Basic application is given on the Figure 5. After remedying any potential defects of .stl file, it is uploaded again by the AXON software. Interface of the AXON software operating environment with uploaded parameters is presented on the Figure 6. The most important parameters in the process, set using this software are the following: Layer Thickness, Temperature, Support option. After setting the above mentioned parameters, each individual file shall be converted into a G-code. Files obtained in such a manner are transferred to the SD memory card, whose contents is uploaded onto RapMan printer and the process of making a prototype is finally launched.

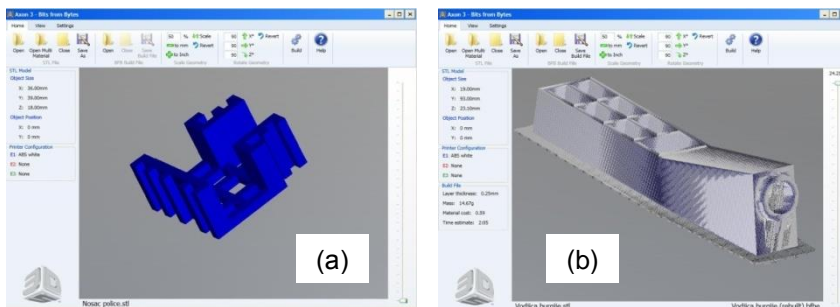


Figure 6. Models in .stl format, preparation in AXON software

## 5. REALIZATION OF 3D MODEL

First produced wood-polymer composite, applicable in the process of 3D printing was called Laywoo-D3 and it was designed by a German engineer, Kai Parthy. He experimented by combining plastic polymers with various minerals, pulverized wood sawdust, even with coal. When determining the contents of the optimum mixture it is essential to achieve a material ratio which provides the required viscosity at certain extruder temperature, and to form the layers accurately and properly.

When setting the parameters for the realization of previously prepared parts, the following aspects are taken into consideration: limitations of the operating volume of the machine, specific characteristics of the wood composite which is used in the process and ergonomic features of the prototypes. Similar to all other RP systems, after planning and preparation, the process of realization is completely automatic. It may last for several hours, depending on the size and number of parts which are being made. When these two parts, made of wood composite material, are concerned, the time required for their realization was the same as for the objects made of PLA materials, i.e. acc. 4 hours.

### 5.1 The process of composite manufacturing

The process of manufacturing wood-polymer composite (filament) is presented on the figure given underneath:

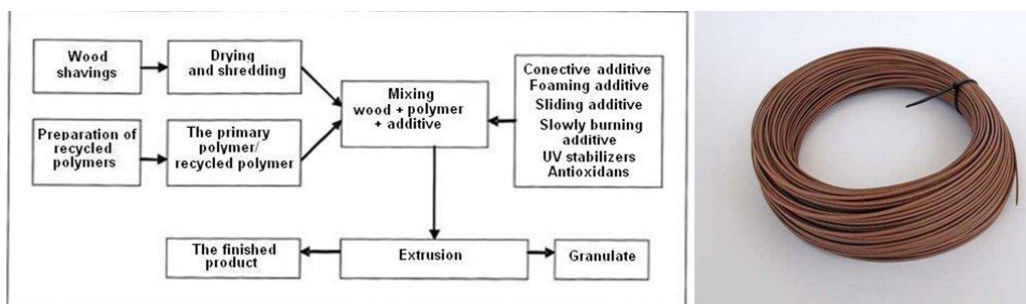


Figure 7. *Graphic presentation of the process of manufacturing wood-polymer composite, and the finished filament*

The preparation of wood waste includes pulverization, sieving and drying, all in order to obtain the material suitable for mixing with polymer melt. Most commonly used material, provided by furniture industry, sawmill plants etc., is sawdust pulverized by hammermills. Depending on the technological procedure applied for mixing materials, drying is sometimes performed before pulverizing. Pulverized wood material is then dried again until the water contents reaches the value which falls within the range 0.5-8%, since the water content is crucial for the quality.

Due to numerous advantages products made of composite materials, have in comparison with the products made of wood, as well as to the products made of filled and unfilled polymers (mineral fillers and glass fibers), they are now applicable in a growing number of industries.

The procedure followed in the process of manufacturing materials used for 3D printing, has been known and applied for years. Main advantages of using wood-based polymers over natural wood are given hereinafter:

- No protection against moisture, microorganisms and insects is required,
- Excellent durability and stability under the influence of atmospheric conditions,
- Ecological suitability of products for various reasons (no coatings based on organic solvents are used, 100% recycled, saving wood as a resource),
- No tearing at the right angle to the fiber direction,
- Resistance to flame-spread (the possibility of adding flame retardants).

## 5.2 Characteristics of Laywoo-D3 wood composite

According to manufacturer's references, whose accuracy is almost absolutely verified after testing performed for the purpose of this paper, main features identified in the application of *Laywoo-D3*, wood composite material, are the following:

- deformations of the model layers after extrusion approximate zero,
- smooth or rough surface of an object can be achieved by setting the storage temperature and filament diameter,
- printed models have the appearance of natural wood, with tree rings,
- printing temperatures vary in the range 185 to 230 degreesCelsius, which causes the tones of brown colour of wood to be lighter or darker,
- composite material has fibrous structure and it contains 40 percent of recycled wood.



Figure 8. Instrument  
*Vicat softening  
temperature*

*Vicat softening temperature* instrument (Figure 8) is used when setting the parameters for obtaining the mixture for this material. This instrument is used for testing the softening points for composed materials without specific melting threshold. This measurement is obtained by plunging a flat-top metal needle, of circular or square cross-section (1mm), into material heated up to specific temperature, up to the depth of 1mm, whereby the specific force is applied (10 or 50N). Standard instruments for testing tensile strength are used to set the mechanical properties of this material. Standard equipment and moulds are used both for the manufacture of composite material in the form of filaments ready for use on 3D printers applying the FDM principle and the manufacture of plastic wires intended for various purposes..

### 5.3 Model realization using 3D printer *RapMan*

The technology used by RapMan printer is a process which employs the principle of applying molten material (FDM) and its stacking in layers, all in order to form the desired object. The most commonly used materials in printing are ABS and PLA, whereas ABS material is derived from oil (as well as most plastic polymers), while PLA is made of starch and it is biodegradable in slightly acidic compost, at the temperature of 60 degrees Celsius. Standard wood composite, provided in the form of filament roll, diameter 1.75 mm, applicable to majority of 3D printers, was used for printing the objects mentioned in this paper. Besides the previously mentioned filament diameter, the filaments are also manufactured in diameters ranging from 0.4 to 3mm.

After successful modeling using *GoogleSketchUp* software, conversion into .stl format and preparation using CAM software *AXON*, models of prototypes of holders for shelf segments and joiner's tool are uploaded from the SD card and printed (Figure 9.).

Placement of the wood composite filament onto the extruder is performed in the same manner as for any other material, in all according to the instructions provided in the printer manual. Printing temperature setting is approximately the same as when using PLA, i.e. acc. 190 degrees Celsius.

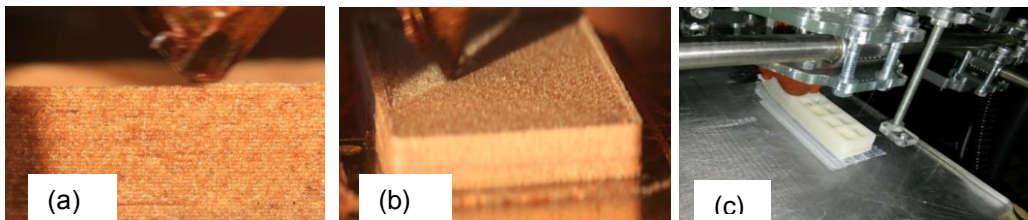


Figure 9. *Structure of layer (a) and (b) and model during realization using 3D printer RapMan (c)*



No problems regarding the removal of the initial lower model layers were identified in the process of printing, which is very common when ABS or PLA materials are used. This problem occurs due to rapid cooling of extruded material layers. It is surprising that almost no model deformations or fissures between the layers were detected during the printing process. Wood composite proved to be far more stable printing material.

The printed models are intended for direct testing and determining ergonomic characteristics, functionality, design and accuracy of dimensions in the series of products. Unlike professional 3D printers, which are expensive by all parameters, starting from the materials they use to the maintenance, using 3D printer RapMan represents a good starting point for the education processes, as confirmed by testing wood composite. By using this printer, each user has an opportunity to become familiar with the basic technique of making prototypes using FDM method, all in a short period of time.

## 6. POST-PROCESSING AND TESTING

The final step in RP process chain is post-processing and testing, which mainly includes manual operations such as: cleaning, hardening, finishing operations, etc. The operator bears the greatest responsibility for the successfulness of these processes. Depending on the technology applied in model realization, finishing treatment may include various post-processing operations.

As specified during the realization process, during the post-processing activities it was concluded that the models were extremely pleasant both visually and to touch. Laymen could easily mistake that object for one made of natural wood. The smell also reminds of natural wood. Minimal drilling, which was not required since the model was precisely printed without any deformations and fissures, was easily performed using sandpaper which removed sawdust in the same manner as for the natural wood.

Testing of printed parts using wood composite met the expectations. Testing also led to the conclusion that this was an exceptionally favourable combination of natural wood and synthetic plastics, having in mind the strength, elasticity and resistance, as well as its workability (cutting, drilling holes, engraving). When its visual appearance and the touch of natural wood are concerned, it is obvious that this material has unlimited application, what needs to be recognized primarily by users working in wood industry.

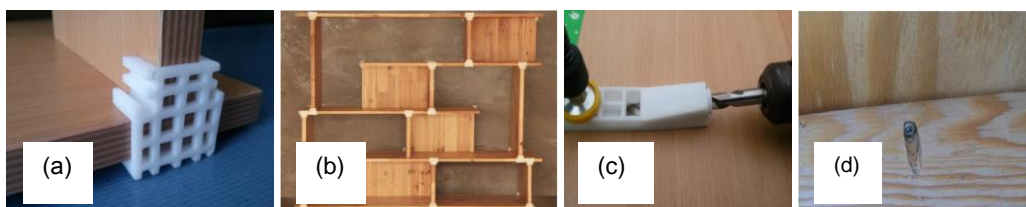


Figure 10. Testing holders for shelf segments (a) and (b) and testing joiner's tool (c) and (d)

## 7. CONCLUSION

After obtaining positive initial results, achieved by using wood composite materials, research trends are now directed more towards finding alternative materials which may replace the natural ones achieving better results, and the most significant breakthroughs have been recorded in the field of flexible materials, electric current conductors and soluble materials.

Using wood composite materials indicates higher usability, since researches conducted in this area almost on a daily basis confirm the usability of this material. The most recent examples of the application of the aforementioned materials refer to making detailed replicas of ancient statues or in shipbuilding, since they are characterized by low water absorption and high resistance to salt water. The prices of such composites, which can already be ordered from some eastern countries, are not higher than the prices of well-known materials used in 3D printing.

The benefits of the process, described in this paper, are reflected, primarily, by the fact that the software used is free, and therefore, readily available to everyone. The application of these 3D printing techniques results in high confidence in terms of meeting the requirements of a design engineer, since they enable remodeling and recreating the prototype version several times during a short time interval.

## LITERATURE

- [1] Harrison P. (2003). *Rapid Prototyping user guide*, Faculty of computing Sciences and Engineering, De Montfort University, Leicester
- [2] Grujovic N. (2005). *Systematization of the existing RP technologies according to the compatibility with the characteristic product design processes in domestic industry*, the Project of the Ministry of Science TR6224, report.
- [3] <http://www.3dprinterworld.com/article/printing-laywoo-d3-afinia>, accessed on 20.09.2014
- [4] Jovanovic I. (2014). *Application of RP technologies and CNC machines in making tools and elements used for wood working and wooden furniture manufacture*, Master Thesis, Faculty of Engineering, Kragujevac.
- [5] <http://3dprintingforbeginners.com/3d-printing-materials-bendlay-laywood-laybrick/>, accessed on 20.09.2014
- [6] N. Grujovic, N. Milivojevic, V. Milivojevic, V. Dimitrijevic, Dj.Grujovic (2014). *Experiences in quick prototype making, using 3D printing technology*, 31<sup>st</sup> Production engineering counseling in Serbia and Montenegro with international participants, Collection of Papers, pg. 437-442, Kragujevac.



## IZRADA KOMPLEKSNIH MAŠINSKIH DIJELOVA POSTUPKOM MIG/MAG ZAVARIVANJA ROBOTOM

Mladen Knežević<sup>1</sup>

*Rezime: U radu je opisan način upravljanja i programiranja, glavni sastavni dijelovi i tehničke karakteristike sistema za MIG/MAG zavarivanje robotom. U uvodnom dijelu navedene su osnovne karakteristike opšteg sistema za zavarivanje, primjena, podjela, te načini programiranja istog. Cilj rada je prikaz mogućnosti i verifikacija zavarivanja mašinskih dijelova po složenim putanjama zavarivanja. Kompletan zadatak, izvođenje postupka zavarivanja, mjerenje, ispitivanje i ostali relevantni faktori razmatrani su na konkretnoj robotskoj ćeliji.*

*Ključne riječi: Zavarivanje, MIG/MAG postupak, Programiranje, Robotsko zavarivanje*

### **PRODUCTION OF COMPLEX MECHANICAL PARTS BY MIG/MAG WELDING ROBOT**

*Abstract: This paper describes a management and programming method, major components and technical characteristics of the MIG / MAG robotic welding system. In the introductory part are the basic characteristics of the general system for welding applications, divisions, and programming method. The aim is to show the possibilities and verification of welding mechanical parts by welding complex trajectories. Complete task, the performance of the welding process, measuring, testing and other relevant factors were considered in the specific robotic cell.*

*Keywords: Welding, MIG / MAG process, Programming, Robotic welding.*

### **1. UVOD**

Roboti su danas sve prisutniji u modernim industrijskim postrojenjima. U razvijenijim zemljama, industrijski roboti imaju do 80% udjela u ukupnom vremenu proizvodnje. Razlog tome su povećani zahtjevi za kvalitetom, kraći rokovi proizvodnje, te prihvatljiva cijena jednostavnijih robota. Roboti za zavarivanje se zbog svoje preciznosti i produktivnosti takođe sve više koriste u modernoj proizvodnji. Nakon što se izvrši programiranje putanje kretanja robota, robotska jedinica neprekidno izvodi precizne i identične zavare na dijelovima istih dimenzija i specifikacija. Robot, osim što radi brže, preciznije i sa konstantnim pokretima za razliku od čovjeka, može raditi 24 sata na dan i 365 dana u godini, što je mnogo efikasnije od ručnog zavarivanja

<sup>1</sup>M.Sc. Mladen Knežević, Gradiška, Tehnička Škola, knezevicmladen@yahoo.com

osposobljenog zavarivača.

## 1.1 Opšti pojmovi o industrijskom robotu

Prema definiciji, roboti za zavarivanje su automatski uređaji za zavarivanje koji imaju više od tri stepena slobode kretanja, a upravljaju se računarom s mogućnošću programiranja i učenja. Najčešće se pod pojmom robota podrazumijeva "industrijski robot" koji se još naziva i "robotski manipulator" ili "robotska ruka".

Glavni dijelovi jednog industrijskog robota su:

- mehanička struktura ili manipulator,
- aktuatori (pogoni),
- senzori,
- sistem upravljanja.

Zbog svojstava rukovanja materijalom, manipulacije i mjerenja, industrijski roboti imaju uspješnu primjenu u proizvodnim procesima.

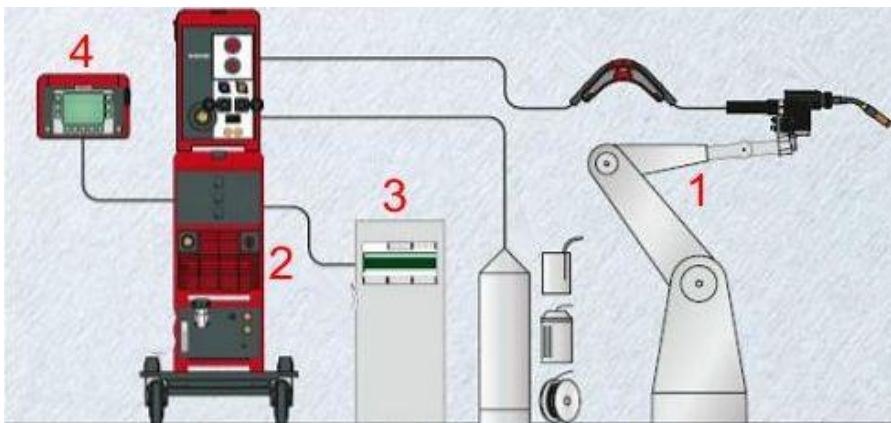
Sposobnost robota da manipulira predmetima (koji se obrađuju) i alatima, čini ga prikladnim u procesima proizvodnje. Tipične primjene su:

- zavarivanje
- farbanje
- lijepljenje i pečenje
- lasersko rezanje i rezanje vodenim mlazom
- montiranje mehaničkih i električnih grupa
- montiranje električnih ploča
- zavrtnje i odvrtanje
- stavljanje žice

## 1.2 Sistem za robotsko zavarivanje

Glavni sastavni dijelovi sistema za robotsko zavarivanje sastoji se od nekoliko komponenti (Slika 1.) koji su u međusobnoj interakciji i to:

- robot (manipulator) – Motoman HP6
- izvor energije za zavarivanje – Fronius (TransPuls Synergic 3200)
- upravljačka jedinica – Motoman NX100
- ručni programski uređaj - kontrolor



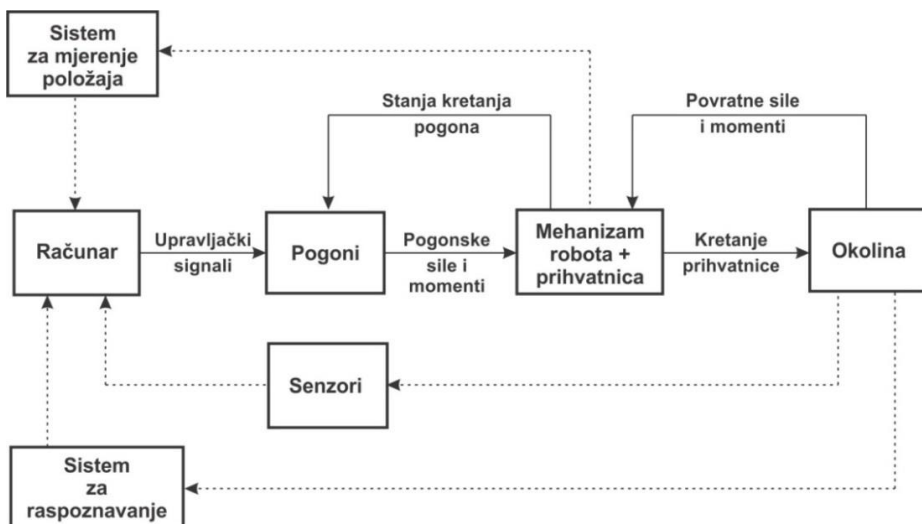
Slika 1. Komponente sistema za robotsko zavarivanje

Sistem upravljanja (računar i upravljački uređaj) omogućava upravljanje i kontrolu kretanja manipulatora. Motoman NX100 (Programabilni Logički Kontroler - regulator) predstavlja industrijski računar za upravljanje procesima i sensorima, za prikupljanje podataka i vizualno upravljanje. Svaki PLC ima centralnu procesorsku jedinicu (CPU – Central Processing Unit) za pohranu i prikupljanje na koji se spaja upravljačka ploča Teach Pendant. Manipulator sistema za zavarivanje sastoji se iz niza krutih segmenata povezanih zglobovima. Ponašanje manipulatora određeno je rukom koja osigurava pokretljivost, zatim ručnim zglobovima koji daju okretnost, te vrhom manipulatora koji vrši zavarivanje. Vrh manipulatora se još naziva i pištolj za zavarivanje.

## 2. POSTUPCI UPRAVLJANJA I PROGRAMIRANJA ROBOTA

Na osnovu dodijeljenih zadataka manipulatoru proizilazi da li se kretanje odnosi na zglobove ili direktno na vrh manipulatora. Kod zadataka rukovanja materijalima neophodno je da vrh manipulatora slijedi željenu putanju (trajektoriju). Planiranje trajektorije predstavlja osnovu za proces upravljanja manipulatorom. Problem upravljanja sastoji se iz određivanja sila i momenata postavljenih na zglobove manipulatora koji osiguravaju kretanje po željenoj (unaprijed utvrđenoj) putanji. Ovaj problem je složen, budući da je manipulator povezan sistem kod koga kretanje jednog segmenta utiče na kretanje drugih segmenata. Da bi se izvršilo traženo kretanje neophodna je upotreba aktuatora i senzora.

Uopštena blok-šema opšteg industrijskog robota data je na Slici 2. Sa iste se vidi da upravljački uređaj (računar) djeluje na pogone (motore) koji pokreće mehanizam robota da bi njegov vrh manipulatora (prijemnik, alat, hvataljka) došao u određeni položaj u odnosu prema objektu tj. okolini. Mjerenjem položaja i brzine vrha manipulatora (sistem za mjerenje položaja), preko unutrašnje povratne veze, dobija se informacija kojom se može ispravljati kretanje. Isprekidanom linijom prikazano je kako se preko vanjske povratne veze mogu dobiti informacije iz okoline (senzori) a sistem za raspoznavanje u kombinaciji sa računarom osigurava mnogo viši nivo informacija (umjetna inteligencija).

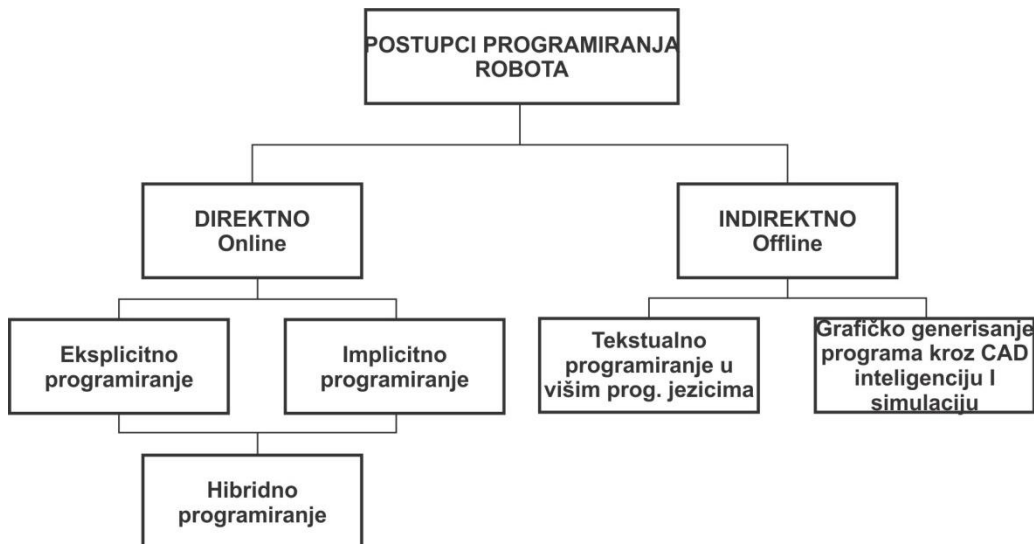


Slika 2. Funkcionalna blok-šema industrijskog robota

Postupci programiranja robota mogu se podijeliti na više načina, pri čemu važi osnovna podjela kao na Slici 3. *Online* postupci programiranja su postupci učenja robota vođenjem kojim se robotu pokazuje šta treba da radi. Programiranje se izvodi na licu mjesta korištenjem robota. To je ujedno i nedostatak, budući da se za vrijeme programiranja robot ne može produktivno koristiti. Prema načinu vođenja razlikuju se dvije metode:

- posredno vođenje (*Teach-In* programiranje)
- direktno vođenje (*Playback* programiranje)

Kod *posrednog vođenja* programer se koristi ručnim programskim uređajem (RPU, eng. *Teach Pendant*) koji omogućava da se pritiskom na tastere vrši kretanje robota u njegovom radnom prostoru. Robot se pri tome kreće snagom vlastitih pogona. Ukoliko je završni uređaj dostigao željenu tačku u prostoru, koordinate te tačke se memorišu pritiskom na taster. Nakon toga se robot vodi do drugog položaja koji se pamti, a postupak se ponavlja. Unošenjem dodatnih naredbi kretanja, kao što su naredbe za brzinu i ubrzanje, ili definicije vrste upravljanja (tačkasto ili trajektorijsko) omogućava se programiranje složenih kretanja. Vođenje robota u prostoru spoljašnjih koordinata zahtijeva rješavanje inverznog kinematskog zadatka i to u realnom vremenu. *Prednosti programiranja robota vođenjem* su: jednostavnost programiranja, jednostavnost određivanja pozicija (koordinata), dok su *nedostaci*: obučavanje samo na licu mjesta na proizvodnoj liniji, a ne unaprijed, gubljenje proizvodnog vremena. Kod programiranja robota *direktnim vođenjem* (*playback, walk through*), programer pomjera mehanizam robota ručno duž željene putanje. Pogoni osa su isključeni, a gravitacione sile kompenzirane. Pri kretanju se od strane mjernog sistema registruju, a potom memorišu, svi ugaoni položaji osa vođenog mehanizma u vremenskom i pozicionom rasteru. Kasnije se memorisane informacije koriste za kretanje robota u automatskom pogonu.



Slika 3. Šema podjele postupaka programiranja robota

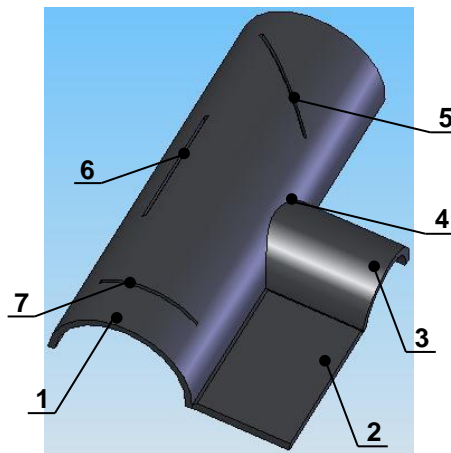
*Offline* programiranje se izvodi bez direktnog korištenja robota. Vrijeme i mjesto nisu vezani. To je povoljno za korištenje skupe robotske tehnike u proizvodnji. *Offline* programi se izrađuju u odjeljenju za pripremu proizvodnje.

*Tekstualno programiranje* predstavlja korištenje naredbi nekog programskog jezika kojim se određuje redosljed akcija robota. Programer mora imati dobru prostornu orijentaciju, jer se mora uzeti u obzir ne samo pozicija (npr. alata), nego i orijentacija. U novije vrijeme sve se više koristi tekstualno programiranje sa grafičkim programskim interfejsom koji pamćenje sintakse naredbi robotskog jezika čini suvišnim, što olakšava programiranje.

### 3. MODELIRANJE PROCESA ZAVARIVANJA

Proces izrade mašinskih dijelova MIG/MAG zavarivanja robotom predstavlja kompleksan zadatak i zahtjeva sinergiju više relevantnih parametara koji se moraju racionalizovati i optimizirati kako bi dobili željeni rezultat. U ovom radu razmatrani su različiti parametri kao i složena geometrija dijelova, koji proizilaze iz različitosti dijelova koji se spajaju, i preko modela procesa optimizirani do željenih rezultata. Na Slici 4. prikazan je 3D model koji, koji se sastoji od sledećih dijelova i putanja a na kojima je trebalo izvršiti proces zavarivanja:

- polu-cijev debljine materijala 4 mm (dio 1)
- pločasti materijal debljine 6 mm (dio 2)
- polu-cijev debljine 6 mm (dio 3)
- prostorna kriva linija 4-tog reda (dio 4)
- eliptični žljeb širine 2 mm (dio 5)
- pravolinijski žljeb širine 2 mm (dio 6)
- kružni žljeb širine 2 mm (dio 7)



Slika 4. Izgled složenog mašinskog dijela dobijenog zavarivanjem robotom

Na slici 4. prikazan je model procesa zavarivanja primjenom robota sa karakterističnim dijelovima i putanjama zavarivanja. U zavisnosti od postavljenih zahtjeva proizvođača, vrši se analiza geometrije dijelova s aspekta mogućnosti izrade samog dijela, što podrazumijeva:

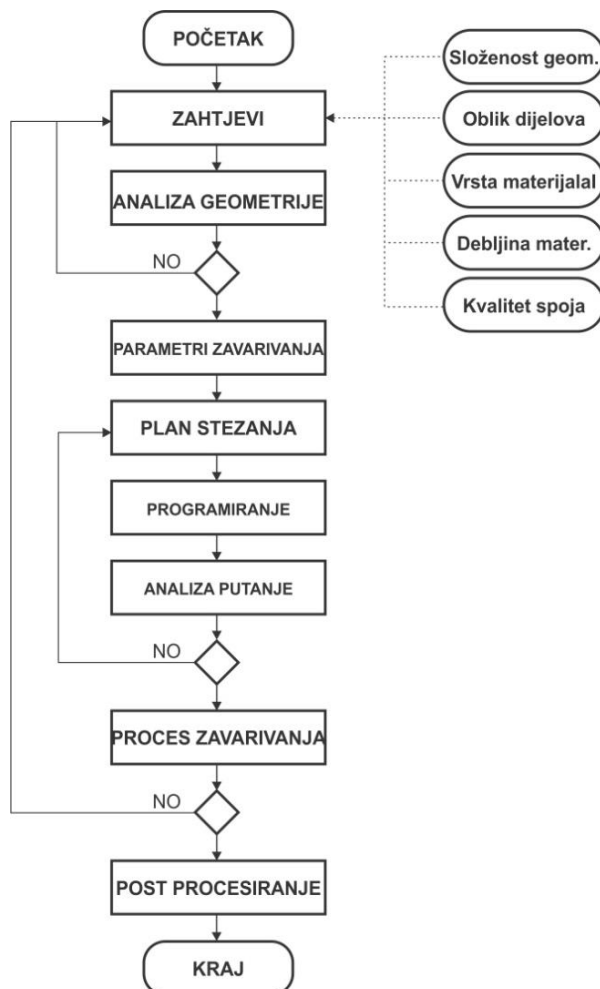
- analizu oblika pojedinačnih dijelova
- analizu dijelova sa aspekta sklapanja u sklop
- analizu oblika presječnih krivih linija ukoliko ih je potrebno zavarivati

Nakon izvršene analize geometrije potrebno je pravilno odrediti adekvatne parametre zavarivanja koji su mnogobrojni i od kojih zavisi sam kvalitet konačnog



dijela. Zatim je potrebno pravilno izvršiti baziranje i stezanje sa aspekta ograničavanja stepena slobode kretanja tijela. Nakon toga, pristupa se samom programiranju putanje robota, što je u ovom slučaju veoma zahtjevna radnja, jer se konstantno mora voditi računa o položaju gorionika prema radnim komadima (poželjno je da ugao gorionika prema radnim komadima bude približno  $45^\circ$ ). S obzirom da se u ovom radu radi o dijelovima i putanjama kompleksne morfologije to je zahtjevalo posebnu pažnju. Analiza putanje podrazumijeva slobodnu prohodnost robotskog mehanizma između stegnutih dijelova i ukoliko tu postoji kolizija potrebno se vratiti korak unazad i unaprijediti plan stezanja. Nakon toga počinje sam proces zavarivanja koji je i suština kompletnog procesa čijim završetkom dobijamo uvid u kvalitet procesa. Ukoliko ostvareni rezultati nisu u zahtjevanom stepenu kvaliteta, potrebno se vratiti unazad, ponovo analizirati postavljene zahtjeve, geometriju dijelova, postprocesirati kompletan model zavarivanja, pa ponovo izvršiti zavarivanje do potrebnog kvaliteta. Model procesa zavarivanja robotom prikazan je šematski na Slici 5.

Treba napomenuti, da žljebovi koji su urađeni na dijelu 1 ne sačinjavaju složen dio, već samo daju sliku o mogućnostima robota da izvrši složena kretanja, tj. zavarivanja.

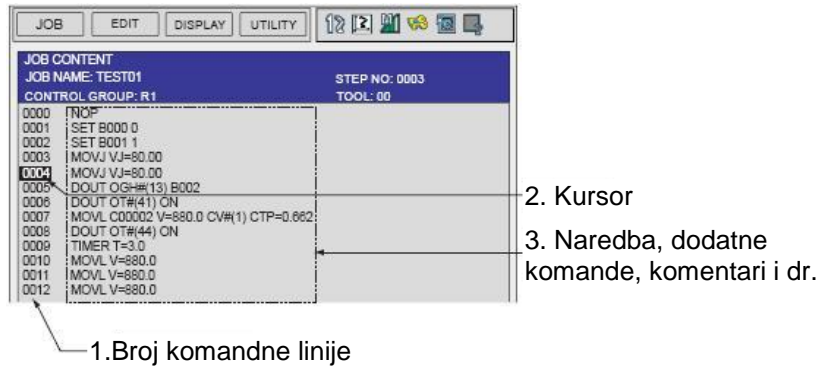


Slika 5. Model procesa zavarivanja robotom



#### 4. VERIFIKACIJA MODELA ZAVARIVANJA ROBOTOM

Za realizaciju programiranja konkretnog zadatka zavarivanja korišten je programski jezik *INFORM II* koji omogućava veoma jednostavno i brzo programiranje. Programiranje se izvodi u tzv. "JOB CONTENT" prozoru koji se sastoji od dijelova prikazanih na Slici 6:



Slika 6. Izgled prozora za programiranje *INFORM II* programskog jezika

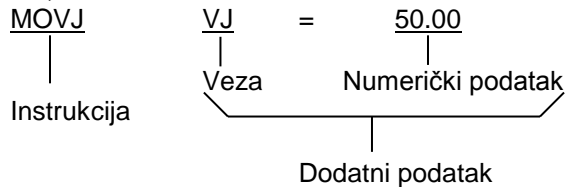
##### 1. Komandna linija

Broj programske linije se automatski generiše, ako je memorisana pozicija i orijentacija završnog uređaja.

##### 2. Kursor

Služi sa kontrolu robotom i pomaže u preglednosti kretanja kroz program. Puštanjem programa radi kontrole i testiranja programa u Teach modu, robot kreće od linije gdje se kursor trenutno nalazi.

##### 3. Naredba, dodatne komande, komentari i dr.



**Instrukcija:** To su instrukcije potrebne za izvođenje operacija. U slučaju MOVE instrukcije, instrukcija se podudara sa tipom interpolacije i automatski je prikazana onda kada je željena pozicija memorisana.

**Programski kod:**

0000 NOP	- početak programa
0001 MOVJ VJ=25.00	
0002 MOVJ VJ=25.00	
0003 DOVT OGH#(13) B002	- naredba za programski režim rada aparata za zavarivanje
0004 DOVT OGH#(6) 14	- naredba za izbor programa zavarivanja br.14
0005 ARCON	- naredba za paljenje električnog luka
0006 MOVL V=20	
0008 ARCOF	- naredba za gašenje električnog luka
0043 TIMER T=0.60	- zaustavljanje kretanja u datoj poziciji u vremenu od 0.6 s
0044 ARCOF	
0046 MOVJ VJ=25.00	
0047 END	- kraj programa

Na slici 6. prikazan je kompleksan dio dobijen zavarivanjem na kome se vide različite putanje zavarivanja. Primarni cilj rada je pokazati različite mogućnosti kretanja i zavarivanja robota.



Slika 6. Izgled gotovog dijela dobijenog robotskim zavarivanjem

#### 4. ZAKLJUČAK

Pri realizaciji zavarivanja kompleksnog dijela, od mnoštva različitih parametara zavarivanja koje je neophodno pravilno izabrati i podesiti one osnovne (jačina struje, napon, debljina materijala, brzina zavarivanja, položaj gorionika, i td.) a aparat za zavarivanje, prema sinergijskom principu rada, podešava ostale parametre zavarivanja. S obzirom da je konkretan dio sačinjen od materijala različitih debljina (4 i 6 mm) kao što je i geometrija dijelova različita, proizilazi da je na različitim dionicama zavarivanja potrebno determinisati i različite parametre zavarivanja.

Najvažnije je pronaći optimalan odnos između jačine struje i brzine kretanja gorionika. Tako se na osnovu eksperimenata u konkretnim uslovima došlo do odgovarajućih podataka koje su jačine struje i brzine kretanja svrsishodne za pojedine debljine osnovnog materijala, pa tako imamo:

- za debljinu materijala 4 mm, struja  $I=100-130$  [A], brzina  $V=40-60$  [cm/min]
- za debljinu materijala 6 mm, struja  $I=130-160$  [A], brzina  $V=20-40$  [cm/min]

Takođe, analizom modela procesa i konkretnih procesa proizašlo je da je potreban i dovoljan broj pozicija stezanja i pozicioniranja složenog mašinskog dijela tri (3), jer se s tim brojem potpuno eliminišu stepeni slobode kretanja posmatranih dijelova. S navedenim podacima, proces zavarivanja je moguće potpuno automatizovati, ponovljivost zavara je neizostavna osobina, što rezultira smanjenjem ili potpunim izostankom škatra i povećanom produktivnosti.

#### LITERATURA

- [1] Rogić M.: *Industrijski roboti*, Mašinski fakultet Banja Luka, 2001.
- [2] Vasile Alexa: *Development technology for welding in mig-mag shielding gas environment*, Bulletin of Engineering, Tome IV, 2007.
- [3] Ciglar I. Botak Z.: *Upravljanje i primjena robota za zavarivanje "Reis Robotics RV6L"*, ISSN 1864-6168
- [4] Knežević M.: *Izrada mašinskih dijelova kompleksne morfologije postupkom mig/mag zavarivanja robotom*, diplomski rad, Mašinski fakultet, Univerzitet u Banjoj Luci, 2008.
- [5] Operating Instructions Spare Parts List-MIG/MAG power source - FRONIUS



## REZULTATI PRELIMINARNIH ISTRAŽIVANJA DOBIJANJA I PRIMENE SPECIJALNIH OBLOŽENIH ELEKTRODA

Nikola Bajić<sup>1</sup>, Slobodan Stojadinović<sup>2</sup>, Jasmina Pekez<sup>3</sup>

*Rezime: U radu su dati preliminarni rezultati istraživanja tehnološkog postupka dobijanja i primene specijalnih obloženih elektroda za elektrolučno zavarivanje. Izrada novog proizvoda je bazirana na domaćim sirovinama, kao što su: čelična traka, nemetalne komponente i legirajući elementi. Na osnovu rezultata preliminarnih istraživanja, specijalna obložena elektroda, u odnosu na klasičnu elektrodu, obezbeđuje stabilnije i kvalitetnije zavarivanje.*

*Ključne riječi: specijalizovane obložene elektrode*

### THE RESULTS OF THE PRELIMINARY RESEARCH FOR PRODUCING AND APPLICATION OF SPECIAL COATED ELECTRODES

*Abstract: This paper presents the results of preliminary investigation of technological producing special electrodes designed for arc welding. The special coated electrode is a new product, which compared to traditional electrodes has a core of a flux-cored rod cut from cored wire electrode from steel strips. The new product is based on domestic raw materials, steel strips for making the electrode core and nonmetallic components for the electrode coating.*

*Key words: special coated electrodes*

## 1. UVOD

Od svih dodatnih materijala za zavarivanje, klasična obložena elektroda po obimu primene zauzima vodeće mesto. To se objašnjava jednostavnošću procesa zavarivanja, dobrom i lakom rukovanju i ujednačenim sastavom zavarenih šavova. Kvalitetni tehno-ekonomski pokazatelji, ostvareni primenom raznih metalurških kvaliteta obloženih elektroda, vezani su za poznavanje metalurških i tehnoloških karakteristika, kao i drugih osobina [1-3; 5-7].

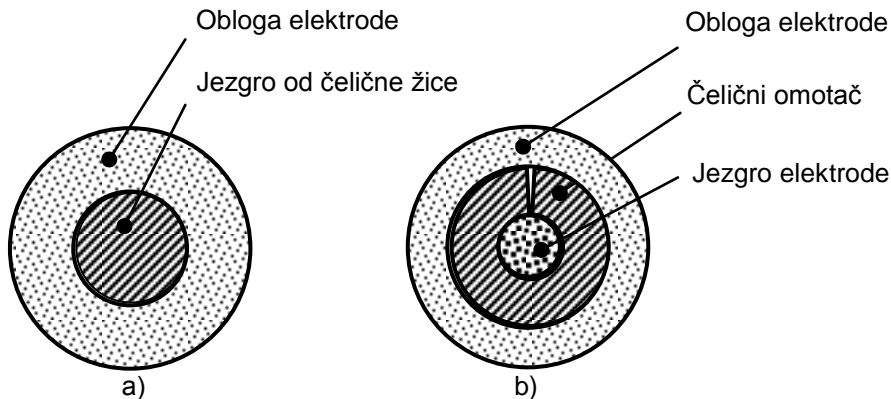
Obložena elektroda se sastoji od metalnog jezgra na koju je odgovarajućim tehnološkim postupkom nanjena specijalna obloga (slika 1a). Obloga se sastoji od

<sup>1</sup> Nikola Bajić, dipl. inž. maš., Istraživačko razvojni centar - IHIS, Beograd,

<sup>2</sup> Dr Slobodan Stojadinović, redovni profesor, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", Zrenjanin

<sup>3</sup> Mr Jasmina Pekez, asistent, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", Zrenjanin, pekezzasmina@gmail.com

mlevenih praškastih materijala. Specijalna obložena elektroda je novi proizvod, koji - u odnosu na klasičnu elektrodu – ima jezgro, koje čini punjena elektroda (slika 1b).



Slika 1. Poprečni presek elektroda: a) klasična elektroda, b) specijalna obložena elektroda

Način legiranja metala šava pri zavarivanju obloženom elektrodom može da bude različit. Prema literaturnim podacima [1-4], najbolji način za legiranje metala šava, sa aspekta ravnomernosti hemijskog sastava, je preko jezgra elektrode, pri čemu legirajući elementi dolaze ili iz punog metalnog jezgra (klasična obložena elektroda), ili iz praha metala i minerala, koji se nalaze u jezgru i oblozi (specijalna elektroda).

## 2. EKSPERIMENT

Eksperimentalni deo obuhvata izradu obložene elektrode od: žice i punjene elektrode. Za eksperimentalni rad odabrana je niskouglenična žica prečnika: 2; 2,5 i 3,25 mm, hemijskog sastava: 0,10%C, 0,03%Si, 0,6%Mn. Žica prečnika 2,0 i 2,5 mm je na mašini za ravnanje i sečenje isečena na standardnu dužinu od 250 mm, a žica prečnika 3,25 mm na dužinu od 350 mm.

Za izradu punjene elektrode korištena je uzdužno sečena čelična traka proizvedena u Železari Smederevo (hemijski sastav je dat u tabeli 1), a sečenje na potrebnu širinu od 10 mm je izvedeno u firmi "Metalpromet" u Gornjem Milanovcu.

Tabela 1. Oznaka i hemijski sastav čelične trake

Oznaka čelika			Hemijski sastav, %				
SRPS-EN	JUS	DIN	C	Mn	P	S	Al
DC03	Č 0147	Q <sub>st</sub> 13	0,10	0,45	0,03	0,03	0,02

Posle pripreme i homogenizacije punila, izrada punjene elektrode je izvedena na eksperimentalnoj liniji, dizajniranoj u Istraživačko – razvojnom centru (IHIS) u Beogradu (slika 2).

Izvlačenje punjene elektrode je izvedeno sa prečnika 4,0 mm na standardni prečnik: 2,0; 2,5 i 3,25 mm. Izgled uzoraka vučene elektrode prikazan je na slici 3. Ispravljanje i sečenje navedene tri dimenzije punjene elektrode je izvedeno na mašini u firmi SINEX CO, d.o.o Beograd. Za eksperimentalni rad, kao i kod pripreme pune







Slika 4. Izgled eksperimentalne linije za izradu obloženih elektroda



Slika 5. Izgled eksperimentalno dobijenih obloženih elektroda sa jezgrom od žice i punjene elektrode

Probno zavarivanje sa dobijenim elektrodama od klasične elektrode i punjene elektrode je izvedeno u laboratoriji za zavarivanje IHIS, Istraživačko razvojnom centru u Beogradu. Prvi rezultati vezani za zavarivačke osobine elektrode su veoma ohrabrujući. Uočeno je lako uspostavljanje električnog luka, lako odvajanje šljake sa površine metala, a izgled dobijenog šava (slika 6) je bez pora i uključaka.



Slika 6. Izgled šava dobijenog zavarivanjem eksperimentalno izrađenim elektrodama

### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

Razvoju i osvajanju tehnologije dobijanja specijalno obložene elektrode prethodilo je istraživanje, razvoj i osvajanje izrade punjene elektrode za zavarivanje MIG/MAG i EPP postupkom u više metalurških kvaliteta. To je bila osnova za dalja istraživanja, koja su dovela do razvoja i izrade novog proizvoda: specijalne obložene elektrode za zavarivanje i navarivanje niskougleničnih i legiranih čelika.

U istraživanju, razvoju i osvajanju proizvodnje specijalne obložene elektrode akcenat je stavljen na korišćenje domaćih resursa. U tom kontekstu, korišćena je čelična traka iz Željezare – Smederevo, a takođe i minerali, veziva i plastifikatori domaćeg porekla.

### 4. ZAKLJUČAK

Na osnovu preliminarnih rezultata istraživanja, može se zaključiti da specijalna obložena elektroda, u odnosu na klasičnu, ima sledeće prednosti:

1. vođenje procesa zavarivanja je lakše,
2. formiranje i odvajanje šljake od šava je kvalitetnije,
3. formiranje i održavanje luka je stabilnije.

### ZAHVALNOST

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (broj projekta TR34016 & TR 35002).

### LITERATURA

- [1] N.N. Potapov, D. N. Baranov, O. S. Kakovkin, D. B. Vitman i dr. (1993). *Svaročne provoloki i elektrodi*, ISBN 5-217-01236-8., Mašinstroenie, Moskva,

- [2] V.M. Karpenko, I.A.Rjabcev, L.J. Galuško (1993). *Primenie niskomolekularnih hidrofobnih soedinenij dlja predotvraščeniya prosipanja i uvlažnenija šihti poroškobih provolok*, Avtomatičeskaja svarka, No 7, p. 484.
- [3] R. Tobias, A. Pedro, P. Inês, M. Rosa, Q. Luísa (2011). *Inovations in ARC Welding*, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, Vol. 56, br. 1, str. 23-36.
- [4] N. Bajić, S. Stojadinović, *Research and accessing the technology for manufacturing additional materials based on steel sheets for welding using MAG method*, Strategic project for MNT of Serbia (Department of Science and Tehnology) (EB: C.3.05.32.258 – PP5), Institute of Metalurgy, Smederevo, 1995-1997.
- [5] N. Bajić, S. Stojadinović, *Research and development of optimal calibration of steel ribbons, composition of filler and technological method of producing activated filled wire for welding*, Department of Science and Environmental Protection, area: Technological development, EB 6756B, Institute for Chemical Sources of Electricity – IHIS, Zemun, 2005-2008.
- [6] N. Bajić, S. Stojadinović, *Research of optimal composition of metal components and low molecular hydrophobic compounds for development of new metallurgical quality of filled wire for steel welding, intended for working under low temperature conditions*, Department of Science, area: Materials and Chemical Tehnology, EB 19061 Institute for Chemical Sources of Electricity, IHIS, Zemun, 2008-2010.
- [7] N. Bajić, S. Stojadinović (2008). *Development of steel ribbon calibration and production of filled wire for MAG method of welding device*, VII Symposium MNM, Zenica, BiH, p.1363-1369.





## PLASMA CUTTING – APPLICATION OF CAD/CAM TOOLS AND ADVANTAGES OF ROBOTICS COMPARING TO CNC MACHINE

Ivan Palinkaš<sup>1</sup>, Eleonora Desnica<sup>2</sup>, Jasmina Pekez<sup>3</sup>, Ljiljana Radovanović<sup>4</sup>

*Abstract: In this paper we are showing the advantages of using robotics over CNC machines in plasma cutting. Also we can see the usage of CAD/CAM softwares in plasma cutting and benefits of combining CAD/CAM softwares with CNC machines or robots.*

*Key words: CAD/CAM tools, CNC, plasma cutting, robotics*

### 1. INTRODUCTION

Plasma Jet Machining (PJM) is used for realization of production operations that are demanding high concentration of heat energy. The operations are: melting, welding, cutting metal or non-metal materials, applying wear resisting coating etc. [1]

The flexible nature of the plasma cutting process lends itself well to many applications and capabilities. Motion-control devices such as CNC cutting machines, punch plasma machines, industrial robots, and pipe cutting machines aside, you can categorize the plasma process into three distinct categories: air plasma, conventional mechanized plasma, and high-definition plasma. [2]

*Air Plasma.* These systems, designed for hand-held torch cutting, are available in power level outputs as low as 12 amps with a maximum cutting thickness of 1/8 in. with a hand torch, up to 120 amps. Most of these systems use inverter power supply technology, which makes them portable. Many can be purchased with a machine torch and have electrical interfaces that allow them to be used in mechanized cutting applications as well. [2]

*Conventional Mechanized Plasma.* Typically, the plasma systems in this category are available only with machine-mountable torches. Also, they generally have more complex interfaces to provide better performance when used in modern CNC cutting machine applications. Power levels for conventional mechanized plasma systems are from 130 amps to as high as 1,000 amps. [2]

<sup>1</sup> Dipl. inž. Ivan Palinkaš, Zrenjanin, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", (ivanpalinkas@gmail.com)

<sup>2</sup> Doc. dr Eleonora Desnica, Zrenjanin, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", (eleonora.desnica@gmail.com)

<sup>3</sup> Mr Jasmina Pekez, Zrenjanin, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", (pekezasmina@gmail.com)

<sup>4</sup> Doc. dr Ljiljana Radovanović, Zrenjanin, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", (ljiljap@tfzr.uns.ac.rs)

Designed for high productivity with midlevel tolerances for cutting nonferrous (stainless and aluminum) materials up to 6¼ in. thick, these systems are the workhorses of steel service centers, shipyards, and heavy-equipment manufacturers. While some manufacturers of these conventional plasma systems have put the engineering effort into improving this class of systems, such as technology designed to extend the life of oxygen consumables and sophisticated interface systems that can communicate with the PC-based CNC used on most of today's cutting machines, these systems largely remain similar to conventional industrial cutting machines that have been used for the last couple of decades. [2]

For the most part, this class of machine requires an astute operator who can pay attention to the multiple setup parameters required for consistent cut quality from day to day. These systems require constant monitoring of arc voltage, gas flow, and pressure, as well as a dozen other parameters that must be set correctly to produce the best cut quality as power level, material thickness, and consumable parts in the torch change. [2]

*High-definition Plasma.* High-production sheet and plate cutting is the category that is receiving the most attention in terms of process research and development. As a result, high-definition plasma cutting systems have made huge strides in quality, speed, power level, operating costs, and, most recently, ease of use over the past 10 to 15 years. [2]

In high-definition plasma cutting, developed in the early to mid-1990s, the plasma arc is forced through a smaller nozzle orifice, taking full advantage of the laws of high-temperature physics. This makes cleaner, squarer cut edges while maintaining acceptable consumable parts life in the torch. The earliest systems were limited in amperage and thickness capacity (70 amps with a 3⁄8-in. maximum thickness on steel) and required an expert machine operator to monitor and adjust multiple parameters that affected the cut quality. Even at its beginning stages, however, high-definition plasma technology ranked as one of the top three or four developments in the history of plasma cutting. [2]

Today's class of high-definition plasma systems are available in amperages from 130 to 800 with cutting thickness capacity from 26 gauge to 3 in. on carbon steel and up to 6¼ in. on stainless and aluminum. Consumables life and cut quality and consistency have improved dramatically over the years as well, making these systems a primary metal cutting method of choice for metal fabricators worldwide. Low operating cost, high cutting speeds, and improved quality are the results of high-level engineering efforts and have greatly increased demand. [2]

## **2. CAD/CAM SOFTWARES IN PLASMA CUTTING**

On today market there are multiple CAD and CAM softwares that is used to manage the automated plasma cutter. All softwares have multiple options that we can use to manufacture product that is needed. Example of one of these softwares is FlashCut Controlle system. There are other softwares that can controle bevel in cutting, if machine is supporting that option.

The new FlashCut Control system has integrated CAD/CAM specifically designed for the plasma market. Like our Torch Height Control, it is fully integrated with our controller and software so there is no need to transfer and import files from a CAD program to a CAM program to the CNC controller. New features include: [3]

- Simple yet powerful CAD for drawing any 2-D shape.
- CAM with automatic generation of lead ins and lead outs
- Automatic generation of fixturing tabs

- Sheet management including indexing large sheets on a small table and multiple sheets per job.
- Automatic kerf compensation
- Simple import of pictures and drawings
- True shape nesting

**FLASHCUT CNC** Version 5.0  
CONTROL MADE SIMPLE



From CAD... ↓



To CAM... ↓



To CNC...

**In One Integrated Program**

Figure 1. FlashCut software [3]

## 2.2 Using CAD/CAM in cutting complex parts

With usage of CAD/CAM tools we can produce complex parts that would be hard to programme to CNC machine (without using CAD/CAM). We can even cut in material a representation of raster image that is previous converted to vector image (Figure 2).



Figure 2. Picture produced by plasma cutting of metal using CAD/CAM tools [4]

## 3. ADVENTAGES OF USING ROBOTICS WITH CAD/CAM TOOLS IN PLASMA CUTTING

Robots are typically programmed to replay paths taught using point-to-point methods. Traditional CNC processing is done by off-line processing. Both methods have their advantages, however robots have proven to be more cost effective in terms of flexibility, repeatability, and with new functions offer improved accuracy. To maximize these robotic advantages, we need tools that transform an off-line CAD model into a robot program. These tools have been developed to maximize uptime, throughput, and workcell utilization. Workcell utilization efficiencies have many benefits — especially that you aren't spending additional capital, wasting workcell uptime, or damaging expensive equipment in order to create process paths all while capitalizing on the efficient off-line environment used in traditional CNC processing. [5]

State of the art robotic technology is used to produce small part runs and quick product changes to achieve production flexibility. Used in various applications, industrial robotics have proven cost effective, and efficient in order to handle the most complex job ~ especially in materials joining and cutting applications. Where traditional CNC equipment was accurate, industrial robots provide for increased accuracy especially considering automatic calibration techniques used in conjunction with off-line programming. Their flexible design allows for simple product changeovers and short runs as well as utilizing the benefits of multi-arm systems when necessary. [5]

In Table 1. we can see characteristics of CNC machines, robots and robots produced by FANUC Corporation.

Table 1. Robot to CNC Comparison [5]

	CNC	Robot (traditional)	FANUC Robotics Intelligent Robot
Machine Design	Fixed equipment, linear with some rotary capabilities, but limited to specific process such as cutting, milling, etc.	Articulate, flexible 6 degrees of freedom; ideal for continuous path processes with complete tool orientation control and part accessibility.	Articulate, flexible 6 degrees of freedom; ideal for continuous path processes with complete tool orientation control and part accessibility. Flexible to accommodate product/tool changeovers.
Kinematic Geometry	Inherently accurate but with high cost and specific process design.	Flexible design, high value, limited accuracy and off-line performance.	Flexible design, high value, highly accurate, efficient off-line performance; Incorporates benefits of CNC through automatic calibration and off-line programming.
Teaching/programming	Off-line	Teach pendant	Off-line with no touch-up through intelligent package.
Tool Compensation	CMM setup and tool shift	Teach TCP value manually; difficult to maintain.	Inherent software tools used to setup and maintain accurate system.
Process Control	Limited to specific process (cutting, milling, etc.)	Flexible, requires setting and scaling application process and point to point teaching of path. Flexibility through experienced operator only.	Flexible, automatic setting and scaling application process data and automatic point to point teaching of path. Flexibility with any operator.
Equipment Value	Specific design for singular process.	Flexible design but requires application and program development.	Flexible, multi process with many advantages of CNC.
System Utilization	Medium, requires tool changer, pallets, etc.	Low system utilization. Requires program touchup and maintenance. Equipment must be individually scaled and settings are not repeatable.	High system utilization. Multi-Arm robot system capabilities. Off-line programming and transfer to the accurate real robot which offers maximum cell utilization. Software options offer unattended program validation.

#### 4. CONCLUSION

In modern production, and with demands of modern market, we need to upgrade our ability to produce whatever part is needed. To achieve this goal we can implement today's technologies. Best solution for plasma cutting operation is using robots. They are flexible and cost effective. Combining them with CAD/CAM software we can get complete production of part in process of plasma cutting, from model to cutted piece.

#### REFERENCES

- [1] Rančić. M., Ljevar, A. (2002). *Nekonvencionalni postupci obrade metala*, Viša tehnička škola, Zrenjanin
- [2] <http://www.thefabricator.com/article/cuttingweldprep/mechanized-plasma-cutting-developments-in-high-definition-technology-improve-versatility>, pristupljeno 21.10.2014.
- [3] <http://www.flashcutcnc.com/cnc-plasma/cad-cam>, pristupljeno 22.10.2014.
- [4] <http://www.plasmacam.com/ornamental.php> pristupljeno 21.10.2014.
- [5] [http://robot.fanucamerica.com/robotics-articles/using\\_robotics\\_to\\_go\\_from\\_cad\\_to\\_path.aspx#CAD2PART](http://robot.fanucamerica.com/robotics-articles/using_robotics_to_go_from_cad_to_path.aspx#CAD2PART), pristupljeno 21.10.2014.



## PROJEKTOVANJE NAMJEŠTAJA OD 3D FURNIRSKIH PLOČA

Luka Panić<sup>1</sup>, Ekrem Nezirević<sup>2</sup>, Atif Hodžić<sup>3</sup>

*Rezime: Projektovanje predstavlja bitnu fazu u razvoju novih proizvoda u industriji namještaja i omogućava da se stvore uslovi za proizvodni asortiman koji može zadovoljiti potrebe i zahtjeve savremenih potrošača, a da istovremeno proizvođači ostvare ekonomske ciljeve u poslovanju.*

*Cilj rada je da posebno ukaže na značaj projektovanja u industriji namještaja koji ima zadatak da kao interaktivna djelatnost poveže rješenja izbora repromaterijala i tehnoloških postupaka u cilju ostvarenja estetsko-funkcionalne kompaktnosti gotovog proizvoda na nivou pretpostavljenog kvaliteta. Dobar proizvod se postiže ostvarenjem interdisciplinirane saradnje u fazama inovativnog procesa na stvaranju novog ili poboljšavanju već postojećeg proizvoda.*

*Analiza se temelji na anketiranju 14 najznačajnijih proizvođača namještaja od savijenog slojevitog drveta u BiH po kriterijumu poslovnih prihoda.*

*Kroz zaključna razmatranja dati su i prijedlozi za poboljšanje trenutnog stanja projektovanja namještaja od savijenog slojevitog drveta.*

*Ključne riječi: industrijsko projektovanje, slojevito drvo-furnirske ploče, razvoj novog proizvoda, savijanje*

## PROJECTING FURNITURE FROM 3D PLYWOOD PLATES

*Abstract: Projecting represents a very important stage in development of new products in furniture industry and enables creation of conditions for production assortment that can satisfy even the needs of the most demanding consumers, while at the same time manufacturers can achieve economical goals in their business.*

*The aim of this paper is to specially point out to the significance of projecting in furniture industry which, as an interactive activity, has the task of linking solutions of choosing materials and technological procedures in order to achieve aesthetic and functional compactness in final product on the level of superior quality. A good product is achieved by realization of interdisciplinary cooperation in stages of innovative process on creation of new or enhancement of existing products.*

<sup>1</sup> M.Sc. Luka Panić, dipl.ing.šum., Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet, Bihać, panaconsulting@yahoo.com

<sup>2</sup> Dr. sc. Ekrem Nezirević, Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet, Bihać, ekremnezirevic@yahoo.com

<sup>3</sup> Dr. sc. Atif Hodžić, Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet, Bihać, atif.hodzicc@gmail.com

*Analysis is based on survey of 14 most significant manufacturers of furniture from curved laminated wood in Bosnia and Herzegovina by the criteria of business incomes. Propositions for enhancement of the current state of projecting furniture from curved laminated wood are given through final considerations.*

*Key words: industrial projecting, laminated wood – plywood plates, development of new products, flexion*

## 1. UVOD

Projektovanje namještaja predstavlja bitnu fazu u razvoju novih proizvoda u industriji namještaja i omogućava da se stvore uslovi za proizvodni asortiman koji može zadovoljiti potrebe, zahtjeve i želje savremenih potrošača, a da istovremeno proizvođači ostvare ekonomske ciljeve u proizvodnji i poslovanju, odnosno da se ostvari interesni biznis.

Orijentacija domaćih proizvođača namještaja generalno se ne može smatrati odgovarajućom jer idejna rješenja njihovih proizvoda sadrže malo autentičnosti tj., predstavljaju, manje ili više, kopije tuđih rješenja. Dobrim dijelom, zbog ovakvog stanja, naš namještaj nije konkurentan na tržištu EU, gdje se u ponudi proizvoda, uglavnom, očekuje novo i originalno rješenje.

Na osnovu raspoloživih mogućnosti kao i trenutne potražnje za aktuelnim slojevitim savijenim drvetom u enterijeru, domaća industrija namještaja ima uslove za povećanje proizvodnje i izvoza namještaja od slojevitog savijenog drveta, međutim, zapušteno područje razvoja proizvoda znatno umanjuje ove potencijale.

Savijene slojevite ploče, tzv. furnirske ploče, se dobijaju procesom presanja niza listova furnira pomoću šablona u VF presama. Listovi furnira su pričvršćene jedna za drugu pomoću lijepka [4].

Prednost savijenog slojevitog drveta u odnosu na savijanje masivnog drveta : mogu se proizvoditi savijeni detalji većih debljina slaganjem tankih listova, bilo koje vrste drveta; unutrašnji listovi mogu biti lošijeg kvaliteta.

Furnirske ploče se uglavnom izvoze na tržišta zemalja EU kao poluproizvod, iako postoje realne mogućnosti za proizvodnju finalnih proizvoda od ovih ploča. Finalizacijom furnirskih ploča u proizvode namještaja, njihova vrijednost povećala bi se 2,3 – 3,2 puta u odnosu na tržišnu cijenu ovih otpresaka.

Industrijsko projektovanje predstavlja granu umjetnosti ali one primijenjene, a i u okviru nje ističe se izrazitom interdisciplinarnošću i tehničkom „obojenošću“ [1]. Dok umjetnici imaju „privilegiju“ da sami sebi postavljaju „zadatke“ i sami „proizvode“ svoja umjetnička djela[3], pa sve zavisi od njihove inspiracije, stvaralačkog trenutka, u slučaju industrijskog projektovanja dosta toga zavisi od drugih faktora, a zadatak projektanta je da kroz zadovoljenje postavljenih zahtjeva „provuče“ i umjetničku viziju koliko je to moguće i potrebno [2].

## 2. CILJ I PREDMET RADA

Predmet istraživanja u ovom radu je projektovanje namještaja od furnirskih ploča kroz osvrt na situaciju u našim regionu, posebno u Bosni i Hercegovini.

Cilj rada je da posebno ukaže na značaj projektovanja u industriji namještaja koji ima zadatak da kao interaktivna djelatnost poveže rješenja izbora repromaterijala i tehnoloških postupaka u cilju ostvarenja estetsko-funkcionalne kompaktnosti gotovog proizvoda na nivou prepostavljenog kvaliteta.



Dobar proizvod se postiže ostvarenjem interdisciplinirane saradnje u fazama inovativnog procesa na stvaranju novog ili poboljšavanju već postojećeg proizvoda.

### **3. PROJEKTOVANJE I NJEGOVA ULOGA U RAZVOJU NOVOG PROIZVODA**

U Bosni i Hercegovini, izostao je razvoj sopstvenih proizvoda koji bi imali nacionalno obilježje i bili prepoznatljivi na tržištu. Za izvoz se rade isključivo proizvodi dati i naručeni od strane inostranih kupaca. I pored nesumnjivog uspjeha koji pokazuju pojedina naša preduzeća, samim tim što su uspjela da u oštroj svjetskoj konkurenciji dobiju posao, činjenica je da takvi poslovi obično donose malu zaradu.

Razvoj novih proizvoda nije lak i uvijek sa sobom nosi određeni rizik. Međutim, sopstveni proizvodi, prihvaćeni od strane tržišta, po pravilu donose i znatno veću dobit. S obzirom na tradiciju koju imamo u ovoj vrsti proizvodnje i kreativne dizajnere kojima bi trebalo dati šansu da se iskažu, ovo je cilj kome se mora težiti i postepeno ga osvajati.

#### **3.1 Faze razvoja novog proizvoda**

Razvoj novog proizvoda u savremenoj proizvodnji predstavlja veoma skupu privrednu aktivnost. Bez obzira da li se radi o industrijskoj ili zanatskoj proizvodnji, projektant mora da raspolaže informacijama o materijalima, upotrebnim svojstvima proizvoda, uticajima sredine na projektovanje namještaja kao i brojnim tehničkim znanjima koja se objedinjuju kroz razvoj proizvoda [5]. Proces počinje istraživanjem radi generisanja što više ideja, od kojih treba izdvojiti samo one koje će zadovoljiti ciljno tržište i biti u skladu sa strateškim elementima preduzeća [2]. Tada se može pristupiti poslovnoj analizi isplativosti razvoja takvog proizvoda, kako bi se donijela konačna odluka da li se ulazi u razvoj. Ako se donese pozitivna odluka, ulazi se u razvoj proizvoda, a sam razvoj obuhvata projektovanje proizvoda i svih njegovih sklopova, podsklopova i dijelova sa inženjerskog stanovišta. Da bi se utvrdilo da li je proizvod odgovorio na zahtjeve potrošača, potrebno je sprovesti testiranje u laboratoriji i u realnim uslovima u kojima se koristi proizvod. Kada se utvrdi da proizvod zadovoljava postavljene zahtjeve prelazi se na komercijalizaciju proizvoda.

Sekvencijalni procesi su se vremenom transformisali pod uticajem zahtjeva za smanjenjem vremena razvoja, povećanjem efikasnosti i smanjenjem troškova razvoja[2].

Modifikovani procesi razvoja zasnivaju se na preklapanju faza prema određenim principima.

#### **3.2 Metodologija projektovanja**

Današnja proizvodnja postavlja projektanta kao dio tima gdje od svakog pojedinačnog učesnika zavisi ishod. Pred projektantom kao učesnikom u kreativnom timu je mnoštvo različitih i novih materijala. Metodologija se stara da se putem naučnih metoda otkriju i provjere činjenice i na osnovu njih postavi program [3].

Primjena metodologije projektovanja isključuje svaki rad „napamet“ i važno je da projektant bude što više informisan. Na taj način se izbjegava postizanje slučajnih rezultata. Metodologija projektovanja pruža neophodnu sigurnost i samopouzdanje projektantu [4]. Metodologija služi da se ispune svi zahtjevi dobrog projektanta.

Metodologija projektovanja namještaja ima sljedeće faze:

- Analitička faza (prikupljanje činjenica);
- Kreativna faza (analiza, sinteza i verifikacija);
- Faza realizacije (razvoj i proizvodnja) i

- Faza opservacije (praćenje sudbine proizvoda na tržištu).

### 3.3 Moderne tehnologije presanja i mašinske obrade 3D furnirskih ploča

Razvojem tehnologije presanja (Slika 1) i mašinske obrade pomoću robota (Slika 2), proizvodi od 3D furnirskih ploča u drvenj industriji otvorili su put namještaju u treću dimenziju. I može se reći da živimo u vremenu treće dimenzije. U svim sferama života nastaju 3D tehnologije. Iz navedenih razloga se došlo na ideju o proizvodnji 3D furnirskih ploča.



Slika 1. Tehnologija izrade 3D furnirskih ploča [8]

Razvojem 3D furnirske ploče dizajnerima su otvorena široka polja za realizaciju inovativnog dizajna namještaja.



Slika 2. Profilisanje dijelova stolica od furnirskih ploča pomiću robota (KUKA) [9]

### 3.4 Primjer proizvoda namještaja od 3D furnirskih ploča

3D furnirske ploče mogu se kombinovati sa 2D furnirskim pločama tako što se samo neki detalji proizvoda rade od 3D furnirskih ploča. Primjenom 3D furnirskih ploča zakoračili smo u novi svijet projektovanja 3D namještaja i otvorili mogućnost proizvodnje do sada teško zamislivih proizvoda od namještaja. Time je ponovo drvo vraćeno na mjesto koje mu pripada - kao plemenitim, obnovljivim i ekološko čistim materijalom. Danski dizajner Claus Breinholt je dizajnirao a italijanska firma OMP Group je proizvela stolicu „Loop“ (Slika 3), koja se pokazala kao pravi HIT među arhitektama i dizajnerima enterijera.



Slika 3. Stolica „Loop“ [6]

„Loop“ stolica je oštih ivica ali sofisticiranog oblika koja predstavlja evoluciju razvoja namještaja gdje tehnološke inovacije, pre svega proizvodnja 3D furnirskih ploča, idu ruku pod ruku sa vrhunskim dizajnom. Napravljena je pomoću specijalne 3D tehnologije savijanja slojevitog drveta-otpresaka koja obezbeđuje dvostruku zakrivljenost bez pucanja drveta, sa velikom paletom završne obrade, uglavnom egzotičnih prirodnih furnira.

Osnovne dimenzije stolice: visina stolice=809 mm , visina sjedala=478mm, širina stolice=634mm i dubina stolice=530mm.

Veliko Britanski dizajner Ron Arad je dizajnirao, a Španski proizvođač Moroso Spa je proizveo stolicu „Three skin“ (Slika 4). Stolica se sastoji od tri dijela 3D furnirske ploče izrađene od standardnih prirodnih furnira.

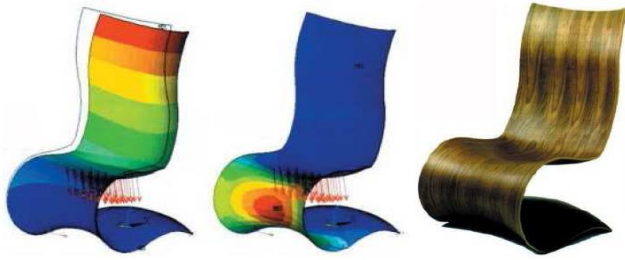


Slika 4. Stolica „Three skin“ [7]

### 3.5 Istraživanje buduće primjene 3D furnirskih ploča

Istraživanje buduće primjene 3D furnirskih ploča je u toku, a jedan od glavnih ciljeva je da se poveća stepen moguće deformacije da bi se dobili otpresci sa izraženim reljefastim konturama. Na taj način furnir bi kontinuirano pratio konture ivica i uglova izrađenih ploča.

Razvojem i primjenom savremenih CAD/CAM softvera moguće je, prije same izrade, softverski opteretiti i analizirati ponašanje proizvoda koje će se dešavati pri samoj upotrebi. Time smo u mogućnosti unaprijed izvršiti određene korekture - ukoliko se pokaže da prvobitna varijanta ne zadovoljava predviđena opterećenja. Samim tim je razvoj proizvoda značajno jeftiniji i sam proces razvoja je skraćen jer se za izradu prototipa bira samo proizvod koji zadovoljava funkcionalno-estetske kriterije.



Slika 5. Softverska analiza opterećenja sjedala i naslona kod stolice „XUS“  
(Dizajner: Peter Karpf, Danac, Proizvođač: Iform, Švecka) [7]

#### 4. PROJEKTOVANJE NAMJEŠTAJA OD 3D FURNIRSKIH PLOČA NA TERITORIJI BOSNE I HERCEGOVINE

Nivo projektovanja BH namještaja od furnirskih ploča, temeljena na pokazateljima iz prakse, a isto podržavaju istraživanja, je takva da uslovljava prvenstveno kvalitativnu inovativnost u proizvodnji. Nedostatak politike projektovanja u BH proizvodnji namještaja od furnirskih ploča predstavlja neprepoznavanje projektovanja i metodologije upravljanja projektovanjem.

Upotreba projektovanja BH proizvođačima namještaja od furnirskih ploča nudi mogućnost sticanja prednosti nad konkurencijom, kao i sljedeće: *stvaranje profita; smanjenje troškova; višu dodatnu vrijednost; tržišnu održivost; povećanje izvoza; poboljšanje inovacije proizvoda i nove kupce.*

##### 4.1 Sadašnje stanje

Izvršeno je istraživanje primjene projektovanja i razvoja namještaja od furnirskih ploča na području Bosne i Hercegovine. Analiza se temelji na anketiranju 14 najznačajnijih proizvođača namještaja od furnirskih ploča u BiH po kriterijumu poslovnih prihoda.

Analiza prikupljenih podataka tokom izrade stručnog rada pokazuju sljedeće:

- 63% proizvođača ne poznaje proces projektovanja;
- 48% proizvođača nema interes za uključivanje projektovanja u poslovanje;
- 17% proizvođača ima odjel za istraživanje i razvoj;
- 82% proizvođača nikada nije koristilo usluge projektovanja, 8% trenutno koristi a 10% je koristilo usluge;
- proizvođači uglavnom koriste usluge projektovanja enterijera i izložbenog prostora;
- samo 2% industrijskih projekatata ima iskustva s proizvodnjom namještaja od furnirskih ploča.

Broj preduzeća u Bosni i Hercegovini koji koriste projektovanje i usluge industrijskog projektovanja namještaja od furnirskih ploča u segmentima proizvodnje i izlaska na tržište nije veliki, dok se veći broj istih nalazi na nultom nivou upotrebe projektovanja. Na osnovu istraživanja u prosjeku svega 1% investicionih ulaganja se izdvaja za projektovanje, što ukazuje na nedovoljno shvatanje važnosti projektovanja.

Od razmatranih preduzeća u Bosni i Hercegovini koja ostvaruju značajan uspjeh poslovanjem, proizvodnjom i razvojem novih proizvoda namještaja od masivnih ploča su: „Drvena Industrija Šipovo” – Šipovo; „Lignošper” – Novi Grad; „Reflex” - Gradiška; „Aureus” – Gornji Vakuf; „Drvo servis” - Srbac I „PROMO” – Donji Vakuf.

## 4.2 S W O T analiza

SWOT analiza primjene projektovanja u proizvodnji namještaja od furnirskih ploča:

### SNAGA (strength):

- Proizvodnja namještaja od furnirskih ploča je jaka privredna grana;
- Veliki sirovinski i proizvođački potencijal proizvodnje namještaja od furnirskih ploča;
- Proizvođači namještaja od furnirskih ploča koji su u određenom razdobljima aktivno primjenjivali projektovanje imaju pozitivna iskustva i reputaciju;
- Postojanje značajanog broj malih i srednjih proizvođača koji su tržišno i tehnološki prilagodljivi te imaju svijest i potrebu da primjenom projektovanja podižu dodatnu vrijednost proizvoda i
- U Bosni i Hercegovini se obrazovano i sistemski obrazuje dovoljan broj projektanata koji bi se, uz dodatnu praksu, profesionalno usmjerili prema projektovanju masivnog namještaja.

### SLABOSTI (weakness):

- Nedovoljno razumijevanje vrijednosti projektovanja;
- Sirovinski i prerađivački potencijal nije dovoljno iskorišten postizanjem dodatne vrijednosti finalnog proizvoda;
- Nedostatak strategije razvoja privrede, a time i samih proizvođača;
- Slab finansijski potencijal proizvođača namještaja od furnirskih ploča za investiranje u projektovanje;
- Nedostatak podrške i olakšica za razvoj projektovanja;
- Orijentiranost distributera namještaja na uvoz;
- Nejasna tržišna orijentiranost i specijaliziranost proizvodnje;
- Nedostatak profesionalnog iskustva projektanata mlađe generacije i
- Nerazvijena suradnja proizvođača namještaja od furnirskih ploča i projektanata.

### ŠANSA (opportunity):

- Podizanje nivoa upotrebe projektovanja u proizvodnji namještaja od furnirskih ploča što rezultira povećanju dodatne vrijednosti proizvođača i proizvoda;
- Postizanje prepoznatljivosti proizvođača i proizvodnog programa čime se povećava konkurentnost na tržištu;
- Povećavanje autoriteta proizvođača na naručioca i distributera;
- Ciljano organizovano, tehnološko i tržišno usmjeravanje proizvođača što rezultira većom efikasnošću i
- Podizanje opšteg nacionalnog identiteta.

### OPASNOSTI (threat)

- Nejasna i neodlučna uključenost presudnih faktora u društvenom i privrednom razvoju zemlje i
- Nestručni i sporadični pokušaji uspostave strategije primjene projektovanja.

Kao što je vidljivo iz iznesenog upotrebe projektovanja, postojeće slabosti su trenutno najzastupljenija grupa, što potvrđuje važnost hitnih i radikalnih promjena.

## 5. ZAKLJUČCI

U savremenim uslovima konkurencije, veliki rizik snose preduzeća za proizvodnju namještaja koja ne razvijaju nove proizvode. Takva preduzeća ustanoviće da su njihovi proizvodi žrtve promjena potreba i ukusa potrošača, skraćenog životnog ciklusa proizvoda i sve veće domaće i strane konkurencije. Istovremeno, razvoj novog proizvoda može biti vrlo rizičan, prije svega zbog visokih troškova procesa razvoja.

U našim uslovima uz relativno mala ulaganja, angažovanjem kreativnih stručnjaka u oblasti dizajna, mogu se postići efekti koji znatno nadmašuju uložena sredstva. Uz navedeno bitno je znati da su ključni faktori uspješnog rada na razvoju novog proizvoda osnivanje funkcionalnih organizacijskih struktura i mehanizama za upravljanje procesom razvoja novih proizvoda.

Projektovanje i razvoj proizvoda od 3D furnirskih ploča predstavlja zahtjevan, skup ali nezibježan posao za opstanak, rast i razvoj preduzeća. Primjenom savremene tehnologije obrade savijanja i mašinske obrade 3D furnirskih ploča, te kreacije mladih dizajnera kojima je potrebno dati šansu da stvaraju, domaća industrija namještaja ima neograničene mogućnosti i perspektivu u budućem radu.

### 5.1. Predlozi za poboljšanje trenutnog stanja

*Povećanje svijesti proizvođača o vrijednosti idustriskog projektovanja-namještaja od furnirskih ploča* – Edukacijski program i sadržaji po mjeri proizvođača namještaja, te razmjena znanja i uspostavljanje mrežne suradnje na domaćem i inostranom nivou.

*Razvoj nacionalne politike projektovanja-namještaja od furnirskih ploča* – Ulaganje sredstava Vlade, kao strateški ciljevi razvoja zemlje, u obrazovanje i zapošljavanje projektanata namještaja od masivnih ploča, kao i ulaganje u razvoj projektovanja namještaja od masivnih ploča, prvenstveno od bukovih masivnih ploča jer je BiH bogata kvalitetnom bukovom šumom – *bosanska bukva*, kroz koji je izrađena prepoznatljivost zemlje te njihovo njegovanje.

### LITERATURA

- [1] Robotić V.: *Dizajn i razvoj proizvoda od drveta*, Osijek, 1984.;
- [2] Fruht Miroslav.: *Teorija dizajna za slikovnu struku*, Beograd, 1991.;
- [3] Mileusnić Nenad.: *Industrijski dizajn*, Beograd, 1981.;
- [4] Nikolić M.: *Furniri I slojevite ploče*, Beograd, 2004.;
- [5] <http://www.danzer.com>;
- [6] <http://www.tapo.hr>;
- [7] <http://www.reholz.de>;
- [8] <http://lego.fordeq.com> i
- [9] <http://www.kuka-robotics.com>.



## THE APPLICATION OF NEURAL NETWORK IN MANAGING WHITE CAST IRON PRODUCTION

Nedeljko Dučić<sup>1</sup>, Žarko Čojbašić<sup>2</sup>, Radomir Slavković<sup>3</sup>

*Abstract: This paper presents a methodology for modeling the process of obtaining a white cast iron in an induction furnace, using a neural network. Central objects in this process are quantummeter (used for chemical analysis) and 8 t capacity induction furnace, i.e. the network frequency induction furnace which operates at a frequency of 50Hz. The main objective of the proposed neural network is to manage the process of alloying in the function of obtaining the desired chemical composition of the white cast iron. The nature of the process of melting iron is complex, among other things, because of the dynamics of non-linear chemical reactions. Neural networks are able to identify internal relationships through training examples. To build a model of neural network with back propagation learning algorithm, we used data from the foundry of company "IKG Guca". Phase of testing confirmed the validity of ANN as software tool for process control alloying in order to obtain the desired chemical composition.*

*Key words: Artificial neural network, melting, white cast iron, chemical composition, induction furnace*

### 1. INTRODUCTION

Iron is obtained by melting in furnace, which varies according to the energy they use, size, capacity... Induction furnaces have gradually become the most widely used means of melting iron and, increasingly, nonferrous alloys as well. The key to the ready acceptance of this type of furnace has been its excellent metallurgical control coupled with its relatively pollution-free operation [1]. In an induction furnace, power is transmitted by a metal coil. Eddy currents are induced in the melting material and results in change of the physical condition of the material. Gandhewar et al. (2011) provide an overview of the topic of induction furnaces with a focus on improving the efficiency of steel melting processes [2]. The very nature of iron melting process is complex due to the dynamics of non-linear chemical reactions. Modelling of the processes for metals melting using the techniques of artificial intelligence has been the subject of various researches. Bouhouche et al. (2004) have compared ANN and linear model for defining optimal of the quantity of additives and energy in order to obtain the final chemical composition and temperature of liquid steel [3]. Thomas et al. (1999)

<sup>1</sup> M.Sc, Nedeljko Dučić, Čačak, Faculty of Technical Sciences Čačak, (CA) nedeljko.ducic@ftn.kg.ac.rs

<sup>2</sup> PhD, Žarko Čojbašić, Niš, Faculty of Mechanical Engineering, zcojba@ni.ac.rs

<sup>3</sup> PhD, Radomir Slavković, Čačak, Faculty of Technical Sciences Čačak, radomir.slavkovic@ftn.kg.ac.rs



presented neural models for prediction of the temperature of the steel sheet at the exit of an induction furnace in a galvanizing line, with respect to the power applied and to the operating conditions [4]. Kumar and Singh (2012) have developed the ANN model as a tool to effectively estimate the melting rate based on rotational speed, melting time, and fuel consumption [5]. The process of obtaining white cast iron within the induction furnace based on the application of the neural networks has been followed and modelled. The main aim is to manage the process of alloying in the function of obtaining the desired chemical composition of the white cast iron.

## **2. DATA COLLECTION OF FOUNDRY**

Data for training and testing of the developed ANN model was collected in foundry, from real production conditions. Central objects in this process are spectrometer (used for chemical analysis) and 8 t capacity induction furnace, i.e. the network frequency induction furnace which operates at a frequency of 50Hz. Melting of white cast iron in the furnace is carried out at a temperature of 1500°C (Figure 1). The furnace is not fully emptied after melting – about 2.5 tons of white cast iron of unknown chemical composition is left inside (based on chemical analysis during the melting process). About 5 tons of steel scrap of particular chemical composition is subsequently added into the furnace, and chemical analysis using spectrometer METALLAB 75/80 (GNR–Italy) is done in the following stage. If the desired chemical composition has not been achieved, particular alloys are added into the furnace, which is followed by another chemical analysis.



Figure 1. *Pouring liquid iron from the furnace to transport pot*

The total number of measurements is 120. Results are sorted into four groups, taking into consideration the stages of the process of obtaining a white cast iron. The first group includes chemical composition of 2.5 tons of cast iron left in the furnace after melting. The second group involves chemical composition of five tons of steel scrap that is added to the furnace anew. The third group represents the weight of pure metal that is added within the alloying process. Finally, the fourth group is the final chemical composition of the iron after alloying. Figures 2, 3, 4 and 5 shows a graphic overview the data collected in the foundry.



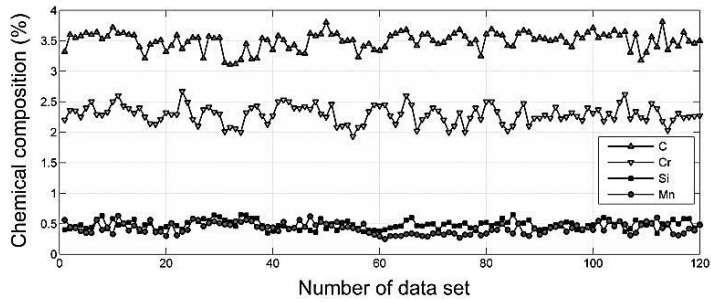


Figure 2. Chemical composition (C, Cr, Si, Mn) of 2.5t of cast iron in the furnace

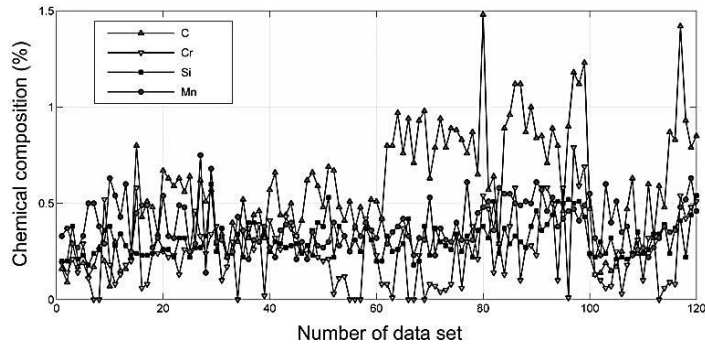


Figure 3. Chemical composition (C, Cr, Si, Mn) of 5 tons of steel scrap

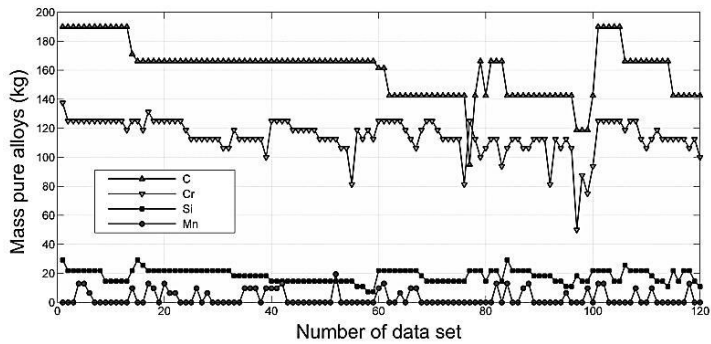


Figure 4. Pure alloying elements mass (C, Cr, Si, Mn)

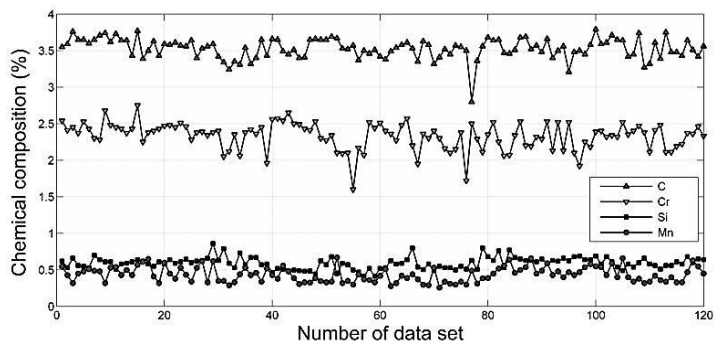


Figure 5. The final chemical composition after alloying

### 3. MANAGING THE ALLOYING PROCESS

In this chapter the non-linear correlation which enables the management of alloying in the white cast iron production has been established using neural networks and on the basis of data collected in the second chapter. As inputs in the neural network we used the following data sets: chemical composition of 2.5t of cast iron in the furnace, chemical composition of 5 tons of steel scrap, final chemical composition after alloying. The exit of the neural networks is the quantity of pure metal used within the process of alloying in order to obtain final chemical composition of white cast iron. Thus the setting of the desired final chemical composition of the white cast iron, with knowledge of the chemical composition in 2.5t of cast iron in the furnace and knowledge of the chemical composition in 5 tons of steel scrap, it is possible to get the parameters for the quantity of pure metal needed in the phase of alloying so that the desired chemical composition of white cast iron could be obtained.

#### 3.1 Back propagation neural network

Feedforward, backpropagation architecture is the most applicable type of neural network. It is used for many different types of applications. Their advantage is in solving ill-defined non-linear problems. A typical back propagation network has an input, an output and at least one hidden layer. Theoretically there is no limit to the number of hidden layers, but it is common to have one or two. During the learning process is used the data set for training  $T = (t_1, t_2, \dots, t_n)$ , where  $n$  is the total number of elements. Each element of this set is defined by the input vector  $x^{(k)} = [x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \dots, x_n^{(k)}]^T$  and a vector of desired output  $p^{(k)} = [p_1^{(k)}, p_2^{(k)}, \dots, p_n^{(k)}]^T$ . Learning objective is to determine the parameters of the network (weight of the connection  $i$  bias), such that the actual output  $y^{(k)} = [y_1^{(k)}, y_2^{(k)}, \dots, y_n^{(k)}]^T$  is equal to the desired output  $p^{(k)} = [p_1^{(k)}, p_2^{(k)}, \dots, p_n^{(k)}]^T$ . Each of the input elements  $x_1, x_2, \dots, x_n$  is multiplied with the corresponding weight of the connection  $\omega_{i,1}, \omega_{i,2}, \dots, \omega_{i,n}$ . The neuron sums these values and adds a bias  $b_i$  (lacking in some of the networks). The argument of the function (called transfer function) is stated in the following:

$$a_{i(l)} = x_{1(l-1)}\omega_{i,1(l)} + x_{2(l-1)}\omega_{i,2(l)} + \dots + x_{r(l-1)}\omega_{i,r(l)} + b_{i(l)} \quad (1)$$

while neuron (in the  $l$ -th layer) produces output:

$$y_{i(l)} = f(a_{i(l)}) = f(\sum_{j=1}^r x_{j(l-1)}\omega_{i,r(l)} + b_{i(l)}) \quad (2)$$

This output (in the  $l$ -th layer) illustrates an input to the neurons of another layer. The principal aim is to reduce to a minimum the performance function, in this case mean squared error (mse) function, which can be calculated as:

$$mse = \frac{1}{Q} \sum_{k=1}^Q e(k)^2 = \frac{1}{Q} \sum_{k=1}^Q (p(k) - y(k))^2 \quad (3)$$

where:  $Q$  – is a number of experiments,  $e(k)$  – error,  $p(k)$  – target values,  $y(k)$  – predicted values. The training algorithm used in all cases is Levenberg-Marquardt algorithm which ensures the fast and stable convergence [6]. The neurons in input and hidden layers of ANNs have sigmoid transfer function, while the neurons of the output layer have linear transfer function. For the modelling of this process a great number of different architectures with one or two hidden layers as well as a great number of the

neurons within the hidden layers have been created. ANN 12-16-12-4 networks has proved to be the most efficient model and its scheme has been given in the picture 6.

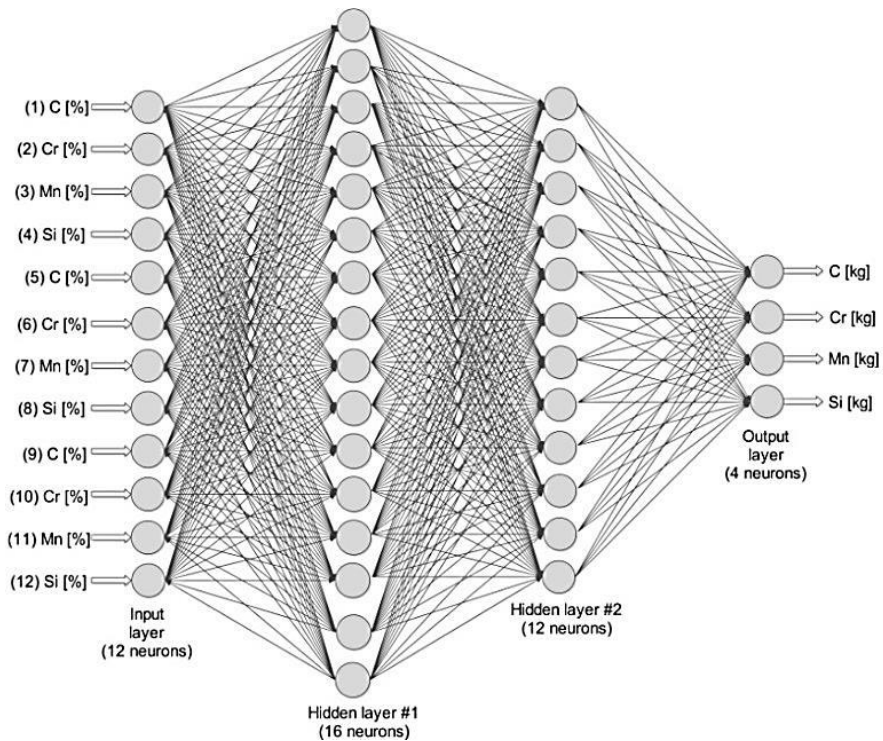


Figure 6. ANN architecture for prediction of the quantity of alloying elements

For building and testing of ANN models a set of 120 data has been used. Data are divided into three groups, training, validation and testing, in the following ratio 70%: 15%: 15%. The training sample (84 measurements) was presented to the network during training, and the network was adjusted according to its error. The validation sample (18 measurements) was used to measure network generalisation, and to halt training when generalisation stopped improving. Finally, the testing sample (18 measurements) had no effect on training and so provided an independent measure of network performance during and after training.

### 3.2 Results and discussion

Of the several designed ANN model chosen this one is with the best characteristics. As a measure of validity the maximum and mean error have been used in the testing phase. As already it has already been pointed out at the beginning of this chapter, the ANN 12-16-12-4 according to these criteria showed the best performance. The results of its test are given in Table 1.

Table 1. Maximum and mean error 12-16-12-4 ANN

	C [%]	Si [%]	Cr [%]	Mn [%]
Max. error	6.36	9.52	7.40	14.51
Mean error	2.09	3.40	2.24	10.34

The results of the testing have shown that ANN 12-16-12-4 can be successfully applied for the defining of the needed quantity of pure metal in the alloying phase in order to get the desired chemical compound of the white cast iron. The values of error (mean and maximal) for three elements (C [kg], Si [kg], Cr [kg]) are quite acceptable. When the fourth exit variable, mangan (Mn [kg]), is concerned the results are less favorable. What should be taken into account is that mangan has not been included in the great part of the alloying process, which can be seen in Picture 4. The comparison of measurements and the results obtained by the network simulation in the phase of testing has been presented in Figure 7.

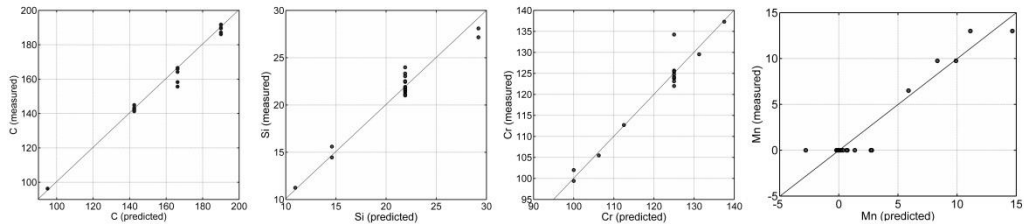


Figure 7. Comparison of the results obtained by measuring and simulating networks

#### 4. CONCLUSION

Obtaining the desired chemical compound of the melted iron in the melting process is a significant part of process, which can further affect the quality of casting parts. This paper presents the advancement of the production of white cast iron related to the obtaining the desired chemical compound using neural networks. The created ANN 12–16–12–4 is capable of establishing the correlation between the input and exit variables. On the basis of the correlation established, the network is able to predict the required amount of pure metal in the alloying phase. This way it makes the melting process more efficient and it enables managing the alloying without time consumption on the chemical analysis.

#### REFERENCES

- [1] ASM Handbook Committee: ASM Metals HandBook. ASM International, 2002.
- [2] Gandhewar, R. V., Bansod, V. S., Borade, B. A. (2011). Induction Furnace - A Review. *International Journal of Engineering and Technology*, vol. 3(4), p. 277-284.
- [3] Bouhouche, S., Lahreche, M. (2004). Modeling of ladle metallurgical treatment using neural networks. *The Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 29, p. 65-81.
- [4] Thomas, P., Bloch, G., Sirou, F., Eustache, V. (1999). Neural modeling of an induction furnace using robust learning criteria. *Integrated Computer-Aided Engineering*, vol. 6(1), p. 15-25.
- [5] Kumar, P., Singh, R. (2012). Neural networks and regression modeling of eco-friendly melting furnace parameters using bio-fuels. *International Journal of Computer Applications*, vol. 43(1), p. 10-15.
- [6] Hagan, T. M., Menhaj, M. (1994). Training feed-forward networks with the Marquardt algorithm. *IEEE Transactions on Neural Networks*, vol. 5, p. 989-993.
- [7] Campbell, J. (2011). Complete Casting Handbook, 1st Edition Metal Casting Processes, Techniques and Design. Published by Elsevier Ltd.



## SOME OPPORTUNITIES OF NANOTECHNOLOGICAL MATERIALS IN MECHANICS

Svetlana Pelemiš<sup>1</sup>, Dragoljub Mirjanić<sup>2</sup>, Igor Hut<sup>3</sup>

*Abstract: Nanotechnological materials, as a basis of clean technologies, offer new possibilities for economic development and investments. The transcendent technologies include nanotechnology, microelectronics, information technology and biotechnology as well as the enabling and supporting civil infrastructure systems and materials. Mechanics is an essential element in all of the transcendent technologies. Applications, functional behaviour, and manufacturing issues are reviewed with respect to state-of-the-art and emerging products fabricated using high precision technologies. Some of research opportunities, education and challenges in mechanics, as well as improved engineering and design of materials are analyzed in this paper.*

Key words: nanotechnological materials, mechanic, technology

### 1. INTRODUCTION

Nanotechnology is the creation of new materials, devices and systems at the molecular level—phenomena associated with atomic and molecular interactions strongly influence macroscopic material properties. There are three transcendental technologies:

- Microelectronics — Moore's Law: doubling the capabilities every two years for the last 30 years; unlimited scalability; nanotechnology is essential to continue the miniaturization process and efficiency.
- Information Technology (IT)—NSF and DARPA started the Internet revolution about three decades ago; the confluence of computing and communications.
- Biotechnology — unlocking the molecular secrets of life with advanced computational tools as well as advances in biological engineering, biology, chemistry, physics, and engineering including mechanics and materials. Bio sensing, drug delivery systems, efficient molecular dynamics, modeling and simulation are some of the challenging areas. Efficient civil and mechanical infrastructure systems as well as high performance materials are essential for these technologies [1].

---

<sup>1</sup> Ass. Prof. Svetlana Pelemiš, Faculty of Tehnology Zvornik, UES, alannica@gmail.com

<sup>2</sup> Full Prof. Dragoljub Mirjanić, Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, mirjanicd@gmail.com

<sup>3</sup> Ass. Igor Hut, Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade, igorhut@gmail.com

Recent developments in science have advanced capabilities to fabricate and control material systems on the scale of nanometers, bringing problems of material behavior on the nanometer scale into the domain of engineering. Immediate applications of nanostructures and nanodevices include quantum electronic devices, bio-surgical instruments, microelectrical sensors, functionally graded materials, and many others with great promise for commercialization. The branch of mechanics research in this emerging field can be termed nano-and micromechanics of materials, highly cross-disciplinary in character. A subset of these, which is both scientifically rich and technologically significant, has mechanics of solids as a distinct and unifying theme [1].

Such a commitment to nano-and micro-mechanics will lead to a strong foundation of understanding and confidence underlying this technology based on capabilities in modeling and experiment embodying a high degree of rigor. The instruments and techniques available for experimental micro-and nano-mechanics are depicted in Fig. 1.

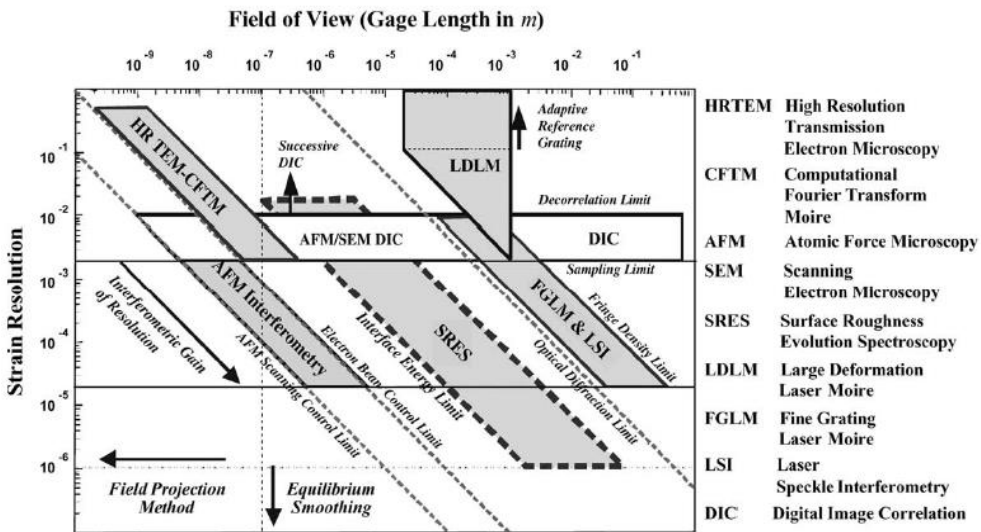


Figure 1. Instruments and techniques for experimental micro and nano mechanics

## 2. NANOSCALE

This NSE (Nanoscale science and engineering initiatives) initiative focuses on seven high risk/high reward research areas, where special opportunities exist for fundamental studies in synthesis, processing, and utilization of NSE. The seven areas are [3]:

- Biosystems at the nanoscale
- Nanoscale structures, novel phenomena, and quantum control
- Device and system architecture
- Nanoscale processes in the environment
- Multi-scale, multi-phenomena theory, modeling and simulation at the nanoscale
- Manufacturing processes at the nanoscale
- Societal and educational implications of scientific and technological advances on the nanoscale.

Multifunctional and smart polymer nanocomposites, multilayer structures, porous structures, metal alloy, ceramics, intermetallics, nanostructured surfaces, coatings and paints for energy generation, harvesting, storage and distribution/management needs should be developed (high barrier properties for energy cell, enhanced gas absorption and trapping, efficient energy transmission, magnetic storage, catalytic structures and coatings, power electronics).

Nanocomposites, nano-enabled thin glasses, metal-foams sandwich panels, ceramic structures, nanoporous structures, coatings, structured surfaces and functional fluids are tuned for transportation.

It is expected that integration of nanoparticles and nanostructures in building materials and components to improve their aesthetic (color), optical (near infra red reflection; overall energy efficiency), mechanical, durability (self-healing), safety (safe resistance, catalytic/anti-microbial activity) properties; new nanoporous structures for pollution trapping, new coatings, integrations of sensors and active components; new nano-enabled treatments for increasing the re-use of waste in composites for construction and buildings.

Nano-particles and structures, polymer nanocomposites, multilayer laminates, surface treatments are usable for smart packaging in different sectors (e.g. improved barrier properties, lightweight, recyclability, biodegradability, efficient catalysts) and encapsulation e.g. in medicine and food & beverage industry.

Nanoporous materials are a special class of nanomaterials of which the key property of interest is their porosity at nanoscale. Nanoporous materials-based products are used in critical cleantech applications, such as energy efficiency (such as building insulation), water treatment, energy storage (battery electrode materials, supercapacitors) and energy generation. That innovative material can enable economically viable solutions to critical global issues related to energy and the environment.[4-5]

Multifunctional materials are typically a composite or hybrid of several distinct material phases in which each phase performs a different but necessary function such as structure, packaging, transport, logic, and energy storage. The state of the art of production of multilayer nano-enabled materials regards different technologies like extrusion and adhesive lamination, co-extrusion, physical and chemical thin layers deposition techniques, vacuum deposition processes.

The next generation of opto/electronics devices, sensors, micro and nanosystems is going towards a higher level of miniaturization and lower power consumption for their integration in new emerging systems such as wireless systems. New strategies are required in the developments of these components for their deployment [6,7]. The future challenges are the integration in combining different nanomaterials together across length scales and into nanosystems to achieve novel properties and performance. Nanotechnologies combined with printed electronics in its large definition have been identified as key enabling technologies for the deployment of ICT solution and functional packaging.

The development of precision and large scale manufacturing processes by encompassing a wider range of innovative materials and geometric shapes, satisfying functional and technical requirements, allowing the emerging of new microproducts in many technological fields is a key aspect of 3D structures. Technologies like nano-imprint, printing, laser, plasma, self assembly combined with nanoimprinting will be further developed and optimized through [8-10].

More and more emerging new micro- and nano-products such as microfluidics, nanofluidics, plasmonic lenses, nanogratings etc., are designed to incorporate complex 3D shapes or structured surfaces. Although some process optimization approach has

been developed for machining micro-products, costly trial-and-error approach is still commonly used to select tool path and manufacturing parameters for machining nanoproducts [11-14].

### 3. MICROFABRICATION TECHNIQS

Microfabrication is the term used to describe processes of fabricating nano/micrometer scale structures. Traditionally, microfabrication specifically meant fabrication of semiconductor integrated circuits (ICs). It may also be regarded as fabrication processes that involve lithography as the key technology. Now that the world of nano/micro devices has expanded from electrical circuits to include mechanical, optical, chemical, and even biological materials, microfabrication is more widely used for fabrication of any type of nano/microscale functional elements. In this chapter, we first describe basics of conventional silicon microfabrication, followed by fundamentals of silicon-based MEMS. The discussion is then extended to nano/microfabrication of “soft” materials such as polymers, biomolecules, and functional nanomaterials [15].

1. Lithography
  - UV-photolithography (contact and proximity exposure, projection exposure)
  - E-beam lithography
  - Film deposition
2. Spin coating
  - Thermal oxidation
  - PVD (evaporation, sputter)
  - CVD (LPCVD, PECVD)-
  - Electroplating
3. Etching
  - Wet etching (isotropic etching, anisotropic etching)
  - Dry etching (plasma etching, RIE, DRIE)
4. Doping
  - Ion implantation
  - Thermal diffusion

### 4. MACHINING

For the ultraprecision manufacturing of complex surfaces and microstructures diamond turning and fly-cutting are commonly employed. A lot of processes are particularly relevant for the manufacture of ultra-precise microstructures: diamond turning, diamond milling, contour boring, micro grinding and ultrasonic assisted processes such as diamond cutting as well as ultrasonic lapping. However, for certain tasks these processes have geometric and kinematic limitations. Diamond contour boring and ball-end milling extend the types of surfaces which can be generated to almost arbitrarily shaped mirror arrays and profiles with high aspect ratio, being suitable machining methods for the fabricating of microstructures. Through *in situ* studies, it is possible to obtain a detailed atomic-scale description of the nanostructures and the sites where the catalysis takes place, i.e., the active sites under reaction conditions. *In situ* methods have been successfully applied to elucidate the properties of a large number of heterogeneous catalysts, recently with the development of a novel high resolution Transmission. For many industries the above requirements, coupled with the advent of new advanced materials, including glasses



and ceramics, is leading to the capabilities of conventional machining methods and machine tools being eclipsed by new processes and machine systems currently at the research stage[10-14].

## 5. NANOMANIPULATION

Since the invention of scanning tunneling microscopy (STM) and atomic force microscopy (AFM) nearly two decades ago, these instruments have been used to fabricate surface structures ranging from -100 nm down to atomic dimensions. Examples of atomic and molecular manipulation include the positioning of individual atoms on a surface using low temperature STM, as well as the removal/deposition of atoms at room temperature due to electric field or mechanical processes [14].

## 6. CONCLUSION

Many emerging products are based on achieving these small scales, as is the case in precision engineering, microengineering, and nanotechnology. Ultraprecision processes are already extensively applied in manufacturing industry, for example, in manufacturing of car and aircraft engines by improving their performance and in manufacturing of optical parts, such as lenses and mirrors, by obtaining high quality surfaces, replacing, therefore, "traditional" manufacturing methods. Nanotechnology and the tendency to miniaturization in the manufacturing industry are familiar to most people employed in the microelectronics and computer industry.

## REFERENCES

- [1] Ken P. Chong (2004). Nanoscience and engineering in mechanics and materials, *Journal of Physics and Chemistry of Solids* 65 p.1501–1506.
- [2] Ken P. Chong (2008). Nano science and engineering in solidmechanics, *Acta Mechanica Solida Sinica*, Vol. 20, No. 2.
- [3] NSF, Nanoscale Science and Engineering (2003). NSF 03-043, *National Science Foundation*, Arlington, VA
- [4] Lumban Gaol, F. Webb, J. (Eds.) (2013). Recent Trends in Nanotechnology and Materials Science, Selected Review Papers from the 2013, *International Conference on Manufacturing, Optimization, Industrial and Material Engineering* (MOIME 20132014, X, 103 p. 66 illus, 7 illus. in color, Hardcover, ISBN: 978-3-319-04515-3.
- [5] D. Mirjanić (2013). Renewable energy sources as a basis for sustainable energy, *3<sup>rd</sup> Danube Academies Conference „The Voice of Sciences“*, European Academy of Sciences and Arts, p. 68-77.
- [6] B. Chu, E. Singh, N. Koratkar, J. Samuel (2013). *Graphene-Enhanced Environmentally-Benign Cutting Fluids for High-Performance Micro-Machining Applications*, *J. Nanosci. Nanotechnol.* 13, p. 5500-5504.
- [7] D. Young, J. Ma, M. Peng, Q. Zhang, Y. Lou, W. Hui, T. Jin and Y. Cui (2013). *Building NanoSPR Biosensor Systems Based on Gold Magnetic Nanoparticles*, *J. Nanosci. Nanotechnol.* 13, p. 5485-5492.
- [8] F. Pacheco-Torgal, M. V. Diamanti, A. Nazari, C. Goran-Granqvist (2013). *Nanotechnology in Eco-Efficient Construction*, ISBN: 978-0-85709-544-2
- [9] T. M. Pavlović, D. D. Milosavljević, D. Lj. Mirjanić (2013). *Obnovljivi izvori energije*, [Renewable energy sources] ANURS

- [10] L. De Chiffrel, H. Kunzmann, G.N. Peggs, D. A. Lucca, *Surfaces in Precision Engineering, Microengineering and Nanotechnology*, CIRP Annals - Manufacturing Technology 01/2003; DOI: 10.1016/S0007-8506(07)60204-2
- [11] Komvopoulos, K. (1996). Surface engineering and microtribology for microelectromechanical systems, *Wear*, V01.200, 305-327.
- [12] Kazemo, B. (2002), Biological surface science, *Surface Science*, Vol. 500, 656-677.
- [13] Maboudian, R., Ashurst, W. R., Carraro, C. (2002). Tri biological Challenges in Micromechanical Systems V01.12, Issue 2, 95-100.
- [14] D.Lj. Mirjanić, S.S. Pelemiš, Nanotechnological materials in mechanics, 14<sup>th</sup> *International Conference "Research and Development in Mechanical Industry"*, RaDMI-2014., p. 277-283
- [15] Madou MJ. (2002). *Fundamentals of microfabrication: the science of miniaturization*. Boca Raton: CRC Press



## MORFOLOGIJA MIKROSTRUKTURE ČELIKA C45E PRI SABIJANJU

Milija Kraišnik<sup>1</sup>, Dragiša Vilotić<sup>2</sup>, Lepasava Šiđanin<sup>3</sup>,  
Žarko Petrović<sup>4</sup>, Milan Šljivić<sup>5</sup>, Milentije Stefanović<sup>6</sup>

*Rezime: Za adekvatan izbor materijala i racionalno projektovanje tehnološkog postupka deformisanja neophodno je potpuno razumijevanje svih faktora i mehanizama koji utiču na razvoj i akumulaciju kritičnog nivoa oštećenja mikrostrukture. Prvi korak u istraživanju odnosi se na karakterizaciju morfologije mikrokonstituenta materijala u toku obrade. U radu je izvršena kvalitativno-kvantitativna analiza morfoloških promjena ferita i kolonija perlita u mikrostrukтури čelika C45E pri sabijanju cilindričnog uzorka ravnim pločama. Stepenn relativne mikrodeformacije feritnih zrna određen je direktnim mjerenjima, a za utvrđivanje sposobnosti deformisanja kolonija perlita predložen je indirektnan način. Prilaz je zasnovan na praćenju promjena površinskog udjela kolonija perlita u odnosu na površinski udio feritne osnove tokom sabijanja. Rezultati SEM ispitivanja su pokazali da se feritna zrna i kolonije perlita neravnomjerno deformišu.*

*Ključne riječi: morfološke promjene, mikrostruktura, ferit, perlit, sabijanje, čelik*

### MORPHOLOGY OF STEEL C45E MICROSTRUCTURE DURING UPSETTING

*Abstract: Entirely understanding of all factors and mechanisms which influence on nucleation and accumulation of ultimate level of material failure, is necessary for adequate choice of material and rational projecting of metal forming technological procedure. The first step in research refers to the morphology characterization of material microconstituents during processing. Present paper contains qualitative-quantitative analysis of morphology changes of ferrite and colonies of perlite in the steel C45E microstructure, during upsetting of cylindrical specimen with flat dies. Relative microforming level of ferrite grains was determined based on direct measurements, while indirect way has been suggested for determination of perlite colonies forming ability. The approach is based on monitoring of area fraction changes of perlite colonies in relation to area fraction of ferrite basis during upsetting process. The results of SEM testing shown that ferrite grains and perlite colonies are formed unequally.*

*Key words: morphology changes, microstructure, ferrite, perlite, upsetting, steel*

<sup>1</sup>Dr Milija Kraišnik, docent, UIS, Mašinski fakultet Istočno Sarajevo, milijakraisnik@yahoo.com

<sup>2</sup>Dr Dragiša Vilotić, redovni profesor, UNS, Fakultet tehničkih nauka Novi Sada, vilotic@uns.ac.rs

<sup>3</sup>Dr Lepasava Šiđanin, profesor emeritus, UNS, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, lepas@uns.ac.rs

<sup>4</sup>Dr Žarko Petrović, vanredni profesor, UIS, Mašinski fakultet Istočno Sarajevo, zpetrovic@bata.gov.ba

<sup>5</sup>Dr Milan Šljivić, redovni profesor, UBL, Mašinski fakultet Banja Luka, milan.sljivic@unibl.rs

<sup>6</sup>Dr Milentije Stefanović, redovni profesor, UKG, Fakultet inženjerskih nauka Kragujevac, stefan@kg.ac.rs

## **1. UVOD**

Obrada metala plastičnim deformisanjem je visoko produktivna tehnologija u koju je integrisan veći broj metoda za proizvodnju komponenti širokog spektra primjene. Međutim, obrada metala plastičnim deformisanjem se može definisati i kao proces kontrolisane promjene dimenzija i oblika obratka, koji se odvija uz neprekidnu promjenu naponsko-deformacionog stanja i uslova obrade. U takvim okolnostima neizbježno dolazi do morfoloških promjena i fizičkog oštećenja mikrokonstituenata materijala. To je progresivan i skoro uvijek nepoželjan proces praćen kontinuiranim dejstvom različitih mehanizama nukleacije, rasta i koalescencije mikrošupljina, što ima kumulativno dejstvo na smanjenje deformabilnosti materijala [1].

Fenomenologija oštećenja materijala u procesima plastičnog deformisanja bila je predmet mnogih istraživanja. Pri tome su se koristili različiti teorijsko-eksperimentalni prilazi, ali njihovu zajedničku karakteristiku predstavlja priznato mišljenje da se mikrošupljine generišu u početnom stadijumu deformisanja, mnogo ranije od pojave makroskopskih oštećenja materijala [2-9].

U studijama Avramović-Cingara i sar. [10-11] saopštene su tri važne činjenice vezane za uticaj morfologije i zapreminskog udjela mikrokonstituenata na mehaničke osobine i deformabilnost čelika: povećanje zapreminskog udjela sekundarnih faza snažno utiče na smanjenje zateznih svojstava, pri konstantnom zapreminskom udjelu, ravnomjerna distribucija mikrostrukture omogućava bolju kombinaciju mehaničkih osobina i plastičnosti, morfologija i orijentacija sekundarnih čestica, posebno tvrdih karbida ima važnu ulogu na intenzitet akumulacije kritičnog nivoa oštećenja mikrostrukture čelika.

Ishiguro i sar. [12] su takođe saopštili da zapreminski udio pojedinih mikrokonstituenata dominantno utiče na intenzitet nukleacije i rasta mikrošupljina.

Na osnovu analize dostupnih literaturnih resursa, može se uočiti da je većina dosadašnjeg istraživačkog rada fokusirana na karakterizaciju morfoloških promjena i kvantifikaciju mikrostrukturnih oštećenja u procesima deformisanja sa dominantnim dejstvom zateznih komponenti napona. Međutim, publikovan je i manji broj radova, (npr. Baloš i Šiđanin [13]) u kojima se navedena problematika istraživanja odnosi na procese sabijanja. Ipak, generalno se može konstatovati da su dosadašnji rezultati nedovoljni za potpuno razumijevanje ponašanja mikrokonstituenata materijala pod dejstvom pritisnih napona. Prethodna procjena predstavljala je osnovni motivacion faktor da se istraživanja u ovom radu realizuju na modelu sabijanja cilindra.

Osnovni cilj rada predstavlja pokušaj kvalitativno–kvantitativne karakterizacije morfoloških promjena feritno-perlitne mikrostrukture u procesu sabijanja cilindričnog uzorka od čelika. Posebni naponi su učinjeni pri definisanju prilaza za određivanje morfoloških promjena kolonija perlita, zbog činjenice da različita orijentacija lamela cementita može značajno uticati na rezultate istraživanja.

## **2. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA**

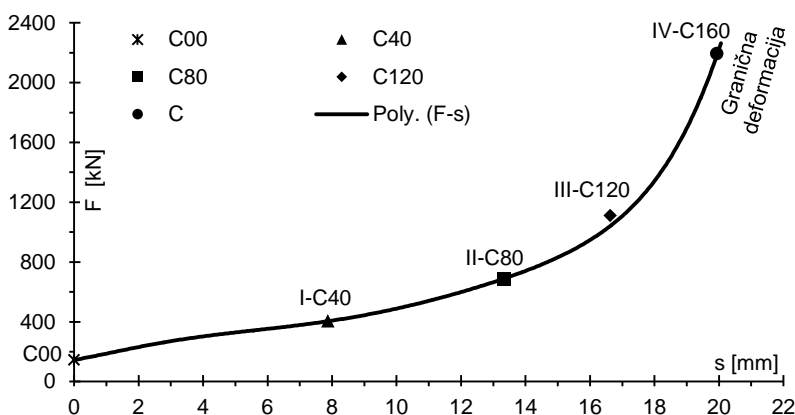
Za eksperimentalna istraživanja korišćeni su cilindrični uzorci polaznih dimenzija Ø25x20 mm. Uzorci su izrađeni od čelika C45E u normalizovanom stanju (SRPS EN 10027-1). Materijal pripada grupi srednjeugljeničnih čelika, koji je namjenjen za termičku obradu poboljšanjem (SRPS EN 10083-2). Međutim, visoke vrijednosti mehaničkih karakteristika čelika C45E mogu se dobiti i postupcima hladnog plastičnog deformisanja, čime se omogućava široka primjena u mašinskoj industriji.

Ispitivanje hemijskog sastava čelika C45E izvršeno je u Metalurško-hemijskoj laboratoriji Livnice Kikinda na optičko emisionom spektrometru ARL-2460 (tabela 1.).

Tabela 1. Hemijski sastav čelika C45E

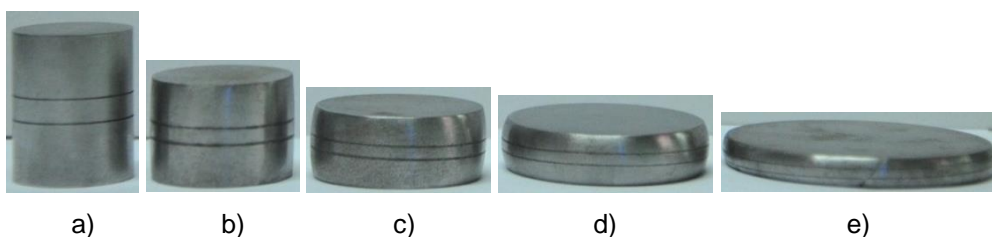
Hemijski element	C	Si	Mn	S	Cr	P	Cu	Ni	Mo	V	Al	Sn
Maseni udio [%]	0,46	0,23	0,668	0,026	0,121	0,021	0,17	0,054	0,011	0,006	0,018	0,005

Sabijanje uzoraka je realizovano na presi trostrukog dejstva „Sack & Kieselbach“ nominalne sile 6,3 MN. Presa je instalisana u Laboratoriji za deformisanje – Departman za proizvodno mašinstvo, FTN Novi Sad. Uzorci su sabijeni ravnim pločama sa različitim stepenima deformacije visine (npr. I-C40 →  $\varphi_h \approx 0,4$ ). Posljednja serija sabijanja izvršena je do nivoa koji definiše graničnu deformabilnost. Na slici 1 prikazana je promjena deformacione sile u zavisnosti od hoda alata  $F=f(s)$ , što predstavlja šematski plan sabijanja uzoraka za ispitivanje morfoloških promjena mikrokonstituenata čelika C45E.



Slika 1. Šema sabijanja cilindričnih uzoraka ravnim pločama za SEM ispitivanja

Izgled uzoraka poslije sabijanja prikazan je na slici 3.

Slika 2. Cilindrični uzorci: a) C00 -  $\varphi_{h0}=0$ , b) C40-  $\varphi_{h1}=0,38$ , c) C80 -  $\varphi_{h2}=0,75$ , d) C120 -  $\varphi_{h3}=1,10$  i e) C160 -  $\varphi_{h4}=1,59$  (granična deformacija)

Prije ispitivanja mikrostrukture na Struers-ovim uređajima izvršena je konvencionalna priprema metalografskih uzoraka, koja se sastojala od isjecanja, zatapanja, višestepenog brušenja i poliranja i nagrizanja. Nagrizanje je izvršeno u rastvoru 2 % nitala. Za karakterizaciju morfoloških promjena mikrostrukture čelika C45E primjenjena su ispitivanja svjetlosnim (SM) i skening elektronskim mikroskopom (SEM). Ispitivanja su realizovana na nedeformisanom uzorku i na uzorcima koji su sabijeni za različite stepene deformacije visine. Pri tome je korišćen računom

podržani Leitz "Ortoplan" svjetlosni mikroskop i skening elektronski mikroskop JOEL JSM-6460LV sa naponom od 20 kV i sa radnom udaljenošću sočiva objektiva WD 11 mm. U cilju eliminacije efekta nabijanja elektrona i dobijanja jasne slike sa izraženim detaljima, nagriženi uzorci su 90 sekundi neparavani zlatom u vakuum naparivaču BAL-TEC SCD 005.

Metalografska istraživanja su realizovana u Univerzitetskom centru za elektronsku mikroskopiju Novi Sad i Laboratoriji za ispitivanje materijala - Departman za proizvodno mašinstvo, FTN Novi Sad.

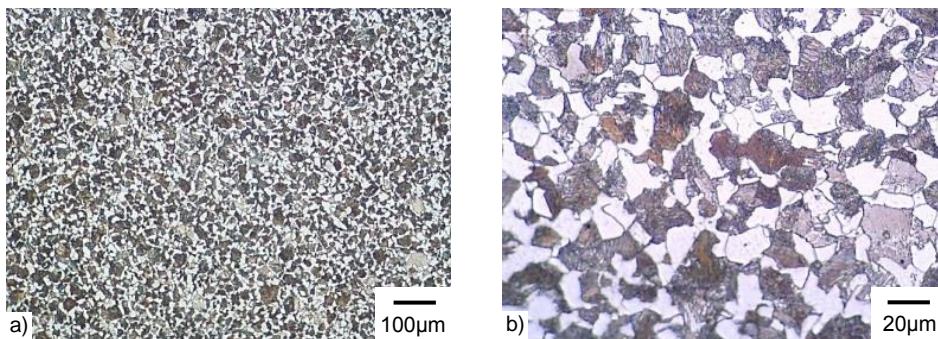
Obrada rezultata metalografskih ispitivanja izvršena je na računaru pomoću softvera JMicroVision v1.27. Softver je korišćen u svrhu utvrđivanja stepena relativne mikrodeformacije feritnih zrna za različite stepene deformacije uzorka (1D mjerenja) i površinskog udjela ferita, odnosno kolonija perlita (2D mjerenja).

### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

#### 3.1 Nedeformisana mikrostruktura

Ispitivanje svjetlosnim mikroskopom je pokazalo da je u čeliku prisutna veoma mala količina nemetalnih uključaka.

Rezultati ispitivanja nedeformisane mikrostrukture u poprečnom presjeku uzorka, dobijeni na SM-u prikazani su na slici 3a,b.

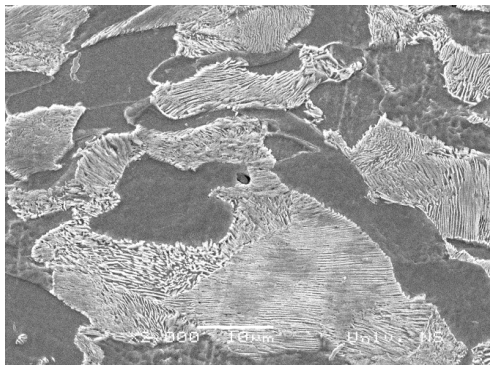


Slika 3.a,b Nedeformisana mikrostruktura čelika C45E (SM)

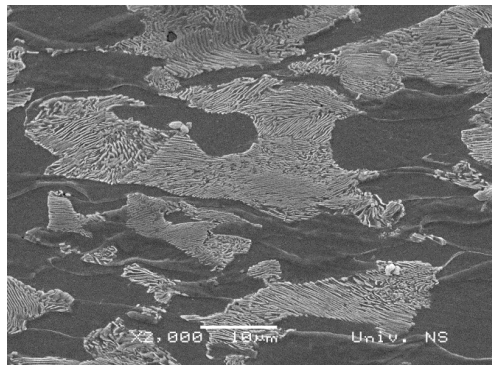
Mikrostruktura čelika C45E se sastoji od zrna ferita i kolonija lamelarnog perlita. Veličina feritnih zrna po ASTM standardu je 8, što odgovara srednjoj veličini od 22 µm, a kolonija perlita je 6 - srednja veličina je 44 µm. Površinski, odnosno zapreminski udio kolonija perlita je oko 60 %.

#### 3.2 Deformisana mikrostruktura

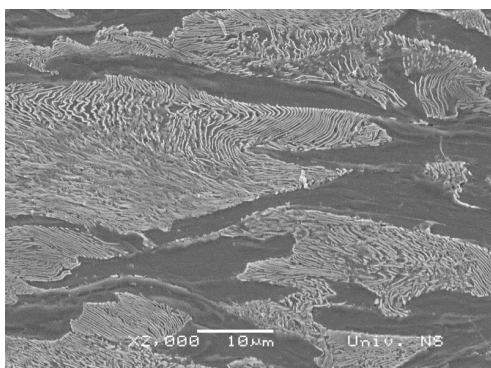
Morfologija mikrostrukture uzdužnog presjeka za različite stepene deformacije prikazana je na slici 4. Rezultati pokazuju da se u toku sabijanja postepeno formira vlaknasta mikrostruktura. Izduženje u radijalnom pravcu je uočljivo i pri manjim stepenima deformacije uzorka. Morfološke promjene mikrostrukture najizraženije su u završnoj fazi deformisanja kada stepen plastične deformacije dostiže graničnu vrijednost. Sa slike 4.d može se uočiti visok stepen deformisanja kristalnih zrna u radijalnom pravcu. Pravci tečenja i stepen relativne mikrodeformacije su posebno izraženi na feritnim zrnima. Pored toga, u deformisanim feritnim zrnima prisutne su i mikropukotine, naročito vidljive u zoni smicajne nestabilnosti (oznaka B).



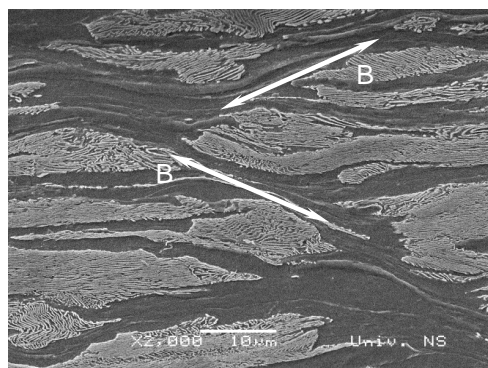
a) Uzorak C40 -  $\varphi_{h1} = 0,38$



b) Uzorak C80 -  $\varphi_{h2} = 0,75$



c) Uzorak C120 -  $\varphi_{h3} = 1,10$



d) Uzorak C159 -  $\varphi_{h4} = 1,59$

Slika 4. Mikrostruktura uzoraka za različite stepene deformacije (SEM x 2000)

### 3.3 Kvantifikacija mikrostrukturnih promjena

Rezultati metalografskih istraživanja pokazuju da se pri sabijanju cilindričnih uzoraka feritna zrna i kolonije perlita deformišu neravnomjerno. U cilju utvrđivanja stepena relativne mikrodeformacije ferita izvršena su kvantitativna mjerenja morfoloških promjena zrna ferita za pojedine stepene deformacije uzorka, saglasno šemi sabijanja prikazanoj na slici 1.

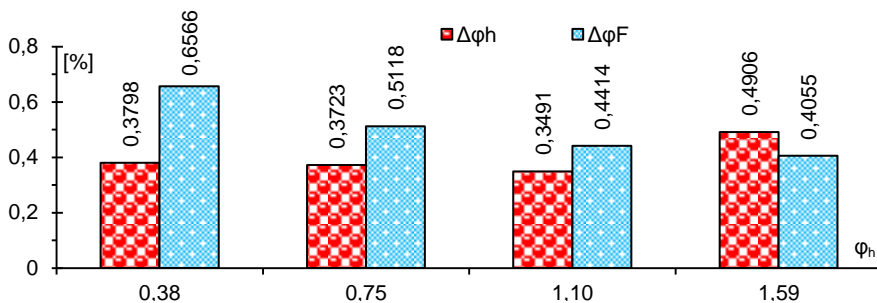
Na osnovu prosječnih vrijednosti promjena veličine feritnih zrna u pravcu ose sabijanja, definisan je kriterijum relativne mikrodeformacije, kao što slijedi:

$$\varphi_F = \ln \frac{h_{iF}}{h_{i-1F}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1)$$

gdje su:  $h_{iF}$  i  $h_{i-1F}$  - srednje vrijednosti feritnih zrna u pravcu ose sabijanja za i-ti, odnosno i-1 nivo stepena deformacije visine uzorka.

Jednačina (1) je omogućila određivanje priraštaja stepena relativne mikrodeformacije feritnih zrna ( $\Delta\varphi_F$ ) za pojedine stepene deformacije uzorka. Priraštaji stepena deformacije visine uzorka ( $\Delta\varphi_h$ ) su određeni u toku sabijanja, shodno planu prikazanom na slici 1. Komparacija rezultata data na slici 5.

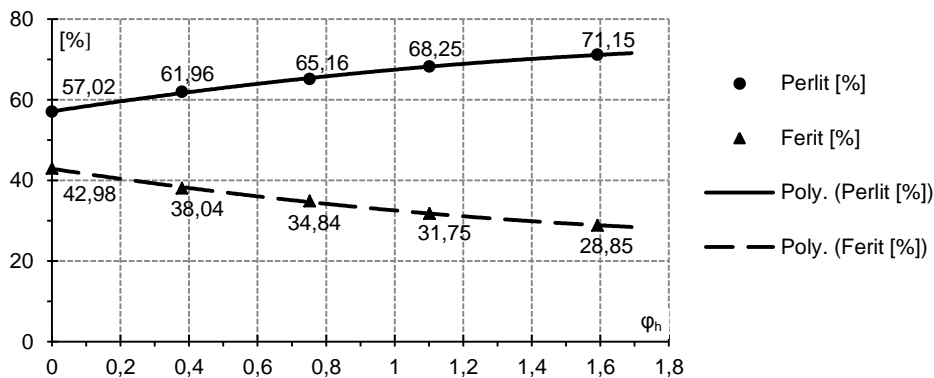




Slika 5. Komparacija priraštaja stepena deformacije visine uzorka i stepena relativne mikrodeformacije feritnih zrna

Direktno određivanje stepena relativne mikrodeformacije kolonija perlita je veoma otežano zbog snažnog uticaja orijentacije cementitnih lamela na mogućnost deformisanja. Zbog toga je u ovom radu primjenjen indirektni prilaz, zasnovan na određivanju promjena površinskog udjela kolonija perlita u odnosu na površinski udio feritne osnove u toku sabijanja.

Reprezentativni rezultati predstavljaju srednje vrijednosti površinskog udjela kolonija perlita po fazama sabijanja uzorka. Površinski udio ferita je određen pod pretpostavkom da u čeliku nema nemetalnih uključaka. Grafička interpretacija rezultata prikazana je na slici 6.



Slika 6. Promjena površinskog udjela ferita i kolonija perlita u mikrostrukturu čelika C45E pri sabijanju

Promjene površinskog udjela ferita i kolonija perlita u mikrostrukturi čelika C45E u zavisnosti od stepena deformacije cilindričnog uzorka analitički opisane su polinomom drugog reda:

- za ferit:  $F=2,61\phi_h^2-12,96\phi_h+42,87$ ,
- za kolonije perlita:  $P=-2,61\phi_h^2+12,96\phi_h+57,13$

pri čemu je ostvarena visoka vrijednost koeficijenta korelacije  $R^2= 99,88 \%$ .

### 3.4 Diskusija rezultata

Rezultati kvantifikacije morfoloških promjena pokazuju da deformisanje feritnih zrna u toku sabijanja cilindričnog uzorka, pri relativno ujednačenim priraštajem stepena deformacije visine uzorka, nije uniformno (slika 5.).



U početnoj fazi ostvaren je najveći stepen relativne mikrodeformacije ferita ( $\varphi_{F1}=0,6566$ ), što je za 72,88% veća vrijednost u odnosu na stepen deformacije uzorka ( $\varphi_{h1}=0,3798$ ). Sa povećanjem spoljašnjeg pritiskog opterećenja mogućnost plastičnog deformisanja ferita kontinuirano se smanjuju, da bi u završnoj fazi sabijanja priraštaj stepena relativne mikrodeformacije ferita ( $\Delta\varphi_{F4}=0,4055$ ) postao najniži, odnosno za 17,35% manji u odnosu na priraštaja stepena deformacije uzorka ( $\Delta\varphi_{h4}=0,4906$ ). Ovakav rezultat se i mogao očekivati uzimajući u obzir osobine ferita.

Kao što je već istaknuto, direktno određivanje stepena relativne mikrodeformacije kolonija perlita je veoma otežano. Naime, kolonije perlita pri identičnom stepenu deformacije uzorka, različito se ponašaju u zavisnosti od orijentacije cementitnih lamela. Ako se analiziraju dvije kolonije identičnih početni veličina, ostvareni stepen relativne mikrodeformacije u pravcu ose sabijanja će biti značajno veći kod kolonije sa pretežno paralelnom orijentacijom u odnosu na onu sa normalnom orijentacijom cementitnih lamela. Zbog toga je verifikacija različitih vrijednosti relativnih stepena mikrodeformacija ostvarenih na feritnim zrnima i kolonijama perlita izvršena indirektno.

Prikazani rezultati pokazuju povećanje površinskog udjela perlitnih kolonija sa povećanjem stepena deformacije uzorka. Međutim, priraštaji površinskog udjela kolonija perlita ( $\Delta P$ ) po pojedinim fazama sabijanja ( $\Delta\varphi_h$ ) su različiti i imaju trend opadanja. Objašnjenje ove pojave može se zasnivati na činjenici da u početku procesa sabijanja, kada je smanjen deformacioni otpor, dolazi do intenzivnog deformisanja meke feritne osnove. U takvim okolnostima deformisanje kolonija perlita nije ujednačeno i uglavnom se odvija na onim kolonijama kod kojih dominira paralelna orijentacija lamela cementita u odnosu na osu sabijanja. Pri tome kolonije perlita sa normalnom orijentacijom cementitnih lamela imaju veoma nizak stepen relativne mikrodeformacije. Sa povećanjem stepena deformacije, naponsko polje po granicama kolonija perlita se mijenja, uslovljavajući povećanje stepena relativne mikroplastične deformacije ferita u perlitu. To dalje izaziva koncentraciju napona na graničnim površinama cementitnih lamela. Kada koncentracija napona dostigne kritičnu vrijednost, dolazi do loma lamela cementita i povećanja stepena relativne mikrodeformacije kolonija perlita.

Na kraju je potrebno istaći da izloženi pristup pri analizi rezultata morfoloških promjena mikrokonstituenata ugljeničnih čelika sa perlitno-feritnom mikrostrukturom u dostupnoj literaturi nije pronađen. Međutim, relativno sličan pristup koristili su Baloš i Šiđanin [13], pri definisanju stepena mikrodeformacije mikrokonstituenata nodularnog liva.

#### 4. ZAKLJUČAK

Na osnovu eksperimentalnih istraživanja može se zaključiti sljedeće:

- Mikrostruktura čelika C45E u stanju isporuke je normalizovana i sastoji se od zrna ferita i kolonija lamelarnog perlita sa različitom orijentacijom cementitnih lamela u odnosu na osu sabijanja. Feritna zrna su relativno ravnomjerno raspoređena po granicama kolonija perlita. Takođe je uočeno i veoma malo prisustvo nemetalnih uključaka.
- U toku procesa sabijanja cilindričnog uzorka dolazi do postepenog formiranja vlaknaste mikrostrukture u radijalnom pravcu. Rezultati SEM ispitivanja su pokazali da se feritna zrna i kolonije perlita neravnomjerno deformišu.
- Deformisanje feritnih zrna pri relativno ujednačenom stepenu deformacije uzorka takođe nije ravnomjerno. Najveći stepen relativne mikrodeformacije ferita ( $\varphi_{F1}$ ) ostvaren je na početku procesa sabijanja i za 72,88% je veći od

stepena deformacije uzorka ( $\varphi_{h1}$ ). U toku daljeg deformisanja, stepen relativne mikrodeformacije ferita se smanjuje, da bi u završnoj fazi sabijanja postao za 17,35% manji od graničnog stepena deformacije uzorka.

- Utvrđivanje morfoloških promjena kolonija perlita direktnim određivanjem stepena relativne mikrodeformacije je otežano usljed različite orijentacije lamela cementita u odnosu na osu sabijanja. Zbog toga se u ovom radu predlaže indirektan način, zasnovan na praćenju promjena površinskog udjela kolonija perlita u odnosu na površinski udio feritne osnove.
- Rezultati kvantitativne analize ukazuju na povećanje prisustva kolonija perlita na ispitivanoj površini sa porastom stepena deformacije. Pri tome je ispoljen negativan trend priraštaja, što je posljedica smanjenja sposobnosti deformisanja kolonija perlita sa povećanjem stepena deformacije.

## LITERATURA

- [1] Kraišnik M. (2014). *Uticao naponsko-deformacionog stanja na razvoj oštećenja mikrostrukture i deformabilnost materijala pri hladnom zapreminskom deformisanju*, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet Istočno Sarajevo, UDK 620.17:[677.53.669.14(043.3)
- [2] Šiđanin L. (1984). *Morfologija i mehanizmi loma niskougljeničnog čelika*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
- [3] Barsoum I. (2008). *The effect of stress state in ductile failure*, Doctoral thesis, KTH Solid mechanics, Royal institute of technology, Stockholm, Sweden
- [4] Breuer D. (2007). *Bestimmung des Formänderungsvermögens bei der Kaltmassivumformung*, Dissertation, Institut Produktionstechnologie, Aachen, Germany
- [5] Klocke F., Timmer A., Bäcker V. (2011). *Crack prediction in cold forging operations through a phenomenological differentiation of crack types*, 12<sup>th</sup> International cold forging congress proceedings – ICFC, Stuttgart, Germany, pp. 65-72.
- [6] Pires F.M. A., Cèsar de Sá J.M.A., Costa Sousa L., N., Jorge R.M. (2003). *Numerical modelling of ductile plastic damage in bulk metal forming*, International journal of mechanical sciences 45, pp. 273–294.
- [7] Timer A., Klocke F., Bäcker M., Zimmermann M., Feldhaus B. (2011). *Holistic crack prediction in cold forging operations through a temporal and phenomenological distinguishing crack criterion*, Steel research international, sp. edition, pp. 929-934.
- [8] Колмогоров В. Л (1977). *Пластичность и разрушение*, Металлургия, Москва
- [9] Šiđanin L., Miyasato S. (1989). *Void nucleation and growth in dual phase steel wires*, Materials science and technology, Vol. 5, pp. 1200-1206.
- [10] Avramovic-Cingara G., Ososkov Y., Jain M.K, Wilkinson D.S. (2009).: *Effect of martensite distribution on damage behaviour in DP600 dual phase steels*, Materials science and engineering A 516, pp. 7–16.
- [11] Avramovic-Cingara G., Saleh Ch.A.R., Jain.M.K, Wilkinson D.S. (2009). *Void nucleation and growth in dual-phase steel 600 during uniaxial tensile testing*, Metallurgical and materials transactions A, Volume 40A, pp. 3117- 3127.
- [12] Ishiguro T., Hiramatsu S., Yoshida Y., Yukawa N., Ishikawa T., Yoshida H., Fujita N. (2011). *Effect of martensite volume fraction on ductility of dual phase steel*, Proceedings of the 10<sup>th</sup> International conference on technology of plasticity – ICTP, Aachen, Germany, pp. 957-961.
- [13] Baloš S., Šiđanin L. (2009). *Microdeformation of soft particles in metal matrix composites*, Journal of materials processing technology 209, pp. 482–487.

# COMET<sub>a</sub> 2014

2nd INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

2nd - 5th December 2014  
Jahorina, B&H, Republic of Srpska



University of East Sarajevo  
Faculty of Mechanical Engineering  
Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications

---

## ***ENERGY AND ENVIRONMENT***





## KRITERIJUMI ZA IZBOR OPTIMALNE OPCIJE RAZVOJA CENTRALIZOVANOG SISTEMA SNABDEVANJA TOPLOTNOM ENERGIJOM

Miodrag Grujić<sup>1</sup>, Dejan Ivezić<sup>2</sup>, Marija Živković<sup>3</sup>

*Rezime: Racionalno planiranje izgradnje novih izvora toplotne energije u centralizovanim sistemima snabdevanja, zahteva razmatranje različitih opcija - konvencionalnog korišćenja fosilnih goriva, upotrebe obnovljivih izvora energije ili njihovu kombinaciju. Metode višekriterijumske analize su uobičajen alat za izbor optimalne opcije. Ključni uticaj na izbor u takvim modelima izbora predstavljaju usvojeni kriterijumi. U radu je predloženo i analizirano 8 kriterijuma koji omogućavaju optimalni izbor toplotnih izvora, ključnog elementa ukupnog razvoja centralizovanog sistema snabdevanja toplotnom energijom. Kriterijumi su izabrani tako da razvoj centralizovanih sistema snabdevanja toplotom bude u saglasnosti sa principima održivog razvoja i obuhvataju ekonomsko-finansijsku, ekološku i sciološku komponentu. Diskutovan je i uticaj lokalnih uslova na izbor težinskih koeficijenata različitih kriterijuma. Na primeru Beograda je ukratko prikazan uticaj izabranih kriterijuma na predloženi razvoj centralizovanog sistema snabdevanja energijom.*

*Ključne riječi: toplotni izvor, kriterijumi za izbor*

### **CRITERIA FOR THE SELECTION OF OPTIMAL OPTION FOR CENTRALIZED HEAT SUPPLY SYSTEM DEVELOPMENT**

*Abstract: Rational planning of new heat sources in centralized heat supply systems requires consideration of different options – use of conventional fossil fuels, use of renewables, or their combination. Different methods of multi-criteria analysis are conventional tool for the selection of optimal option. Adopted criteria have the key influence to selection in those methods. In this paper, 8 criteria for selection of heat source (key element in centralized heat supply system development) are proposed and analysed. Criteria are selected to be in accordance with sustainable development principles, and include financial, environmental and social aspects. Influence of local conditions to weighting factors selection is discussed. For the example of Belgrade, impact of selected criteria to the proposed development of such system is presented.*

*Key words: heat source, criteria for selection*

<sup>1</sup> Dr Miodrag Grujić, Gradska uprava Grada Beograda, (miodrag.grujic@beograd.gov.rs)

<sup>2</sup> Prof. dr Dejan Ivezić, Univerzitet u Beogradu – Rudarsko-geološki fakultet, (ivezic@rgf.bg.ac.rs)

<sup>3</sup> Doc. dr Marija Živković, Univerzitet u Beogradu – Rudarsko-geološki fakultet, (zivkovic@rgf.bg.ac.rs)

## 1. UVOD

Višekriterijumska analiza ima značajno mesto u energetsom planiranju [1,2]. U cilju donošenja odluka vezanih za energetski razvoj, a koje bi bile u saglasju sa principima održivog razvoja, najčešće se postavljaju tehnički, ekonomski, ekološki i socijalni kriterijumi, čiji stepen ispunjenosti uslovljava i izbor razvojne opcije. Investicioni troškovi i emisija ugljendioksida predstavljaju dva najvažnija i najčešće korišćena kriterijuma, pored čitavog niza drugih: eksploatacioni troškovi, emisije štetnih materija, period otplate investicije, radni vek, pouzdanost, sigurnost, upošljavanje radne snage, socijalna prihvatljivost i benefiti, itd.

U ovom radu se razmatra problem planiranja izgradnje novih izvora toplotne energije u centralizovanim sistemima snabdevanja [3,4]. Uobičajeno se kao opcije razmatraju korišćenje fosilnih goriva, korišćenje obnovljivih izvora energije (OIE) i njihova kombinacija. Metode višekriterijumske analize su uobičajen alat za izbor optimalne opcije, a ključni uticaj na izbor u takvim modelima izbora predstavljaju usvojeni kriterijumi. Ovde se predlaže i analizira osam kriterijuma koji omogućavaju optimalni izbor toplotnih izvora. Kriterijumi su izabrani tako da razvoj centralizovanih sistema snabdevanja toplotom bude u saglasnosti sa principima održivog razvoja i obuhvataju ekonomsko-finansijsku, ekološku i sociološku komponentu. Diskutovan je i uticaj lokalnih uslova na izbor težinskih koeficijenata različitih kriterijuma. Na primeru Beograda je ukratko prikazan uticaj izabranih kriterijuma na predloženi razvoj centralizovanog sistema snabdevanja energijom.

## 2. POTROŠNJA TOPLOTNE ENERGIJE I NOVI KAPACITETI ZA NJENU PROIZVODNJU U BEOGRADU DO 2030. GODINE

Strateško planiranje uzima u obzir relativno dug vremenski period i podrazumeva značajan stepen nesigurnosti i neizvesnosti. Uobičajeno se projekcije razvoja rade za scenario koji predviđa nastavak postojeće prakse ("Business as usual" - BAU), optimističan i pesimističan scenario. Optimističan scenario predviđa ekspanzivan razvoj privrede, energetike, infrastrukture i industrijske proizvodnje, uz povećanje standarda stanovništva. Pesimističan scenario predviđa razvoj energetike limitiran stepenom dostignutog ekonomskog razvoja i raspoloživim finansijskim sredstvima za investicije, ali ipak napredniji od BAU. Scenariji su uzeli u obzir niz pretpostavki, kao što su projekcije cena električne energije, gubici u toplovodnoj i električnoj mreži, udeo OIE u proizvodnji energije, rast potrošnje određenih energenata, rast industrijske i poljoprivredne proizvodnje, stepen povećanja energetske efikasnosti itd. Na taj način su dobijene procene o potrošnji finalne energije prema različitim scenarijima.

Tabela 1. *Potrošnja toplotne energije u Beogradu do 2030. godine (GWh)*

Sektor potrošnje	2010	2030 <i>Pesimistički</i>	2030 <i>Optimistički</i>	2030 <i>BAU</i>
<i>Domaćinstva</i>	2.447	2.578	2.605	2.691
<i>Javne i komercijalne delatnosti</i>	756	902	964	832
<i>Ukupno</i>	3.203	3.480 (+277)	3.569 (+366)	3.523 (+320)

U [3] je izvršena projekcija energetskog razvoja Beograda, za tri različita scenarija razvoja čime se došlo se do potreba za toplotnom energijom prikazanim u Tabeli 1. U centralizovanom sistemu snabdevanja toplotnom energijom u Beogradu potrošači se javljaju samo u sektorima domaćinstava i javnih i komercijalnih delatnosti. To je aktuelno stanje i pretpostavlja se da i do 2030. godine neće doći do značajnijih promena.

Primećuje se da razlika između procena za novim potrebama za toplotnom energijom po scenarijima nije velika. Zato se predviđa nešto veći, jedinstven kapacitet za sva tri scenarija. Dnevno trajanje grejanja u Beogradu iznosi 16 časova, ali u poslovnim zgradama ono može biti i kraće. Sadašnji odnos potrošnje toplotne energije stambenog i poslovnog prostora iznosi približno 3:1. Takođe, ne mogu se ignorisati ni periodi kada dolazi do prekida u grejanju zbog povišene spoljne temperature. Zbog variranja svih ovih pretpostavki, izračunate nove potrebe za instalisanim kapacitetom toplotne energije se kreću u intervalu od 160 do 210 MW. Usvajanjem instalisane snage od 200 MW zadovoljavaju se zahtevi postavljeni u sva tri scenarija [4].

Zahtevani kapacitet toplotnog izvora moguće je obezbediti pomoću mnogo kombinacija, ali ako se uzmu u obzir aktuelne okolnosti i trendovi, postojeća infrastruktura i potreba za povećanjem energetske efikasnosti, za slučaj Beograda nameću se tri varijante:

Opcija 1 – Jedan ili više kotlova na prirodni gas ukupne toplotne snage oko 200 MW; ova opcija se oslanja na postojeću tradiciju u daljinskom sistemu grejanja u Beogradu, gde je prirodni gas primarno gorivo (procentualni udeo oko 80%);

Opcija 2 – Jedan ili više kotlova na prirodni gas ukupne toplotne snage 140 MW i centralizovana upotreba geotermalne energije korišćenjem toplotnih pumpi ukupne snage 60 MW; Snaga geotermalnih toplotnih pumpi je usvojena na osnovu procene potencijala na teritoriji opština Novog Beograda i Palilule, koje predstavljaju oblasti grada u kojima se predviđa za intenzivna izgradnja stambenih i poslovnih objekata u narednih 20 godina;

Opcija 3 – Izgradnja kogenerativnog postrojenja toplotne snage 150 MW i centralizovana upotreba geotermalne energije korišćenjem toplotnih pumpi ukupne snage 50 MW; Ova opcija je kombinacija korišćenja OIE i visoko efikasnih procesa transformacije energije.

Sve tri navedene opcije su razmotrene kroz tri definisana scenarija kako bi se omogućio izbor optimalne opcije za svaki scenario.

### **3. KRITERIJUMI ZA IZBOR NOVIH TOPLOTNIH IZVORA**

Investicije u izgradnju novih energetskih postrojenja su uglavnom vrlo visoke, te odluka o njima mora biti dobro odmerena i doneta na bazi činjenica i kvalitetne procene. Zbog toga je neophodno kreirati odgovarajući model za ocenu različitih opcija koji uzima u obzir sve relevantne kriterijume i integriše ih u jedinstvenu celinu. Pošto nemaju svi kriterijumi jednaku važnost, svaki od njih dobija svoj težinski koeficijent u skladu sa svojim značajem. Korišćenje neke od metoda višekriterijumske analize dovodi do pouzdanog izbora optimalne opcije. Za izbor opcije novog (novih) toplotnog (toplotnih) izvora u centralizovanom sistemu snabdevanja toplotom u Beogradu izabrana je metoda ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la REalite) [3,4]. Ova metoda se kroz pola veka postojanja kroz svoje različite varijante veoma uspešno koristila u mnogim slučajevima strateškog planiranja razvoja i donošenja odluka. Ova metoda višeg ranga je naročito primenljiva kada postoji više konfliktnih kriterijuma i kada nije moguće odrediti striktnu matematičku dominaciju jedne alternative nad

drugom. U tim slučajevima se javlja potreba za uvođenjem veza višeg ranga, odnosno za definisanjem kriterijuma za mehaničko dodeljivanje ranga. Primena ove metode daje mogućnost donociocu odluka da samostalno vrednuje težine kriterijuma.

Radi poređenja različitih opcija koje se odnose na izgradnju novih energetske postrojenja, sveobuhvatan pristup ovom istraživanju podrazumeva uključivanje kriterijuma koji će biti elaborirani.

Na prvom mestu su finansijski kriterijumi koji imaju najveći uticaj na odluku o pokretanju investicije. Praksa u velikim gradovima pokazuje da troškovi goriva i održavanja imaju znatno veći uticaj na profitabilnost postrojenja nego investicioni troškovi. Niski eksploatacioni troškovi mogu doprineti otplati relativno skupe investicije za nekoliko godina. S obzirom na projektovani radni vek postrojenja od 25 do 40 godina, iz perspektive gradske vlade ili vlasnika postrojenja, godišnji eksploatacioni troškovi su ključni za odlučivanje. Usvojena su dva finansijska kriterijuma:

- *Investicioni troškovi* su jedan od ključnih kriterijuma za investitora. Investicioni troškovi izgradnje novih toplotnih izvora u centralizovanom sistemu snabdevanja toplotnom energijom se sastoje od nekoliko komponenti: troškova toplotnih izvora, troškova distributivne mreže, troškova priključka, troškova kućnih grejnih instalacija u objektu. Uključenje ovih troškova potvrđuje da se razmatra kompletna investicija, a ne samo deo koji zanima investitora izgradnje postrojenja.
- *Eksploatacioni troškovi* se sastoje od: troškova održavanja i troškova goriva. Troškovi goriva su dominantan deo eksploatacionih troškova. Osim toga, njihov značaj predstavlja činjenica da zamena goriva u potpunosti menja visinu eksploatacionih troškova, koji imaju glavni uticaj na profitabilnost postrojenja.

Sveukupni uticaj ekoloških kriterijuma na odluku je vrlo značajan. Svakako da u gusto naseljenim urbanim područjima značaj ovih kriterijuma može biti i dominantan ukoliko se insistira na eliminaciji ekološki najnepovoljnijih fosilnih goriva (ugalj, mazut i sl.). Vremenom, značaj ekoloških kriterijuma raste. Oni na prvom mestu uključuju emisije štetnih materija koje se najčešće sreću u energetskim postrojenjima, kao i emisiju gasova sa efektom staklene bašte:

- *Emisija ugljen-dioksida* – uzimajući u obzir količinu potrebne energije za grejanje, efikasnost postrojenja za proizvodnju i distribuciju toplotne energije, kao i vrstu korišćenog goriva dolazi se do količine emitovanog CO<sub>2</sub>; Značaj ovog kriterijuma je veći od značaja ostalih ekoloških kriterijuma.
- *Emisija azotnih oksida* – postoji ogromna razlika u emisijama štetnih materija između postrojenja sa i bez primene mera za smanjenje emisija ovih materija. Primenom primarnih i sekundarnih metoda, emisija NO<sub>x</sub> se može gotovo u potpunosti eliminisati
- *Emisija sumpor-dioksida* – Emisija SO<sub>2</sub> zavisi od vrste korišćenog goriva. Npr. prirodni gas ne sadrži sumpor, pa nema ni emisija SO<sub>2</sub>.
- *Emisija praškastih materija* – postoji velika razlika u emisijama zavisno od korišćenog pogonskog goriva.

Poslednja dva kriterijuma se odnose na održivost postrojenja koja je direktno zavisna od dostupnosti energenta predviđenog za proizvodnju toplotne energije. To su:

- *Sigurnost snabdevanja energijom* – procenjuje se ocenama od 0 do 10 na osnovu dostupnosti i raspoloživosti resursa, npr. goriva, iskustva sa ranijim krizama u snabdevanju i predviđanja trendova u radnom veku postrojenja. Na primer, u slučaju uvoza energenta, ocena za sigurnost snabdevanja je manja nego u slučaju primene domaćeg energenta. Ova činjenica je zasnovana na



iskustvu sa krizom u snabdevanju gasom nastalom usled međunarodnih nesporazuma. Sa druge strane, izgradnja skladišta gasa i prateće infrastrukture može povećati i sigurnost snabdevanja uvoznim energentima. Kada se koriste obnovljivi izvori, pogotovo u slučaju korišćenja na lokaciji izvora, sigurnost snabdevanja je velika jer nema trošenja rezervi fosilnih goriva ili problema sa uvozom goriva. Jedini negativan uticaj na sigurnost snabdevanja može biti havarija ili kvar u postrojenju ili ako obnovljivi izvor nije uvek dostupan, kao što je slučaj sa solarnom energijom ili vetrom. Rizik vezan za profitabilnost rada kogenerativnih postrojenja može imati uticaj na sigurnost snabdevanja u slučaju nepovoljnog odnosa cena goriva i prodajne cene električne energije. Ako je razmatrana opcija kombinacija različitih izvora energije, prosečna ocena uzima u obzir udeo svakog goriva u ukupno potrebnoj količini goriva za razmatranu opciju.

- *Korišćenje OIE* – ocenjuje se ocenama od 0 do 10, koje se u ovom slučaju računaju na osnovu udela obnovljivih izvora u proizvodnji toplotne energije. Ako neka opcija predstavlja kombinaciju korišćenja različitih primarnih izvora energije, ukupan rezultat se dobija kada se udeo obnovljivih izvora predstavi koristeći skalu od 0 do 10. U slučaju da mora da se koristi neki drugi oblik energije, kao npr. električna i geotermalna energija za dobijanje toplotne energije upotrebom toplotnih pumpi, udeo obnovljivih izvora u proizvodnji električne energije za celokupan elektroenergetski sistem, mora biti uzet u obzir.

Posle formiranja kriterijuma, neophodno je odrediti njihove težinske koeficijente, radi definisanja značaja svakog od njih. Dominantan uticaj na donošenje odluke imaju finansijski kriterijumi, naročito eksploatacioni troškovi. U zemljama regiona iskustvo u upravljanju energetske sistemima govori da su eksploatacioni troškovi značajniji od investicionih. Čak i u slučaju znatnih investicionih troškova, povoljni troškova goriva i održavanja mogu u relativno kratkom periodu dovesti do otplate investicije. Ukupan uticaj finansijskih kriterijuma na odluku je približan 2/3, odnosno 65%. Značaj ekoloških kriterijuma se procenjuje na 15%, pri čemu se ovaj udeo dalje deli saglasno uticaju emisija četiri najznačajnije štetne materije na životnu sredinu. Na kraju, uticaj energetske kriterijuma, tj. sigurnosti snabdevanja energijom kao imperativa svakog energetske planiranja, i stepena korišćenja obnovljivih izvora u cilju obezbeđenja održivog razvoja, se uzima sa stepenom od po 10%. Ova dva kriterijuma u poslednje vreme sve više dobijaju na značaju. U tabeli 2 su dati težinski koeficijenti kriterijuma koji se koriste za poređenje različitih opcija [3,4].

Tabela 2. Kriterijumi i težinski koeficijenti

Kriterijum	Težinski koeficijent
Investicioni troškovi	0,25
Eksploatacioni troškovi	0,40
Emisija CO <sub>2</sub>	0,05
Emisija NOx	0,04
Emisija SO <sub>2</sub>	0,03
Emisija praškastih materija	0,03
Sigurnost snabdevanja	0,10
Korišćenje OIE	0,10

#### 4. ANALIZA REZULTATA

Korišćenjem višekriterijumske metode ELECTRE i usvojenih kriterijuma dobijen je izbor Opcije 2 u BAU i pesimističnom scenariju, a Opcije 3 u optimističnom scenariju.

Opcija 1, kao nastavak tradicionalne upotrebe kotlova na gas, nije optimalan izbor ni u jednom scenariju. Ova činjenica jasno govori u prilog forsiranju domaćih resursa i obnovljivih izvora, odnosno korišćenju efikasnijih energetskih izvora. Opcija 2 koja sadrži kombinaciju kotlova na gas i centralizovano snabdevanje toplotnom energijom uz pomoć geotermalne energije i toplotnih pumpi, je optimalan izbor u BAU i pesimističnom scenariju. Predviđeno učešće geotermalne energije u Opciji 2 je plod procena o realnoj eksploataciji novih 200 bunara za centralizovano dobijanje toplotne energije postrojenjima prosečne instalisane snage od po 300 kW.

Opcija 3, kao optimalan izbor u optimističnom scenariju, odslikava potrebu Beograda za kogenerativnim postrojenjem, za čiju su opravdanost potrebni određeni preduslovi, koji se odnose na porast cene električne energije, ekonomski razvoj koji treba da podstakne veću izgradnju objekata, obezbeđenje letnjeg konzuma itd. Takođe, i u ovom slučaju je korišćenje obnovljivih izvora, kroz geotermalnu energiju, predstavljena kao razvojno opredeljenje Grada Beograda. Generalni zaključak je da razvoj ekonomije, privrede i porast standarda stanovništva stvara potrebne pretpostavke za intenzivnu primenu obnovljivih izvora energije i visokoefikasnih tehnologija.

#### 5. ZAKLJUČCI

U radu je razmotreno zadovoljenje budućih potreba u centralizovanom sistemu snabdevanja toplotnom energijom u Beogradu. Međutim, definisanje problema, postavljanje modela koji sadrži niz kriterijuma, predlaganje različitih opcija za rešenje definisanog problema, njihovo razmatranje u različitim scenarijima razvoja, uz upotrebu metoda višekriterijumskog odlučivanja, predstavlja princip primenljiv u mnogim oblastima. Pri tome, poseban doprinos ovog modela je sagledavanje problema iz pozicije šire društvene zajednice, uz pažljivo odmerene kriterijume i odgovarajuće težinske koeficijente. Odluka doneta na ovaj način obezbeđuje benefite za širok spektar zainteresovanih strana i zbog toga obezbeđuje generalni cilj, a to je održivi razvoj energetike gradova.

#### LITERATURA

- [1] Afgan, N.H., Carvalho, M.G. (2002). Multi-criteria assessment of new and renewable energy power plants. *Energy*, vol. 27, p. 739-755.
- [2] Wang, J.J., Jing, Y.Y., Zhang C.F., Zhao J.H. (2009). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, no. 9, p. 2263-2278.
- [3] Grujić, M. (2014). *Istraživanje Mogućnosti korišćenja niskotemperaturnih izvora toplote za održivi razvoj energetike gradova*, Doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.
- [4] Grujić, M., Ivezić D, Živković M, Application of multi-criteria decision-making model for choice of the optimal solution for meeting heat demand in the centralized supply system in Belgrade. *Energy*; 2014;67:341-350.



## PROCESS OF STARTING UP HOT WATER BOILERS

Milena Todorović<sup>1</sup>, Dragoljub Živković<sup>2</sup>, Marko Mančić<sup>3</sup>

*Abstract: The hot water boilers are usually subjected to high temperature and pressure conditions. In transient operating regimes such as start up, stop and load change, high thermal stress usually occurs in boiler elements. One of the most important parameters for defining reliability, availability and efficiency of the hot water boiler plant is definitely failure that occur in boiler piping system. The start-up regime is considered one of the most critical operating regimes, where the greatest thermal stress in the boiler's elements occurs. Designing the mathematical - empirical model which describes boiler dynamics is also very important form the point of reliable and safe boiler operation in transient regimes. This paper presents methods of determining basic operating parameters of the boiler start-up process, which can be used to analyse the start-up process of both the steam and hot water boilers. The proposed method is used for a case study for fuel oil and natural gas fired hot water boilers with capacity of 5,4 MW, 8,7MW and 17 MW.*

*Key words: Dynamic behaviour, Hot water boiler, Start up, Transitional operating mode*

### 1. INTRODUCTION

Hot water boilers operate in condition of high temperature and pressure, so that in addition to their efficiency, it is needed to be considered and their system safety and reliability, in order to avoid the major disruption and downtimes [1]. During operation of the boiler plant, its basic elements are exposed to the effects of high pressure and temperature of the working fluid, and very often the aggressive action of the heat transmitter and heat receiver. In addition, sometimes stresses occur caused by thermal expansion of individual elements or assemblies. These stresses are typical for large boiler load, especially in transient processes, such as starting up, stopping and load changing [2].

Failures of the boiler piping system of thermal power plants represent an important parameter in defining the reliability, availability and efficiency of the plant. As an example it can be mentioned the results of research conducted by the North

---

<sup>1</sup>Milena Todorović, PhD Student, Niš, Faculty of Mechanical Engineering, University of Niš, milenatod1@yahoo.com

<sup>2</sup>PhD Dragoljub Živković, Full Professor, Niš, Faculty of Mechanical Engineering, University of Niš, dzivkovic@masfak.ni.ac.rs

<sup>3</sup>Marko Mančić, PhD Student, Niš, Faculty of Mechanical Engineering, University of Niš, markomancic@yahoo.com

American Electric Reliability Council, which have shown that with the failures of boiler piping system it can be caused an average decrease plant availability of over 6% [3]. Failures of the boiler piping system represent the primary cause of delays of thermal plants. More than 80% of such failures result in unplanned downtime, where the average downtime lasts three days and causes high costs [3].

As one of the most critical mode, it is considered that is the starting up of the boiler plant, where there is the greatest thermal stress in the elements of boiler. Thermal stresses are the results of temperature caused by differences in the structure of the boiler. This is due to high time gradients of temperature of combustion products during the process of starting up the boiler. Thermal stresses are particularly high in certain parts of the thick walls of the boiler, where it appears the greatest temperature difference. As far as the hot water boiler it is pipe plate of the first deflecting chamber. On this plate, it is noted, the numerous accidents have occurred. This paper presents methods of determining the basic operating parameters of the process of starting up the boiler. Based on the described methods it is analyzed the dynamic behaviour in the process of stating up the boiler of three different hot water fire tube boilers: type TE110V manufactured by "Minel - kotlogradnja", type Optimal 800 and boiler type Optimal 2500 manufactured by "Djuro Djaković – Slavonski Brod".

## 2. THE PROCESS OF STARTING UP THE BOILER

When the steam boiler starts the combustion chamber is partially filled with flame. Flame of some burners in size and shape depends on the structure and strength of the burner. Burner ignition and fuel that is used in these cases (oil, gas) should ensure the normal operation of each burner independently of the total load of the combustion chamber. Insufficient flame fulfilment of the combustion zone leads to the not all fuel particles are under condition suitable for ignition and complete combustion. Due to the low temperatures in the combustion chamber during the process of starting up, insufficient mixing fuel with air forms a large amount of soot, and the most massive drops of fuel oil, which do not come into the combustion zone, are cooled in stream of cold air and flue gases and as unburned, go out from the combustion chamber. This leads to the decrease of efficiency of combustion chamber and unfavourable working conditions. Terms of ignition and combustion of fuel are also getting worse because of the wall temperature of the combustion chamber [4].

In the process of starting up the hot water boiler, the problem is much simpler. There is a great similarity to the problem that is presented by Cwynar, but the hot water boilers have only one burner and as far as the combustion chamber, its role has the flame pipe. Problems that may occur in this case are due to possibility of tearing the flame and damaging the boiler structure at the end of the flame tube.

From the above mentioned it follows that the considered conditions during the process of starting up the boiler depend on many parameters, which are determined by construction of the burners and combustion chamber and their technical condition, and also the organizational chart of the process of starting up and heat state of the boiler. In the process of starting up the boiler, it is necessary to determine the changes in the following basic values related to the operation of the combustion chamber: the amount of heat that is released in the combustion chamber, temperature and the flow rate of combustion products that leaves the combustion chamber. For their determination it is needed to be known the change of properties of combustion chamber efficiency  $\eta_c^f$ , excess air ratio  $\lambda^f$  and temperature of combustion products  $\theta^f$ .

### 3. THE PROCESS OF STARTING UP THE BOILER

Efficiency of the combustion chamber during the process of starting up the boiler is changed with the load change, depending of the coefficient of excess air and the changing conditions of ignition and combustion of fuel. Load change of combustion chamber in the process of starting up the boiler is determined by the variable  $u_Q$ . Value  $u_Q$  represents the ratio of the current boiler load and nominal load.

$$u_Q = \frac{Q^r}{Q^z} \tag{1}$$

Therefore the efficiency of the combustion chamber during the process of starting up, in the wide range of load change, can be described by [4]:

$$\eta_c^r = 1 - S^z / u_Q \tag{2}$$

where  $S^z = 1 - \eta_c^z$  represents the loss in the combustion chamber during the nominal load.

Graphical representation of change of combustion chamber efficiency, eq. (2), for some values of  $S^z$  can be seen on Fig. 1.

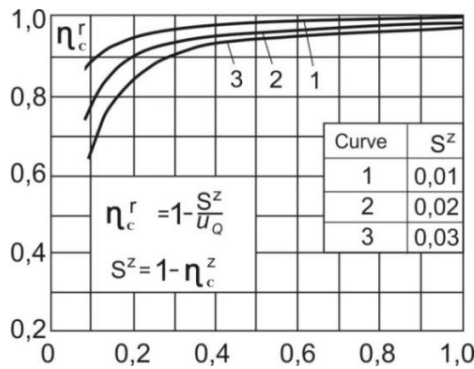


Figure 1. Change of combustion chamber efficiency in wide range boiler load [4]

Coefficient of excess air during the starting up the boiler  $\lambda^r$  is defined by the following assumptions [4]:

- starting up the boiler is carried out at constant sub-pressure in the combustion chamber, which is equal to the vacuum, which is maintained in stationary mode.
- suction of the "waste" air from the atmosphere, which depends of the degree of non-hermetic properties of boiler, it is considered as constant value that is determined by the constructive scheme of the fuel supply and technical condition of the boiler.

According to this assumptions, the mass flow of intake air  $L_f$ , entering in the combustion chamber from the environment, during the starting up of the boiler is approximately equal to the air suction in the combustion chamber at nominal load,  $L_f^z = L_f^r = L_f$ . For nominal load applies:

$$\lambda^z = \lambda_1^z + \lambda_f^z \tag{3}$$

where:  $\lambda_1^z$  - coefficient of excess air in nominal mode;  $\lambda_f^z = n_1 \lambda_1^z$ ,  $n_1$  - coefficient which characterize non-hermetic properties of the lower level of combustion chamber (known from the calculations or measurements).

According to the mass balance in the burner zone during the process of starting up the boiler and the mathematical procedure presented in [4,5,6] the following equation for the coefficient of excess air in the burner zone during the starting up the boiler can be conducted:

$$\lambda_p^r = \lambda_1^r \left( 1 + n_1 / u_Q \right) \tag{4}$$

Graphic dependence of the coefficient of excess air during the process of starting up the boiler  $\lambda_p^r$  as function of the  $u_Q$  of different values  $\lambda_1^z = \lambda_1$  and  $n_1$  are presented in Fig. 2.

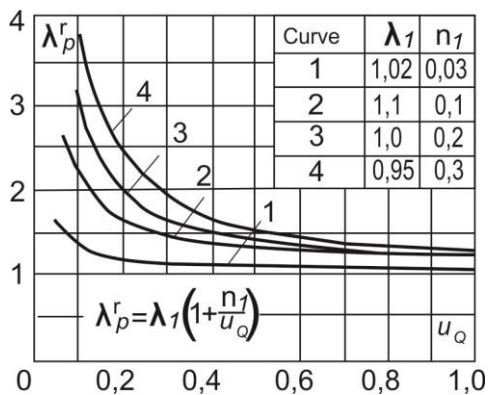


Figure 2. Characteristics of excess air ratio in the wide range of boiler load [4]

#### 4. METHODS FOR DETERMINING THE AMOUNT OF HEAT DURING THE COMBUSTION PROCESS AND TEMPERATURES OF COMBUSTION PRODUCTS IN THE COMBUSTION CHAMBER DURING THE PROCESS OF STARTING UP THE BOILER. Cwynar's Method [7, 8]

The method is based on the assumption that on the basis of measurements or calculation results are known the basic parameters, which describes the process of heat transfer in the combustion chamber, for all stationary states of boiler operation. Knowing the function that describes the change of specific parameters for different boiler load [5, 6], can be analytically extrapolated to the area of low load. Occurred failure during this procedure depends of the range and accuracy of the known values of the parameters for medium and nominal load.

The function that describes the change in amount of heat, which receive screens of combustion chamber during the process of starting up the boiler, can be determined form the equation:

$$Q_0^r = N_0 \phi^r a_F^r \left[ (T_G^r / 100)^4 - (T_n^r / 100)^4 \right] \tag{5}$$

$$T_G = \sqrt{T_t^r T_2^r}; T_t^r = \vartheta_t^r + 273; T_2^r = \vartheta_2^r + 273; T_n^r = t_n = 273 \quad (6)$$

Where:  $\varphi$  - parameter, which characterize the position of burners compared to the basic position and  $a_F$  - coefficient of flame emission. In accordance with the assumptions it is known the following parameters  $Q_0^r, \vartheta_t^r, \vartheta_2^r, a_F^r, \varphi^r$  or their dependence in certain range of loads.

Knowing the dependence  $N_0(u_Q)$  it can be conducted the value for the heat flow that is received by the irradiated surfaces of the combustion chamber, that written in the form [5,6,7]:

$$Q_0^r = N_0 \varphi^r a_F^r \left\{ \left[ (\vartheta_t^r + 273)/100 \right]^2 \left[ (\vartheta_2^r + 273)/100 \right]^2 - \left[ (t_n + 273)/100 \right]^4 \right\} \quad (7)$$

The theoretical combustion temperature in the process of starting up the boiler  $\vartheta_t^r$  can be determined from the known dependence [9]:

$$\vartheta_t^r = \left( Q_0^r \eta_C^r + \lambda_p^r L_t^r \bar{c}_L^r \bar{t}_L^r \right) / V_{Gp}^r \bar{c}_{Gp}^r \quad (8)$$

The temperature of the combustion products, which leaves the combustion chamber  $\vartheta_2^r$ , in the process of starting up the boiler can be determined from the heat balance equation:

$$Q_C^r - Q_0^r - Q_G^r = 0 \quad (9)$$

$Q_C^r = u_Q Q^r = u_Q b^r (Q_w^r + \lambda_1 L_t^r \bar{t}_t^r)$  - the heat generated in the combustion chamber;

$Q_G^r = V_G^r c_G^r (T_2^r - 273) b^r$  - the heat quantity of gases that leaves the combustion chamber.

## 5. GURVICH'S METHOD FOR DETERMINING THE AMOUNT OF HEAT DURING THE COMBUSTION PROCESS

According to the carefully thought empirical method of A. M. Gurvich for determining the heat exchange in the combustion chamber, the temperature of the combustion products that leaves the combustion chamber is given with the following equation:

$$\vartheta_2^r + 273 = (\vartheta_t^r + 273) (Bo^r)^{0.6} / \left[ M (a_F^r)^{0.6} + (Bo^r)^{0.6} \right] \quad (10)$$

where:

$$Bo^r = \left( 10^8 / 4.9 \right) \left\{ \rho^r V_G^r c_G^r / \left[ \xi H_{opr} (\vartheta_t^r + 273)^3 \right] \right\} \quad (11)$$

$$M = A - BX \quad (12)$$

In the last equation is  $A = 0.59; B = 0.5$  for coal combustion and  $A = 0.52; B = 0.3$  for fuel oil or gas combustion;  $X = X_0 + \Delta X$ , where  $X_0 = h_1/h_2, h_1-$

height of the combustion chamber from the floor up to level of the maximum flame temperature (when the boiler starts - up to the level of burners position),  $h_2$  - full height of the combustion chamber;  $\Delta X$  – correctional member, which takes into account the distribution of burners position, their tilting angles, the quality of minced coal etc. (detailed data for  $\Delta X$  and coefficient of flame emission  $a_F$ , can be found in [9]).

Knowing the temperature of the leaving flue gases  $\theta_2^r$  from eq. (10), their flow and heat quantity brought into the combustion chamber  $Q_c^r = u_Q Q_c^z$ , it can be determined the heat quantity  $Q_G^r$ , received by the screens of the combustion chamber (according to eq. (7)).

If the values  $Bo^u, b^u, V_G^u, \theta_1^u, c_G^u$  are known for variable boiler load, it can be determined the Boltzmann constant as condition for starting up the boiler:

$$Bo^r = Bo^u \frac{b^r V^r c_G^r \left( \frac{\theta_1^u + 273}{\theta_1^r + 273} \right)^3}{b^u V^u c_G^u} \quad (13)$$

## 6. CASE STUDY - THE PROCESS OF STARTING UP THE BOILERS

As reference objects three different hot water boilers manufactured by “Djuro Djaković - Slavonski Brod” and „Minel – kotlogradnja” were taken. Their technical data is given in Table 1.

Table 1. Technical data of the boilers [10]

	Djuro Djaković - Slavonski Brod		Minel – kotlogradnja
The parameters	Optimal 800	Optimal 2500	TE 110V
Used fuel	Oil fuel	Natural gas	Natural gas
Capacity	5,38MW	16,96MW	8,7MW
Efficiency	0,87	0,91	0,91
Operating pressure	12,5 bar	15,7 bar	12 bar
Total surface for heat transfer	136,5 m <sup>2</sup>	434,7 m <sup>2</sup>	351 m <sup>2</sup>
Water content in boiler	10,845 m <sup>3</sup>	40 m <sup>3</sup>	27,8 m <sup>3</sup>

The boilers are shaped as a cylindrical tube, closed with chambers on both sides and thermally insulated all over the volume. The boilers have three pressurized gas channels. The flame pipe (first pass), located in the pressurized water body, is heated by thermal energy generated by combustion of natural gas. After combustion, exhaust gasses pass through a diverter chamber coated by water piping, go into the second pass gas piping (II pass gas pipes), placed above the flame tube. On the front side of the boiler is a frontal diverting chamber that redirects the exhaust gasses and leads them into the third pass gas piping, located on the sides of the boiler (III pass gas pipes). After leaving III pass gas pipes, exhaust gasses splash the water-cooled front of the diverting chamber, passing through the deflection chamber and then leaving the chamber through the chimney. During operations hot water boilers are completely filled with water normally. Boiler Optimal 2500 has two flame pipes but construction of gas flow remain the same as for flame-tube three pass boiler, as well as the boiler Optimal 800 and TE110V.



In order to observe the process of starting up the hot water boilers and based on the procedures set forth above, it is necessary to take into account the actual parameters of the technical documentation and based on them to conduct the appropriate calculation. Based on the above mentioned procedure it may be determined the value of combustion chamber efficiency at different heat load. As it can be seen on the Fig. 3, it will be considered the heat load from 10% to 100% compared to the total heat load of the combustion chamber. The procedure set out in previous section allows that at different heat loads of combustion chamber can be adopted different coefficient of excess air during the process of starting up the boiler. To determine the quantity of generated heat, the combustion temperature and temperature of flue gases that leaves the combustion chamber in the process of starting up the boiler are used both above exposed methods. According to the Cwynar's method [4] can be determined theoretical combustion temperature in the process of starting up the boiler. Graphical dependence of theoretical combustion temperature is presented in Fig. 4. Using the Gurchich's method is determined the temperature of flue gases that leaves the combustion chamber, this graphical dependence is shown in Fig. 5.

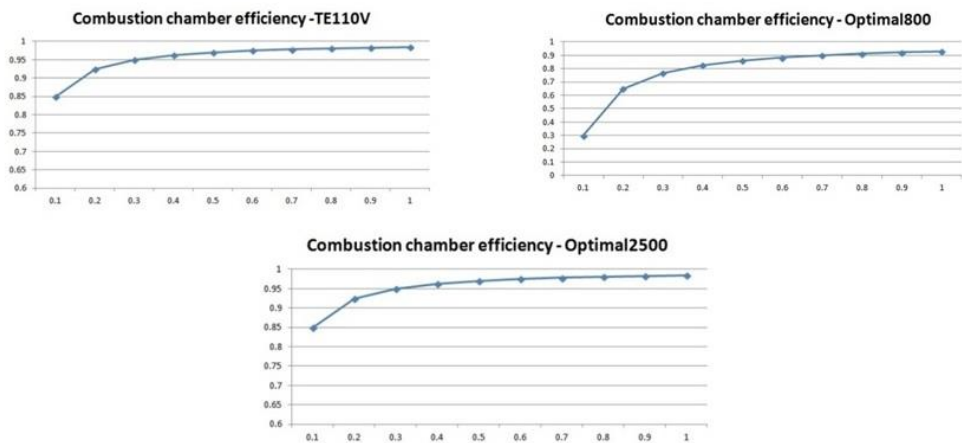


Figure 3. Dependence of efficiency of combustion chamber ( $\eta_F$ ) of combustion chamber load ( $u_Q$ )

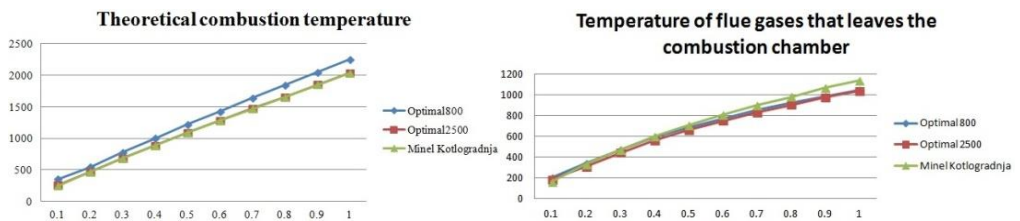


Figure 4. Dependence of theoretical combustion temperature ( $\vartheta_1^r$ ) of combustion chamber load ( $u_Q$ )

Figure 5. Dependence of combustion products temperature which leaves the flame pipe ( $\vartheta_2^r$ ) of combustion chamber load ( $u_Q$ )

## 7. CONCLUSION

In previous studies of the availability of boilers and its models it is needed that the main focus is in condition of ignition and combustion in combustion chamber, as well as in operation of burners and flame pipe in regimes that differ from the nominal. However, describe conditions, as well as the heat transfer at low loads (less than 40%) haven't been so far sufficiently explored. This paper presents the methods of determining the basic parameters that characterize fuel combustion and heat transfer in the combustion chamber. It is also analysed, based on the presented procedure, the process of starting up different boilers, not only in capacity but also in type of used fuel. There are also graphical representation of parameters changing depending on the heat load.

## REFERENCES

- [1] Katavić, B., Jegdić, B. (2007). Analysis of damages on water boiler shield pipes, *Welding and welded structures*, no. 4, p. 123-130.
- [2] Brkić, Lj., Živanović, T., Tucaković, D. (2010). *Steam boilers*, University in Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering.
- [3] Šekeljčić, P., Bakić, G. (2007). Optimization of maintenance measures of boiler piping systems, 600MW in power, in order to improve their availability, *Energy-Economy-Ecology*, no. 3-4, p. 45-49.
- [4] Swinar, L. (1981). *Starting up steam boilers, Пуск паровых котлов*. Москва: Энергоиздат.
- [5] Todorović, M., Živković, D., Mančić M., Milčić, D. (2013). Analysis of dynamic behavior of hot water boilers during the starting up, *Proceedings of the 16th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia SIMTERM 2013*, Sokobanja, Serbia, p. 86-94.
- [6] Todorović, M., Živković, D., Mančić M., Milčić, D. (2014). Dynamic behavior of hot water boilers during start up, *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*, vol.12, no.1, p. 85-94.
- [7] Swinar, L. (1975). Metoda okreslania warunków pracy przegrzewaczy pary podczas rozruchu kotłów walczakowych. *Archiwum Budowy Maszyn. XVIII*.
- [8] Swinar, L. (1975). Программирование пуска и останова котлов (блоков). *Бюллетень постоянной комиссии по электроэнергии 9*.
- [9] Orłowski, P. (1972). *Kotły parowe - konstrukcyj i obliczenia*. Warszawa: WNT.
- [10] Technical documentation of hot water boiler T110VE "Minel - kotlogradnja", Optimal 800 and Optimal 2500 " Djuro Djaković - Slavonski Brod".



## MEHANIZAM PRENOSA TOPLOTE U VENTILACIONOM KROVU

Dragana Temeljkovski<sup>1</sup>, Goran Vučković<sup>2</sup>

*Apstrakt: Termalne karakteristike omotača zgrade imaju veliki uticaj na kvalitet termalnog komfora unutrašnjosti zgrade. Krov, kao deo omotača zgrade, omogućava zaštitu od termalnih oštećenja, uzrokovanih uticajem sunca. Da bi se poboljšala ta mogućnost zaštite uzima se u obzir korišćenje ventilacionih krovova, koji sadrže ventilacioni sloj, poznat kao kanal koji se nalazi odmah ispod krovnog pokrivača. U radu je prikazan mehanizam prenosa toplote u ventilacionim krovovima, u zavisnosti od vrste krovova, kao što su: topli krovovi, hladni krovovi sa ventilacionim kanalom i hladni krovovi bez ventilacionog kanala. Na osnovu predloženog mehanizma prenosa toplote i uzimajući u obzir faktore, kao što su, ventilacioni kanal, nagib krova, intezitet solarne radijacije, veličina i oblik kanala, i vrste panela, analiziran je proces protoka vazduha i distribucije temperature u kanalu sa ciljem poboljšanja efekta hlađenja i ventilacije u kanalu krova.*

*Ključne reči: Distribucija temperature, Efekat hlađenja, Protok vazduha, Termalni komfor, Ventilacioni kanal*

### MECHANISM OF HEAT TRANSFER IN VENTILATED ROOF

*Abstract: The thermal feature of the building envelope is a major requirement for guaranteeing a thermal comfort. The roof is a part of the building envelope which provides protection from thermal damage incurred by the sun. To enhance this protection ability, the use of a ventilated roof can be considered, which has a ventilation layer known as a cavity, beneath the roof cover panel. This paper describes the mechanism of heat transfer in ventilated roofs, depending on the types of roofs, such as: warm roof, cool roof with ventilated cavity, cool roof with non-ventilated cavity. Based on the proposed mechanism of heat transfer and taking into account factors such as cavity ventilation, the slope of the roof, intensity of solar radiation, the size and shape of the cavity, and panel profiles, was analyzed the process of airflow and temperature distribution in the cavity, in an effort to improve the cooling effect of ventilation in the cavity of the roof.*

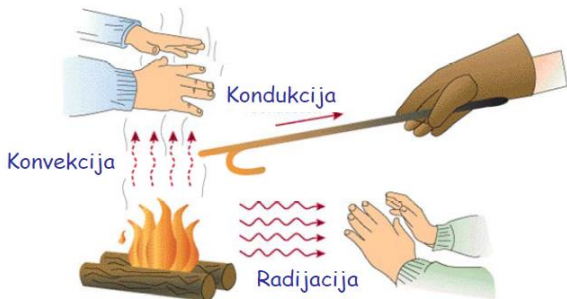
*Key words: Distribution of temperature, Effect of cooling, Airflow, Thermal comfort, Ventilation duct*

<sup>1</sup>PhD student, Dragana Temeljkovski, Aleksandra Medvedeva 14, Mašinski fakultet, Univerzitet u Nišu, draganatemeljkovskiarh@gmail.com

<sup>2</sup>Dr Goran Vučković, Aleksandra Medvedeva 14, Mašinski fakultet, Univerzitet u Nišu, vucko@masfak.ni.ac.rs

## 1. UVOD

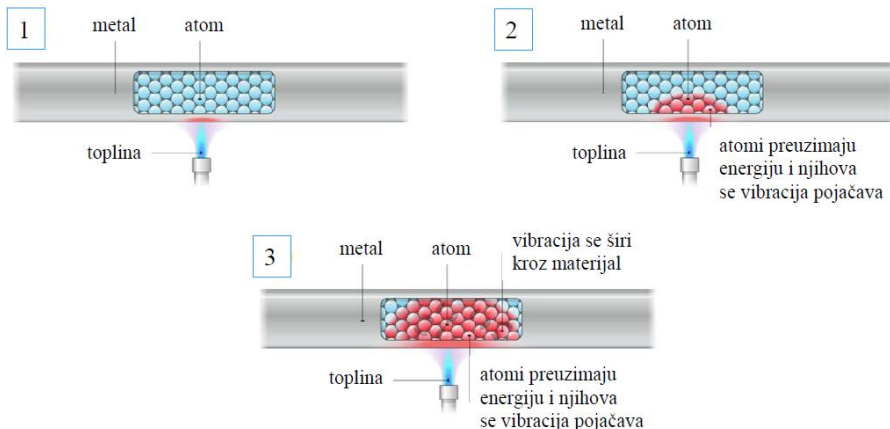
Prostiranje toplote u prostoru je veoma složen proces koji u najopštijem slučaju sadrži tri različita mehanizma prostiranja: **kondukciju**, **konvekciju** i **zračenje**.



Slika 1. Mehanizmi prenosa toplote

U realnosti temperatursko polje u nekom fluidu je kontrolisano međusobno kombinovanim delovanjem sva tri mehanizma prostiranja, stoga je nemoguće izolovati samo jedan mehanizam, a druga dva zanemariti. Naravno, u nekim specijalnim slučajevima sa nizom uslova koji moraju biti ispunjeni, jedan mehanizam preovladava u odnosu na druga dva pa ga možemo posmatrati kao dominantnog.

- **Kondukcija** ili provođenje toplote je molekularni mehanizam prenosa toplote pri kojem su čestice materije u direktnom kontaktu. Karakteristična je za čvrsta tela, a zavisi od fizičkih svojstava materije, geometrijskih karakteristika te o lokalnim razlikama u temperaturi. Prisutna je i kod tečnosti i gasova u mirovanju. Toplota se prenosi s čestice na česticu molekularnim mehanizmom. Toplota se prenosi kondukcijom kada postoji temperaturni gradijent u čvrstom telu ili fluidu u mirovanju. Pri tome se energija prenosi s molekula više energetske vrednosti na molekul nižih energetske vrednosti, a tok toplote ide u smeru opadajuće temperature jer više temperature odgovaraju višim energetske vrednostima. Na nivou mikroskopske analize do kondukcije dolazi zbog kretanja ili vibracije atoma i molekula i međusobnim kontaktom s okolnim atomima ili molekulima, pri čemu dolazi do prenosa dela energije (toplote) na okolinu (Slika 2.).



Slika 2. Prenos toplote kondukcijom

Dakle, toplota se prenosi molekularnom interakcijom zbog prisustva slobodnih elektrona.

- MOLEKULARNA INTERAKCIJA → prisutna u svim sistemima gde postoji temperaturni gradijent
- ZBOG PRISUSTVA SLOBODNIH ELEKTRONA → kod metala u čvrstom stanju
- *Konvekcija* ili prenos toplote je proces koji je neposredno povezan sa kretanjem (strujanjem) fluida. Provođenje toplote (kondukcija) i konvekcija su dve potpuno različite fizičke pojave. Provođenje toplote se realizuje kroz razmenu energije između molekula veće i molekula manje energije, prema tome to je molekularna pojava dok je konvekcija makroskopska pojava, kod koje u razmeni učestvuju celi slojevi fluida različitih temperatura koji se mešaju strujom fluida koji se kreće. Prema tome, pod konvekcijom u širem smislu podrazumeva se transport toplote makroskopskim kretanjem delića fluida različitih temperatura uz istovremenu razmenu toplote kondukcijom između samih delića.
- *Zračenje* ili radijacija je proces transporta (prostiranja) unutrašnje energije emitujućeg tela posredstvom elektromagnetnih talasa. Elektromagnetni talasi se pobuđuju oscilacijama naelektrisanih čestica (elektroni, joni) tela. Kada elektromagnetni talasi padnu na druga tela bivaju apsorbovani, pri čemu se njihova energija ponovo konvertuje u termičku energiju molekula i atoma, naravno pri tome deo termičke energije molekula, atoma, jona ponovo ode na pobuđivanje elektromagnetnih talasa [2],[3].

Efekti odvođenja toplote usled strujanja vazduha u ventilisanom kanalu ogledaju se u poboljšanju termičkih uslova u zgradi, tj. smanjenju u letnjem i povećanju temperature u zimskom periodu.

Veliki značaj u smanjenju potrošnje energije i poboljšanju kvaliteta klime unutar zgrade ima sam omotač zgrade. Omotač zgrade ima glavnu ulogu u solarnom dobitku toplote, jer je u direktnom kontaktu sa spoljnim vazduhom. Zahtevi za smanjenim hlađenjem omotača zgrade primoravaju dizajnere da primenjuju aktivne sisteme omotača. Jedna od ideja za takve aktivne sisteme omotača, dizajniranih da zaštite zgradu iz sunčeve toplote, stoji se u tome da se iskoristi prirodna konvekcija u zidovima i krovu. Korist ventilacije na termičkog opterećenja u zidovima i krovovima predmet je brojnih studija. Protok vazduha u šupljini efikasno nosi toplotu i vlagu prema spolja i održava unutrašnju deo krova hladnim i suvim.

Leti, zbog značajnog povećanja solarne toplote putem krova, prenos toplote iz spoljašnjosti ka unutrašnjosti kroz krov čini veliki deo rashladnog sistema. Ta toplota se može smanjiti dodavanjem još jednog sloja u krovu - ventilacionog sloja. Tako apsorbovana solarna energija sa krova će biti prebačena u vazdušne struje indukovane konvekcijom i ventilirajući krov može smanjiti opterećenje hlađenja sprečavanjem pregrevanja u krovu.

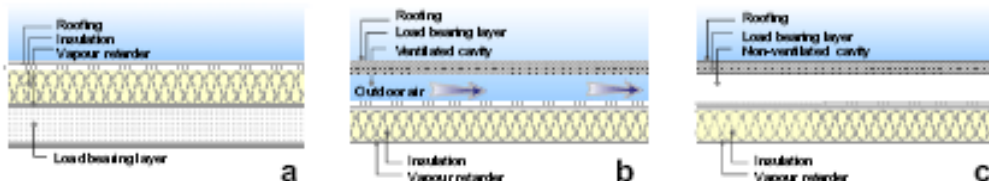
U različitim naučnim radovima, mnogi istraživači predlažu ventilaciju u krovnoj šupljini kao efikasan metod za smanjenje solarnog toplotnog dobitka.

Cilj ovog rada je da se proceni uticaj faktora, kao što su šupljina ventilacija, nagib krova, intenzitet sunčevog zračenja, veličina i oblik šupljine, kao panelni profili, i to istražujući protok vazduha i distribucije temperature u šupljini, kako bi se poboljšao efekat hlađenje ventilacije u šupljini krova.

## 2. MEHANIZAM PRENOSA TOPLOTE

### 2.1 Vrste krovova

Krovovi se generalno mogu podeliti u dve vrste : topli krovovi i hladni krovovi. Topli krovovi su tako dizajnirani da je svaka predhodna komponenta krova povezana sa narednom, Slika 3(a). Hladni krovovi dizajnirani su tako da se sloj izolacije nalazi ispod površine, omogućavajući prostor za ventilaciju. Na hladnom krovu, šupljina za ventilaciju se obično nalazi u prostor iznad sloja za izolaciju i ispod površine, Slika 3(b). Slika 3(c) predstavlja hladan krov sa ne - ventilacijskom šupljinom.



Slika 3. Vrste krovova u zavisnosti od konfiguracije krovnih komponenti:  
 a) Topli krov, b) Hladni krov sa ventilacionom šupljinom i  
 c) Hladni krov sa ne-ventilacionom šupljinom

U radu se razmatra mehanizam prenosa toplote u krovovima koji sadrže šupljine: ventilacioni krovovi i ne-ventilacioni krovovi, u letnjim uslovima. Razlog za ventilaciju se zasniva na pretpostavci da će spoljni vazduh koji prolazi kroz krov, u proseku, ohladiti strukturu tokom vremena.

### 2.2 Mehanizam prenosa toplote u ventilisanom krovu

Bilans prenosa toplote u ventilisanom krovu, kao što je prikazano na Slici. 4, uključuje konduktivni prenos toplote od spolja ka unutrašnjosti zbog temperaturne razlike krova, zračenja dobitka toplote sa spoljašnjih površina, zajedno sa konvektivnim prenosom toplote, kada spoljni vazduh prolazi kroz ventilacijsku šupljinu. Analizirali smo termičke osobine ventilisanog krova, i to procenom količine istrošene toplote, sledećom jednačinom (1):

$$Q_{so} = Q_{out} + Q_{in} + Q_v, \quad (1)$$

gde:

$Q_{so}$  predstavlja dobitak toplote od sunčevog zračenja (W),

$Q_{out}$  predstavlja toplotni protok nazad ka spoljašnjosti (W),

$Q_{in}$  predstavlja toplotni protok ka unutrašnjosti (W),

$Q_v$  predstavlja odvedenu toplotu preko šupljine (W), a data je oblikom:

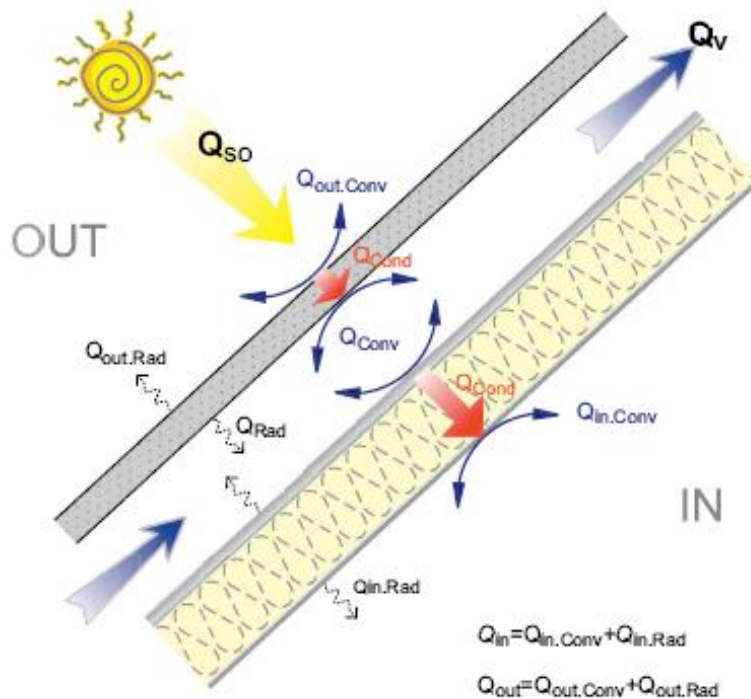
$$Q_v = \dot{m} c_p (T_{out(ulaz)} - T_{out(izlaz)}), \quad (2)$$

gde:

$\dot{m}$  predstavlja protok mase (kg/s),

$c_p$  je specifična toplota vazduha pri konstantnom pritisku (J/kgK),

$T_{out}$  je spoljna temperatura vazduha u hladu (K).



Slika 4. Mehanizam prenosa toplote u ventilisanom krovu

Raspodela temperature u šupljini se meri radi provere temperaturne razlike izmedju ulaza i izlaza. Brzina protoka vazduha meri se na izlazu radi procene masenog protoka. Preko distribucije temperature i merenja brzine protoka vazduha procenjuje se odvedeni toplotni fluks šupljina kao termalna osobina ventilacionih krovova. Ako se toplotni fluks iz šupljine prema spolja [ $Q_v$ ] povećava, toplotni protok iz šupljine ka unutrašnjosti [ $Q_{in}$ ] mora da se smanjuje [1].

### 3. UTICAJ FAKTORA NA MEHANIZAM PRENOSA TOPLOTE

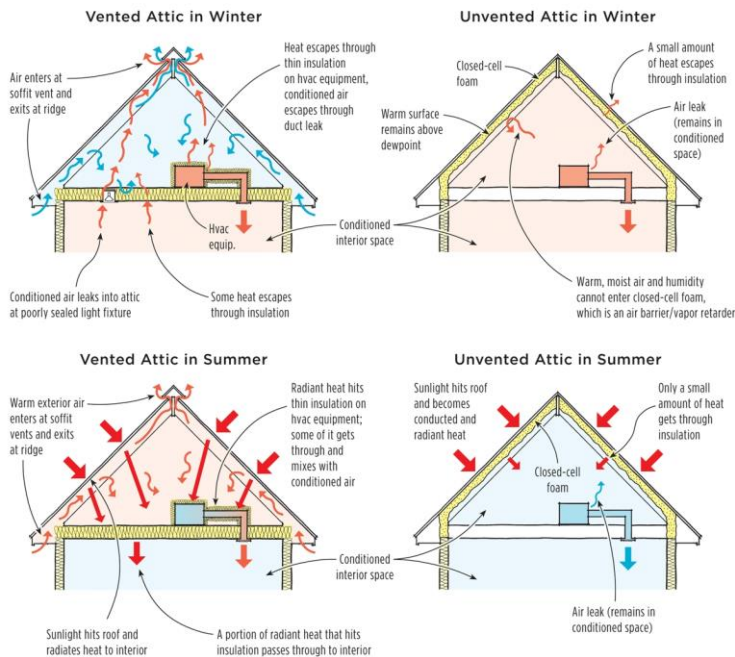
#### 3.1 Razlika izmedju ventilisanog i neventilisanog krova u smislu mehanizma prenosa toplote

Kada govorimo o neventilisanim krovovima, vazduh je u funkciji izolatora, jer je vazdušni sloj zatvoren i vazduh je u stanju mirovanja, pri čemu je koeficijent provodjenja za vazduh u šupljini jednak 0,025.

Kod ventilisanih krovova, zbog dela energije koji se odnese vazduhom koji struji kroz ventilacionu šupljinu, u unutrašnjost objekta dolazi smanjena količina toplote. Vazduh u ovom slučaju pored funkcije izolatora ima i funkciju odnošenja toplote sa dna do vrha.



### Vented vs. Unvented Attics



Slika 5. Mehanizam prenosa toplote u ventilacijskom krovu i neventilacijskom krovu u letnjem i zimskom periodu

### 3.2 Nagib krova

Sa promenom nagiba krova brzina strujanja vazduha kroz ventilisani deo krova će se menjati, kao i koeficijenti prelaza toplote, i to zbog razlike u visini, a to će imati za posledicu veće odnošenje toplote kada je veći nagib, odnosno manje kada je nagib manji.

## 4. ZAKLJUČAK

Korišćenjem ventilacionog krova, termalna akumulacija u krovu se može sprečiti, i efekat hlađenja može biti smanjen. Kada su ugao krova i oblik šupljine isti, povećanje površinske temperature krova može poboljšati izolacione osobine ventilisanog krova. To znači da je ventilacioni krov koristan gde je toplota solarnog zračenja visoka. Kada je strmiji nagib krova, smanjuje se temperatura ventilacione šupljine, u slučaju da su ostali parametri isti.

## REFERENCE

- [1] Sunwoo Lee, Sang Hoon Park, Myong Souk Yeo\*, Kwang Woo Kim (2009). An experimental study on airflow in the cavity of a ventilated roof, *Building and Environment* 44, p. 1431–1439.
- [2] Patankar V.S., Numerical heat transfer and fluid flow, (1980).
- [3] Ilić G., Radojković N., Stojanović I., Termodinamika II – osnove prostiranja toplote, Niš, (1996).





## PRORAČUN VERTIKALNOG I KOSOG PNEUMATSKOG TRANSPORTA SA PROMJENJIVIM PREČNIKOM

Almin Halač<sup>1</sup>, Ejub Džaferović<sup>2</sup>

*Rezime: Ovaj rad opisuje proračun vertikalnog i kosog pneumatskog transporta sa promjenjivim prečnikom cjevovoda. Proračunat je pad pritiska koristeći  $\lambda_m - Fr$  metod. Brzina vazduha raste duž cjevovoda i sa promjenom prečnika cjevovoda brzina vazduha se zadržava u dozvoljenim granicama. Transportni materijal je pepeo, a koeficijent trenja materijala je proračunat analitički na osnovu koeficijenta trenja mješavine pepela i vazduha, koji je uzet za horizontalni pneumatski transport iz dosadašnjih iskustava rada ovih postrojenja. Također, ovaj rad daje međusobnu usporedbu dobivenih rezultata za vertikalni i kosi pneumatski transport.*

*Ključne riječi: Kosi cjevovod, pad pritiska, pneumatski transport, promjenjivi prečnik, vertikalni cjevovod*

### **CALCULATION OF THE VERTICAL AND INCLINED PNEUMATIC CONVEYING WITH VARIOUS DIAMETER**

*Abstract: This paper describes calculation of the vertical and inclined pneumatic conveying with various diameter of the pipeline. Pressure drop is calculated using  $\lambda_m - Fr$  method. Air velocity is increased along the pipeline and with the change of the pipeline diameter air velocity is maintained in defined borders. Transport material is fly ash, and friction coefficient of material is calculated analytically and depends of the friction coefficient of mixture fly ash-air, which is taken for horizontal pneumatic conveying according to previous work of this facilities. Also, this paper shows comparison between obtained results for vertical and inclined pneumatic conveying.*

*Key words: Inclined pipeline, pneumatic conveying, pressure drop, various diameter, vertical pipeline*

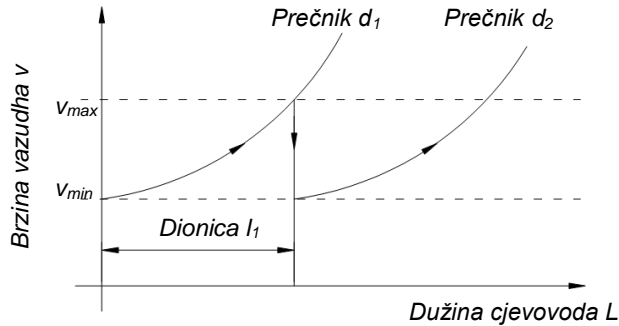
## 1. UVOD

Pneumatski transport je transport suhih praškastih i zrnastih materijala strujom gasa, koji je u većini slučajeva vazduh. Glavni zadatak pri proračunu pneumatskog transporta jeste određivanje potrebne energije kako bi se omogućio nesmetan transport materijala. Pri pneumatskom transportu, brzina vazduha raste duž cjevovoda,

<sup>1</sup> Mr., Almin Halač, Sarajevo, Mašinski fakultet, alminhalac@gmail.com

<sup>2</sup> Prof. Dr., Ejub Džaferović, Sarajevo, Mašinski fakultet, dzaferovic@mef.unsa.ba

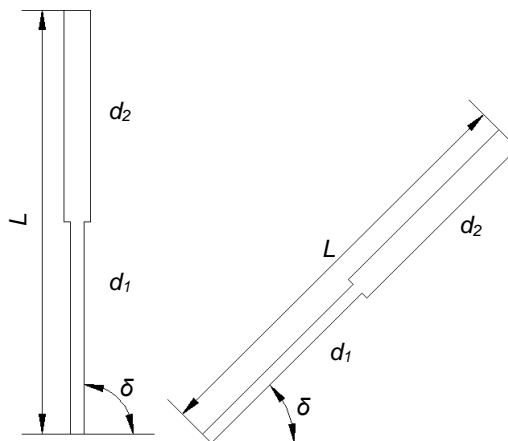
a apsolutni pritisak opada. Da bi se izbjegla prevelika brzina vazduha, koristi se cjevovod sa promjenjivim prečnikom. Pri promjeni prečnika sa manjeg na veći, vazduh ekspandira i brzina vazduha se smanjuje. Promjena prečnika ne smije biti tolika, da brzina vazduha padne ispod određene minimalne vrijednosti. Dakle, pri proračunu pneumatskog transporta sa promjenjivim prečnikom, kritični parametri jesu minimalna i maksimalna brzina vazduha u cjevovodu. Na ovaj način se izbjegava oštećenje cjevovoda (radi prevelike brzine vazduha) ili začepljenje cjevovoda (radi male brzine vazduha). Na slici 1. prikazan je profil brzine vazduha pri pneumatskom transportu sa promjenjivim prečnikom. Kao što se vidi sa slike 1. na mjestu gdje dolazi do promjene prečnika cjevovoda, završava jedna a počinje nova dionica cjevovoda.



Slika 1. Profil brzine vazduha pri pneumatskom transportu sa promjenjivim prečnikom

## 2. OPIS METODE

Za proračun pneumatskog transporta sa promjenjivim prečnikom, u ovom radu uzet je pepeo kao transportni materijal, koji nastaje sagorijevanjem uglja u termoelektranama. Proračunat je pad pritiska za vertikalnu i kosu liniju, koje su prikazane na slici 2.



Slika 2. Vertikalna i kosa linija pri pneumatskom transportu pepela sa promjenjivim prečnikom

Pri proračunu pada pritiska pri pneumatskom transportu pepela sa promjenjivim prečnikom, najbolje je koristiti  $\lambda_m - Fr$  metod. Ovaj metod je pogodan za proračun pada pritiska za sve dionice (vertikalnu, kosu i horizontalnu), te daje rezultate koji su realni. Dva su načina proračuna pada pritiska ovim metodom. Prvi način je pretpostavka nestišljivog strujanja vazduha (konstantna gustina i brzina vazduha), koji važi za kratke dionice cjevovoda (poddionice dužine npr. 5 m). To je tzv. metoda "korak po korak". Pad pritiska  $\Delta p$  se proračunava kao [1]:

$$\Delta p = (\lambda + \mu_m \lambda_m) \rho v^2 \frac{\Delta l}{2D} + \mu_m \rho v \Delta u, \quad (1)$$

gdje su:  $\lambda$  – koeficijent trenja vazduha,  $\mu_m$  – maseni odnos čvrsto-vazduh,  $\lambda_m$  – dopunski koeficijent trenja,  $\rho$  – gustina vazduha,  $v$  – brzina vazduha,  $\Delta l$  – dužina dionice (poddionice),  $D$  – unutrašnji prečnik cjevovoda,  $\Delta u$  – razlika između brzina materijala na kraju i početku dionice.

Smatra se da je strujanje vazduha izotermalno i da važi jednačina stanja, te se korekcija pritiska, gustine i brzine vazduha vrši kao:

$$\Delta p = p_i - p_{i+1}, \quad \rho_i = \frac{p_i}{RT}, \quad v_i = \frac{p_{i+1} v_{i+1}}{p_i}, \quad (2)$$

gdje su:  $R$  – gasna konstanta za vazduh,  $T$  – temperatura vazduha u cjevovodu.

Drugi način proračuna pada pritiska je tzv. metodom "dugih dionica", gdje se također uz izotermalne uslove toka, pad pritiska može izračunati kao [1]:

$$\frac{p_1^2 - p_2^2}{2\rho_2} = (\lambda + \mu_m \lambda_m) \frac{\rho_2 v_2^2}{2} \frac{l}{D} + (1 + \mu_m \frac{u_2}{v_2}) \rho_2 v_2^2 \ln \frac{p_1}{p_2}, \quad (3)$$

gdje se indeksi 1 i 2 odnose na početak i kraj dionice cjevovoda, a  $p$  predstavlja apsolutni pritisak u cjevovodu.

Konačna brzina materijala  $u$ , se može izračunati kao [1]:

$$u = v \frac{1 - \sqrt{1 - \left(1 - Fr^{*2} \frac{\lambda_m^*}{2}\right) \left[1 - \left(\frac{u_p}{v}\right)^2 \sin^2 \delta - \left(\frac{u_p}{v}\right)^3 \cos^2 \delta\right]}}{1 - Fr^{*2} \frac{\lambda_m^*}{2}}. \quad (4)$$

Dopunski koeficijent trenja se može izračunati kao [1]:

$$\lambda_m = \frac{u}{v} \lambda_m^* + 2 \frac{\left(\cos^2 \delta \frac{u_p}{v} + \sin \delta\right)}{Fr^2 \frac{u}{v}}. \quad (5)$$

$\lambda_m^*$  je koeficijent trenja materijala.  $Fr$  je Froud-ov broj za vazduh, a  $Fr^*$  Froud-ov broj vezan za brzinu taloženja, i mogu se računati kao:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gD}}, \quad Fr^* = \frac{u_p}{\sqrt{gD}}. \quad (6)$$

Brzina taloženja  $u_p$  se računa kao (gdje je  $A < 4,8$ , Stokes-ovo područje strujanja):

$$u_p = \frac{(\rho_m - \rho)gd^2}{18\eta}, A = \frac{4}{3} \frac{(\rho_m - \rho)gd^3 \rho}{\eta^2}, \quad (7)$$

gdje su:  $\rho_m$  – gustina materijala,  $d$  – prečnik čestice materijala oblika sfere,  $\eta$  – dinamički viskozitet vazduha ( $\eta = 17,6 \cdot 10^{-6}$  Pa·s za  $T = 273$  K).

Na osnovu zapreminskog protoka vazduha  $q_k$  koji obezbjeđuje kompresor, kao i gustine vazduha iz kompresora  $\rho_k$ , moguće je naći zapreminski protok vazduha u cjevovodu  $q$ , kao:

$$q = q_k \frac{\rho_k}{\rho}. \quad (8)$$

Unutrašnji prečnik cjevovoda se računa kao:

$$D = \sqrt{\frac{4q}{\pi v}}. \quad (9)$$

Koeficijent trenja vazduha se može računati kao [2]:

$$\sqrt{\lambda} = 1 / \left( -1,8 \log \left[ \frac{6,9}{\text{Re}} + \left( \frac{k/D}{3,7} \right)^{1,11} \right] \right) \quad (10)$$

gdje su:  $\text{Re} = vD\rho/\eta$  - Reynolds-ov broj,  $k$  – unutrašnja hrapavost cijevi.

Kao što se vidi sa slike 2. ugao  $\delta$  predstavlja nagib cijevi u odnosu na horizontalnu osu. Za vertikalnu liniju je  $\delta = 90^\circ$ , a za kosu liniju je  $\delta = 45^\circ$ . Za horizontalnu liniju je  $\delta = 0^\circ$ . Dakle gledajući izraze za proračun pada pritiska i izraze za proračun ostalih varijabli, postoji određena razlika pri proračunu vertikalne i kose linije. Za sam proračun potrebno je definisati novi koeficijent, a to je koeficijent trenja mješavine pepela i vazduha  $\lambda_s$ . Za horizontalni pneumatski transport je  $\lambda_s = 0,75$  [3]. Dopunski koeficijent trenja se onda računa analitički kao:

$$\lambda_m = \frac{(0,75 - \lambda)}{\mu_m}. \quad (11)$$

Kada se iz izraza (11) izračuna dopunski koeficijent trenja, onda je koeficijent trenja materijala moguće naći iz izraza (5). S obzirom da se dopunski koeficijent trenja računa prema horizontalnoj liniji, kada se nađe koeficijent trenja materijala, onda na osnovu koeficijenta trenja materijala treba za vertikalnu i kosu liniju, za svaku dionicu, odnosno poddionicu, ponovo računati dopunski koeficijent trenja.

Pad pritiska na kraju cjevovoda se pretpostavlja da je jednak atmosferskom. Proračun pada pritiska je od kraja cjevovoda prema početku. Brzina vazduha na kraju cjevovoda se usvaja. Potrebno je korigovati prečnik na standardni i naći stvarnu brzinu vazduha. Gledajući sa kraja cjevovoda prema početku, brzina vazduha opada, a apsolutni pritisak raste; kada brzina padne ispod minimalne, smanjuje se prečnik, usvaja nova brzina vazduha, i proračunava se dalje pad pritiska prema početku cjevovoda.

### 3. REZULTATI

Transportni materijal je pepeo. Maseni protok materijala je  $m_m = 20$  kg/s. Gustina materijala je  $\rho_m = 2200$  kg/m<sup>3</sup>. Maseni odnos je  $\mu_m = 15$  kg<sub>m</sub>/kg<sub>v</sub>. Temperatura vazduha na kraju cjevovoda je  $T = 310$  K. Prečnik čestice je  $d = 25 \cdot 10^{-6}$  m. Zapreminski protok na izlazu iz kompresora je  $q_k = 1,33$  m<sup>3</sup>/s, dok je gustina vazduha na izlazu iz

kompresora  $\rho_k = 1,20 \text{ kg/m}^3$ . Pritisak na kraju cjevovoda je 101000 Pa. Brzina vazduha na kraju cjevovoda se pretpostavlja da iznosi  $v = 18 \text{ m/s}$ . Unutrašnja hrapavost cijevi je  $k = 0,0001 \text{ m}$ . Brzina vazduha u cjevovodu treba da se održi u intervalu 10-20 m/s. Gasna konstanta za vazduh iznosi  $R = 287 \text{ J/kgK}$ .

Dobiveni rezultati su dati u tabeli 1. tabeli 2. i tabeli 3. i proračunati su metodom „korak po korak“, koristeći izraz (1). Nema potrebe proračunavati metodom „dugih dionica“, jer su rezultati slični. Dužina dionica za proračun, koristeći izraz (1), je  $\Delta l = 5 \text{ m}$ , koje se mogu nazvati i poddionice, jer više kratkih poddionica čine jednu dugu dionicu određenog prečnika. Zbog velikog broja iteracija koje se rade, ovaj proračun je najpogodnije kompjuterizirati.

Tabela 1. Dobiveni rezultati za pneumatski transport pepela sa promjenjivim prečnikom

Dopunski koeficijent trenja $\lambda_m$	Koeficijent trenja materijala $\lambda_m$	Brzina taloženja $u_D, \text{ m/s}$	Koeficijent A
0,04908	0,0491	0,04	1,14

Tabela 2. Dobiveni rezultati za vertikalni pneumatski transport pepela sa promjenjivim prečnikom

	Dužina $l, \text{ m}$	Prečnik $D, \text{ m}$	Brzina vazduha $v, \text{ m/s}$	Brzina materijala $u, \text{ m/s}$	Apsolutni pritisak $p, \text{ bar}$	Temperatura $T, \text{ K}$
<b>Zadnja dionica</b>	70	0,3127	12,95–18,47	12,89–18,4	1,44–1,01	310
<b>Prva dionica</b>	70	0,263	12,81–18,9	12,74–18,81	2,12–1,44	320

Tabela 3. Dobiveni rezultati za kosi pneumatski transport pepela sa promjenjivim prečnikom

	Dužina $l, \text{ m}$	Prečnik $D, \text{ m}$	Brzina vazduha $v, \text{ m/s}$	Brzina materijala $u, \text{ m/s}$	Apsolutni pritisak $p, \text{ bar}$	Temperatura $T, \text{ K}$
<b>Zadnja dionica</b>	85	0,3127	12,78–18,47	12,72–18,4	1,45–1,01	310
<b>Prva dionica</b>	55	0,263	14,03–18,65	13,96–18,57	1,94–1,45	320

Kao što se vidi iz tabele 2. i tabele 3. pad pritiska je nešto veći za vertikalnu liniju pneumatskog transporta. Jedan od razloga jeste izračunavanje dopunskog koeficijenta trenja iz izraza (5), gdje je ugao nagiba  $\delta$  za vertikalnu liniju  $90^\circ$ , a za kosu liniju  $45^\circ$ . Drugi razlog jeste proračun konačne brzine materijala iz izraza (4).

Kao što se vidi iz tabele 2. i tabele 3. brzina vazduha je održana u granicama 10-20 m/s, i to na način da se prečnik promijenio jednom sa 0,263 m na 0,3127 m. Na ovaj način se obezbjeđuje pouzdan transport pepela kroz cjevovod, bez rizika od oštećenja i začepjenja cjevovoda. Pad pritiska na prelazu između dvije dionice se zanemaruje, a ukupni pad pritiska je zbir pojedinih padova pritiska po dionicama. Svaka dionica ima određenu dužinu, prečnik, kao i opseg brzina vazduha i brzina materijala, koji ne prelaze dozvoljene granice.

#### 4. ZAKLJUČAK

Kao što je to prikazano u poglavlju 3.  $\lambda_m - Fr$  metod je pogodan za proračun pada pritiska kod vertikalnog i kosog pneumatskog transporta. Postoji dva načina proračuna ovim metodom, a rezultati koji su dati u poglavlju 3. su dobiveni koristeći metod „korak po korak“. Da bi se brzina održala u dozvoljenom opsegu, potrebno je izvršiti promjenu prečnika cjevovoda. Sam proračun je rađen od kraja cjevovoda, gdje je pretpostavljen apsolutni pritisak, prema početku cjevovoda, što je veoma pogodno kada je u pitanju pneumatski transport sa promjenjivim prečnikom. Zbog različitog nagiba vertikalne i kose linije pneumatskog transporta u odnosu na horizontalnu osu, pad pritiska i profil brzina vazduha se međusobno razlikuju.

#### NOMENKLATURA

$A$	koeficijent za računanje brzine taloženja	$R$	gasna konstanta za vazduh, J/kgK
$d$	prečnik čestice materijala, m	$Re$	Reynolds-ov broj
$D$	unutrašnji prečnik cjevovoda, m	$T$	temperatura vazduha u cjevovodu, K
$Fr$	Froud-ov broj za vazduh	$u$	brzina materijala, m/s
$Fr^*$	Froud-ov broj povezan za brzinu taloženja	$u_p$	brzina taloženja, m/s
$g$	ubrzanje sile Zemljine teže, m/s	$v$	brzina vazduha, m/s
$k$	unutrašnja hrapavost cijevi, m	$q$	zapreminski protok vazduha u cjevovodu, m <sup>3</sup> /s
$l$	dužina dionice, m	$q_k$	zapreminski protok vazduha iz kompresora, m <sup>3</sup> /s
$L$	dužina cjevovoda, m		
$m_m$	maseni protok materijala, kg/s		
$p$	apsolutni pritisak u cjevovodu, Pa		
$p_1$	apsolutni pritisak u cjevovodu na početku dionice, Pa		
$p_2$	apsolutni pritisak u cjevovodu na kraju dionice, Pa		

#### Grčki alfabet

$\Delta p$	pad pritiska, Pa	$\lambda_s$	koeficijent trenja mješavine pepela i vazduha
$\Delta l$	dužina dionice (poddionice), m	$\mu_m$	maseni odnos čvrsto-vazduh, kg/kg
$\Delta u$	razlika između brzina materijala, m/s	$\rho$	gustina vazduha, kg/m <sup>3</sup>
$\delta$	ugao nagiba cijevi, °	$\rho_m$	gustina materijala, kg/m <sup>3</sup>
$\eta$	dinamički viskozitet vazduha, Pa s		
$\lambda$	koeficijent trenja vazduha		
$\lambda_m^*$	koeficijent trenja materijala		
$\lambda_m$	dopunski koeficijent trenja		

#### LITERATURA

- [1] Barbalić, N. & Džaferović, E., (2007), Transport čvrstih čestica fluidom, Mašinski fakultet Sarajevo, Sarajevo
- [2] White, F.M., (2003), Fluid Mechanics, 5<sup>th</sup> ed., WCB McGraw-Hill
- [3] Džaferović, E. & Hadžiahmetović, H., (2012), Pneumatski transport, Mašinski fakultet Sarajevo, Sarajevo
- [4] Pantić, V., (1990), Pneumatski transport, Energoinvest Sarajevo
- [5] Mills, D., (2004), Pneumatic Conveying Design Guide, Second Edition, Butterworth-Heinemann, ISBN: 0705654716, UK



## **SOLID CONTAMINANTS IN HYDRAULIC OIL AND THEIR IMPACT ON THE INTENSITY OF WEAR AND TEAR OF WORKING ELEMENTS IN DIRECTIONAL VALVES**

**Mitar Jocanović<sup>1</sup>, Velibor Karanović<sup>2</sup>, Milija Kraišnik<sup>3</sup>**

*Abstract: Problems of hydraulic components wear and tear have been present from the very beginning of their use. Service life of hydraulic components and systems is influenced by oscillations of working parameters values and by the quantity of contaminants which, during the exploitation, enter into a hydraulic system. This paper presents the experiment results regarding the impact of solid particles on the intensity of wear of the hydraulic valve working elements.*

*Key words: oil hydraulics, wear, maintenance, solid particle contamination.*

### **1. INTRODUCTION**

The majority of hydraulic components consist of elements being in relative motion in relation to each other. Generally speaking, these elements are mutually loaded by action of forces onto their surfaces, which is the consequence of the fluid pressure existence. The mechanism of elements separation within a component is based on the principle of separation of surfaces in contact by an oil film.

In order to separate high pressure zones from low pressure zones within hydraulic components, we can apply either of the two sealing methods: contact sealing or non-contact sealing. Elements within a component that are in motion in relation to each other require the mechanism of non-contact sealing. Here, the ratio between the required size and length of the clearance plays an important role. The clearance size and the folding length with non-contact sealing components depend on the following factors [1]:

- type of the component – component construction;
- the constructor's understanding and his construction concept - components of the same type and same nominal size, manufactured by different manufacturers, often differ in the clearance size and folding length of working elements in the component;
- work flow - components with higher fluid flows often have with a larger clearance

---

<sup>1</sup>Dr Mitar Jocanović, University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, mitarj@uns.ac.rs,

<sup>2</sup>Velibor Karanović, University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, velja\_82@uns.ac.rs,

<sup>3</sup>Dr Milija Kraišnik, University of East Sarajevo, Faculty of Mechanical Engineering, milijakraisnik@yahoo.com

- working pressure - different sizes of clearances are constructed subject to pressure height;
- component size - components with elements assemblies of larger diameters have larger clearances (than standard measure);
- working conditions and use of the component – components which have to regulate the operation of a system more precisely, shall have smaller clearances (proportional and servo valves);
- year of manufacture – components of older generations have slightly larger clearances comparing to newer generations.

Regarding the above listed factors, problems of defining the tolerance area for the presence of solid particles are very complex, as some of the components, which are identical in construction, working pressure and flow, may have different clearances, i.e. the tolerance areas and sensitivity to contaminants may differ.

Real work clearances of components are defined by working conditions of the respective component. Depending on sizes of work clearances, the cleanliness of working fluid is defined, providing in such condition a reliable, long-lasting and precise working of the component.

Particles of the size equal to the size of the clearance between the elements of an assembly make the most significant problems. Particles of the size larger than the size of the clearance cannot pass through, while smaller particles pass through the clearance without contact in case of being three times smaller comparing to the clearance size - *conclusions from previous research* [2].

The analysis of solid particles flow through clearances has shown that the above statement might not be true. Actually, it is the machine processing of surfaces forming the clearance, or the roughness of the surface, that influence the flow of solid particles of certain sizes. If we analyse particles of the size equal to the size of the clearance, on highly rough surfaces, the particles will stop in the clearance, however, on less rough surfaces, particles will flow through with considerably less disturbance [3]. Particles slightly smaller than the clearance size, can, under certain working conditions (pressure, flow), cause abrasive wear to working surfaces in contact, and in case of the particles aggregation, some problems may occur, such as irregular operation of components or even their failure [4, 5]. During the passing of a particle through the clearance, the particle at the same time causes wear to both contact surfaces with the intensity depending on different factors, primarily on the hardness, shape and origin of particles, as well as on the material the surfaces are made of. Additional contamination of oil is caused by the wear of contact surfaces. In further considerations of the paper, a part of conducted experimental research is given in order to show intensity of solid particle influence on directional hydraulic valve performance.

## **2. EXPERIMENTAL TEST OF THE IMPACT OF SOLID PARTICLES ON WEAR OF PISTON - CYLINDER CONTACT SURFACES IN DIRECTIONAL VALVE**

Experimental installation has been designed to simulate actual conditions of operation of directional valve in a hydraulic system. All components assembled in the experimental installation are standard and selected with the aim of providing values of working parameters required by the experiment. In addition to providing defined pressure, flow and temperature values, the experimental installation was intended also to provide the maintenance of solid particles in working fluid at the required level, in order to determine their impact on the intensity of wear of contact surfaces of the cylindrical contact pair on the examined component. Figure 1 shows a schematic view of the experimental installation. The concept of installation is based on the principle of



open hydraulic circle, with circulating oil of pre-determined cleanliness level.

To perform the experiment, we have used mineral oil based hydraulic fluids with ISO VG 46 viscosity grade of HM quality.

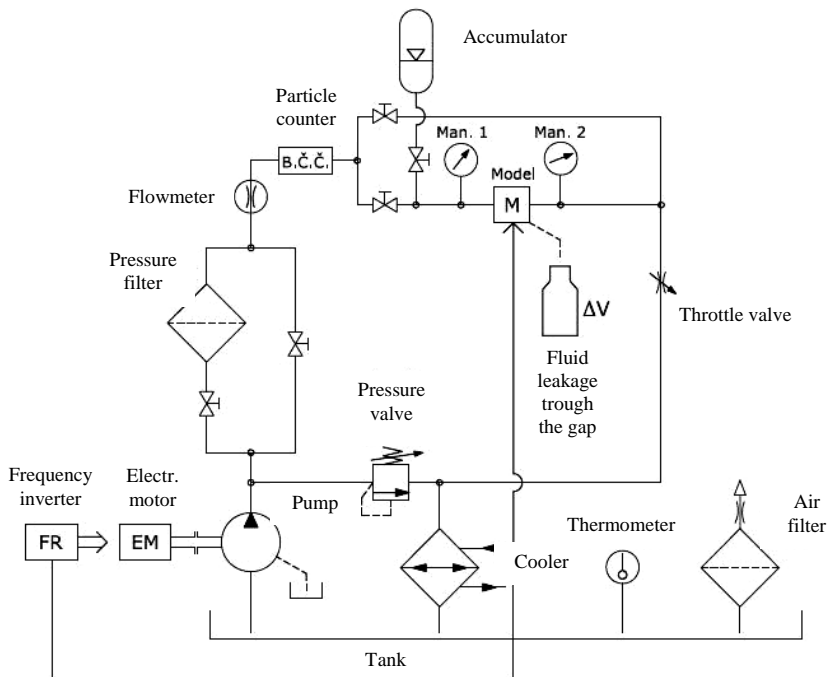


Figure 1. *Experimental installation for wear test of the contact pair [6]*

Table 1. shows the values of working parameters to be used in the course of experimental test.

Table 1. *Planned values of working parameters for experimental test*

Directional valve	Working pressure (bar)	Working temperature (°C)	Cycles number	Valve activation frequency (Hz)	Oil cleanliness level (NAS 1638 / ISO 4406/99) for particles $\geq 4 \mu\text{m}_{(c)}$
RV1	150	45	1 100 000	1	NAS 11 / ISO 22
RV2					NAS 10 / ISO 21
RV3					NAS 9 / ISO 20

During the experimental test, working parameters have been maintained within defined ranges in order to prevent quality deterioration of gathered data. Regarding their size, solid particles were measured with standardized device for determination of cleanliness level (solid particles counter), in defined volume of oil (1 ml), and presented in relation to the clearance size, between the valve piston and housing, through which, the working fluid was flowing during the experimental measuring - Figure 2. We must not forget here, that the particle size is represented by the sphere diameter as the equivalent of the recorded projection of the particle surface during its motion together with the fluid through the sensor, and not as the largest measured length, or any other

form of the particle. This is to say that measuring depends also on the particles orientation at the moment of their passage through the sensor, for which reason the measured particles of sizes larger than the clearance size can pass through the clearance if they take a proper position when entering the clearance.

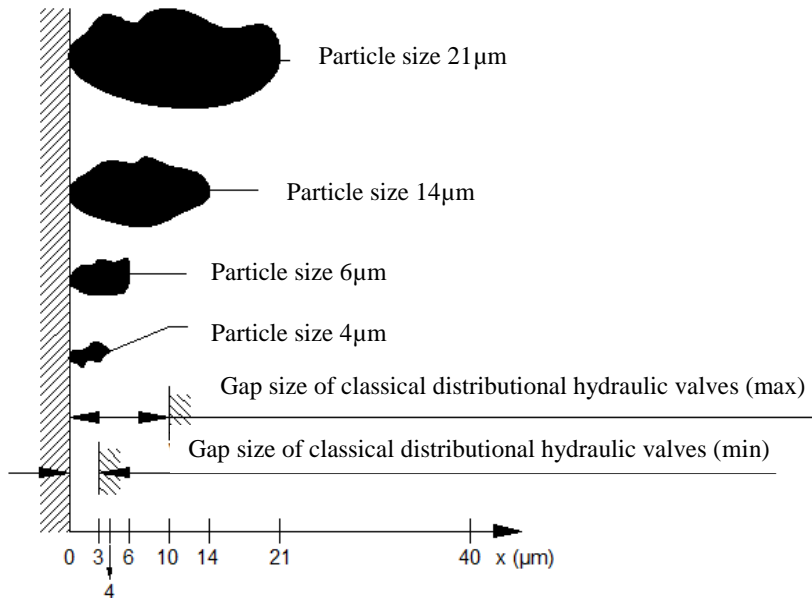


Figure 2. Relation between the minimum and maximum size of radial clearance and the size of solid particles [6]

Figure 3 shows the part of the installation, where the neutral and working positions of the directional valve are visible, as well as positions where oil samples are taken for the contamination analysis and the analysis of the quantity of the fluid leakage flow through the clearance in a unit of time.

### 3. MEASUREMENT RESULTS

The indicator reliably showing the impact of worn piston-cylinder contact pair in the tested directional valve is represented by relation between measured values of fluids flow through clearances in the static (when the valve is under load in neutral position – Figure 3) and dynamic (when the piston is continuously moving from neutral into working position and v.v., under the load as well – Figure 3b) working conditions.

Depending on the level of solid particle contamination of the fluid, the wear of contact surfaces of the valve piston and body represent the parameter having the most significant impact on the size of volume losses. In addition to the clearance, the particles can also show considerable impact, regarding the fact they can accumulate and form a barrier (deposits) when entering the clearance, which, for some time, prevents or decreases the flow of the fluid through the clearance. The formed barrier is exposed to the constant pressure, which under certain conditions can crack, producing consequently a sudden increase in fluid flow through the clearance together with the particles released from the barrier. The described occurrence is more likely to happen under static conditions of the valve operation, because the piston in the component is motionless making it possible for the barrier formation.

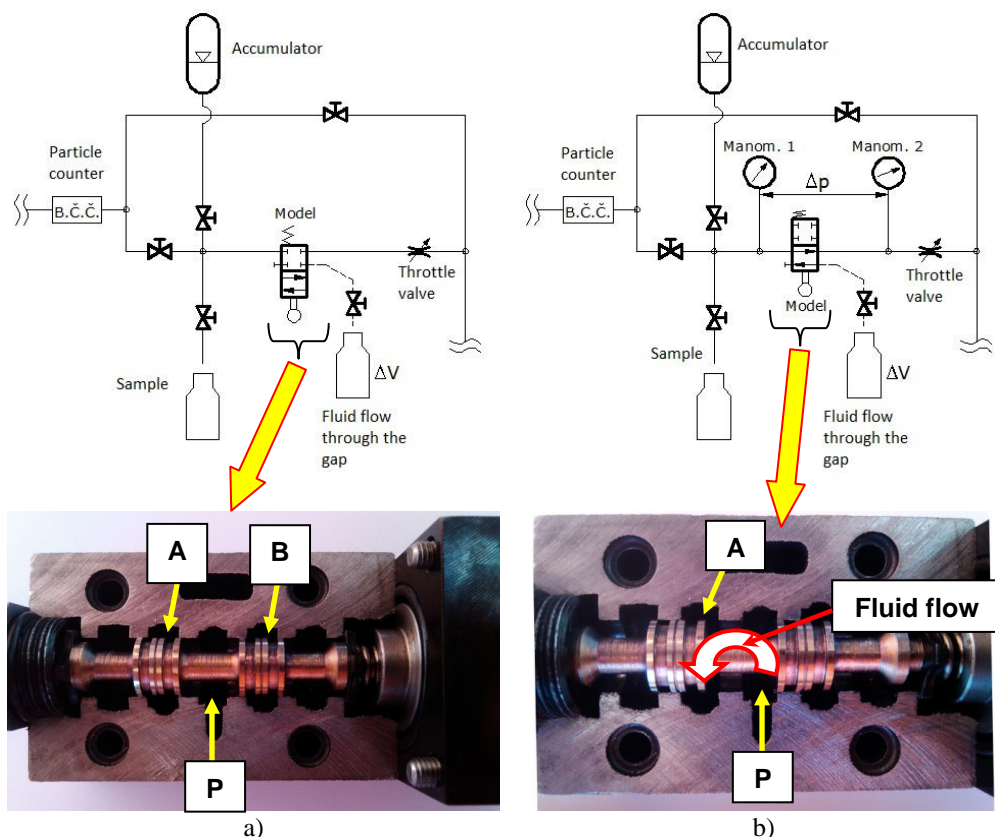
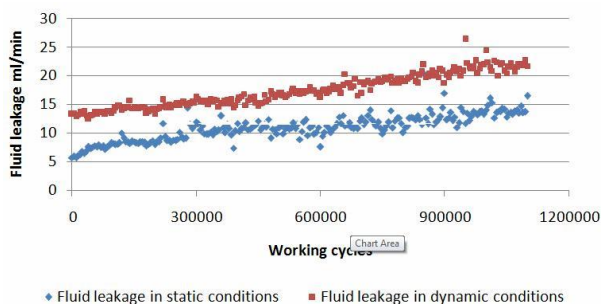


Figure 3. Working positions: a) valve in neutral position; b) valve in working position (P – pressure line, A, B – working lines) [6]

Figure 4 shows volume loss diagrams for all three tested valves. On the diagram, we can notice that RV1 valve shows the largest volume losses. However, we can also see that there are differences between measured values of volume losses under the static and dynamic conditions of the valve operation. Volume losses decrease with the increase of the working fluid cleanliness level, so that the RV3 valve, that was working with the cleanest fluid (table 1), shows the lowest measured values of the volume losses.



a) Volume losses for RV1

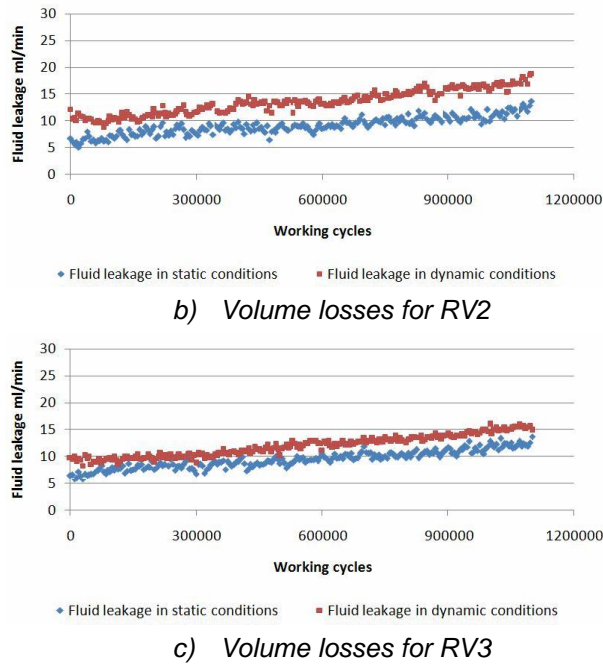


Figure 4. Display of volume losses for all three examined valves [6]

The generated power losses resulting from the leakage flow of working fluid through the clearance, may seem irrelevant in the case of a simple hydraulic system, however, in the case of a complex hydraulic system, containing several dozens of such valves, the generated losses should not be neglected. Furthermore, the decreased flow will result in the pressure drop within the system and the decrease of the work speed in actuators, i.e. in hydraulic cylinders and motors.

In order to illustrate the impact of solid particles as contaminants on the intensity of wear, we have shown in table 2 measured values of critical clearance between the valve piston and body for a determined number of work cycles.

Table 2. Measured clearance values for all three valves [6]

No. cycles	RV1	RV2	RV3
0	5.95	4.95	6.4
200000	7.5	5.7	7.75
400000	9.8	7.45	9.2
600000	19.7	8.1	8.75
800000	25.8	9.3	8.9
1000000	32.5	10.15	11
1100000	34.75	11	10.55
Coefficient of gap increase $K_x$	<b>5.03</b>	<b>1.96</b>	<b>1.49</b>

\*Coefficient  $K_x$  is obtained as the quotient of average values from the first and the last three measurements according to the formula:

$$K_x = \frac{\bar{X}_{(0,100000,200000)}}{X_{(900000,1000000,1100000)}} \quad (1)$$

Taking into consideration the coefficient  $K_x$  in the Table 2, the most considerable wear of contact surfaces has been noticed with the valve working with the highest oil contamination; RV1 valve (table 1). Also, we can notice that the extent of wear and tear of RV1 valve is unproportionally higher comparing to RV2 and RV3 valves, which leads to the conclusion that cleanliness level has very large impact on the service life of a component.

Figure 5 shows the image of the part of the piston where we can see the wear and tear impact of solid particles within the range of  $4 \div 10 \mu\text{m}$  to the valve piston surface with nominal diameter of 12 mm. Vertical scratches are the result of the tools used for the piston manufacturing in the manufacturing shop, while horizontal scratches represent the result of the impact of solid particles during the translational motion of the piston. The image has been created by SEM (Scanning Electron Microscope) with 1000x magnification.

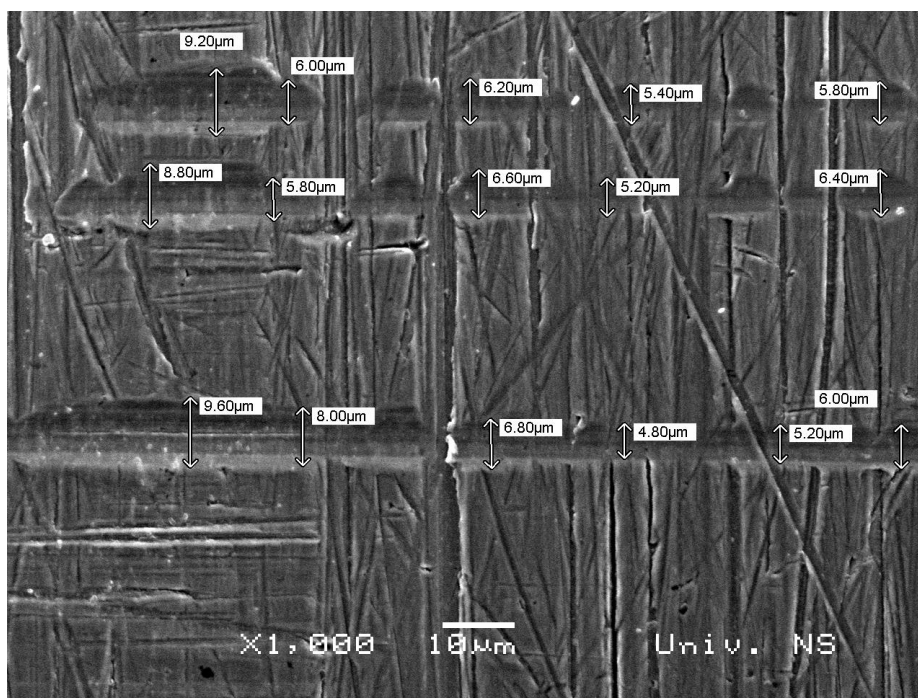


Figure 5. SEM image of worn piston surface [6]

#### 4. FINAL CONSIDERATIONS

During its exploitation, every component in a hydraulic system gradually undergoes wear, which is the result of the impact of different working parameters. The wear process on the contact surfaces of working elements furthermore results in

generation of additional number of solid particles and degradation of work performances of the system.

Based on the data gathered during the above experiment, we can make the following conclusions:

- we can approximately determine the impact of generated solid particles on the service life of a hydraulic component by individual testing of its components under characteristic working conditions;
- under corresponding working conditions (maintaining specific working parameters within the required ranges) we can forecast the critical moment when a component should be replaced;

In future, it will be necessary to perform a considerable number of measurements on piston pumps, directional valves, flow-control valves, etc., of similar construction with characteristic piston – cylinder contact pair, in order to determine appropriate correction factors in the formula for calculation of leakage flow through radial clearances, especially because the experiment has shown significant deviations of measured values from theoretically calculated values of the flow through the radial clearance on tested valves.

The importance of these experiments reflects in the possibility of monitoring of working elements wear and tear and forecasting the service life of a certain hydraulic component. Furthermore, along with the monitoring of the service life, it will be possible to determine the ranges of certain parameters (solid particles and working temperature), which have a significant impact on the maintenance and service life of the component itself. Finally, the obtained results show that fluid leakage flow through radial clearances depends on the working fluid contamination level, and the topic is interesting for further research in future.

## LITERATURE

- [1] Jocanović, M. (2010). Prilaz istraživanju i definisanju modela za proračun proticanja čvrstih čestica sa uljnom masom kroz zazore u funkciji konstrukciono radnih parametara hidrauličnih komponenata, Doktorska disertacija, *Fakultet tehničkih nauka*, Novi Sad, Srbija.
- [2] Williams, J. A., Hyncica, A. M. (2001). Mechanisms of abrasive wear in lubricated contacts, *Hydraulic Failure Analysis: Fluids, Components, and System Effects*, ASTM STP 1339, West Conshosocken, PA, USA, p. 13-30.
- [3] Fa. Vickers, *The System Approach to Contamination Control*, oktobar 2002.
- [4] Feldman, D.G., Kessler, M., "Development of a New Application-Related Test Procedure for Mechanical Testing of Hydraulic Fluids," *Hydraulic Failure Analysis: Fluids, Components, and System Effects*, ASTM STP 1339, American Society for testing and Materials, West Conshohocken, PA, 2001.
- [5] Tessmann, R.K., Hong, I.T., "Hydraulic Pump Contaminant Wear, " *Hydraulic Failure Analysis: Fluids, Components, and System Effects*, ASTM STP 1339, American Society for testing and Materials, West Conshohocken, PA, 2001.
- [6] Karanović, V. (2014). Razvoj modela uticaja čvrstih čestica na rad kontaktnih parova klip-cilindar hidrauličkih komponenti, Doktorska disertacija, *Fakultet tehničkih nauka*, Novi Sad, Srbija.



## IZBOR LOKACIJE ZA IZGRADNJU SOLARNOG SISTEMA PRIMJENOM EKSPERTSKOG SISTEMA

Srđan Ćurić<sup>1</sup>, Obrad Spaić<sup>2</sup>

*Rezime: Imajući u vidu intenzivno iscrpljivanje konvencionalnih energetske izvora, negativne uticaje pri njihovom korišćenju (zagađivanje vazduha, klimatske promjene, itd.), neophodno je izvršiti tranziciju sadašnjeg energetske sistema zasnovanog na fosilnim izvorima energije u novi energetske sistem koji će biti zasnovan na obnovljivim izvorima energije, a prvenstveno na solarnoj energiji, kao neograničenoj energiji i bez štetnih posljedica po životnu okolinu. Međutim, izbor lokacije za izgradnju solarnog sistema je vrlo složen postupak na koji utiče veliki broj faktora. Zbog toga se kao pomoć pri izboru lokacije za izgradnju solarnog (fotonaponskog) sistema koriste ekspertske sistemi, kao jedna od najznačajnijih oblasti vještačke inteligencije. U ovom radu razvijen je ekspertske sistem koji služi kao pomoć pri izboru lokacije za izgradnju solarnog (fotonaponskog) sistema na osnovu meteoroloških faktora.*

*Ključne riječi: ekspertske sistemi, obnovljiva energija, solarni sistemi, vještačka inteligencija.*

### **CHOICE OF LOCATION FOR CONSTRUCTION THE SOLAR SYSTEM USING EXPERT SYSTEM**

*Abstract: Bearing in mind the intense depletion of conventional energy sources, the negative impacts of their use (air pollution, climate change, etc.), it is necessary to transition the current energy system based on fossil energy sources in new energy system that will be based on renewable energy sources, primarily on solar energy because it is the energy that comes directly in front of our door, and without harmful effects on the environment. The choice of location for the construction of a solar system is a highly complex process in which affected a large number of factors. To assist in the selection of sites for the construction of solar (photovoltaic) system uses one of the most important areas of artificial intelligence such as expert systems. This paper gives an example of an expert system based on meteorological factors for selecting the right location for the construction of solar (photovoltaic) system.*

*Key words: expert systems, renewable energy, solar systems, artificial intelligence.*

<sup>1</sup> Dipl. ing., Srđan Ćurić, Trebinje, student master studija, Fakultet za proizvodnju i menadžment Trebinje, srdjancuric@gmail.com

<sup>2</sup> Doc. dr, Obrad Spaić, Trebinje, Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Fakultet za proizvodnju i menadžment Trebinje, obradspaic59@gmail.com



## 1. UVOD

Posljednjih stotinu godina karakteriše osvjetljavanje prostorija petrolejkama i svijećama, ali i rasvjetnim tijelima sa žarnim nitima i diodama. Gotovo istim putem kretao se i razvoj grijanja prostorija za privatnu i javnu upotrebu. Sa većom upotrebom fosilnih goriva počele su se pojavljivati i agresivne vremenske pojave. Stručnjaci su počeli dokazivati da klimatske promjene uzrokuje znatno veća upotreba fosilnih goriva (nafta, benzin, plin i njihova prerada u druge oblike). Sve veće eksploatacije nafte rezultuje sve manjim naftnim zalihama. Ove promjene počele su upozoravati potrošače i naučnu javnost na ozbiljno razmišljanje o mogućnostima upotrebe obnovljivih izvora energije, kao veoma važnim energetskim resursima s gledišta opstanka i razvoja čovječanstva.

Energija Sunca, kao dar prirode za sva vremena, je obnovljiv i neograničen izvor energije od kojeg, direktno ili indirektno, potiče najveći dio drugih izvora energije na Zemlji. Električna energija koja se dobija direktnim pretvaranjem energije sunčevog zračenja naziva se sunčeva fotonaponska - FN (Photovoltaics - PV) energija, a uređaji u kojima se odvija fotonaponsko pretvaranje energije solarne ćelije. Solarne ćelije iz silicijuma se izводе u više morfoloških oblika, a PV moduli, sastavljeni iz više solarnih ćelija, u više različitih oblika i modela. Tako su razvijeni optimalno fiksirani sistemi, sistemi sa jednom osom, kao i sistemi sa dvije i više osa. Količina solarne energije koju PV moduli mogu da prime, a kasnije i pretvore u električnu energiju zavisi od vrste upotrijebljenog materijala i konstrukcionog oblika FN (PV) sistema. U proračunima vezanim za projektovanje i izgradnju solarnih sistema vrlo važan podatak je količina sunčevog zračenja koja zavisi od velikog broja uticajnih faktora kao što su: geografska širina i dužina, godišnje doba, dio dana, čistoća atmosfere, oblačnost, orijentacija i nagib ozračene površine, itd. Pored navedenih faktora količina sunčevog zračenja u velikoj mjeri zavisi i od velikog broja meteoroloških faktora u koje spadaju: prosječan broj dana sa mrazom, broj oblačnih dana u godini, prosječan broj sunčanih sati u toku dana, broj vedrih dana u toku godine, prosječna količina padavina (mm), broj kišnih dana u toku godine ( $>0,1$  mm), prosječna minimalna temperatura, prosječna maksimalna temperatura, prosječna dnevna temperatura, prosječna temperatura u toku 24 časa, kao i relativna vlažnost.

Izgradnja solarnih sistema, a posebno fotonaponskih, nekada je predstavljala vrlo složen i mukotrpan proces koji je iziskivao angažovanje velikog broja eksperata iz različitih oblasti poput: ekonomije, upravljanja projektima, mašinstva, energetike, meteorologije, građevinarstva i mnogih drugih nauka. Angažovanje eksperata vodilo je ka povećanju ukupnih troškova, što je negativno uticalo na odluke investitora o gradnji ovakvih sistema. Međutim, razvojem ekspertskih sistema (ES), kao najistraživanije oblasti vještačke inteligencije problemi oko angažovanja velikog broja eksperata postali su zanemarljivi. ES-i predstavljaju inteligentne računarske programe kojima se simulira način rješavanja problema na način na koji to čine eksperti. Međutim izgradnja ES-a nije jednostavna i zahtijeva posjedovanje inteligentnih alata, koji će olakšati i skratiti vrijeme izgradnje ES-a. Radi takvih problema razvijeni su takozvani shell-ovi ili skeleti za ES-e, koji pored već pripremljene strukture imaju i široko razvojno okruženje te pružaju niz olakšica za brži i jednostavni razvoj ES-a. Jedan od takvih alata je i softver *Acquire 2.1*, koji je korišten u ovom radu za izradu ES koji služi kao pomoć pri izboru lokacije za izgradnju solarnog sistema u zavisnosti od meteoroloških uslova, kao jednog od uticajnih faktora.



## 2. KLIMATSKE KARAKTERISTIKE BOSNE I HERCEGOVINE

Bosna i Hercegovina se nalazi u zapadnom dijelu jugoistočne Evrope i zauzima centralno mjesto na Balkanskom poluostrvu. Klima Bosne i Hercegovine je vrlo raznovrsna, između umjereno-kontinentalne i modifikovane Mediteranske (Jadranske) klime. U jugozapadnim dijelovima BiH, zbog blizine Jadranskog mora, srednje Januarske temperature su visoke i kreću se od 3°C do 5°C, dok su ljeta topla i suva sa apsolutnim maksimalnim temperaturama od 40°C do 45°C. U ovom području srednja godišnja količina padavina kreće se od 1000 l/m<sup>2</sup> do 2000 l/m<sup>2</sup>, dok se srednje godišnje temperature kreću od 12°C do 15°C. U centralnim dijelovima Bosne i Hercegovine preovladava kontinentalno-planinska klima, alpskog tipa. Osnovne karakteristike ove klime su oštre zime sa apsolutnim temperaturama od -24°C do -34°C, dok su ljeta topla sa apsolutnim maksimalnim temperaturama od 30°C do 36°C. Prosječne godišnje padavine kreću se od 1000 l/m<sup>2</sup> do 1200 l/m<sup>2</sup> [3]–[5].

Prosječno sunčevo zračenje u Bosni i Hercegovini je za oko 40% veće od evropskog prosjeka, ali i pored toga korišćenje sunčevog zračenja za proizvodnju električne energije daleko zaostaje za zemljama Evropske unije. Proizvodnja fotonaponskih uređaja od 2002. godine se duplira svake dvije godine uz prosječan godišnji porast od 48%, tako da ova grana privrede pokazuje najbrži razvoj u svjetu u poređenju sa svim ostalim granama energetske tehnologije.

U tabeli 1. date su mjesečne vrijednosti za prosječnu temperaturu (°C), prosječnu količinu padavina (mm) te broj kišnih dana u toku jednog mjeseca (>0,1 mm) za područje cijele Bosne i Hercegovine [4].

Tabla 1. Prosječne mjesečne vrijednosti meteoroloških podataka za područje BiH [4]

Mjesec u godini	Prosječne temperature (°C)	Prosječna količina padavina (mm)	Broj kišnih dana u toku mjeseca (>0,1 mm)
Januar	-0,5	66	16
Februar	1	64	14
Mart	5	62	13
April	10	64	13
Maj	14	90	16
Jun	18	88	14
Jul	20	71	12
Avgust	20	70	8
Septembar	17	78	9
Oktobar	11	103	12
Novembar	7	91	15
Decembar	2,5	85	15

U tabeli 2. date su prosječne, godišnje, vrijednosti broja sunčanih sati u toku dana, vrijednosti ukupnog broja sunčanih sati u toku godine, broj oblačnih dana u toku godine, koji podrazumjeva da je srednja dnevna oblačnost (naoblaka) veća od osam desetina, te broj vedrih dana u toku godine, pod kojim se podrazumjeva da je srednja dnevna oblačnost manja od dvije desetine, za neke od gradova i mjesta u Bosni i Hercegovini [5].

Tabla 2. Prosječne godišnje vrijednosti meteoroloških podataka za neke gradove Bosne i Hercegovine [5]

Neki og gradova i mjesta u BiH	Broj sunčanih sati (dnevno)	Ukupan broj sunčanih sati u toku godine	Broj oblačnih dana	Broj vedrih dana
Banja Luka	4,9	1587,2	129	65
Gradiška	3,8	1285,1	156	77
Bijeljina	5,1	1803,4	123	62
Mostar	6,1	2112,6	98	90
Prijedor	4,7	1498,6	134	68
Sarajevo	5,0	1730,3	126	64
Tuzla	5,2	1897,3	125	63
Trebinje	6,6	2280,1	91	96
Zvornik	4,5	1411,6	140	66
Zenica	3,2	1097,1	125	45

### 3. EKSPERTSKI SISTEMI

Današnji stepen razvoja moderne informatičke nauke sve više omogućava primjenu ekspertskih usluga, među kojima najznačajnije mjesto pripada ekspertskim sistemima.

Pod ES-ima se podrazumjeva takva vrsta programske podrške ili softvera koji u većoj ili manjoj mjeri zamjenjuje čovjeka – eksperta. ES je u stanju da, na osnovu unesenih podataka i ugrađenih logičkih algoritama (pravila zaključivanja) i tako nastale baze znanja, efikasno pomogne korisniku u rješavanju specifične problematike.

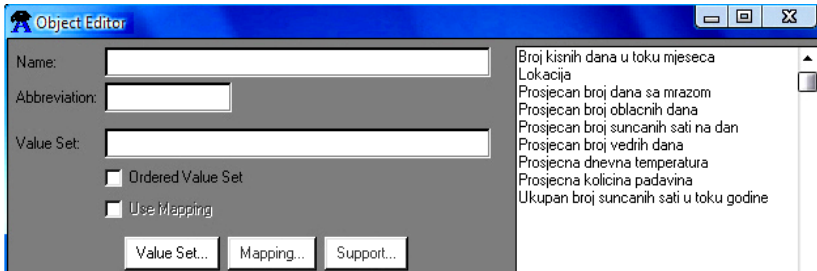
#### 3.1 Acquire 2.1

*Acquire 2.1* je alat koji je namijenjen za razvoj ekspertskih sistema, čija je svrha da u proces kreiranja i razvoja aplikacija direktno uključi eksperte iz različitih oblasti. To se postiže kroz veliki broj alata i metodologija *Acquire 2.1*, koji omogućavaju da se znanje eksperata artikuliše, struktuiraju i sprovodi kroz aplikaciju ekspertskog sistema. *Acquire 2.1* je apsolutno neprogramski orijentisan alat. To je alat, odnosno skelet (shell) za izgradnju ekspertskog sistema koji podržava rad u Windows operativnoj sredini. On ima mogućnost izrade svih elemenata jednog ekspertskog sistema i podržava ulančavanje unaprijed (forward chaining), ulančavanje unazad (backward chaining) i kombinovano ulančavanje. Presentacija znanja u ovom softveru se obezbjeđuje preko produkcionih pravila, akcionih tabela ili kombinacije ove dvije tehnike. Ovaj alat takođe podržava i izradu WEB orjentisanih aplikacija, kao i mogućnost rada u mrežnoj strukturi. Kao potvrda efikasne primjene ovoga alata mogu se navesti korisnici koji ga primjenjuju u svojim sistemima i radnom okruženju. Neki od njih su: Atomic energy of Canada Ltd., British Columbia Assessment Authority, British Columbia Energy, Canadian Space Agency, Council for Scientific and Industrial Research, te oko stotinu drugih organizacija i institucija.

U ovom radu je, primjenom softvera *Acquire 2.1*, kreiran ekspertski sistem kao pomoć za izbor lokacije za izgradnju solarnog sistema na bazi meteoroloških parametara.

### 3.2 Izgradnja ES-a za izbor lokacije za izgradnju solarnog sistema

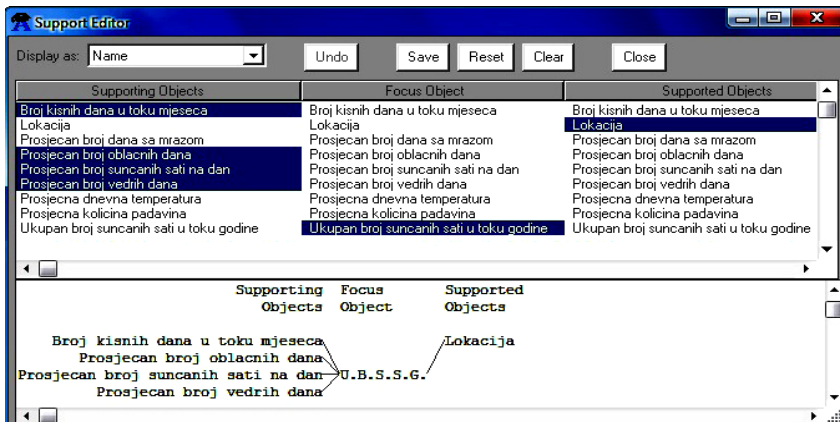
Prvi korak koji se sprovodi prilikom modeliranja ekspertskog sistema (baze znanja) jeste definisanje objekata u skladu sa problemom koji se rješava. Za ovaj primjer definisani su objekti prikazani na slici 1.



Slika 1. Definisani objekti

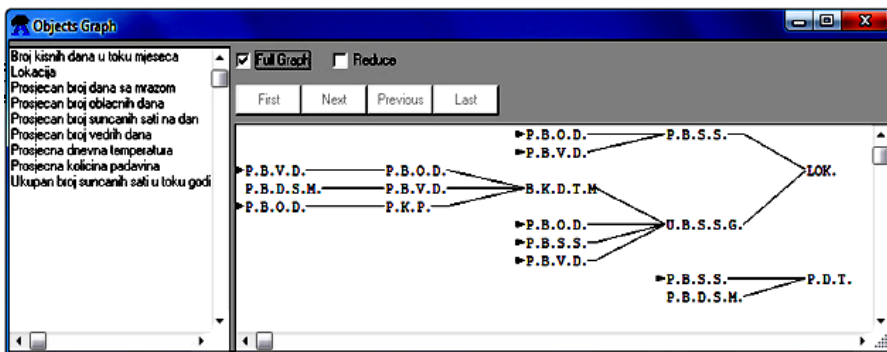
Odabirom opcije *Object* iz menija *Editors* pokreće se *Object Editor* u kome se definišu nazivi objekata. Zatim se odabirom opcije *Value Set Editor* postavlja vrijednost za definisane objekte. U ovom slučaju vrijednosti su atributivnog karaktera, zbog poznatih osobina ekspertskih sistema da manipulišu simboličkim podacima i ne rade po unaprijed zadatim algoritmima. Problemi koje oni rješavaju su slabo strukturirani i ne podliježu matematičkom modeliranju i formalizmu. Npr. objekat *lokacija*, kao glavni objekat, rangiran je sa vrijednostima: *može biti iskorištena* i *ne može biti iskorištena*.

Sljedeća aktivnost u izradi ekspertskog sistema je definisanje međuzavisnosti objekata i stvaranje stabla objekata po kojem će se vršiti odlučivanje. To se postiže primjenom opcije *Support*. Objekti se mogu definisati kao „*supporting*“ objekti, odnosno noseći objekti na koje se usredsređuje aktivnost ili kao „*supported*“ objekti tj. objekti koji su podržavani. Jedan od nosećih objekata je: prosječan broj sunčanih sati na dan, dok je kao podržavani objekat definisan objekat lokacija. To je prikazano na slici 2.



Slika 2. Forma za definisanje međuzavisnosti objekata

Povezivanjem objekata u *Support Editor*-u kojim se definišu međuzavisnosti, te dodjelom vrijednosti tim objektima dobija se *Object Graph* ili stablo međuzavisnosti objekata po kome se vrši odlučivanje u ES-u, što je i prikazano na slici 3.



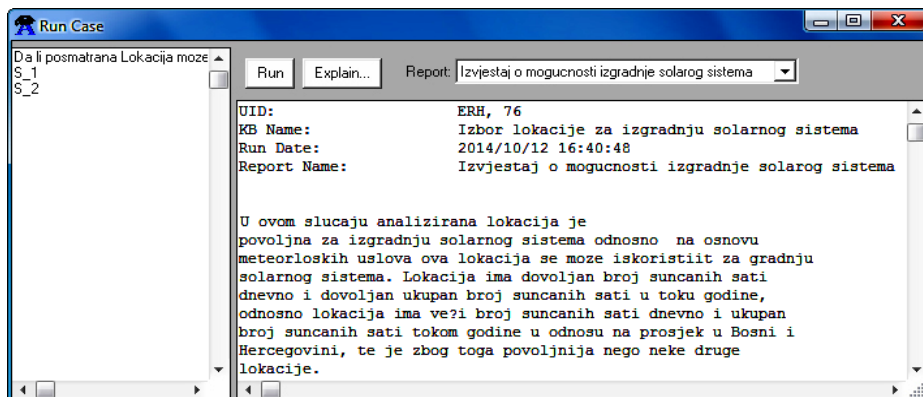
Slika 3. Stablo međuzavisnosti objekata

Poslije ove faze pristupa se fazi izgradnje pravila ekspertskog sistema. To je najznačajnija faza pri izradi ekspertskog sistema, jer na osnovu ove faze funkcioniše cijeli ekspertski sistem. Zbog toga u ovoj fazi greške moraju biti svedene na minimum. Ovaj ekspertski sistem je baziran na produkcionim pravilima izrađenim primjenom dvije metode i to *metodom akcionih tabela* i *metodom produkcionih pravila*. Postupak kreiranja produkcionih pravila vrši se izborom pravila desne strane odnosno izborom RHS objekta (eng. Right hand side) tj. selektovanjem tog objekta, nakon toga vrši se selektovanje objekata lijeve strane odnosno LHS objekata (eng. Left hand side). Potom se u dijelu *Action Table* definišu vrijednosti za kreirana pravila, što je i prikazano na slici 4.

P.B.S.S.	U.B.S.S.G.	RH Side
Dovoljan-(P.B.S.S.)	Visok-(U.B.S.S.G.)	Moze-biti-iskoristena
Dovoljan-(P.B.S.S.)	Nizak-(U.B.S.S.G.)	Ne-moze-biti-iskoristena
Dovoljan-(P.B.S.S.)	UNKNOW	UNKNOW
Nedovoljan-(P.B.S.S.)	Visok-(U.B.S.S.G.)	Moze-biti-iskoristena
Nedovoljan-(P.B.S.S.)	Nizak-(U.B.S.S.G.)	Ne-moze-biti-iskoristena
Nedovoljan-(P.B.S.S.)	UNKNOW	UNKNOW
UNKNOW	Visok-(U.B.S.S.G.)	Moze-biti-iskoristena
UNKNOW	Nizak-(U.B.S.S.G.)	Ne-moze-biti-iskoristena
UNKNOW	UNKNOW	UNKNOW

Slika 4. Forma akcione tabele

Nakon što je od eksperta prikupljeno određeno heurističko znanje o solarnim sistemima, oblicima deskripcije i introspekcije, te metodama intervjua, tehnikama kritičnih događaja i metodama analize odlučivanja, u poslednjoj fazi kreiranja ES-a vrši se identifikacija koncepata, organizuje se i formalizuje znanje koje se predstavlja, identifikuju metode, vrši izbor softverskog okruženja za razvoj, implementira, testira, revidira, instalira i održava ekspertski sistem. Nakon prolaska kroz niz ovih faza ekspertski sistem je spreman za upotrebu. Startovanjem opcije „Run“ koja se nalazi u početnoj formi softvera, sistem poslije kratkog vremena uvodi korisnika u dijalog box u kome korisnik odgovara na postavljena pitanja. U zavisnosti od odgovora korisnika, vrši se zaključivanje ekspertskog sistema te se dobija izvještaj čiji je primjer prikazan na slici 5.



Slika 5. Korisnički izvještaj

#### 4. UPOREDNA ANALIZA DOBIJENIH REZULTATA

Radi provjere ispravnosti dobijenih rezultata, rezultati dobijeni ES-om upoređeni su sa podacima iz baze podataka *PV GIS (Geographical Assessment of Solar Resource and Performance of Photovoltaic Technology)*. PV GIS sistem daje podatke koji su jako značajni pri donošenju odluke o mjestu gradnje solarnog sistema, a odnose se na ozračenje (iradijanciju) i ozračenost (iradijaciju). U tabeli 3. dati su uporedni podaci za neka mjesta u Bosni i Hercegovini dobijeni kreiranim ES-om kao i prosječni iznos globalne sunčeve ozračenosti (iradijacije) po kvadratnom metru izražen u  $\text{kWh/m}^2$  preuzetim iz PV GIS-a.

Tabla 3. Usporedna analiza dobijenih rezultata [8]

Mjesto u BiH	Izveštaj (zaključak) ES-a	Rezultati PV GIS-a
Gradiška	Lokacija nije pogodna za izgradnju solarnog sistema u odnosu na prosječnu povoljnost u BiH	1440 $\text{kWh/m}^2$
Mostar	Lokacija je pogodna za izgradnju solarnog sistema jer je iznad prosječne povoljnosti u BiH	1710 $\text{kWh/m}^2$
Trebinje	Lokacija je pogodna za izgradnju solarnog sistema jer je iznad prosječne povoljnosti u BiH	1820 $\text{kWh/m}^2$
Zenica	Lokacija nije pogodna za izgradnju solarnog sistema u odnosu na prosječnu povoljnost u BiH	1380 $\text{kWh/m}^2$

Iz date tabele se vidi da Gradiška i Zenica imaju manju vrijednost sunčeve odnosno solarne ozračenosti u odnosu na prosjek u BiH tako da to nisu pogodna mjesta za izgradnju solarnog sistema. Mjesta poput Mostara i Trebinja imaju veću vrijednost sunčeve ozračenosti pa su pogodna za izgradnju solarnih sistema. Testiranje kreiranog ES-a takođe pokazuje da Gradiška i Zenica nisu pogodne lokacije za izgradnju solarnih sistema, dok Mostar i Trebinje jesu. Rezultati dobijeni od strane ekspertskog sistema saglasni su sa podacima iz PV GIS baze podataka, tako da se ES može koristiti za ovakvu analizu.

## 5. ZAKLJUČCI

Analiza provedena u radu pokazuje da Bosna i Hercegovina ima veliki solarni potencijal koji bi trebalo maksimalno iskoristiti. Međutim, izbor lokacije za izgradnju solarnih sistema zavisi od velikog broja uticajnih faktora, tako da su neophodna odgovarajuća istraživanja zasnovana na znanju eksperata, koji su neophodni u svim djelatnostima a posebno u energetici. Obzirom da eksperti, zbog finansijskih i drugih ograničenja, često ne stoje na raspolaganju nameće se realna potreba za razvojem ekspertskih sistema koji ih u velikoj mjeri mogu zamjeniti. Tako je, tokom posljednje dvije decenije, za određivanje optimuma korištenja energenata razvijen veći broj ekspertskih sistema. Za razliku od takvih ekspertskih sistema u ovom radu je, primjenom softvera *Acquire 2.1*, kreiran ekspertski sistem za pomoć pri donošenju odluke o gradnji solarnog sistema. Pri kreiranju ekspertskog sistema u obzir su uzeti samo meteorološki faktori. Testiranjem kreiranog ekspertskog sistema potvrđeno je da ES korisniku pruža neophodne povratne informacije o akcijama koje je neophodno preduzeti da se, na osnovu meteoroloških faktora, riješi problem izbora lokacije za izgradnju solarnog sistema. Time se ubrzava proces donošenja odluke u pogledu izbora lokacije za izgradnju solarnog sistema na bazi meteoroloških parametara. Iako je teško dostižno da jedan ekspertski sistem daje rezultate kakve bi dao ekspert, testiranjem ovog ekspertskog sistema je pokazano da se postavljanjem manje ambicioznih ciljeva, kao što je pomoć pri donošenju odluka, mogu ostvariti veoma dobri rezultati. U radu je razvijen ES za pomoć u odlučivanju pri izboru lokacije za izgradnju solarnog sistema u zavisnosti samo od meteoroloških uslova. Međutim za potpunu analizu izbora lokacije za izgradnju solarnog sistema neophodno je razviti ES u koji će biti uključeni i ostali uticajni faktori.

## LITERATURA

- [1] Radosavljević, J., Pavlović, T., Lambić, M. (2004). *Solarna energetika i održivi razvoj*, Građevinska knjiga, Beograd.
- [2] Pavlović, T., (2011). et al. *Analyses of PV systems of 1 kW electricity generation in Bosnia and Herzegovina Contemporary Materials (Renewable energy sources) II*
- [3] Bosnia and Herzegovina – Land of diversity, <http://www.cbd.int/doc/world/ba/ba-nr-01-en.pdf>, pristupljeno 09.5.2014.
- [4] Hidrometeorološki zavod Bosne i Hercegovine – oficijalna web stranica hidrometeorološkog zavoda BiH, <http://www.fhmzbih.gov.ba/latinica/bihklima.php>, pristupljeno 07.5.2014.
- [5] Weather online – world weather, <http://www.weatheronline.co.uk/weather/maps>, pristupljeno 11.5.2014.
- [6] D. O. Hall, J. Morton ed. (1982). *Solar World Forum*, v. 4, Pergamon Press, Oxford.
- [7] G. Furlan ed. (1981), *Nonconventional Energy*, Plenum Press, New York.
- [8] PVGIS © European Communities, <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>, pristupljeno 10.05.2014



## SIMULATION OF A SOLAR SYSTEM FOR DEMANDS OF AN INDOOR SWIMMING POOL

Marko Mančić<sup>1</sup>, Dragoljub Živković<sup>2</sup>, Milena Todorović<sup>3</sup>

*Abstract: Systems for heating indoor swimming pools represent large energy consumers, with their specific energy consumption per unity of surface higher than that of outdoor swimming pools. Heat consumption of an indoor swimming pool typically consists of heating and ventilation of the swimming pool hall 45%, heating of swimming pool water 33%, heating, ventilation and airconditioning of the rest of the building 10%, electricity for equipment and lighting 9%, and heating sanitary hot water 3% [1]. Greatest energy consumer in such buildings is the swimming pool hall, where where water evaporation from the swimming pool water surface into the swimming pool hall air takes place. Water loss is compensated by fresh water supply, which affects energy demand for heating swimming pool water. In this paper, use of flat plate solar collectors for heating indoor swimming pool water is analyzed. Modeling and simulation of annual energy behavior of the swimming pool hall, indoor swimming pool and sanitary hot water demand is done using TRNSYS software. Number of equipped solar collectors in the model was varied from 120 to 156 with a step of one array equal to 12 collectors. Ratio of energy demand met by solar energy was 71% to 87%. The simulation results showed that up to 90% of heating energy demands for heating swimming pool water and up to 75% of heating energy demands for heating sanitary hot water can be met using flat plate solar collectors.*

*Key words: Indoor swimming pool, solar energy, flat plate solar collectors, annual simulation*

### 1. INTRODUCTION

Indoor swimming pool buildings have a large energy footprint. Energy in swimming pool halls is used for maintaining thermal comfort conditions in the hall and the pool water at desired temperature. Breakdown of energy consumption in indoor swimming pool buildings showed that: 45% of energy is used for pool hall ventilation, 33% for heating pool water, 10% for heating and ventilation of the rest of the building, 9% for lighting and equipment and 3% sanitary hot water [1]. Pool hall, together with

<sup>1</sup>Marko Mančić, PhD Student, Niš, Faculty of Mechanical Engineering, University of Niš  
markomancic@yahoo.com

<sup>2</sup>PhD Dragoljub Živković, Full professor, Niš, Faculty of Mechanical Engineering, University of Niš  
dzivkovic@masfak.ni.ac.rs

<sup>3</sup>Milena Todorović, PhD Student, Niš, Faculty of Mechanical Engineering, University of Niš  
milenaod1@yahoo.com

the swimming pools can be considered as a greatest energy consumer, and may account for up to 60% of total energy use [2,3]. There are many swimming pool buildings, most of them are parts of large public sport centers in Serbia, maintained and operated by local authorities or parts of hotel and leisure facilities. Swimming pool buildings generally consume vast amounts of energy [1], with significant waste of energy and thus possibilities for energy efficiency improvements.

Due to large energy demands, swimming pool energy efficiency has been subject of research in the last few decades. Utilization of solar energy, due to the relatively low water temperatures, is especially significant for open swimming pools, where the pool is heated only in summer period. This way of using solar heating systems represents one of the most efficient and economically most effective ways of using solar energy. In 1963, Czarnecki proposed a method for solar heating outdoor swimming pools using a transparent plastic pool cover, which raises solar radiation gains while reducing evaporative loss [4]. Szeicz and McMonagle made an energy balance of urban swimming pool in 1982, and found use of solar collectors and pool blankets to be most effective [4]. Performance of open absorption system and mechanical heat pump for use in indoor swimming pool showed that 40-50% of total energy demand can be related to hot water production [5]. Energy savings in indoor swimming pools can also be achieved using heat pumps [7]. Hahne and Kübler performed a simulation of outdoor swimming pool using TRNSYS software, and reported that use of unglazed solar collectors can reduce gas consumption by 40%, but sanitary hot water was neglected [3].

Detailed research of public open swimming pools in Central Europe show that pure solar radiation is sufficient for heating pool water [2,3]. The reason for this is that during bad weather, when flat plate solar collectors (FPSC) are not able to produce enough heat, the usage of the swimming pool is low. To compensate the heat loss of pool water, flat plate SEC are used most often. Heat losses of pool water depend on the difference between water in the pool, temperature and humidity of the environment air, location of the swimming pool, velocity of air flow above the pool (wind), flow rate of the cold water and its temperature, size and quality of pool insulation. Daily heat loss of open swimming pools can be roughly estimated to  $4\text{kWh}/(\text{m}^2\text{day})$ , and for indoor swimming pools to  $2.5\text{kWh}/(\text{m}^2\text{day})$  [2,3,6,7].

Heating, air conditioning and ventilation systems in indoor swimming pool buildings are designed to provide suitable thermal comfort conditions for pool users in the pool hall areas. Indoor temperature is kept at relatively high levels (24- 29°C), which creates conditions for significant evaporation rates from pool water surface. Relative humidity should be kept below recommended values not only for occupant comfort reasons, but also to prevent corrosion and condensation problems in the facility. In order to achieve lower energy consumption for heating in the building, it is important to determine and maintain an optimal ratio between air temperature, pool water temperature, and air velocity in the pool hall.

In this paper, indoor swimming pool was modelled, together with the sanitary hot water heating system to determine the ratio of energy demands for hot water heating which could be covered using flat plate solar collectors. Modeling and annual behaviour simulation was conducted using Trnsys software.

## 2. MODELING AND SIMULATION OF THE SWIMMING POOL

Heating, air conditioning and ventilation systems in indoor swimming pool buildings are designed to provide suitable thermal comfort conditions for pool users in the pool hall areas. Indoor temperature kept at relatively high levels (24- 29°C) creates



conditions for significant evaporation rates from pool water surface. Relative humidity should be kept below recommended values not only for occupant comfort reasons, but also to prevent corrosion and condensation problems in the facility.

In order to achieve lower energy consumption for heating in the building, it is important to determine and maintain an optimal ratio between air temperature, pool water temperature, and air velocity in the pool hall. Evaporation rate is a function of air velocity and partial pressure difference of water vapor slightly above the water surface and water vapor partial pressure in the pool hall. Pool hall heating and ventilation equipment design guides [8] recommend 2-3°C higher pool hall air temperature compared to the water temperature.

Main contributors to the energy balance of indoor swimming pools are :

- Conduction through the pool walls  $Q_{cond,w}$ ;
- Convection from the pool surface  $Q_{conv}$ ,
- Radiation from the pool surface  $Q_{rad}$ ;
- Evaporation from the pool surface  $Q_E$ ;
- Heat loss due to fresh water flow  $\dot{Q}_{fw}$  for water loss compensation;
- Heat flow rate from a heating system  $\dot{Q}_{aux}$ .

Temperature change of pool water over time can then be calculated as:

$$\rho_w \cdot c_{pw} \cdot V_{pool} \frac{dT}{dt} = \dot{Q}_{aux} - (m_{fw} \cdot c_{pw} \cdot (t_w - t_{fw}) + A_p \cdot \dot{E} \cdot r + Q_{conv} + \alpha(t_w - t_a) + Q_{rad}) \quad (1)$$

Where:

$\dot{E}$  is the mass flow rate of evaporated water and  $r$  is the latent heat of evaporation;  $\alpha$  is the heat transfer coefficient;  $T_w$  is temperature of the pool water;  $T_a$  is the indoor air temperature in the pool hall,  $Q_{rad}$  are radiative losses, which can be neglected for indoor swimming pools,  $m_{fw}$  and  $t_{fw}$  are mass-flowrate and temperature of the supplied fresh water for keeping a constant pool water level, respectively.

Convective heat transfer coefficient can be expressed as [2]:

$$\alpha = 2.8 + 3.0 \cdot V_a \quad (2)$$

Where  $V_a$  stands for air velocity above the water surface.

Water evaporation rate is estimated as a function of the occupancy factor  $F$ , according to the Shah formula for occupied swimming pools [9]:

$$E_o = \begin{cases} E \cdot (3.3F + 1), & F < 0.1 \\ E \cdot (1.3F + 1.2), & 0.1 \leq F \leq 1 \end{cases} \quad (3)$$

Swimming pool, its sanitary hot water system is modelled and simulated using TRNSYS 17 software. The controllers of the system are configured to give priority to heating the swimming pool as a heat sink with lower temperature. When the temperature of the swimming pool is within controller preset values, entire energy flow from the solar system is directed to the heat exchanger of the sanitary hot water tank. After heat exchange with the pool heating loop, sanitary hot water tank is heated using solar energy.

In this paper, a case study of Indoor swimming pools of Sport and Recreation Center (SRC) "Dubočica" is analyzed. There are three swimming pools located in SRC „Dubočica“, with total water surface areas of 1050 m<sup>2</sup>, 330 m<sup>2</sup> and 100 m<sup>2</sup>, and depths of 2 m, 1,45 m and 0,5 m respectively. Total water surface of the pool area is 1480 m<sup>2</sup>. For the purpose of fulfillment of indoor thermal comfort conditions in the pool hall and auxiliary rooms, an energy system with heat exchangers rated at around 3,35 MW in

total, is installed (tab.1) [10]. Users of the swimming pools are adults, children and sportsmen, accounting for 55000 visitors annually. Pool's open hours are divided in two daily shifts and a night shift lasting for four hours each.

The values of the relevant parameters for the evaporation models are found:

- Pool water temperature ranges between 24-30°C;
- Air temperature is 1-3 °C higher than the pool water temperature;
- Relative humidity ranges from 50% up to 80%;
- Average air velocity ranges between 0,05 - 0,2 m/s.

According to the installed capacities of heat exchangers, it can be seen that the greatest ratio of energy demand is predicted for pool water heating and air heating and pool hall ventilation (table 1) [11].

Table 1. *Installed capacity of the heat exchangers*

Radiator heating (90/70 °C)	276,153 kW	8,24 %
Convective heating for demisting of the hall's glass surfaces (90/70 °C)	261,625 kW	7,81 %
Floor heating of the pool hall (35/45 °C)	87,457 kW	2,61 %
Sanitary hot water heating (60 °C)	145,100 kW	4,33 %
Pool water heating (24 do 26 °C)	1510,000 kW	45,08 %
Air heating and ventilation	1069,510 kW	31,93 %
- Ventilation chamber for demisting of the pool hall glass surfaces	518,180 kW	15,47%
- Ventilation chamber for the pool hall stands	403,100 kW	12,03%
- Ventilation chamber for ventilation of lobbies	96,800 kW	2,89%
- Ventilation chamber for ventilation of cloakrooms	51,430 kW	1,54%

The building was modeled as multi-zone in TRNSYS software, with the following envelope properties: outside walls based on masonry (19cm) with 5cm mineral wool insulation covered by mortar; rooftop steel plate construction with 10cm mineral wool insulation; and, outside windows and doors with double glazing and metal frame.

Desired temperature in the modeled control system of the pool hall was set to 24°C for heating, and ventilation with 30% ambient air is applied above 26 °C. The air temperature in the pool hall changed during the simulation as presented in Fig. 1. Simulation showed that there was a demand for heating even in summer period, as shown in Fig 2. Although the boiler load drops to 0% frequently in the summer period, there is a heating demand in the summer period, which can be related to the highest number of visitors, leading to higher SHW demands, but also pool hall and pool water losses (Fig.2.). Consequently, existence of heating demands in the summer justify solar thermal applications, as described in this paper. Output temperature of a solar collector array is shown in Fig. 3.

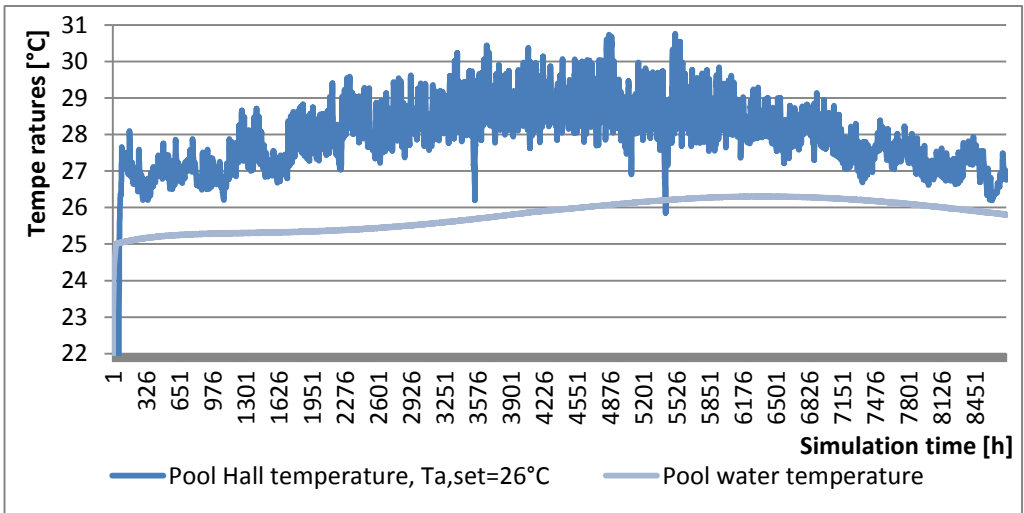


Figure 1. Annual change of pool hall air temperature and pool water temperature

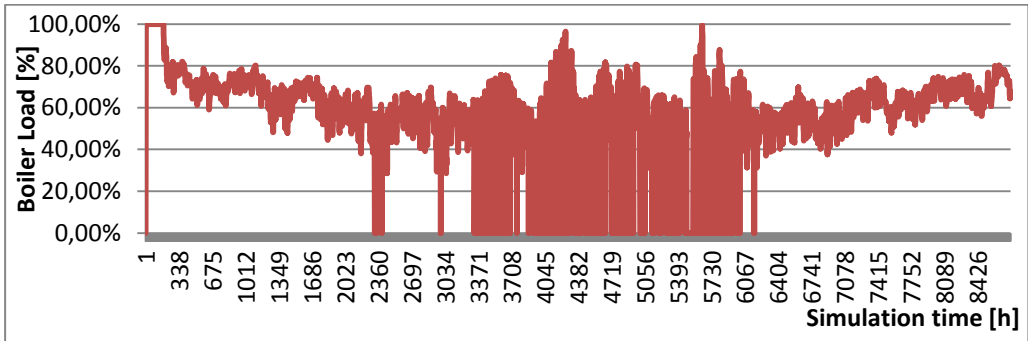


Figure 2. Part load ratio of the boiler used for heating

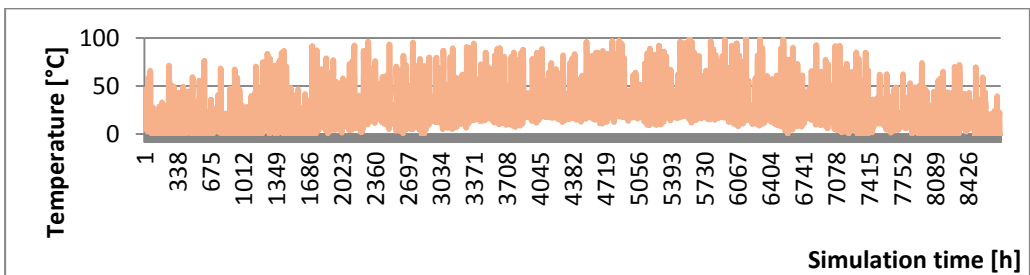


Figure 3. Outlet temperature from the solar collector array

Prediction of the demand change during a year is an important factor, which is used to avoid stagnation of the solar system. Energy demand of SRC Dubočica consists of space heating demand, pool water heating demand and SHW demand. Change of in the demand profile is affected by weather conditions change, but also by pool occupancy. According to questioner data, the pool operates with full capacity of 650 swimmers only in the summer months, which is gradually decreased and drops to one tenth of nominal capacity in winter months. Pool occupancy was used to generate

annual profiles of SHW water demand, and evaporation loss using the pool occupancy factor [9]. Increase in occupancy leads to more frequent water treatment, increased fresh water supply, increased free water surface where evaporation takes place, and hence increased energy demands.

Proposed solar collector system transfers heat to the pool via a heat exchanger. Pool water is equipped with an auxiliary heater. When pool water reaches the set point temperature, a controller turns of hot water flow through to swimming pool loop, so that hot water from the collector array would be used to heat SHW. SHW boiler is equipped by an auxiliary heat exchanger, which heats the water to a set point temperature. Water from the 5m<sup>3</sup> SHW boiler is supplied to the showers, where it is mixed with water from the mains. The temperature of mixing, i.e. output shower temperature was assumed 40 °C, with 5° deadband. Fig. 4. shows temperature of water supply from the SHW boiler to the showers and shower water temperature.

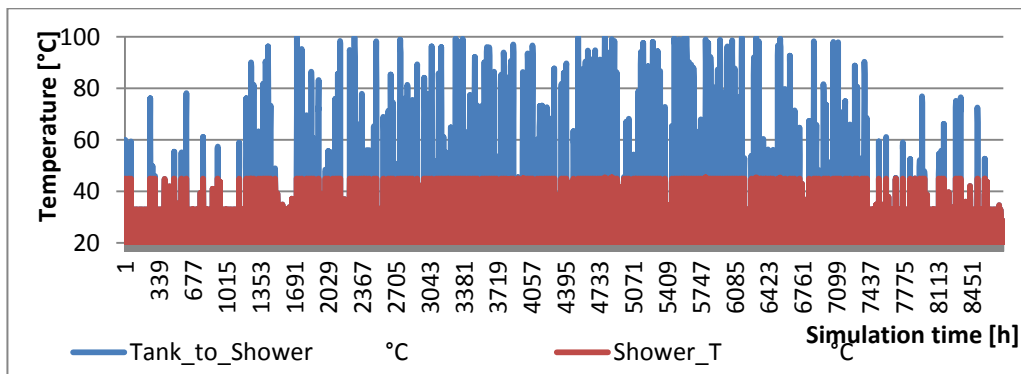


Figure 4. Temperature of water at the showers

According to hot water demand profile, maximum total collector surface which could be used to avoid collector stagnation was 391,56 m<sup>2</sup>, which corresponds to 156 collectors, with 12 collectors in each array. The number of collectors was lowered, with a step of one collector array with 12 collectors, to investigate effects and performance of the solar swimming pool system. The ratio of hot water demand met by solar collectors is shown table 2. and figure 5.

Table 2. Solar fraction in annual hot water demand

Colelctor surface gross area [m <sup>2</sup> ]		301,20	331,32	361,44	391,56
No. of Solar Collectors	[%]	120	132	144	156
Solar pool heating	[%]	68,25	78,74	88,49	96,08
Solar SHW heating	[%]	74,55	75,15	75,70	76,40
Total Solar heating ratio	[%]	71,07	77,14	82,77	87,28

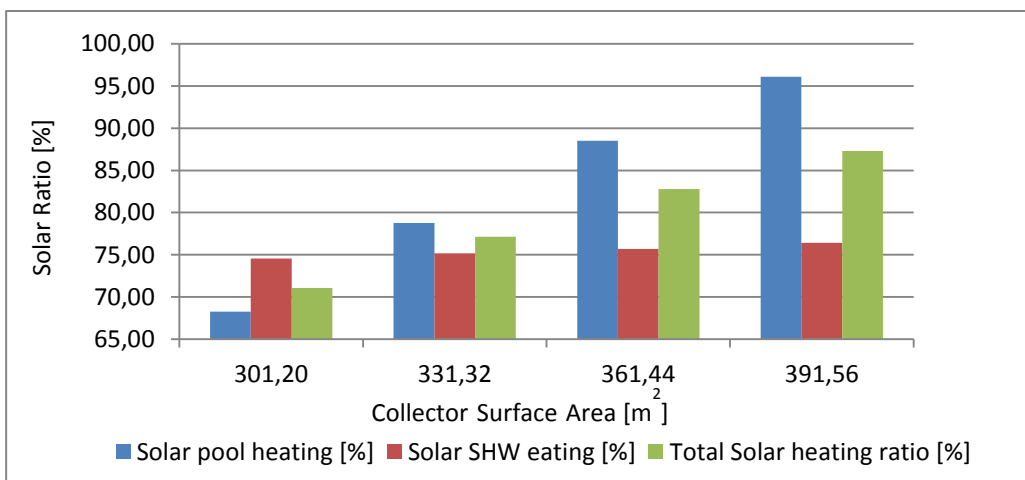


Figure 5. Ratio of energy demand for heating sanitary hot water (SHW), swimming pool water heating and total heating demand covered by solar analyzed solar collector array surface

### 3. CONCLUSION

Solar fraction for pool heating is higher than the fraction for SHW heating since pool water heating was modeled as primary heat sink in the solar loop. Additionally, greatest temperature difference between temperature of pool water and collector outlet temperature should provide higher efficiencies. Ratio of hot water demand covered by solar heating raises with increased collector surface area, but use of auxiliary heating for both pool water and SHW heating is necessary to avoid collector stagnation, but also to ensure heat supply reliability. With the possibility of lower pool occupancy than assumed by this model, lower solar fraction should be used for solar system design, or additional heat storage and stagnation prevention system should be installed.

### ACKNOWLEDGEMENT

This paper was done in the framework of project III 42006 - "Research and development of energy and environmentally highly effective polygeneration systems based on using renewable energy sources" and project TR 33015 - "Research and development of a Serbian zero-net energy house" (2011-2014), both financed by the Republic of Serbia Ministry for Education, Science and technological development.

### LITERATURE

- [1] Trianti-Stourna, E., Spyropoulou, K., Theofylaktos, C, Droutsas, K., Balaras, C.A., Santamouris, M., Asimakopoulos, D.N., Lazaropoulou, G., Papanikolaou, N. (1998), Energy conservation strategies for sports centers: Part B . Swimming pools, *Energy and Buildings* 27 p.123-135
- [2] Lam, C. J., Chan, W.W. (2001) Life cycle cost analysis of heat pump application for hotel swimming pools, *Energy Conversion and Management*, 42 p. 1299-1306
- [3] Hahne, E., Kübler, R., Monitoring and simulation of the thermal performance of solar heated outdoor swimming pools, *Solar Energy*, 53, (1994) 1, pp. 9-19

- [4] Sceicy, G. and R.C. McMonagle, (1983) Heat Balance of urban swimming pools, *Solar Energy* Vol. 30, No. 3, p 247-259
- [5] Ilić S., Lepotić B., Izgradnja solarnih grejnih sistema u Republici Srbiji, Ministarstvo energetike, razvoja i zaštite životne sredine, UNDP – United Nations Development Program, Beograd, 2012
- [6] Sun, P., Wu, Y. J., Xu, X, Y, (2011) Analysis of indoor environmental conditions and heat pump energy supply systems in indoor swimming pools, *Energy and Buildings*, 43 p. 1071-1080
- [7] Asdrubali, F. (2009) A scale model to evaluate evaporation from indoor swimming pools, *Energy and Buildings* 41 p. 311-319
- [8] ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers), HVAC Application Handbook, Atlanta, GA. 1999
- [9] Shah, M., (2003) Prediction of evaporation from occupied indoor swimming pools, *Energy and Buildings*, 35 p. 707-713
- [10] Li, Z., Heiselberg, P., CFD Simulations for Water Evaporation and Airflow Movement in Swimming Baths, Report for the project : Optimization of Ventilation System in Swimming Bath ISSN 1395-7953 R0503 , Aalborg university, Dept. for building and structural engineering , 2005, Aalborg, Denmark
- [11] G. Jovanović, D. Živković, M. Mančić, V. Stanković, D. Stanković, V. Stefanović, P. Mitković. (2013), A model of a Serbian energy efficient house for decentralized electricity production, *Journal of Renewable Sustainable Energy* 5, 041810



## HIBRIDNI SISTEM NAPAJANJA

Marko Ikić<sup>1</sup>, Slobodan Lubura<sup>2</sup>, Milomir Šoja<sup>3</sup>, Srđan Lale<sup>4</sup>, Srđan Vasković<sup>5</sup>

*Rezime: Hibridni sistemi napajanja u posljednje vrijeme sve više nalaze primjenu u svakodnevnom životu, prvenstveno iz razloga što se čovječanstvo okreće eksploataciji obnovljivih izvora energije, kao i zbog smanjenja rezervi fosilnih goriva na kojima se većina proizvedene električne energije zasniva. Hibridni sistem napajanja u najopštijem obliku obuhvata sljedeće komponente: fotonaponski sistem, vjetrogenerator, dizel agregat, sistem za skladištenje energije (akumulatorske baterije), mrežni priključak, kao i pretvarače preko kojih se vrši pretvaranje električne energije i napajanje potrošača. U ovom radu biće data analiza rada i isplativosti jednog hibridnog sistema napajanja modelovanog u softverskom paketu HOMER.*

*Ključne riječi: Obnovljivi izvori energije, hibridni sistem napajanja, energetska efikasnost.*

### HYBRID POWER SUPPLY SYSTEM

*Abstract: Hybrid power supply systems in the recent time are used in everyday life, primarily because humanity turns in exploitation of renewable energy sources, as well as the reduction of fossil fuel reserves, where most of the electricity produced is based. The hybrid power supply system in its most general form includes the following components: photovoltaic systems, wind generator, diesel generator, a system for energy storage (batteries), grid connection, and power converters through which is perform the conversion of electrical energy and power suppling. This paper will provide an analysis of the operation and viability of a hybrid power supply system, modeled in software package HOMER.*

*Key words: renewable energy, hybrid power supply system, energy efficiency*

## 1. UVOD

Energetska kriza koja se ogleda u sve višim cijenama fosilnih goriva nameće pitanje sigurnosti obezbjeđivanja i funkcioniranja elektroenergetskih sistema počevši

<sup>1</sup>Marko Ikić, viši asistent, Mr, Elektrotehnički fakultet Istočno Sarajevo, marko.ikic@etf.unssa.rs.ba

<sup>2</sup>Dr Slobodan Lubura, vanredni profesor, Elektrotehnički fakultet Istočno Sarajevo, slobodan.lubura@etf.unssa.rs.ba

<sup>3</sup>Dr Milomir Šoja, vanredni profesor, Elektrotehnički fakultet Istočno Sarajevo, milomir.voja@etf.unssa.rs.ba

<sup>4</sup>Srđan Lale, viši asistent, Mr, Elektrotehnički fakultet Istočno Sarajevo, srdjan.lale@etf.unssa.rs.ba

<sup>5</sup>Sc. Srđan Vasković, viši asistent, Mašinski fakultet Istočno Sarajevo, srdjan\_vaskovic@yahoo.com

od malih zajednica, gradova, regija pa i država. Sve veće potrebe za energijom ukazuju na potrebu za uvođenjem mjera štednje energije, primjene energetske efikasnosti kao i potreba za obnovljivim izvorima energije koji su temelj održivoj razvoja u zadovoljenju energetskih potreba.

Glavni izvori energije u dvadesetom vijeku su bili neobnovljivi izvori energije: ugalj, nafta, prirodni gas i nuklearna enerija. Dva osnovna problema kod neobnovljivih izvora energije su da ih ima u ograničenim količinama i da zagađuju životnu okolinu. Sagorjevanjem fosilnih goriva oslobađa se velika količina CO<sub>2</sub>, zbog čega je došlo do globalnog porasta temperature na Zemlji. Nuklearna goriva nisu opasna za atmosferu, ali produkti nastali kod nuklearne reakcije ostaju radioaktivni još godinama i trebaju biti uskladišteni u posebnim prostorijama. Obnovljivi izvori energije predstavljaju neiscrpan prirodan vid energije koja se nalazi svuda oko nas. Pod pojmom obnovljivi izvori energije, podrazumevaju se izvori energije koji se nalaze u prirodi i obnavljaju se u cijelosti ili djelimično. Prirodni i tehnički potencijal obnovljivih izvora energije dovoljan je da zadovolji sveukupne energetske zahtjeve svjetske populacije, jer je njihov prirodni dnevni potencijal 20 000 puta veći od dnevne potrošnje nuklearnih i fosilnih goriva. Potencijali obnovljivih izvora energije su veliki, ali trenutna tehnološka razvijenost ne dopušta potpuno oslanjanje samo na njih.

Hibridni sistemi napajanja u posljednje vrijeme sve više nalaze primjenu u svakodnevnom životu, prvenstveno iz razloga što se čovječanstvo okreće eksploataciji obnovljivih izvora energije, kao i zbog smanjenja rezervi fosilnih goriva na kojima se većina proizvedene električne energije zasniva. Hibridni sistem napajanja u najopštijem obliku buhvata sljedeće komponente: fotonaponski sistem, vjetrogenerator, dizel agregat, sistem za skladištenje energije (akumulatorske baterije), mrežni priključak, kao i pretvarače preko kojih se vrši pretvaranje električne energije i napajanje potrošača [1].

Kao primjer softvera pomoću kojeg se mogu analizirati svi aspekti prednosti/nedostataka hibridnih sistema napajanja, kao što su isplativost sistema, projektovanje, proizvodnja električne energije, eventualni gubici u sistemu, opisan je HOMER, softver koji je razvijen od strane NREL-a (National Renewable Energy Laboratory) i predstavlja optimizacijski računarski model za distribuisanu proizvodnju električne energije.

U radu je obrađen konkretan primjer jednog hibridnog sistema napajanja koji ima za cilj obezbjediti napajanje potrošača (stambene jedinice) na lokalitetu Sarajeva. Sistem je zamišljen kao „off-grid“ konfiguracija, s tim da je analizirana i varijanta sa priključenjem na distributivnu mrežu.

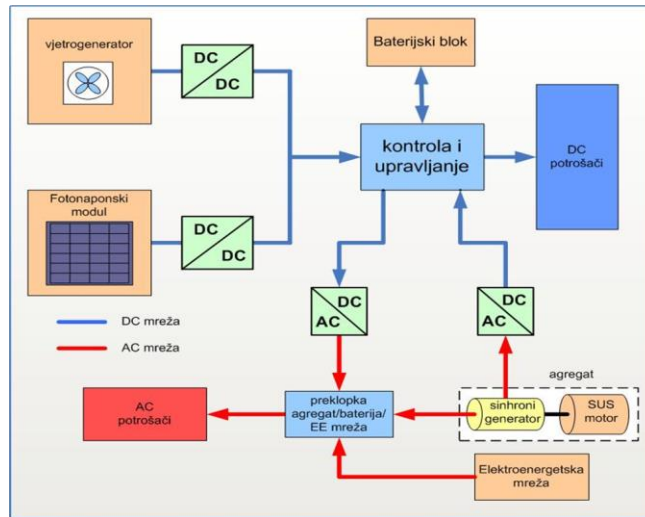
## 2. HIBRIDNI SISTEM NAPAJANJA

Kao što je već rečeno, najšire korišćena konfiguracija hibridnog sistema napajanja predstavlja jednu od kombinacija izvora električne energije predstavljenu sa vjetrogeneratorskim blokom, fotonaponskim modulom, dizel agregatom kao dodatnim izvorom energije i mogućnošću priključka na elektroenergetsku mrežu, koji preko pretvarača električne energije obezbjeđuju napajanje potrošačima. Blok šema ovakvog sistema je prikazana na slici 1.

Iskorištavanje energije vjetra je najbrže rastući segment proizvodnje energije iz obnovljivih izvora. Na veoma vjetrovitim lokacijama, vjetroelektrane mogu da proizvedu energiju po cijeni koja se može uporediti sa onima u najekonomičnijim tradicionalnim generatorima. Usljed napredovanja u tehnologiji, masovne proizvodnje i stečenog iskustva, energija vjetra je oblik energije iz obnovljivih izvora, koji će tokom narednih decenija dati najveći doprinos proizvodnji električne energije. Kao posljedica toga,



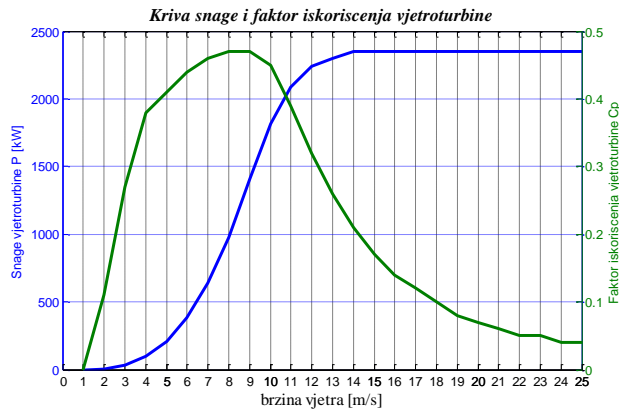
utrošeno je više rada na integraciji ovog resursa nego bilo kog drugog oblika energije iz obnovljivih izvora. Kao dobre strane iskorištavanja energije vjetra ističu se i visoka pouzdanost rada postrojenja, nema troškova za gorivo i nema zagađivanja okoline. Loše strane su visoki troškovi izgradnje i promjenjivost brzine vjetra (ne može se garantovati isporučivanje energije).



Slika 1. Blok šema hibridnog sistema napajanja

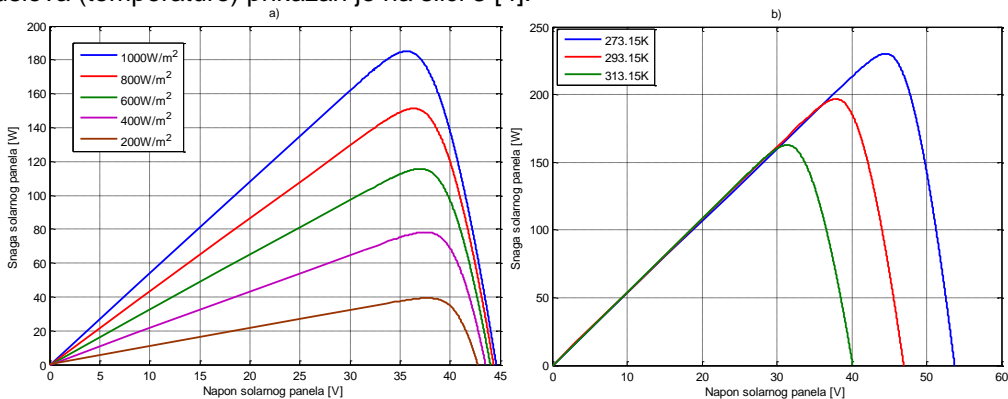
Vjetrogenerator se sastoji od vjetroturbine koja pretvara kinetičku energiju vjetra u mehaničku energiju vjetra i elektrogeneratora koji pretvara mehaničku u električnu energiju, a sve je postavljeno na vrhu cilindričnog (ili rešetkastog stuba). Pri tome se rotor vjetroturbine i rotor električnog generatora nalaze na zajedničkom vratilu, te između njih može i ne mora postojati odgovarajući prenosnik. Vjetrogenerator je projektovan tako da na izlazu daje projektovanu nominalnu snagu pri nominalnoj brzini vjetra. Za brzine vjetra ispod prekidne brzine vjetra, vjetroelektrana ne radi pošto razvijeni aerodinamički obrtni moment nije dovoljan da se prevaziđu gubici usljed trenja pogonske mašine i proizvodi korisna snaga. Za brzine vjetra iznad nominalne, snaga je aerodinamički kontrolisana kako bi se održao izlaz na nominalnoj vrijednosti sve dok se ne dođe do neke ograničavajuće vrijednosti brzine vjetra, poznate kao prekidna brzina vjetra, na kojoj tački se vjetroturbina zaustavlja. Odnos između snage i brzine vjetra je poznat kao kriva snage [2,3]. Tipičan primjer krive snage i faktora iskorišćenja vjetroturbine je prikazan na slici 2.

Fotonaponski sistem predstavlja integrisan skup fotonaponskih modula i drugih komponenti, projektovan tako da primarnu solarnu energiju direktno pretvara u električnu energiju kojom se osigurava rad određenog broja potrošača jednosmjernje i/ili naizmjenične struje. Kod fotonaponskih sistema povezanih na distributivnu mrežu, jednosmjerna struja dobijena u solarnim modulima se pretvara u naizmjeničnu struju pomoću invertora koji je povezan na mrežu tako da se, osim napajanja potrošača, vrši i razmjena energije sa mrežom. Projektovanje fotonaponskih sistema se najčešće vrši na osnovu njihove godišnje proizvedene energije, koja je takođe dobar parametar za praćenje dugoročnih performansi fotonaponskog sistema. Za predviđanje godišnje proizvedene energije fotonaponskog sistema neophodni su pouzdani modeli i metode s obzirom na stohastičku prirodu solarnog zračenja i na veliki broj uticajnih faktora (ambijentalni uslovi i performanse sistema).



Slika 2. Kriva snage i faktor iskorišćenja vjetroturbine

Da bi se projektovani mrežno povezani fotonaponski sistemi moraju se dobro poznavati resursi solarne energije, karakteristike svih elemenata sistema i ambijentalni uslovi. Proračun resursa solarne energije se vrši na osnovu mjerenja i na osnovu proračuna insolacije na površini na kojoj se planira postavljanje panela. Polazna tačka za određivanje performansi sistema za poznatu ulaznu snagu zračenja je naznačena jednosmjerna izlazna snaga fotonaponskog modula pri standardnim uslovima (iradijacija od  $1 \text{ kWh/m}^2$ , koeficijent vazdušne mase AM 1.5, temperatura ćelije  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , moduli potpuno čisti) [3]. U realnim eksploatacionim uslovima snaga koju fotonaponski sistem predaje mreži je manja od jednosmjerne izlazne snage modula pri standardnim uslovima usljed gubitaka odnosno efikasnosti konverzije. Primjer kriva snage fotonaponskog sistema u zavisnosti od promjene solarne iradijacije i ambijentalnih uslova (temperature) prikazan je na slici 3 [4].



Slika 3. Kriva snage fotonaponskog sistema u zavisnosti od solarne iradijacije i promjene temperature

### 3. PRIMJENA SOFTVERSKOG ALATA HOMER U PROJEKTOVANJU HIBRIDNOG SISTEMA

HOMER je optimizacioni računarski model za distribuisanu proizvodnju električne energije, koji pojednostavljuje zadatak procjene isplativosti samostalnih ili mrežnih modeliranih hibridnih sistema, sastavljenih od neobnovljivih i obnovljivih

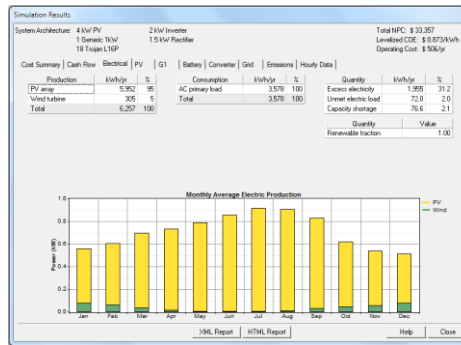
izvora. HOMER je razvijen od strane NREL-a (*National Renewable Energy Laboratory*) 1993. godine. [5,8]

Pri projektovanju/dizajniranju mreže (energetskog sistema), potrebno je napraviti mnogo odluka o samoj konfiguraciji tog sistema. Veliki broj tehnoloških opcija i varijacija u tehnologiji, cijenama i raspoloživosti energetskih potencijala, otežavaju odabir. Optimizacija i algoritmi analize osjetljivosti u HOMER-u olakšavaju procjene brojnih mogućih konfiguracija sistema. HOMER omogućava definisanje modela s ulaznim podacima, koji opisuju tehnološke izbore, cijene komponenata, i raspoloživost resursa. Program upotrebljava unesene podatke za simulaciju konfiguracija sistema, ili kombinaciju komponenta, i generiše rezultate koji se predstavljaju kao lista ostvarivih konfiguracija sortiranih prema cijeni. Rezultati simulacija u različitim tablicama i grafovima pomažu pri poređenju konfiguracija i ocjenjivanju prema njihovim ekonomskim i tehničkim vrijednostima. Prilikom istraživanja uticaja/efekata koje ostvaruju promjene uzrokovane faktorima kao na primjer raspoloživost resursa i ekonomski uslovi na ekonomičnosti drugačijih konfiguracija sistema, softver provodi analizu osjetljivosti. Pri izvođenju analize osjetljivosti, HOMER zahtijeva podatke o vrijednostima koje opisuju opseg promjene raspoloživosti sredstava i cijena komponenti. HOMER simulira svaku konfiguraciju sistema na osnovu tih ulaznih vrijednosti. Rezultatima analize osjetljivosti identifikuju se faktori koji imaju najveći uticaj na dizajn i rad sistema. HOMER proračunava energetske bilanse za svaku konfiguraciju sistema koja se razmatra. Određuje da li je konfiguracija ostvariva, tj., može li udovoljiti zahtjevima korisnika, procjenjuje cijenu instalisanja, rada i održavanja sistema u životnom vijeku projekta.

Većini korisnika hibridnih sistema finansijska isplativost investicije vrlo je važan pokazatelj pri odluci o ulaganju u istu. Značajna finansijska sredstva za inicijalnu investiciju ponekad su i glavna prepreka samoj odluci o ulaganju. Zbog toga optimizovanje postrojenja predstavlja ključni preduslov za postizanje finansijske isplativosti hibridnog sistema. Sam postupak optimizacije sproveden je tako što se formirao model sistema u programskom paketu HOMER preko kojeg se vrši poređenje odnosno vrednovanje malih hibridnih (energetskih) sistema koji mogu biti spojeni na mrežu ili raditi potpuno nezavisno (*stand alone*) [6,7]. U formiranom modelu biće prikazano kako se potrošač može obezbjediti električnom energijom iz obnovljivih izvora te dati analiza isplativosti ukoliko se dobijena energija troši za potrebe potrošača ili se prodaje distributivnim kompanijama.

Za korištenje i formiranje modela u HOMER-u, potrebno je u model unijeti ulazne podatke koji opisuju izbor tehnologije, cijenu komponenti i raspoložive energetske resurse. Na ovaj način moguće je uporediti ekonomske i tehničke parametre različitih kombinacija hibridnog sistema s ciljem odabira onog koji je optimalan za konkretne potrebe. Za primjer projektovanja napajanja stambenog objekta na lokalitetu Sarajeva prikupljeni su ulazni podaci o dostupnim obnovljivim resursima prikazanim na slikama 4 i 5. Podatak o prosječnoj brzini vjetra od 3,5 m/s odlucuje o odabiru vjetrogeneratora male snage, čija bi nominalna brzina bila što bliža izmjerenoj. Mjerna visina na kojoj se nalazio anemometar je 10 m, a nadmorska visina lokacije iznosi 590 m. Visina mjerenja je relativno niska što znači da je brzina pod dominantnim uticajem hrapavosti površine i objekata u blizini. Brzina vjetra s vertikalnom udaljenošću od tla će rasti što čini povoljnijim postavljanje malih vjetroagregata na više stubove. Vrijednosti srednjih dnevnih insolacija značajno se razlikuju za zimske mjesece (u decembru 1,41 kWh/m<sup>2</sup>) i za ljetne (juli 6,77 kWh/m<sup>2</sup>), što ima za posljedicu i različitu proizvodnju fotonaponskog sistema.



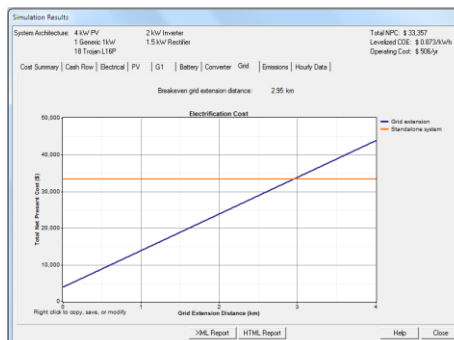


Slika 8. Ukupna proizvodnja električne energije hibridnog sistema

Na slici 7, pored formiranog modela, prikazani su i optimizacioni rezultati simulacije/proračuna poredani po optimalnom odabiru komponenti u odnosu na ukupne troškove sistema. Kao najbolje rješenje, odnosno najekonomičnije, softver na osnovu optimizacije modela nudi konfiguraciju sistema koja se sastoji od fotonaponskih panela veličine 4 kW, jednog vjetrogeneratora snage 1 kW, baterijskog sistema od 18 baterija paralelno vezanih, nominalnog kapaciteta 6480 Ah, nazivnog napona 6 V i pretvarača snage 2 kW (koji u ovom slučaju radi samo u invertorskom režimu).

Proizvodnja električne energije iz ovog sistema, na osnovu zadatih ulaznih parametara, grafički je prikazana je na slici 8. Ukupna vrijednost proizvedene električne energije iznosi 6257 kWh/god, od čega fotonaponski paneli proizvode 5952 kWh/god (95 %) a vjetrogenerator 305 kWh/god (5 %). Zahtjevana potrošnja ovog sistema iznosi 3578 kWh/god tako da je očigledno da ovakav sistem zadovoljava po pitanju obezbjeđivanja potrošača električnom energijom, pa čak ima i mogućnost da višak energije prodaje distributivnim kompanijama po cijenama koje su subvencionisane od strane države ukoliko bi postojao priključak na distributivnu mrežu i na taj način smanji vrijeme otplate ovakvog sistema.

Ukoliko se posmatra isplativost hibridnog sistema u odnosu na mogućnost priključka potrošača na distributivnu mrežu (pri čemu su uneseni podaci o troškovima priključka i cijeni preuzete električne energije iz mreže), kao rezultat sprovedene analize u HOMER-u, dobija se da je hibridni sistem isplativiji ukoliko je udaljenost potrošača od mogućeg priključka na mrežu veća od 2,95 km (slika 9). Kao zaključak može se konstatovati da su ovakvi sistemi pogodni za napajanje potrošača koji su udaljeniji od lokalne distributivne mreže.



Slika 9. Grafički prikaz isplativosti hibridnog sistema i mrežnog priključka u odnosu na dužinu tog priključka

## 5. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazana je upotreba specifičnog softvera HOMER u analizi rada i isplativosti hibridnih sistema napajanja. Dat je kratak osvrt na obnovljive izvore energije, konkretno na energiju Sunčevog zračenja i energiju vjetra, njihovu eksploataciju i parametre kojima se opisuju i mjere. Opisana je konfiguracija hibridnog sistema i njegovih komponenti kao i prednosti i nedostaci upotrebe u svakodnevnom životu. Za analizu hibridnog sistema opisan je softverski alat HOMER pomoću koga se izvršila analiza rada sistema, njegova isplativost i samo projektovanje komponenti koje ga čine. Iz rezultata optimizacionog modela samog sistema može se uočiti da bi ovakvi sistemi trebali da nalaze svoju upotrebu u svakodnevnom životu, pogotovo na lokalitetima koja su „obogaćena“ obnovljivim izvorima energije tj. na mjestima gdje je veliki nivo insolacije i većih brzina vjetra a ujedno da nije predviđen priključak potrošača na distributivnu mrežu ili bi njegova realizacija bila skuplja od cijene instalacije hibridnog sistema.

## LITERATURA

- [1] Zvonimir Bilić: „Napajanje udaljenog stambenog objekta pomoću energije vjetra i sunčevog zračenja“, Elektrotehnički fakultet Osijek, 2006.
- [2] Thomas Ackermann: „Wind Power in Power Systems“, John Wiley & Sons, Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England, 2005.
- [3] Gilbert M. Masters, „Renewable and Efficient Electric Power Systems“, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2004.
- [4] Marko Ikić, Nenad Jovančić: „Karakteristike PV panela u zavisnosti od nivoa insolacije i temperaturskih uslova“, Obnovljivi izvori energije, Elektrotehnički fakultet Istočno Sarajevo, septembar 2011.
- [5] Tom Lambert, Paul Gilman, Peter Lilienthal: „Micropower system modeling with HOMER“, Integration of Alternative Sources of Energy, John Wiley & Sons, Inc, May 2009.
- [6] Souissi Ahmed, Hasnaoui Othman, Sallami Anis: „Optimal Sizing of a Hybrid System of Renewable Energy for a Reliable Load Supply without Interruption“, European Journal of Scientific Research, ISSN 1450-216X Vol.45 No.4 (2010), pp.620-629
- [7] Tiberiu Tudorache, Alexandru Morega: „Optimum Design of Wind/PV/Diesel/Batteries Hybrid Systems“, 2ND International Conference on Modern Power Systems - MPS 2008, 12-14 November 2008, CLUJ-NAPOCA, ROMANIA
- [8] [www.homerenergy.com](http://www.homerenergy.com), Oktobar 2014.



## ENERGY EFFICIENCY OF PUBLIC BUILDINGS – ONE OF THE POSSIBLE FACTORS OF DEVELOPMENT AND COMPETENCY INCREASE OF LOCAL GOVERNMENTS IN THE REPUBLIC OF SERBIA

Jovan Nešović<sup>1</sup>, Dragan Arsenijević<sup>2</sup>

*Abstract: Increasing energy efficiency of public buildings through the reduction of thermal energy consumption for heating is an important factor in the functioning of local governments for two reasons as follows: reducing permanent costs (rational public finances management) and reducing fuel cost, thus spending energy resources more rationally and protecting the environment. In the past couple of years begun the application of collecting the supplied thermal energy according to consumption and this provides the possibility to analyze the energy efficiency of public buildings connected to the remote heating system. This paper provides the analysis of thermal energy consumption, with the supporting financial analysis, in several public buildings in the city of Kraljevo, and the situation is similar in other local governments in the Republic of Serbia. In addition, we have defined a model of the manner to utilize the public-private partnership projects in the field of energy efficiency in the next period, all aiming to the development of this field in local governments.*

*Key words: energy efficiency, public-private partnerships, thermal energy, costs.*

### 1. INTRODUCTION

When talking about local government units are talking about complex systems that are not isolated, but are found in a complex interaction with their environment, which among other subjects is made up of the economy and other local governments. We must also note the trend of cities and municipalities struggling for better investment market positioning in order to be more recognizable than competitive local communities. Today, advanced local governments are recognized by fast and good administration, short and transparent procedures, good communal, social and economic infrastructure, socially and environmentally responsible policies. Energy management, i.e. rational and sustainable energy management is not at a satisfactory level in Serbia nor in the city of Kraljevo. One of the directions cities and municipalities can choose to follow for better recognition and competitiveness in attracting

<sup>1</sup> Mr Jovan Nešović, Kraljevo, PEC "Toplana" Kraljevo, (CA), javor@ptt.rs

<sup>2</sup> Dragan Arsenijević, Kraljevo, PEC "Toplana" Kraljevo, d\_arsenijevic@toplanakv.rs

investments is their promotion and strengthening in leading an energy responsible politics, which means rational and sustainable energy management.

Increase of energy efficiency in production, distribution and consumption of any form of energy by the end users of services is one of the basic priorities defined in the Energy Development Strategy of the Republic of Serbia. price increasing trend, exhaustion of fossil fuel reserves, emission of gasses that create the greenhouse effect and impact to the world climate and the environment condition in general, supply problems, are some of the factors that speak in favor of these claims. In the next period, the local governments will be facing the problem of stable supply of thermal energy to the citizens and the business sector. Apart from that, there will be additional pressure on the budgets which cover the costs of using thermal energy to heat public buildings financed by a local government. For that reason, some of the general goals of local governments in the area of energy policy are:

- Providing optimal and secure energy supply,
- Increasing comfort in public buildings,
- Reducing energy consumption, and thus reducing costs covered by the local budget,
- Improving the level of services provided by the local governments to their citizens,
- Reducing negative effects to the environment.

Rational use of thermal energy may save significant funds in the local government budget through the reduction of fixed costs (public buildings heating costs). Therefore, in the next period, special attention must be paid to energy efficiency of public buildings (insulation quality, joinery quality, reduction of space overheating, etc.) and funds must be allocated for reconstruction of buildings where required in order to improve the energy efficiency. The funds invested return very fast (in a couple of years) through the reduction of heating costs, which is a significant budget saving in the perspective. Due to the lack of funds in the budgets of local governments, energy efficiency improvement projects may be realized through public-private partnerships. Such projects in local governments of the Republic of Serbia are sporadic, but they will be an important factor of development of the local community in the future.

On the basis of data gathered on the measured amount of thermal energy supplied for the heating of public buildings, this paper provides detailed analysis of energy efficiency and the costs related to the heating of the observed buildings connected to the remote heating system. Provided also is a short analysis of significance of public private partnerships in the implementation of energy efficiency projects and the manner of their establishment. The paper represents a good basis for the production of a feasibility study for the reconstruction of public buildings aiming to increase energy efficiency, i.e. reduce costs of heating the public buildings.

## **2. CONSUMPTION OF THERMAL ENERGY DURING THE HEATING SEASON**

Average consumption of thermal energy for heating is a very important parameter in the evaluation of energy efficiency of certain buildings. On the one hand, it depends on the average outdoor temperature during the heating period, and on the quality of buildings being heated and how the users of such space rationally use the thermal energy on the other hand. If average outdoor temperature during the heating period is high, the average consumption of thermal energy will be less, and vice versa. Buildings with good insulation consume less thermal energy. Also, if users of the space



behaved rationally (saved thermal energy), consumption would be less. Rational behavior means that inflow of thermal energy should be reduced when space is not used by adjusting the device to lower scale value, set the room temperature to 21°C, do not cool by opening the window but by reducing the inflow of thermal energy, etc.

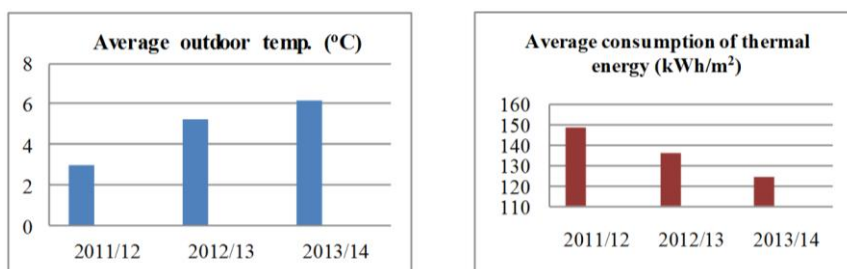


Figure 1. *Presentation of average outdoor temperatures and average consumption of thermal energy to heat the space in the previous three heating seasons*

Figure 1 shows average temperatures and average consumption of thermal energy for business space heating in the city of Kraljevo. It can be concluded that from the aspect of thermal energy consumption, the most favorable was the heating season 2013/2014 because the average outdoor temperature in the heating season was the highest (6.18°C). Average consumption of thermal energy for space heating in the heating season 2013/14 was 121kWh/m<sup>2</sup> [4]. To analyze the energy efficiency of public buildings in the city of Kraljevo, we have selected four public buildings as follows: Medical School buildings, City Administration building, building of the Elementary School “IV kraljevacki bataljon” and the “Museum” building.

The diagram below (Figure 2) shows the average consumption of thermal energy in four selected buildings in the months (January, February, March, April) when the billing for building heating was according to the thermal energy consumption.

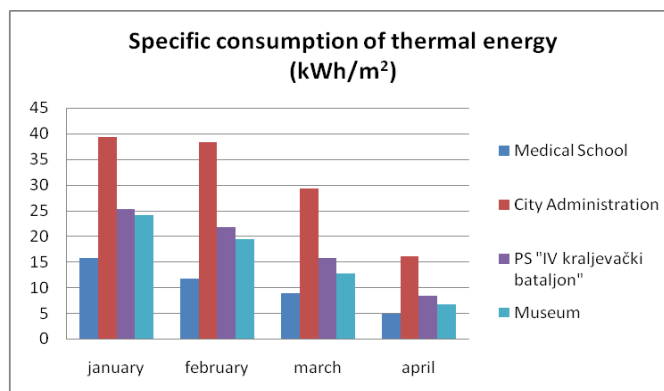


Figure 2. *Diagram of thermal energy consumption to heat the public buildings selected*

It can be seen from the diagram that the building of the City Administration has high consumption and that it is very energy inefficient. Building of the Elementary School “IV kraljevacki bataljon” and the “Museum” building are at the limit of average energy efficiency (they correspond to the average consumption of all buildings in the city), while the Medical School building has high energy efficiency, i.e. low thermal

energy consumption during the heating season (in the heating season 2013/2014 consumption amounted to 78 kWh/m<sup>2</sup>).

### 3. ECONOMIC INDICATORS OF APPLYING THE TARIFF SYSTEM TO PUBLIC BUILDINGS

Economic indicators of tariff system application have been prepared on the basis of thermal energy prices as follows:

- payment per meter square of heated surface (current manner of billing) price is 2,123 €/m<sup>2</sup>,
- payment per consumption – flat part is 0,763 €/m<sup>2</sup>, and the variable part is 0,067 €/kWh [5].

Table 1. *Basic data about the buildings and consumption of thermal energy and specific consumption in the observed period*

Building	Build- ing heated surfa- ce (m <sup>2</sup> )	Thermal energy consumption (kWh) per months				Total con- sumption (kWh)	Specific consump- tion in the observed period (kWh/m <sup>2</sup> )
		Janua.	Febru.	March	April		
Medical School buildings	3650	57.248	42.499	32.627	17.927	150.301	41.18
City Administration building	4513	177.500	172.900	131.800	72.600	554.800	122.93
Elementary School "IV kraljevacki bataljon" building	4410	111.250	95.630	69.420	36.840	313.140	71.00
„Museum“ building	1200	28.948	23.336	15.269	7.990	75.543	62.95

On the basis of data from the Table 1 and the prices of supplied thermal energy, we may calculate the total cost for both systems (payment per heated area and payment per consumed thermal energy), which are shown in Table 2.

Table 2. *Comparative analysis of total cost for the observed buildings in the period January-April 2014*

Building	Cost per heated surface (EUR)	Cost per thermal energy consumption (EUR)	Differe- nce (EUR)	Increase/ decrease percentage (%)
Medical School buildings	27.120	21.210	- 5.910	- 21,8
City Administration building	33.540	50.960	17.420	51,95
Elementary School "IV kraljevacki bataljon" building	32.770	34.445	1.675	5,1
„Museum“ building	8.725	8.915	190	2,1

Based on the analysis above it can be concluded that heating costs of the Medical School building are significantly reduced (21.8%), while the heating costs of the City Administration building have drastically increased (51.95%). As far as the

buildings of the Elementary School “IV kraljevacki bataljon” and the “Museum” building are concerned, costs are almost the same as before (there is an increase of several percents. Detailed review of these costs with increase/decrease percentages is given in Table 2.

The Medical School building was constructed several years ago according to all modern construction rules and it has good energy efficiency, while the City Administration building was constructed fifty years ago; it has large glass areas, poor wall and roof insulation and it is very energy inefficient. To increase the energy efficiency of these buildings, it is required do the reconstruction thereof in terms of joinery replacement, better wall and roof insulation, better insulation of heating piping in basements and staircases, install thermostat valves on heaters and rational consumption of thermal energy during the heating season. If consumption of thermal energy of the Medical School building is taken as a reference consumption, and consumption of thermal energy in the observed public buildings is reduced by the energy efficiency measures to the level 30% higher than the reference value taken (consumption is 53.53 kWh/m<sup>2</sup> in the observed period), significant reduction of heating costs of the observed buildings is achieved. Detailed analysis of cost reduction is given in Table3.

*Table 3. Reduction of heating costs of public buildings with the reduction of thermal energy consumption*

Building	Costs per thermal energy consumption (EUR)	Costs after improving the energy efficiency (EUR)	Difference (EUR)	Reduction percentage (%)
Medical School buildings	21.210	21.210	0	0
City Administration building	50.960	28.242	22.718	44,58
Elementary School “IV kraljevacki bataljon” building	34.445	27.600	6.845	19,88
„Museum“ building	8.915	7.510	1.405	15,78

#### **4. INCREASING ENERGY EFFICIENCY THROUGH PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIP PROJECTS**

From the perspective of a local government, energy efficiency projects in public buildings may be financed by four different ways: donations, self-financing from own investment funds, crediting in the financial market (taking loans) or financing from third persons, by performance contracting, in which case the investment funds are repaid from the realized savings in current energy expenses (public-private partnership projects). Combination of elements of all four ways of financing is also possible.

Basically, performance contracting, or energy saving, may be done based on two models depending on the contracted participation of the local government in the realized saving in the current energy expenses:

- duration model (the overall amount of contracted savings shall be used to repay the investment, meaning that the client, or the local government, shall continue to pay the existing amounts for the current energy expenses until the termination of the contract),

- participation model (the contracted part of realized savings remains to the local government, due to what the duration of the contract shall be longer in comparison to the previous case; however, immediately upon the start of the contract obligation the public sector reduces the expenditure for current energy expenses).

Performance contracting provides efficient energy recovery and building management, or systems consuming the energy, as well as the reduction of energy consumption and operative costs of the public building. Companies that provide such type of energy services are known as ESCO (*Energy Service Company*).

Basic feature of performance contracting is that the company providing the energy service is contractually obliged to engage own funds or funds that it borrows on the financial market in order to finance the energy efficiency measures in the public building. If the contracted energy efficiency improvements are realized, or if savings in the building current expenses are realized, the company shall get a chance to realize profit, and vice versa - the public sector shall be entitled to the contracted fee in case the contracted reduction of energy consumption or current expenses fails to be realized. In case the realized savings in energy expenses exceed the contracted savings, the public sector and the private partner shall participate in the profit here in a manner defined by the contract. Several are the benefits realized by the public sector as the owner of the public building. The public sector does not spend own funds or borrow credits to invest in energy efficiency measures. By the rule, the public sector lacks the adequate human resources and material capacities for preparation and technical implementation of projects, which by the application of such financing model is completely transferred to the private partner. Also, all newly established measures, or systems, are transferred to the ownership of the public sector immediately after the installation irrespectively of the duration of the contractual obligation, and the company shall take on the obligation to maintain the applied measures, or certain installations for the duration of the contracted obligation. One of the most significant aspects of performance contracting is the fact that during the project implementation we cooperate with a single company for all parts of the project, and not with several companies and institutions during various phases of the project cycle such as, for example, financial institutions, project designers, subcontractors and equipment importers, material suppliers, contractors, energy distributors, state institutions etc.

With PPP projects, the ESCO shall completely bear technical and financial risk for all measures on the building and its subsequent maintenance. Diagram of the relation of the local government and the ESCO is shown in figure 3.

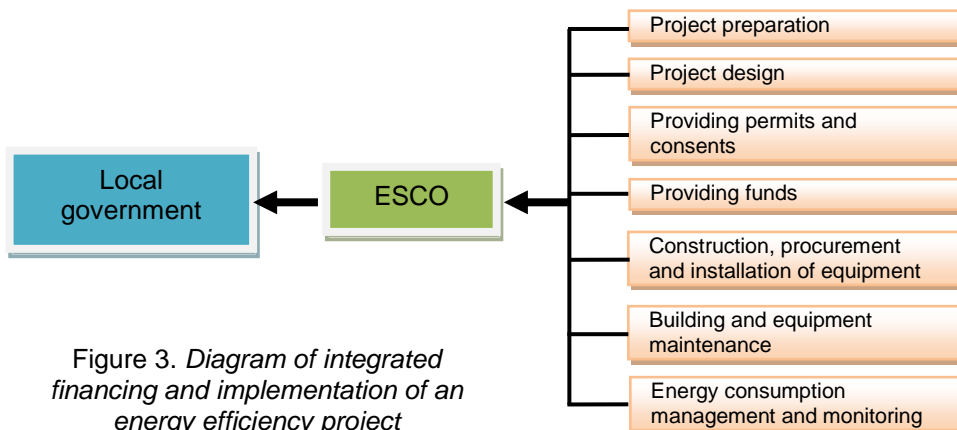


Figure 3. *Diagram of integrated financing and implementation of an energy efficiency project*

## 5. STEPS IN ESTABLISHING PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIPS

When an energy efficiency project to be implemented through the PPP approach is selected, we shall approach to detailed implementation of all activities (phases) – Figure 4.

The most important thing in this chain of establishing the PPP is that the project is suitable for the implementation of PPP or that it is sufficiently attractive for private investors and that the **prior feasibility study** is made. It is also required to make a **feasibility study** of the project before the beginning of project financing.

An important phase in the implementation of PPP projects is project marketing, or “the sale” of the project to potential private partners and investors. Success of the PPP directly depends on the ability of the local government to attract as much bidders to participate in the tender. The most important thing here is visiting fairs, exhibitions and similar gatherings of investors and familiarization with the project. It is also important in this phase to examine the support of end users of the building or service (the public).

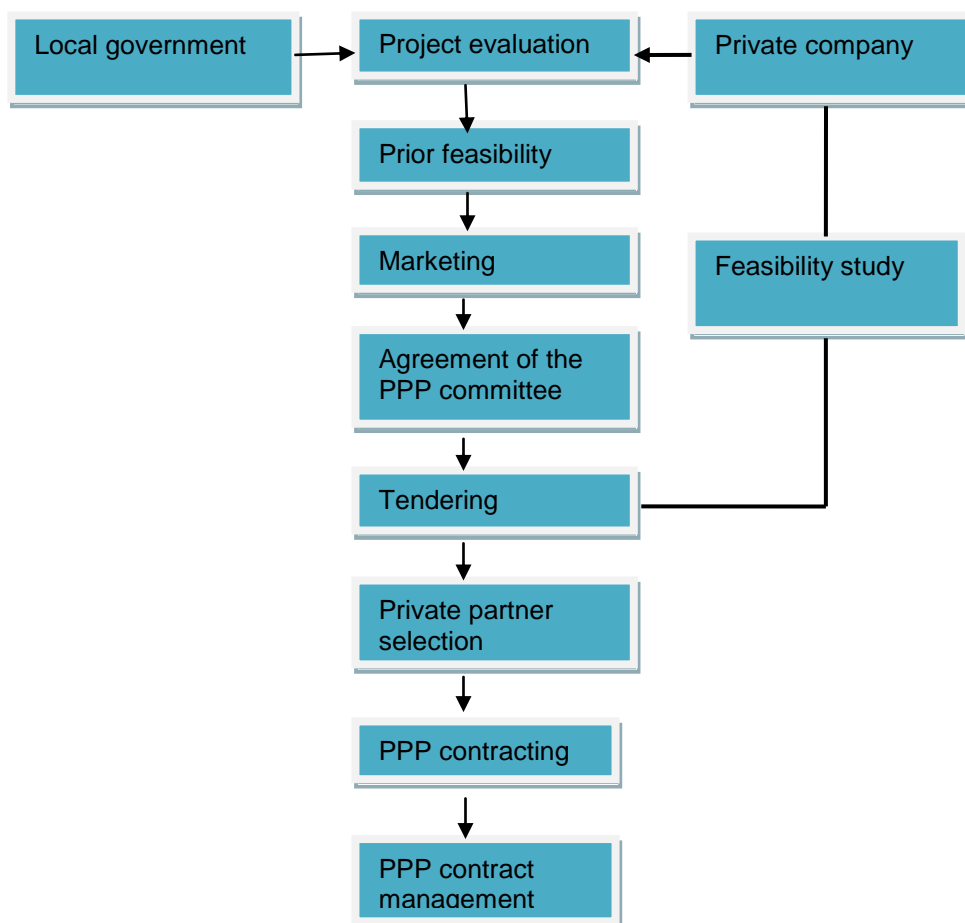


Figure 4. Diagram of PPP establishment on a selected project

## 6. CONCLUSION

Energy efficiency at the local level is one of the priorities for the development of local governments. Certain buildings (example of the City Administration building in this paper) are very energy inefficient and they use large amount of thermal energy for heating. This causes significant increase of costs, increased fuel consumption and environmental pollution. For the purpose of sustainable use of resources, it is required in the next period to plan in the strategic and operation development plans at the local level significant funds for the improvement of energy efficiency of buildings. An important factor in improving the energy efficiency of public buildings in the next period will be the PPP projects, which need to bring a new form of development of local governments. The PPP projects use new knowledge and technologies, while the local government continues to pay the service (energy) at the same price or price smaller than the existing one depending on the savings achieved during the project and duration of the PPP. After the certain period (defined by the contract), the local government shall take over the management and maintenance of the building. Local governments thus became more competitive for investments and the investors, which is the most important assignment of every local government.

## REFERENCES

- [1] „Racionalno korišćenje energije u funkciji razvoja lokalnih zajednica – zbirka dobre prakse“ PALGO centar, Beograd 2010.
- [2] Jovan Nešović, Mirko Đapić „Public-private partnerships as an important element of realization (implementation) of local government development strategies“, Journal „IMK-14 research & development in Heavy Machinery“ 2014.
- [3] mr Ljiljana Brdarević „Sprovođenje projekata energetske efikasnosti kroz javno-privatna partnerstva“ USAID program za Srbiju, 2012.
- [4] „Pregled specifične potrošnje toplotne energije – grejna sezona 2013/14“, JEP „Toplana“ Kraljevo, 2014.
- [5] „Program poslovanja sa finansijskim planom za 2014.“, JEP „Toplana“ Kraljevo, 2014.
- [6] Jelena Bojović „Lokalni ekonomski razvoj – priručnik za praktičare“ ,THE URBANE INSTITUTE, Beograd 2010.
- [7] Zakon o lokalnoj samoupravi, Službeni glasnik RS ,129/2007.
- [8] Zakon o efikasnom korišćenju energije, službeni glasnik RS, 25/2013.



## PRIMJENA F-CHART METODE ZA PROJEKTIRANJE SOLARNOG TOPLOTNOG SISTEMA ZA GRIJANJE POTROŠNE TOPLE VODE

Merima Maslo<sup>1</sup>, Mersida Manjgo<sup>2</sup>

*Rezime: Solarna energija je oduvijek obećavala da će postati idealan izvor energije. Najčešći način iskorištavanja solarne energije u domaćinstvima je pomoću solarnih toplotnih sistema sa kolektorima. Primjena ovih sistema u domaćinstvima omogućava grijanje prostora i potrošne tople vode (PTV). Budući da su solarni kolektori za jedno prosječno domaćinstvo prilično skupi, posebnu pažnju je potrebno posvetiti projektiranju toplotnih sistema.*

*U ovom radu dat je prikaz projektiranja solarnog toplotnog sistema za grijanje potrošne tople vode pomoću f-chart metode. Projektiranje solarnog toplotnog sistema je urađeno za četveročlano domaćinstvo na lokaciji grada Mostara. Analizom je utvrđeno da pod optimalnim uglom solarni sistemi mogu pokriti i do 83% godišnje toplotne energije za grijanje potrošne tople vode.*

*Ključne riječi: f-chart metoda, PTV, solarni kolektori, solarni toplotni sistemi*

### APPLICATION OF THE F-CHART METHOD FOR DESIGNING SOLAR THERMAL SYSTEM FOR HEATING DOMESTIC HOT WATER

*Abstract: Solar energy has always promised to be an ideal source of energy. The most common way of utilizing solar energy in household is using solar thermal systems with collectors. The application of these systems in households provides space heating and domestic hot water (DHW). Since solar collectors are quite expensive, for one average household special attention should be paid to design a thermal systems. This paper presents the design of solar thermal system for water heating using the f-chart method. Designing a solar thermal system has been done for a family of four at the location of the town of Mostar. The analysis shows that under optimum angle solar systems can cover up annually 83% of thermal energy for water heating.*

*Key words: DHW, f-chart method, solar collector, solar thermal system*

## 1. UVOD

Sunčeva energija ima velik potencijal kao obnovljivi izvor energije, jer je tehnologija pretvorbe od ranije poznata i potvrđena u praksi.

<sup>1</sup> Ass Merima Maslo, dipl.ing, Mostar, Mašinski fakultet, merima.maslo@unmo.ba

<sup>2</sup> Dr Mersida Manjgo, vanredni profesor, Mostar, Mašinski fakultet, mersida.manjgo@unmo.ba

Sunčeva energija je svugdje dostupan izvor koji se može koristiti izravno za grijanje i rasvjetu zgrada, grijanje potrošne tople vode (PTV) i vode u bazenima ili za izravnu proizvodnju električne energije. PTV se svakodnevno koristi u domaćinstvima za kupanje, pranje sudova i odjeće, za grijanje prostora i dr.

Toplotni sistemi sa solarnim kolektorima omogućavaju grijanje prostora i PTV. Bez obzira na brojne prednosti koje ovi sistemi posjeduju, njihova primjena kod prosječnih domaćinstava još uvijek u potpunosti nije zaživjela. Glavnu prepreku predstavljaju ekonomski razlozi. Kako bi se spriječili veliki investicijski troškovi, posebnu pažnju treba posvetiti projektiranju ovih sistema.

Projektiranje solarnog toplotnog sistema je vrlo kompleksno. Prilikom projektiranja solarnog toplotnog sistema posebnu pažnju treba posvetiti određivanju stepena pokrivanja solarnog sistema. Što je veći stepen pokrivanja neke solarne instalacije, to će se manje fosilnih goriva potrošiti za dogrijavanje. Stepenn pokrivanja od 100% zimi jedva da se može ostvariti. Već manje povećanje udjela pokrivanja zimi zahtijeva znatno proširenje solarne instalacije, a to nije ekonomski isplativo.

Prema tome potrebno je naći optimalnu varijantu, solarnog toplotnog sistema za grijanje PTV. Jedan od načina je pomoću f-chart metode.

U ovom radu dat je prikaz projektiranja pogona solarnog sistema za grijanje pomoću f-chart metode za lokaciju grad Mostar. Pri tome je odabran aktivni solarni sistem.

## 2. F-CHART METODA

F-chart metoda propisuje postupak udjela  $f$  mjesečne toplotne energije dobivene solarnim sistemom u ukupnoj mjesečnoj potrebnoj toplotnoj energiji (za grijanje prostora i PTV) koji može biti isporučen pomoću aktivnog solarnog sistema. Jednostavnom varijacijom vrijednosti površine kolektora i volumena spremnika, pomoću f-chart metode se može odrediti udio  $f$  mjesečne toplotne energije dobivene solarnim sistemom.

Postupak je baziran na korelaciji za  $f$ , kao funkciji dva bezdimenzionalna parametra:

X-kolektorski gubici i Y-kolektorski dobici.

Kolektorski gubici:

$$X = F_R U_L \frac{F'_R}{F_R} (T_{REF} - \bar{T}_a) \Delta t \frac{A_c}{L}, \quad (1)$$

Kolektorski gubici, koji su predstavljeni parametrom X, podrazumijevaju dodatnu korekciju provedenu za volumen spremnika tople vode:

$$\frac{X_f}{X} = \left( \frac{V_S}{V_{ref}} \right)^{-0,25}, \quad (2)$$

i za pripremu PTV:

$$\frac{X_f}{X} = \frac{(1,16 + 1,18 \cdot t_{TW} + 3,86 \cdot t_{HW} - 2,32 \cdot \bar{T}_a)}{(100 - T_a)}. \quad (3)$$



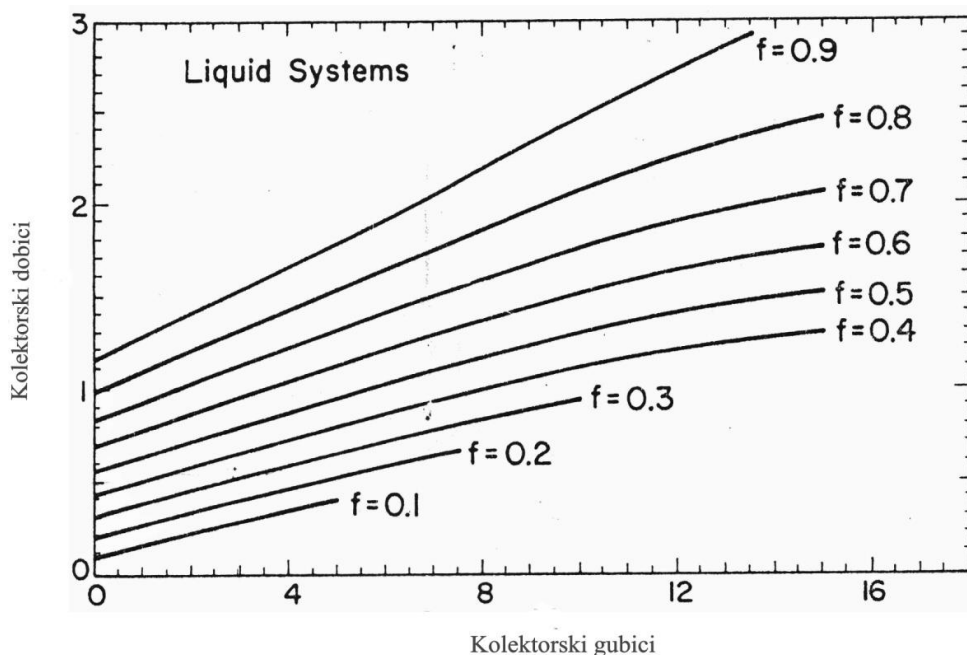
Kolektorski dobici:

$$Y = F_R (\tau\alpha)_n \frac{F'_R \bar{\tau\alpha}}{F_R (\tau\alpha)_n} H_T N \frac{A_c}{L} \quad (4)$$

Mjesečni stepen pokrivanja f za grijanje PTV je jednak:

$$f = 1,029 \cdot Y - 0,065 \cdot X - 0,245 \cdot Y^2 + 0,0018 \cdot X^2 + 0,0215 \cdot Y^3 \quad (5)$$

Na osnovu poznatih vrijednosti za bezdimenzionalne parametre X i Y, faktor pokrivanja f moguće je odrediti i grafički.



Slika 1. Shematski prikaz f-chart metode za tečnošću grijane solarne sisteme

## 2.1 Projektiranje solarnog toplotnog sistema za grijanje potrošne tople vode

Za projektiranje je odabran model porodične prizemne kuće, na lokaciji grad Mostar (geografska širina: 43°20'41", geografska dužina: 17°48'27", nadmorska visina: 65m). Kuća je površine 120m<sup>2</sup> i namijenjena je za četveročlano domaćinstvo. Za projektiranje je odabran pločasti kolektor postavljen na južni dio krova pod optimalnim uglom od 35°.

Osnovni parametri odabranog pločastog kolektora potrebni za proračun su:

$$F_R U_L = 4 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}, F_R (\tau\alpha)_n = 0,74, F'_R / F_R = 0,97 \text{ i } \bar{\tau\alpha} / (\tau\alpha)_n = 0,96.$$

Moguće površine pločastog kolektora koje su analizirane prilikom projektiranja solarnog toplotnog sistema za grijanje PTV su: 2,51m<sup>2</sup>, 5,02m<sup>2</sup> i 7,53m<sup>2</sup>.

Za odabir volumena spremnika tople vode uzeta je srednja potrošnja tople vode za stambenu zgradu:  $V_p = 40\text{l/osobi}$ . Kako je ovdje riječ o četveročlanoj porodici dnevna potrošnja tople vode je  $V = 160\text{l}$ . Prema tome odabrani volumen spremnika tople vode  $V_s = 200\text{l}$ .

Proračun procjene godišnje toplotne energije dobivene solarnim toplotnim sistemom za grijanje PTV je proveden prema stvarnim klimatskim podacima za lokaciju gard Mostar. Vrijednosti za zahtijevanu toplotnu energiju, prosječnu temperaturu ambijenta i dnevnu ozračenost pod optimalnim uglom su predstavljene tabelarno (Tabela 1.).

Tabela 1. Vrijednosti za prosječnu mjesečnu temperaturu, mjesečnu potrebnu toplotnu energiju i dnevnu ozračenost pod optimalnim uglom za lokaciju Mostar

Mjesec	N	$\bar{T}_a$ (°C)	L (kWh)	$H_T$ (kWh/m <sup>2</sup> dan)
Januar	31	7,1	189,643	2,9
Februar	28	7,3	171,291	3,54
Mart	31	9,1	189,643	4,55
April	30	13,2	183,526	5,25
Maj	31	19,2	189,643	5,74
Juni	30	23	183,526	5,88
Juli	31	24,8	189,643	6,46
August	31	25,5	189,643	6,17
Septembar	30	20,1	183,526	5,6
Oktobar	31	16,8	189,643	4,48
Novembar	30	12,5	183,526	3,1
Decembar	31	7,5	189,643	2,56
			$\Sigma=2232,8$	

### 3. REZULTATI DOBIVENI PRIMJENOM F-CHART METODE

Rezultati dobiveni primjenom f-chart metode za projektiranje solarnog toplotnog sistema za grijanje PTV su predstavljeni tabelarno (Tabela 2., Tabela 3. i Tabela 4.).

Tabela 2. Stepen pokrivanja  $f$  i parametri  $X$  i  $Y$  za površine kolektora  $A_{c1}$ ,  $A_{c2}$ ,  $A_{c3}$

Mjesec	$A_{c1} = 2,51\text{m}^2$			$A_{c2} = 5,02\text{m}^2$			$A_{c3} = 7,53\text{m}^2$		
	X	Y	f	X	Y	f	X	Y	f
Januar	1,997	0,819	0,56	3,359	1,639	0,92	4,554	2,459	1,11
Februar	2,234	1,0008	0,66	3,758	2,001	1,03	5,094	3,002	1,17
Mart	2,135	1,286	0,83	3,591	2,572	1,18	4,868	3,859	1,28
April	1,909	1,484	0,94	3,211	2,968	1,26	4,353	4,452	1,37
Maj	1,579	1,622	1,018	2,655	3,245	1,33	3,599	4,868	1,47
Juni	1,369	1,662	1,046	2,303	3,324	1,36	3,122	4,987	1,51
Juli	1,270	1,826	1,113	2,136	3,652	1,40	2,895	5,479	1,64
August	1,231	1,744	1,086	2,071	3,488	1,39	2,808	5,233	1,58
Septembar	1,529	1,583	1,005	2,572	3,166	1,32	3,486	4,749	1,45
Oktobar	1,711	1,266	0,84	2,878	2,533	1,21	3,9009	3,799	1,32
Novembar	1,948	0,876	0,60	3,276	1,752	0,97	4,441	2,629	1,14
Decembar	2,223	0,723	0,48	3,739	1,447	0,82	5,069	2,171	1,01

U mjesecima u kojima kolektori mogu predati više energije od mjesečnih potreba ( $f > 1$ ), uzima se vrijednost stepena pokrivanja  $f = 1,00$ . Vrijednosti za stepen pokrivanja  $f$  izražene u postocima, za površine kolektora:  $A_{c1} = 2,51\text{m}^2$ ,  $A_{c2} = 5,02\text{m}^2$  i  $A_{c3} = 7,53\text{m}^2$ , te za volumen spremnika tople vode  $V_s = 200\text{l}$  su predstavljene tabelarno (Tabela 3.).

Tabela 3. Stepen pokrivanja  $f$  za površine kolektora:  $A_{c1}$ ,  $A_{c2}$ ,  $A_{c3}$

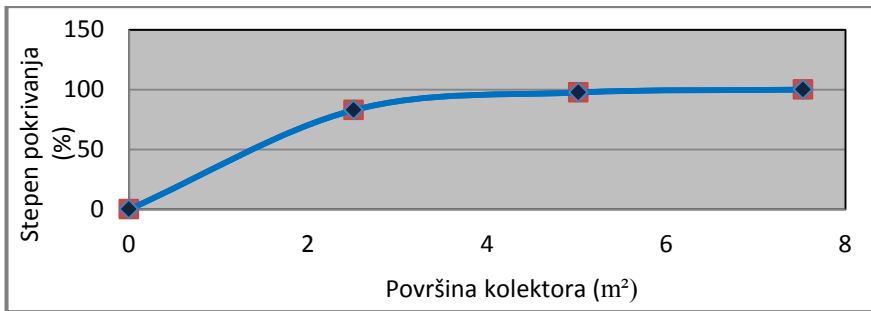
Mjesec		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	God
Stepen pokrivanja $f(\%)$	$A_{c1}$ ( $\text{m}^2$ )	56	66	83	94	100	100	100	100	100	84	60	48	83
	$A_{c2}$ ( $\text{m}^2$ )	92	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97	82	97,6
	$A_{c3}$ ( $\text{m}^2$ )	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Vrijednosti za toplotnu energiju koja se može dobiti korištenjem kolektora  $Q_k$ , dodatni izvor  $Q_d$  i višak toplotne energije koji se može ostvariti korištenjem kolektora  $Q_v$  su date u tabeli 4.

Tabela 4. Iskorištena toplotna energija  $Q_k$ , dodatni izvor  $Q_d$ , višak toplotne energije  $Q_v$  za površine kolektora:  $A_{c1}$ ,  $A_{c2}$ ,  $A_{c3}$

Mjesec	$A_{c1} = 2,51\text{m}^2$			$A_{c2} = 5,02\text{m}^2$			$A_{c3} = 7,53\text{m}^2$		
	$Q_k$ ( $\text{kWh}$ )	$Q_d$ ( $\text{kWh}$ )	$Q_v$ ( $\text{kWh}$ )	$Q_k$ ( $\text{kWh}$ )	$Q_d$ ( $\text{kWh}$ )	$Q_v$ ( $\text{kWh}$ )	$Q_k$ ( $\text{kWh}$ )	$Q_d$ ( $\text{kWh}$ )	$Q_v$ ( $\text{kWh}$ )
Januar	107,75	81,89	0,00	175,47	14,16	0,00	189,64	0,00	20,86
Februar	114,72	56,56	0,00	171,29	0,00	5,42	171,29	0,00	30,56
Mart	158,06	31,58	0,00	189,64	0,00	34,43	189,64	0,00	53,89
April	172,58	10,95	0,00	183,52	0,00	49,16	183,52	0,00	68,56
Maj	189,64	0,00	3,49	189,64	0,00	63,35	189,64	0,00	89,69
Juni	183,52	0,00	8,56	183,52	0,00	66,61	183,52	0,00	95,37
Juli	189,64	0,00	21,51	189,64	0,00	77,17	189,64	0,00	122,5
August	189,64	0,00	16,36	189,64	0,00	74,71	189,64	0,00	111,5
Septembar	183,52	0,00	0,94	183,52	0,00	60,40	183,52	0,00	84,30
Oktobar	160,82	28,82	0,00	189,64	0,00	40,17	189,64	0,00	61,81
Novembar	111,65	71,87	0,00	178,58	4,93	0,00	183,52	0,00	27,43
Decembar	92,72	96,92	0,00	156,16	33,47	0,00	189,64	0,00	3,04
$\Sigma$	1854,2	378,6	50,86	2180,3	52,56	471,4	2232,9	0,00	769,5

Rezultati dobiveni f-chart metodom su pored tabelarnog prikaza predstavljeni i grafički. (Slika 2.).



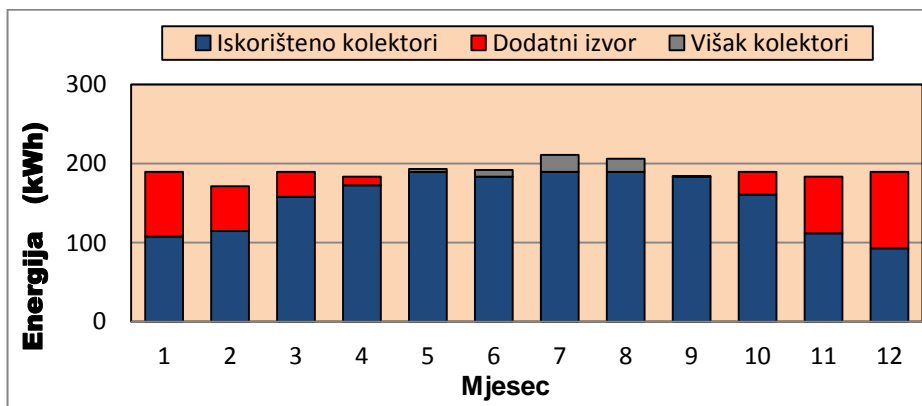
Slika 2. Grafički prikaz stepena pokrivanja u zavisnosti od površine kolektora

### 3.1 Analiza rezultata dobivenih primjenom f-chart metode za projektiranje solarnog toplotnog sistema za grijanje potrošne tople vode

Prema dobivenim rezultatima prikazanim u tabelama (Tabela 2., Tabela 3. i Tabela 4.) najbolje rezultate daje kombinacija:  $A_{c1} = 2,51\text{m}^2$  i  $V_S = 200\text{l}$ . Stepen pokrivanja je 83%. Višak energije se javlja u periodu od mjeseca maja do mjeseca oktobra i uveliko je manji od preostale dvije kombinacije:  $A_{c2} = 5,02\text{m}^2$ ,  $V_S = 200\text{l}$  i  $A_{c3} = 7,53\text{m}^2$ ,  $V_S = 200\text{l}$ . Kombinacije:  $A_{c2} = 5,02\text{m}^2$ ,  $V_S = 200\text{l}$  i  $A_{c3} = 7,53\text{m}^2$ ,  $V_S = 200\text{l}$  ne odgovaraju ni u kom slučaju. Stepen pokrivanja kod preostale dvije kombinacije je prevelik ( $f_1 = 97,6\%$ ,  $f_2 = 100\%$ ). Višak energije kod preostale dvije kombinacije u ljetnom periodu je ogroman, što bi uzrokovalo nepotrebno opterećenje solarne instalacije. Odabir bilo koje od prethodne dvije kombinacije značio bi znatno povećanje površine kolektora što ni u kom slučaju ekonomski nije isplativo. Kao optimalna varijanta za modeliranje pogona solarnog sistema za grijanje potrošne tople vode se može izdvojiti prva kombinacija sa sljedećim karakteristikama:

- površina kolektora,  $A_{c1} = 2,51\text{m}^2$ ,
- potrebni volumen spremnika vode,  $V_S = 200\text{l}$ ,
- stepen pokrivanja,  $f = 83\%$ .

Potrebna toplotna energija za klimu grada Mostara i solarni sistem, uz iskorištenu toplotnu energiju dobivenu sunčanim kolektorima i višak toplotne energije u pojedinim mjesecima za izdvojenu optimalnu varijantu je prikazan na slici 3.



Slika 3. Bilanca toplotne energije za pripremu PTV

Ukupna potrebna godišnja energija za pripremu PTV (za izabranu optimalnu varijantu) iznosi 2232,8kWh od čega kolektori pokrivaju 1854,2kWh (83%). Ukupni višak toplotne energije pri tome iznosi 50,86 (2,28%).

#### 4. ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata dobivenih primjenom f-chart metode, može se zaključiti sljedeće:

- Grad Mostar, s obzirom na mediteransku klimu ima jako dobre uvijete za korištenje Sunčeve energije. Projektiranjem solarnog toplotnog sistema na lokaciji grad Mostar, pod optimalnim uglom, za četveročlano domaćinstvo moguće je ostvariti godišnji stepen pokrivanja za pripremu PTV i do 83%. Projektiranjem solarnog toplotnog sistema pod optimalnim uglom, može se vidjeti da godišnji višak toplotne energije koji se javlja nije velik (2,28%), što znači da je solarna instalacija zaštićena od nepotrebnog opterećenja.

#### NOMENKLATURA

$A_c$  površina kolektora, m<sup>2</sup>

f faktor pokrivanja, %

$F_R$  faktor odvođenja toplote, %

$F'_R$  faktor efikasnosti kolektorskog kruga, %

$H_T$  dnevna ozračenost ukupnim Sunčevim zračenjem pod određenim uglom, kWh/(m<sup>2</sup>·°C)

L mjesečna potrebna toplotna energija, kWh

N broj dana

$t_{HW}$  temperatura hladne vode, °C, ( $t_{HW} = 12^\circ\text{C}$ )

$t_{TW}$  temperatura tople vode, °C, ( $t_{TW} = 45^\circ\text{C}$ )

$\bar{T}_a$  prosječna temperatura ambijenta, °C

$T_{REF}$  referentna temperatura, °C, ( $T_{REF} = 100^\circ\text{C}$ )

$Q_d$  dodatni izvor toplotne energije, kWh

$Q_k$  toplotna energija koja se može dobiti korištenjem kolektora, kWh

$Q_v$  višak toplotne energije koji se može ostvariti korištenjem kolektora, kWh

X kolektorski gubici

Y kolektorski dobici

$\bar{\tau\alpha}$  prosječni mjesečni proizvod transmisije i apsorpcije, %

$(\tau\alpha)_n$  normalni proizvod transmisije i apsorpcije, %

$\Delta\tau$  broj sati u mjesecu, h

## **LITERATURA**

- [1] William A. Beckamn, Sanford A. Klein, John A. Duffie (1977), Solar heating design by the f-chart method.
- [2] John A. Duffie, William A. Beckamn (1991), Solar Engineering of thermal process.
- [3] Gilbert M. Masters (2004.), Renewable and Efficient Electric Power Systems, Stanford University .
- [4] B.K. Hodge (2010), Alternative Energy Systems and Application.
- [5] Aldo Vieira da Rosa (2009), Fundamentals fo renewable energy processes.



## ENERGY EFFICIENCY OF THE HOSPITAL BUILDING

Dragan Antunović<sup>1</sup>, Milan Savić<sup>2</sup>

*Abstract:* Buildings in Republika Srpska consume about 50% of total energy consumption. Therefore, an improvement of energy efficiency in buildings is a key task on the road to sustainable development, secure energy supply and environmental protection.

The strategy of reducing energy consumption in buildings is contained in Directive 2010/31/EC, and it requires from all member states as well as countries which signed the Agreement with the Energy Community, that they through the legislative framework, with national specificities, introduce a systematic approach in considering ways of rational energy consumption in buildings. The main elements of this Directive are unique methodology for calculating the energy efficiency indicators for identification of the energy class facility in the process of building energy certification, energy audits, as well as regular inspection of heating and air conditioning systems in buildings.

*Key words:* buildings, energy audit, energy efficiency, energy efficiency indicators,

### 1. INTRODUCTION

The present building considered in this audit is a complex consisting of two hospital facilities (the old facility A and the new facility C) with a total net heating area of 21,795 m<sup>2</sup>. The report analysed all energetic properties of the complex. Data were available for the analysis of the complex's external side properties and a necessary quantity of heat for their heating was calculated in line with referential climatic data according to the BAS EN ISO 13790 standard [1].

Based on a review and analysis of the collected bills for energy-producing products, a consumption analysis was made. In line with the acquired results measures were proposed to improve energy efficiency and a technological as well as an economic analysis was made. Also, an analysis was made relating to the CO<sub>2</sub> emission produced by the complex and its decrease if the proposed measures be adopted.

---

<sup>1</sup>Dragan Antunović, Mechanical engineer, Banja Luka, Civil Engineering Institute IG Banja Luka, dragan.antunovic@institutig.com

<sup>2</sup>Milan Savić, Elektrikal engineer, Banja Luka, Civil Engineering Institute IG Banja Luka, dragan.antunovic@institutig.com

## 2. RESULTS OF THE ENERGY AUDIT

### 2.1 Description of the existing conditions in the subject hospital complex

Facility „A“ psychiatry, was constructed in 1963. It consists of the ground floor and the first floor which comprise a gross area of 1551 m<sup>2</sup> (net heated area 1045 m<sup>2</sup>). The area of external walls is 502.30 m<sup>2</sup>, whereas the area of glass panes is 393 m<sup>2</sup>. No insulation was done on the facility, not in a single part of the construction shell. The entire condition of this facility is poor, ranging from the external façade that is dilapidated, wooden windows and wooden doors which are drafty or blocked due to their deterioration (2/3 of windows are nailed and cannot open) and the flat leaking roof. Heating is done by means of hot water pipeline, a two-pipe system with the temperature regime 90/70 °C with cast steel sectional radiators. Hot water is supplied to the facility from its own boiler room located in the basement of the facility C.

Facility „C“ the new facility, was built in 1985. It consists of the basement, ground floor and several floors that comprise a total gross area of 26306 m<sup>2</sup> (net heated area 20750 m<sup>2</sup>), with 481 hospital beds and a total 13500 of hospital beneficiaries at the annual level. The area of external walls is 5550 m<sup>2</sup>, whereas the area of glass panes is 3764 m<sup>2</sup>. Construction shell insulation was installed on the facility. The entire condition of this facility is decent. A large lack is external dilapidated drafty doors and the flat roof that is occasionally repaired not to leak. Certainly the greatest problems of this facility as concerns its outer layer are façade openings with domes. Domes are much damaged and their dilapidation is visible, hence their replacement is certainly necessary. Heating is done by means of hot water pipeline, a two-pipe system with a temperature regime 90/70 °C with panel steel radiators. Hot water is supplied to the facilities from their own boiler room located in the basement of this facility. Detailed description of the existing conditions in the subject hospital complex is given in table 2.1.

Table 2.1. *Description of the existing conditions in the subject hospital complex*

Facility A/C	Year of construction (facility A/C):	1963/1985
Facility A/C	Town:	Prijedor
Facility A/C	Number of degree days:	2.919
Facility A/C	Number of heating days, Z:	180
Facility A/C	Address:	Milana Vrhovca 1
Facility A/C	Geographic position:	44.59-N,16.44-E
Facility A/C	Elevation:	135 m
Facility A	Floor area – psychiatry (h=3,2 m), m <sup>2</sup> ;Pr+1:	525
Facility C	Floor area – hospital (h=3.2 m), m <sup>2</sup> ;Po+Pr+5:	1.555
Facility C	Floor area – diagnostics (h=3.2 m), m <sup>2</sup> ;Po+Pr+1:	1.190
Facility C	Floor area – surgery block (h=3,2m), m <sup>2</sup> ;Po+Pr+1:	1.690
Facility C	Floor area – technical block (h=4m), m <sup>2</sup> ;Po:	1.220
Total:	Heated area m <sup>2</sup> :	21.795
Total:	Heated volume m <sup>3</sup> :	70.476



## 2.2 Energy systems description

### 2.2.1 Heating and hot water preparation systems

A short overview of the heating and hot water preparation system (PTV) is shown in the table 2.2:

Table 2.2. Overview of the heating and hot water preparation systems

Heat source:	Black oil-fired boilers, capacity:	2 x 1750 kW
Boiler room:	Temperature regime of the heating system functioning:	90/70°C
Heat substation:	Constant flow pumps:	6 pcs
Preparation of hot water:	Hot water reservoir – heat load for hot water preparation (W):	848000

### 2.2.2 Cooling systems

The existing cold air preparation equipment installed in the facility C is out of function. The cooling system in the subject facility of the hospital consists of individual split systems installed in several premises in facilities A and C. Installed split cooling systems are non-invert of C or D energy class. In both facilities, A and C, a total of 57 air-conditioners have been installed.

### 2.2.3 Ventilation systems

Ventilation in facilities A and C in the subject hospital complex is mostly natural and mechanical only in some parts. The existing central mechanical ventilation installed in facility C has been out of function for a longer period. Polluted air is exhausted from sanitary facilities of every floor through exhaust fans located on the roof of the facility, i.e. exhaust valves in individual rooms. These ventilation systems are in a decent condition and meet the existing Technical regulation.

### 2.2.4 Electrical power system

The hospital complex is supplied from its own transformer station in which two transformers with 630 kVA 20/10/0.4 kV power are installed. The concentration of major consumers is in the laundry, kitchen and sterilisation room. All machines in the laundry are transformed from steam to electro heaters. The lighting in the facility is accomplished through fluorescent light-bulbs and through filament light-bulbs. Outdoor lighting is accomplished with 150W power mercury light-bulbs. Lighting management is local. Two thirds of lighting is supplied through bus networks, and the rest from the generator supply bus. The facility also has "night lighting". At some spots in the facility light-bulb dampers are dislocated into a supply distribution cabinet, for the sake of electromagnetic radiation. All dampers are electromagnetic.

### 3. ENERGY EFFICIENCY INCREASE PROPOSALS

#### 3.1 Thermal energy saving measures on building envelope

The walls of the Facility C already have some thermal insulation. This is not fully satisfactory but implementing additional insulation brings few savings compared to the investment cost. The pay back is too long, 21,13 years. Therefore, this EE measure is not selected, whereas in the Facility A insulation of the external walls is selected since the payback is 4.41 years only, as shown in Table 3.1

Table 3.1. *The walls*

Insulation	Existing U-value (W/m <sup>2</sup> K)	Proposed EE measure	New U (W/m <sup>2</sup> K)	Energy saving (kWh)	Energy saving KM	Invest. Cost KM	Pay back Years	Selection of measure
Facility A	1.285	10cm EPS	0.30	48793	6831	30144	4.41	<b>Yes</b>
Facility C	0.626	10cm EPS	0.26	112564	15758	333000	21.13	<b>No</b>

The roof of the Facility C already has some thermal insulation. This is not fully satisfactory but implementing additional insulation brings few savings compared to the investment cost. The pay back is too long, 26,71 years. Therefore, this EE measure is not selected. However, in case of the Facility A thermal insulation of the roof is selected as improvement measure with the payback of 4.75 years (Table 3.2.).

Table 3.2. *The roof*

Insulation	Existing U-value (W/m <sup>2</sup> K)	Proposed EE measure	New U (W/m <sup>2</sup> K)	Energy saving (kWh)	Energy saving KM	Invest. Cost KM	Pay back Years	Selection of measure
Facility A	1.356	10cm XPS	0.29	55237	7733	36750	4.75	<b>Yes</b>
Facility C	0.489	10cm XPS	0.18	128350	17969	480060	26.71	<b>No</b>

The windows of the Facility C already have 3 glazing with aluminium frame, providing a decent U value. Improving these windows will increase slightly the heat losses for a high investment cost. The pay back is very long, 35,65 years. This measure is not proposed, but in the Facility A it is not the case and replacement of windows is selected as measure with the payback period of 5.35 years –Table 3.3.

Table 3.3. *The windows*

Insulation	Existing U-value (W/m <sup>2</sup> K)	Proposed EE measure	New U (W/m <sup>2</sup> K)	Energy saving (kWh)	Energy saving KM	Invest. Cost KM	Pay back Years	Selection of measure
Facility A	3.2	2glaz-gas	1.3	163871	22941	205260	5.35	<b>Yes</b>
Facility C	2.4	2glaz-gas	1.3	233764	32727	1166550	35.65	<b>No</b>

In both Facilities, A and C, replacement of the old doors ( $U=3.2 \text{ W/m}^2\text{K}$  and  $U=2.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) is proposed with the new ones ( $U=1.3\text{W/m}^2\text{K}$ ) with payback period of 3.53 years for the Facility A and 5.32 years for the Facility C – Table 3.4.

Table 3.4. *The doors*

Insulation	Existing U-value ( $\text{W/m}^2\text{K}$ )	Proposed EE measure	New U ( $\text{W/m}^2\text{K}$ )	Energy saving (kWh)	Energy saving KM	Invest. Cost KM	Pay back Years	Selection of measure
Facility A	4.7	new EE door	1.3	14016	1962	6930	3.53	<b>Yes</b>
Facility C	3.8	new EE door	1.3	51808	7253	38610	5.32	<b>Yes</b>

Replacement of the facade domes in the Facility C is proposed measure with the payback time of 2.08 years – Table 3.5.

Table 3.5. *The facade domes*

Insulation	Existing U-value ( $\text{W/m}^2\text{K}$ )	Proposed EE measure	New U ( $\text{W/m}^2\text{K}$ )	Energy saving (kWh)	Energy saving KM	Invest. Cost KM	Pay back Years	Selection of measure
Facility C	5.8	2glaz-gas	1.3	126585	17722	36960	2.08	<b>Yes</b>

### 3.2 Energy saving measures on heating system

#### Installation of thermostatic valves and frequency-regulated pumps

The most efficient method to regulate temperature in premises and energy saving are accomplished by a combination of the installation of thermostatic valves on radiators and the installation of frequency-regulated pumps at the starting branches of heating toward radiators. One of the measures to improve energy efficiency would be the installation of thermostatic valves and frequency-regulated pumps. An assessment is that the installation of thermostatic valves on all radiators in the facility and the replacement of permanent-flow pumps with frequency-regulated pumps would save 10% of the total consumption. Investment cost is 107250 KM, saving, based on the new consumption is 61375kWh and 8592 KM and payback time is 12.48 years.

#### Burner replacement

Old burners are worn out; hence we have a lower degree of boiler usefulness. In order to increase energy efficiency of the existing boiler, an energy efficiency measure would be the replacement of the old burner with a new one. An assessment is that the installation of a new burner would accomplish savings of about 15% of the total consumption. Investment cost for this measure of 140000 KM will save 92062 kWh of energy with payback time 10.86 years.

#### Boiler replacement

Existing boilers are old but not in too bad conditions. They do not need to be replaced now.

### 3.3 Electricity saving measures

#### Replacement of incandescent bulbs

One of the largest electricity consumers in the analysed facility is lighting with a share of 20.7%. Incandescent light-bulbs should be replaced with corresponding fluocompact bulbs. Number of bulbs to be replaced is 210 and investment cost for this measure is 1890 KM. This measure will bring energy saving of 23286 kWh/year and payback time is only 1.16 years.

#### Installation of capacitor batteries

With the aim of local production of reactive energy, central capacitor battery installation is envisaged. In this way losses are lower in heat transfer, thereby electricity bills are decreased by the amount of invoiced excessive reactive energy consumption. This investment of 5400 KM, will lead to energy saving of 74257 kWh/year and payback time is only 1.04 years.

#### Mercur lamps for parking

Parking 40 lamps are inefficient. They can be replaced with mercur lamps. That will bring cost of 1600 KM and energy saving of 2171kWh/year with long payback time of 10.53 years.

### 3.4 Energy balance of the facility

Thermal energy consumption modelling for the existing condition (baseline) and after the application of proposed measures (targetline) are shown in Figure 1 (a) for the facilities A and C. Thermal energy consumption (baseline) modelling was performed based on the number of degree days of heating HDD collected from the meteorological station for the subject location on the basis of required indoor temperature for the facilities of this type, as well as based on collected utility bills for the past period.

Figure 1 (a) shows the a thermal energy  $Q_g$ (MWh) consumption in the facility for the existing condition (prior to the energy efficiency measures application - baseline) and for the target condition (after the energy efficiency measures application - targetline). The diagram clearly shows a difference in the thermal energy consumption for the existing condition ( $Q_g$ -baseline) of the facility and thermal energy ( $Q_g$ -targetline) that would be necessary for the facility after the application of the proposed energy efficiency measures. Figure 1 (b) shows consumption of thermal energy  $Q_g$ (MWh) in the building A for the existing situation (baseline) and the targeted situation.

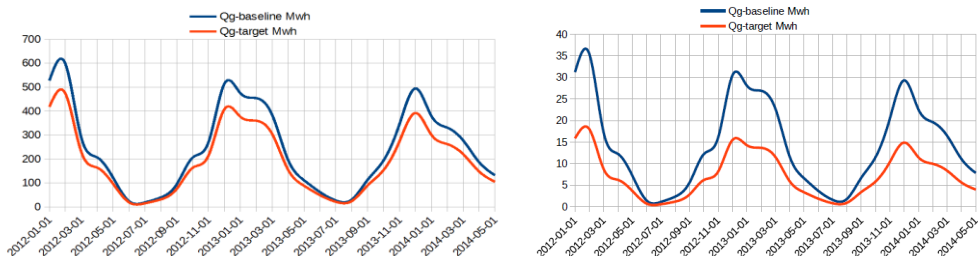


Figure 1. Thermal energy consumption (baseline - targetline) comparison diagram

The heating of the facility and hot water preparation in the observed period after the applied energy efficiency measures would require 5635.0 MWh, which is far less than the necessary thermal energy for the existing condition of the facility which during the same period amounted to 7108.0 MWh. The saving for this period would amount to 1473.0 MWh which would be 20.7% in percentage, facilities A and C. The highest savings are expected on the building A in accordance with the proposed energy efficiency measures. After the implementation of measures, required thermal energy in the observed period would amount to 213.7 MWh for the building A and this is much less than the existing energy consumption which currently amounts 420.9 MWh. Savings for this period would amount 162 MWh, representing 49.2%. Summary overview of the results for the proposed energy savings measures scenario is shown in Table 3.6.

Table 3.6. *The overview of the results for the proposed energy savings measures scenario with 1- measure thermal energy, 2-measure electricity and sum - $\Sigma$*

M	Energy demand		Savings			Investment (KM)	Payback (years)
	Before (MWh)	After (MWh)	Energy (Mwh)	Costs (KM)	Emissions CO <sub>2</sub> (kg)		
1	2.961,67	2.347,92	613,75	85.925,00	170.739,80	519.404,00	<b>6.04</b>
2	1.745,16	1.645,45	99,71	6.980,00	52.850,00	8.890,00	<b>1.27</b>
$\Sigma$	4.706,83	3.993,37	713,46	92.905,00	223.589,80	528.294,00	<b>5.69</b>

#### 4. CONCLUSION

The detailed energy audit shows the good potential of energy saving that the hospital of Prijedor is presenting.

Collected bills of the hospital complex for the past 3 years have shown a real insight into the energy consumption and cost of energy-producing products. Based on this insight and based on the calculation of necessary thermal energy for the existing condition of the facility, a conclusion can be drawn that the facility was additionally heated by consumption of electricity in order to reach required standard temperatures in facility's premises.

After the proposed saving measures application relating to thermal energy savings would amount to 613.75 MWh in thermal energy, i.e. 55,797.3 kg heavy oil annually; this would financially amount to 85,925.00 KM. This would make a total thermal energy saving of 20.7%. The analysis of electricity consumption after the application of the proposed energy efficiency measures shows a saving of 99.71 MWh in electricity annually, which in percentage is 5.7%, representing 6,980 KM.

Accordingly, the application of all saving measures in the proposed scenario would save 92,905.00 KM in costs annually, which would mean a decrease in average annual costs in the concerned hospital complex by 17.6%.

Annual CO<sub>2</sub> emission according to the energy consumption for the existing condition in the hospital complex amounts to 1,748,815.4 kg/year. If all proposed

energy efficiency measures were applied, CO<sub>2</sub> emission would decrease by 223,589.8 kg per year, which in percentage would amount to about 12.8%.

## **REFERENCES**

- [1] BAS EN ISO 13790, Energy performance of buildings -- Calculation of energy use for space heating and cooling
- [2] BAS EN ISO 13789 Thermal performance of buildings -- Transmission and ventilation heat transfer coefficients -- Calculation method
- [3] B. Todorović: Projektovanje postrojenja za centralno grijanje, peto izmjenjeno izdanje, Mašinski fakultet, Beograd 1979.
- [4] BAS EN 12831 Thermal performance of buildings -- Transmission and ventilation heat transfer coefficients -- Calculation method
- [5] Službeni glasnik RS br. 61/2011: Pravilnik o energetskejoj efikasnosti zgrada



## ENERGETSKI INDEKS PROIZVODNJE DRVNOG ČIPSA

Srđan Vasković<sup>1</sup>, Petar Gvero<sup>2</sup>, Vlado Medaković<sup>3</sup>, Velid Halilović<sup>4</sup>,  
Marko Ikić<sup>5</sup>, Goran Ašonja<sup>6</sup>

*Rezime: Proizvodnja čvrstih biogrova definisana je odgovarajućim energetskim lancem snabdijevanja. Proces proizvodnje čvrstih goriva iz drvene biomase počinje sa tehnologijama za skupljanje drvnog ostatka, počev od obaranja stabla pa sve do sistema za preradu (za usitnjavanje, drobljenje, sušenje, presovanje ukoliko se pravi briket ili pelet). Efikasnost proizvodnje drvnog čipsa je u relaciji sa ukupnom uloženom energijom po 1 kWh donje toplotne moći proizvedenog goriva. Ovaj rad će prikazati analizu ukupno uložene energije u snabdijevačkom lancu proizvodnje drvnog čipsa u funkciji od transportnih distanci i vlage u drvetu. Model za analizu energetskog indeksa proizvodnje drvnog čipsa urađen je u softverskom paketu Mathcad.*

*Ključne riječi: šumska biomasa, čips, energetski lanac, proizvodnja, modeliranje, Mathcad*

### ENERGY INDEX FOR PRODUCTION WOODEN CHIPS

*Abstract: Production of solid fuels from wooden biomass is defined with appropriate energy chain of supply. Procedure for production of solid fuels from wooden biomass, starting with technology for gathering wooden residues and residues from logging up by the system of fuels production (system for milling, crushing, chopping, drying and pressing of wooden residues), presents energy chain of supply with solid fuel from biomass. Efficiency of production wooden chips is the relation of overall invested energy per 1 kWh of lower heating value of produced fuel. This paper will analyze total invested energy in supply chain for production wooden chips as a function transport distance and wood moisture. Paper will mathematically describe chain of wooden chips production from forest transported to the sawmill and to the terminal of processing. Mathematical model for calculation energy index developed in Mathcad software.*

*Key words: forest biomass, chips, energy chain, production, modelling, Mathcad.*

<sup>1</sup> Spec. Srđan Vasković, viši asist., UIS, Mašinski fakultet I. Sarajevo, srdjan\_vaskovic@yahoo.com

<sup>2</sup> Dr Petar Gvero, v. prof., UBL, Mašinski fakultet B. Luka, petar.gvero@gmail.com

<sup>3</sup> Dr Vlado Medaković, docent, UIS, Mašinski fakultet I. Sarajevo, vlado.medakovic@gmail.com

<sup>4</sup> Dr Velid Halilović, docent, UNSA, Šumarski fakultet Sarajevo, velidha@yahoo.com

<sup>5</sup> Mr Marko Ikić, viši asist., UIS, Elektrotehnički fakultet I. Sarajevo, markoikic@yahoo.com

<sup>6</sup> Goran Ašonja, dipl.inž.maš., gashonya@yahoo.com

## **1. UVOD - PREGLED ISTRAŽIVANJA SNABDIJEVAČKIH LANACA BAZIRANIH NA BIOMASI**

U zemljama u razvoju, oko 22% korišćene energije se dobija iz biomase, međutim radi se o tradicionalnom načinu korišćenja sa veoma niskim stepenom iskorištenja i povećanim emisijama zagađujućih materija. Mnogi scenariji predviđaju u budućnosti značajan porast učešća energije iz biomase [8]. Iz tog razloga potrebno je raditi konstantno na procesu uvođenja novih tehnologija za proizvodnju energije iz biomase sa većim stepenom iskorištenja.

Istraživanja koja se tiču komponovanja snabdijevačkih energetskih lanaca i uopšte korištenja biomase kao energenta su novijeg izdanja. Optimizacija snabdijevačkih lanaca biomasom uglavnom se vrši prema distancama transporta i vlažnosti biomase koja se transportuje. Opis modeliranja regionalne strukture snabdijevanja šumskom biomasom kao gorivom u zavisnosti troškova transporta opisali su (Gronalt, Rauch, 2007.)[3].

Model linearnog snabdijevačkog lanaca biomasom koji uključuje, transport, skladištenje i pripremu biomase obrađen je u (Silke Van Dyken, et al. 2009). Glavni fokus ovog rada nalazi se u iznalaženju linearne zavisnosti između sadržaja vlage u biomasi i energetske moći biomase i ekonomskih pokazatelja, posebno je obrađen slučaj pasivnog sušenja biomase u procesu skladištenja[13].

Planiranje i logistika u korišćenju drvne biomase za proizvodnju energije obrađeni su od strane (Frombo, et al. 2009). Varijable odlučivanja u ovom pristupu su kapacitet postrojenja i prikupljena biomasa sa odgovarajućeg područja dok je ciljna funkcija suma svih troškova u procesu iskorištenja drvne biomase[2].

Produktivnost i troškovi mehanizovane sječe i prikupljanja drveta u energetske svrhe obrađeni su od strane (Roser, et al. 2011). U radu je urađena analiza i pregled troškova koji javljaju u različitim kombinacijama proizvodnje drvnog čipsa kao energenta za slučajeve proizvodnje (kod postrojenja, uz put, na terminalu), shodno transportnim dužinama[12].

U analiza troškova transporta snabdijevačkih lanaca energetskim drvetom na duže distance u Finskoj, analizirani načini transporta pomoću kamiona za drveni čips, transport baliranih ostataka sječe pomoću kamiona ili voza, transport rasutog ostatka itd. (Tahvanainen, Anttila, 2011)[14].

Značaj analize energetskih lanac sa aspekta uložene energije veoma je bitan. U literaturi susrećemo tzv. faktor EROEI (Energy returned on energy invested), koji predstavlja količnik iskoristive energije od određenog energenta (ili od nekog načina proizvodnje energije) i utrošene energije da bi se taj energent ili energija dovela u neki upotrebljiv oblik (Hall, 2011)[5].

U ovom radu se analizira ukupno uložena energija po 1 kWh donje toplotne moći goriva dobijenog u obliku drvnog čipsa. Analizom podataka iz dostupnih literatura ustanovljeno je da faktor EROEI ne postoji jasno definisan u tim podacima. To je prvenstveno zbog specifičnosti drvne biomase kao goriva sa stanovišta njene vlažnosti ali i energetskih gubitaka koji se javljaju tokom prikupljanja. U ovom radu napravljen je matematički model koji izračunava energetski indeks proizvodnje drvnog čipsa i koji se nalazi u korelaciji sa faktorom EROEI u recipročnoj zavisnosti.

## **2. SPECIFIČNOSTI DRVNE MASE KAO ENERGENTA**

Najznačajnija karakteristika biomase koja je u vezi sa sagorjevanjem i ostalim njenim termohemijskim procesima je sadržaj vlage sa čijim se povećanjem smanjuje i



toplotna moć biomase. Vrijednost donje toplotne moći vlažnog drveta može se izračunati prema sledećoj formuli [4]:

$$ehv_w = \frac{ehv_0 \cdot (100 - w) - (2,44 \cdot w)}{100} \quad (1)$$

gdje su:

$ehv_w$  - donja toplotna moć drveta u zavisnosti od sadržaja vlage (MJ/kg),

$ehv_0$  - toplotna moć suvog drveta (MJ/kg),

2.44 - potrebna energija za isparavanje vode na 25 °C (MJ/kg),

w - sadržaj vlage u totalnoj masi izražen u procentima.

Zapreminska masa ili gustina drveta  $\rho_0$  je definisana kao odnos između suve mase drveta (kg) i zapremine koju zauzima. Ova vrijednost široko varira zavisno od tipa drveta ali uglavnom se nalazi u opsegu između 320 i 720 kg/m<sup>3</sup>. Toplotna moć po jedinici zapremine može biti izračunata uzimajući u obzir donju toplotnu moć  $ehv_w$  i gustinu drveta:

$$ehvv_w = ehv_w \cdot \rho_w \quad (2)$$

Za sadržaj vlage po suvoj osnovi drveta veći od 30% gustina vlažnog drveta iznosi:

$$\rho_w = \rho_0 \cdot \frac{\left(1 + \frac{u}{100}\right)}{\left(1 + \frac{\alpha_v}{100}\right)} = \rho_0 \cdot \frac{10^4}{(100 - w) \cdot (100 + \alpha_v)} \quad (3)$$

Za sadržaj vlage po suvoj osnovi drveta **manji od 30%** gustina vlažnog drveta je:

$$\rho_w = \rho_0 \cdot \frac{\left(1 + \frac{u}{100}\right)}{\left(1 + \left(\frac{\alpha_v}{100} \cdot \frac{u}{100}\right)\right)} = \rho_0 \cdot \frac{3000}{3000 - 30w + \alpha_v \cdot w} \quad (4)$$

gdje su:

$ehvv_w$  - toplotna moć po zapreminskoj jedinici (MJ/m<sup>3</sup>),

u - sadržaj vlage po suvoj osnovi:

$$u = \frac{100 \cdot w}{100 - w} \quad (\%), \quad (5)$$

$\rho_0$  - gustina suvog drveta (kg/m<sup>3</sup>),

$\rho_w$  - gustina drveta sa sadržajem vlage w (kg/m<sup>3</sup>),

$\alpha_v$  - procenat bubrenja (%) [6].

### 3. MATEMATIČKI MODEL ZA PRORAČUN ENERGETSKOG INDEKSA PROIZVODNJE DRVNOG ČIPSA

Za proizvodnju biogoriva od drvene biomase potrebno je angažovati: različite tipove mehanizacije, postrojenja za preradu biomase u upotrebljivo gorivo, ljudske i druge resurse. Svaki element energetskog lanca koji učestvuje u snabdijevanju drvnim čipsom kao gorivom, predstavlja izvjesni utrošak energije. Ukoliko taj utrošak energije u obliku vrijednosti donje toplotne moći (fosilnih goriva, el. energije, toplotne energije) svedemo po produktivnosti mašine ili postrojenja (donje toplotne moći prerađenog drveta) i saberemo sve te utroške energija pojedinih elemenata lanca, onda možemo dobiti traženu vrijednost energetskog indeksa.

$$E = \sum_{i=1}^n E_i, \quad (6)$$

Gdje su:

$E_i$  -  $i$ -ti element energetskog lanca

$n$  - ukupan broj prenosnih elemenata u energetskom lancu snabdijevanja.

Pošto se u ovom radu analiziraju energetski lanci za proizvodnju biogoriva sa energetskog aspekta, onda se u nastavku daju matematički opisi pojedinih elemenata energetskog lanca u skladu prema prethodno usvojenom konceptu za izračunavanje funkcije energetskog indeksa ( $E$ ).

#### 3.1 Mašine za prikupljanje biomase u snabdijevačkom lancu

Mašine za prikupljanje biomase su prvi element u lancu od koga počinje čitav proces snabdijevanja sa biomasom. Različite operacije u prikupljanju drvene biomase zahtijevaju različite mašine čiji izbor za korišćenje u praksi zavisi od uslova primjene. U strukturi analiziranih energetskih lanaca koji se analiziraju u ovom radu koriste se sledeće mašine: motorna pila, traktor, kamion, hidraulična dizalica, mobilni iverač, forvarder. Uzima se opcija proizvodnje drvnog čipsa od četinarskog drveta (jela). Za sve proizvodne mašine čija se potrošnja goriva izražava u litrima po satu, (l/h) i radna proizvodnost u zapreminskoj jedinici po satu, ( $m^3/h$ ), važe sledeće relacije.

$$E_i = \frac{\sum_{q=1}^{n_i} \frac{\rho_{Fi} \cdot Fc_{iq} \cdot t_{iq}}{1000} \cdot Hv_{iq}}{\sum_{q=1}^{n_i} \frac{ehv_{0iq}(100 - w_{iq}) - (2,44w_{iq})}{100} \cdot \rho_{0iq} \cdot \frac{10^4}{(100 - w_{iq}) \cdot (100 + \alpha_{v iq})} \cdot Pr_{iq} \cdot t_{iq} \cdot (SVF)_{iq}}, \quad (7)$$

Gdje su:

$q=1 \dots n_1$  - broj mašina uključenih u rad,

$Fc_{iq}$  - specifična potrošnja goriva posmatrane radne mašine, litara po satu l/h definisana na bazi tehničkih karakteristika radnih mašina [9],

$ehv_{0iq} = 19,49 \text{ MJ/kg}$  - toplotna moć suvog drveta za smrču (jela),

$Pr_{iq}$  - produktivnost radne mašine, metara kubnih u satu  $m^3/h$  različita za različite proizvodne mašine [9],

$t_{iq}$  - vrijeme rada mašine u satima h,

$Hv_{iq}$  - donja toplotna moć goriva (benzina ili nafte zavisno od vrste goriva koje

koristi mašina) u MJ/kg,

$w_{iq} \geq 30\%$  - vlažnost drveta, referentno uzeta 50%.

$\rho_{0iq} = 450 \text{ kg/m}^3$  - gustina drveta u  $\text{kg/m}^3$ ,

$\alpha_{viq} = 8\%$  - procenat bubrenja drveta u %,

$(SVF)_{iq}$  - faktor zapreminske ispunjenosti (0,...1) [11],

$\rho_{Fi}$  - gustina goriva (benzina, nafte) pri atmosferskim uslovima u  $\text{kg/m}^3$ ,

Mora se napomenuti da prethodno napisane formule važe samo za radne mašine čija se produktivnost izražava u časovima rada.

Takođe, za rad hidraulične dizalice za utovar kamiona, koristiće se minimalna prosječna potrošnja goriva kamiona (rad u praznom hodu). Kamion kao element snabdijevačkog lanaca biomasom koji služi za transport ili drvnog čipsa ili oblovine, razlikovaće se malo po pitanju izračunavanja vrijednosti  $E_i$ . Razlog zbog čega je to tako, nalazi se u izražavanju potrošnje goriva kamiona po pređenim kilometrima za neko prosječno definisano opterećenje.

$$E_i = \frac{\sum_{q=1}^{n_i} \frac{\rho_{Fi} \cdot Ftc_{iq} \cdot l_i}{10^5} \cdot H_{V_{iq}}}{\sum_{q=1}^{n_i} \frac{ehv_{0iq}(100 - w_{iq}) - (2,44w_{iq})}{100} \cdot M_{tiq} \cdot 1000}, \quad (8)$$

Gdje su:

$Ftc_{iq}$  - specifična potrošnja goriva kod kamiona izražena u litrima po kilometru l/km,

$l_i$  - distanca transporta u kilometrima km, varirana u intervalu od 20 do 50 km svi elementi transporta,

$M_{tiq}$  - nosivost kamiona u tonama t [9].

Mora se naglasiti da je nosivost kamiona za drveni čips različita od nosivosti kamiona za transport trupaca. Potrošnja goriva mašina koje učestvuju u snabdijevačom lancu drvnom biomasom uglavnom se izražava u litrima po satu. Takođe, produktivnost rada pojedinih mašina data je u zapreminskoj količini biomase koju mašina preradi, privuče, prikupi ili utovari u nekom vremenskom intervalu. Da bi se došlo do mjerodavnih veličina potrošnje goriva i produktivnosti različitih mašina za sakupljanje drve biomase, potrebno je izvršiti različita mjerenja i istraživanja u uslovima eksplotacije[9].

### 3.2 Primarna mehanička prerada drveta

Mehanička prerada drveta podrazumjeva vrstu prerade kod koje se na prvom mjestu mijenjaju oblik i dimenzije drveta uz upotrebu mehaničkih sredstava (pila, noževa i sl.). Ostatak koji nastaje u pilanama predstavlja značajnu količinu drvene biomase za proizvodnju čvrstih biogoriva. Pored glavnog proizvoda na pilanama kao što su daske, grede, različiti oblici poluproizvoda, nastali drveni ostatak od prerade je od manjeg značaja. Energija u primarnoj preradi drveta se zbirno troši po zapreminskoj jedinici gotovog proizvoda. Tako da imamo sljedeću matematičku funkciju energetskog indeksa za pilanu:

$$E_i = r \cdot \frac{\frac{1}{\eta c_{el}} \cdot \left( \sum_{q=1}^{n_1} Fp_{iq} \cdot t_{iq} \cdot Ec_{iq} \right)}{\frac{1}{3,6} \cdot \left( \sum_{q=1}^{n_1} \frac{ehv_{0iq}(100 - w_{iq}) - (2,44w_{iq})}{100} \cdot \rho_{0iq} \cdot \frac{10^4}{(100 - w_{iq}) \cdot (100 + \alpha_{viq})} \cdot Fp_{iq} \cdot t_{iq} \cdot (SVF)_{iq} \right)}, \quad (9)$$

Gdje su:

$q=1 \dots n_1$ - broj pilana,

$Fp_{iq}$  - produktivnost (kapacitet pilane), metara kubnih po satu  $m^3/h$  [9],

$Ec_{iq}$  - specifična potrošnja el. energije po prerađenom kubnom metru  $kWh/m^3$   
(20-30  $kWh/m^3$  meko i tvrdo drvo)[1],

$t_{iq}$  - vrijeme rada pilane u satima h,

$\eta c_{el}$  - faktor efikasnosti proizvodnje električne energije iz termoelektrane  
(ugalj kao gorivo, pretpostavka),

$r$  - faktor drvnog ostatka u primarnoj preradi,  
kreće se u intervalu od 0,25 do 0,35 (meko i tvrdo drvo bez kore) [1],

$w_{iq} \geq 30\%$ - vlažnost drveta,

$\rho_{0iq}$  - gustina suvog drveta, jela u  $kg/m^3$ ,

$\alpha_{viq}$  - procenat bubrenja drveta u %,

$(SVF)_{iq} = 1$  - faktor zapreminske ispunjenosti (oblovin),

Mora se takođe napomenuti da je kao pretpostavka uzeto da pilana troši el. energiju proizvedenu u termoelektrani. Faktorom  $\eta c_{el} = 0,36$  uzeti su u obzir svi gubici energije od termoelektrane do motora koji pogoni sistem za prorez drveta. U faktoru gubitka uključeni su gubici u kotlu, u turbini, generatoru, električnoj mreži napajanja[7]. Takođe svi utrošci energije svode na primarni oblik (toplotnu moć). Na takav način dobija se mogućnost jednostavnog sabiranja vrijednosti toplotnih moći ekvivalentnih određenim oblicima potrošnje energije bilo da se radi o toplotnoj ili električnoj energiji.

### 3.3 Postrojenje za proizvodnju drvnog čipsa

Matematička funkcija  $E_i$ , kojom se opisuje proizvodnja drvnog čipsa,

$$E_i = \frac{\frac{1}{\eta c_{el}} \cdot \left( \sum_{q=1}^{n_1} Pc_{iq} \cdot \eta_t \cdot t_{iq} \right)}{\frac{1}{3,6} \cdot \left( \sum_{q=1}^{n_1} \frac{ehv_{0iq}(100 - w_{iq}) - (2,44w_{iq})}{100} \cdot Fpc_{iq} \cdot t_{iq} \cdot 1000 \right)}, \quad (10)$$

Naglašavamo ponovo da se za pogon postrojenja koristi el. energija proizvedena u termoelektrani. Naravno, to ne mora biti slučaj.

Gdje su:

$q=1 \dots n_1$ - broj postrojenja,

$Pc_{iq}$  - električna snaga postrojenja u kW,

$\eta_t$  - faktor istovremenosti rada svih elektromotora u postrojenju (0,7-0,95),  
zavisno od toga da li postrojenje ima ugrađen sistem za kompenz. el. energije,

$t_{iq}$  - vrijeme rada postrojenja u satima h,

$F_{pc_{iq}}$  - izlazna produktivnost postrojenja u tonama po satu, t/h,

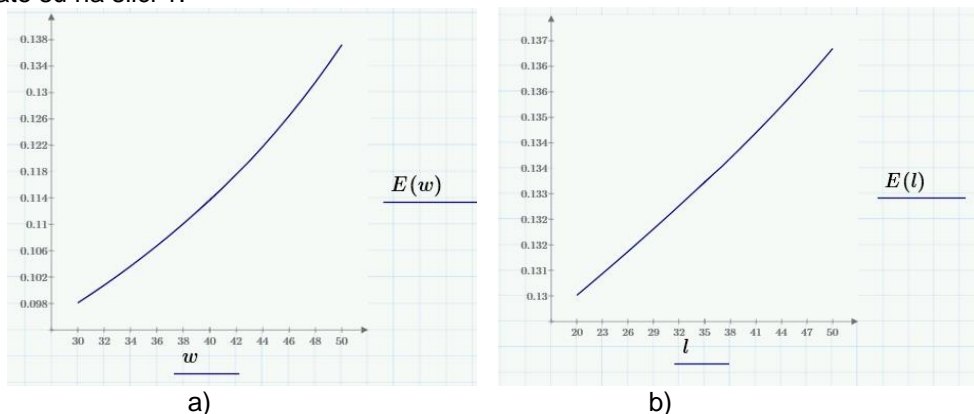
$\eta_{c_{el}} = 0,36$  uzima u obzir sve gubitke energije od termoelektrane do elektropotrošača u fabrici. Kod peleta i briketa postoji propisana vrijednost vlage i kreće se od 9-12%. Zaključuje se da se razlika kod postrojenja za proizvodnju drvnog čipsa, peleta, briketa, vidi samo u instaliranoj snazi postrojenja, produktivnosti i u faktoru kompenzacije el. energije.

#### 4. REZULTATI

Najznačajniji parametri od kojih zavisi vrijednost energetskog indeksa proizvodnje drvnog čipsa su vlaga i dužina transporta. U ovom radu vrijednosti energetskog indeksa  $E$  dobijene su u varijaciji vlažnosti  $w$  i dužine transporta  $l$ .

**Prvi slučaj:** Variran je procenat vlage od 30 do 50% u drvetu kroz energetski lanac. Dužine transporta su bile konstantne i to dužina transporta oblovine 50 km i dužina transporta ostatka sa pilane do terminala za proizvodnju, 50 km.

**Drugi slučaj:** varirana je dužina transporta od 20 do 50 km za obje pomenute transportne distance. Procenat vlage je zadržan konstantan i to  $w=50\%$ . Te zavisnosti date su na slici 1.



Slika 1. Zavisnost energetskog indeksa proizvodnje a) od procenta vlage drveta i b) dužine transporta, za energetski lanac snabdijevanja drvnim čipsom

Može se slobodno zaključiti posmatrajući oba dijagrama sa slike 1. da u najgorem slučaju vrijednost energetskog indeksa iznosi  $E=0,138$ . Ovo predstavlja ukupno uloženo energiju u energetski lanac proizvodnje drvnog čipsa svedenu na 1 kWh toplotne moći proizvedenog drvnog čipsa. Ukoliko od faktora  $E=0,138$  nadjemo recipročnu vrijednost  $E_r=7,24$ , ova vrijednost govori da za svaku uloženu jedinicu energije svedene na toplotnu moć utrošenog goriva u proizvodnji drvnog čipsa dobijamo 7,24 jedinica toplotne moći drvnog čipsa.

#### 5. ZAKLJUČCI

Značaj proizvodnje energije iz biomase posebno dolazi do izražaja u posljednje vrijeme. U osnovi najznačajniji dio u procesu proizvodnje energije iz biomase predstavlja lanac snabdijevanja. Ukoliko se u tome lancu uspije izvršiti minimizacija proizvodnih troškova, dolazi se do značajnih ušteta prvenstveno u energetskom smislu. S obzirom da postoje različite mogućnosti komponovanja energetskih lanaca snabdijevanja čvrstim gorivima od drvene biomase, onda je

neophodno pokušati napraviti jedinstven matematički pristup ovom problemu. Matematičkim modelom moguće je objediniti različite tipove i veliki broj parametara. Upravo u problemima koji se tiču snabdijevačkog lanca drvnom biomasom to je i glavni problem. Rezultati koji su dobijeni za izračunavanje energetske indeksa snabdijevačkog lanca drvnim čipsom, pokazali su da se za svaku uloženu jedinicu energije u energetski lanac proizvodnje ovog goriva dobija približno 7 jedinica energetske vrijednosti u obliku toplotne moći. Treba imati na umu da je energetski bilans proizvodnje biodizela oko 2,5, što je skoro tri puta više.

## LITERATURA

- [1] Danon, G, Bajić, V, Isajev, V, Bajić, S, Oreščanin, S, Rončević, S: Ostaci biomase u šumarstvu i preradi drveta i mogućnost gajenja „energetskih šuma“, poglavlje 2 studije: „Energetski potencijal i karakteristike ostataka biomase i tehnologije za njenu primenu i energetsko iskorišćenje u Srbiji“, Šumarski fakultet, Beograd, JP „Srbijašume“, Beograd, Institut za topolarstvo, Novi Sad, 2003, s. 25 – 56.
- [2] Frombo, F., Minicardi, R., Robba, M., Rosso, F., Scaile, R., Planing woody biomass Logistic for energy production: A strategic decision model, *Biomass and Bioenergy* 2009;33:372-383.
- [3] Gronalt, M., Rauch, P., Designig a regional forest fuel supply network, *Biomass and Bioenergy* 2007;31:393-402.
- [4] Hartmann, H., Böhm, T.E., Maier L., Naturbalassene biogene Festbrennstoffe-umweltrelwante Eigenschaften und Einflussmoghlicheiteiten. *Umwelt und Entwicukling* 154. Bayerisches Statsministerium für Landsentiwicukling und Umweltfragen, 2000.
- [5] Hall, C., “Introduction to Special Issue on New Studies in EROI (Energy Return on Investment),” *Sustainability* 3, no. 10 (October 2011): 1773-1777.
- [6] Hellrigl, B., Elementi di xiloenergetica (Elements of wood energy). Associazione Italiana Energie Rinnovabili. Legnaro (PD), AIEL:320 pp., 2006.
- [7] Honorio, L., Bartaire, J., Bauerschmidt, R., Ohman, T., Tihany, Z., Zeinhofer, H., Scowcroft, J., Vasco de Janerio, Kruger, H., Meier, H., Offermann, D., Lnagnickel, U., Efficiency in electricity generation, Report drafted by Eurelectic „Preservation of resources“, working groups „Upstream“, Subgroup in collaboration with VGB, July 2003.
- [8] *World Energy Outlook 2010*, IEA 2010.
- [9] Krajnc, N., *Wood Energy Technologies, Partnership Programmes – TCDC/TCC – TCP/YUG/3201 (D)*, Belgrade, March 2011.
- [10] Opricović, S., *Višekriterijumska optimizacija sistema u građevinarstvu*, Građevinski fakutet Univerziteta u u Beogradu, 1998.
- [11] Pottie M.A. and Guimier D.Y., *Harvesting and transport of logging residuals and residues*, Forest Engineering Research Institute of Canada, IEA Cooperative Project n. CPC6. FERIC special report, SR33, 1986.
- [12] Roser, D., Sikanen, L., Asikanen, A., Parikka, H., Vaatainen K., *Productivity anad cost of mechanized and energy wood harvesting in North Schotland*, *Biomass and Bioenergy* 2011;35:4570-4580.
- [13] Silke Van Dyken, Bjorn H. Bakken, Hans I. Skjelberd, *Linear mixed-integer models for biomass supply chains with transport, storage and processing*, *Energy*, 2009;35:1338-1350.
- [14] Tahvanainen, T., Anttila P., *Supply chain cost analysis of long-distance transportation of energy wood in Finland*, *Biomass and Bioenergy* 2011;35:3360-3375



## FEASIBILITY STUDY FOR REPLACEMENT HEATING SYSTEM ON NATURAL GAS WITH PELLET BOILERS AT PRIMARY SCHOOL "SVETI SAVA" IN LUKAVICA

Srđan Vasković<sup>1</sup>, Petar Gvero<sup>2</sup>, Vlado Medaković<sup>3</sup>, Velid Halilović<sup>4</sup>, Davor Milić<sup>5</sup>

*Abstract: This study describes the possibility of installation of pellet boilers for the production of thermal energy for heating in the primary school "Sveti Sava" in Lukavica. Existing heating system with natural gas turned out to be very expensive with high costs in terms of consumption of natural gas on annual level but also due to the high price of natural gas. Alternative possibility of heating premises within the school is seen in the installation of boilers that use wood pellets as an energy source. Above all, wood pellet represents an environmentally clean fuel in terms of CO<sub>2</sub> emissions, but also because of the availability of resource from nearby factories that produce pellets, it can be used as a domestic fuel. In this way, the story of sustainable community development is encouraged, as well as the flow of capital within the community is closed.*

Key words: Pellet, investment, economy, ecology, benefit, heat boiler

### 1. INTRODUCTION

Primary school "Sveti Sava" currently has two gas boilers with the power of  $Q_1=260\text{kW}$  and  $Q_2=100\text{kW}$ . The boiler with more power is used for heating the area intended for classrooms, offices, toilets, while the boiler with less power is used for heating the gym. The approximate surface area of the school that is heated is  $A_1=2682,2\text{m}^2$  and the area of the gym is  $A_2=420\text{m}^2$ . Thus, the total approximate area that is heated is about  $A=3100\text{m}^2$ .

The purpose of this study is to show that the alternative installation of wood pellet boilers and production of heating energy in this way will provide significant savings in comparison to heating system with natural gas.

Figure 1. shows: (a) Primary school „Sveti Sava“Picture and (b) Gym.

<sup>1</sup> Spec. Srđan Vasković, East Sarajevo, FME, UES, srdjan\_vaskovic@yahoo.com

<sup>2</sup> Ph.D. Petar Gvero, Banja Luka, FME, UBL, gvero.petar@gmail.com

<sup>3</sup> Ph.D. Vlado Medaković, East Sarajevo, FME, UES, vlado.medakovic@gmail.com

<sup>4</sup> Ph.D. Velid Halilović, Sarajevo, FF, UNSA, velidha@yahoo.com

<sup>5</sup> M.Sc. Davor Milić, East Sarajevo, FME, UES, mdavor82@gmail.com



(a)



(b)

Figure 1. (a) Primary school „Sveti Sava“Picture and (b) Gym



## 2. BUSINESS IDEA

### 2.1 General

In the primary school "Sveti Sava" it is planned for gas boilers to be replaced with new pellet boilers. The plan is to provide a boiler with capacity of 300kW for the main school building, which is related to classrooms and office space area of 2682.2 m<sup>2</sup>, due to the tendency to expand the space. For the building that refers to the gym with a surface of 420m<sup>2</sup> (because of the height of the hall of more than 10m) it is necessary to provide a boiler with capacity of 100kW. Expectations related to the replacement of fossil fuels (natural gas) with bio-fuels (pellets), refer to the reduction of dependence on fossil fuels from suppliers, reduction in the fuel costs, as well as reducing of noxious emissions of carbon dioxide CO<sub>2</sub>. All of these benefits associated together, give this school a positive image of raising awareness to the human environment. Particular emphasis is on the fact that the school is concerned as educational institution which would provide an example to students and everyone else about the possibility of using renewable energy sources and protection of the environment by using of clean ecological fuel.

### 2.2 Fuel

For the production of heat in the above mentioned object, it is proposed to use wood pellets as an alternative and environmentally clean fuel. Wood pellets and briquettes are obtained by pressing of chopped wood in regular shape molds, usually cylindrically in shape. With the help of lignin contained in the wood, by increasing of pressure and temperature during the pressing process, it is excreted in the outer layers and thus leads to formation of wood bark that protects the briquette and pellet from mechanical damage and moisture. The diameter of pellet is usually about 8 mm, and its length is about 10-30mm. The moisture content in wood pellet is very low, about 7-10%. The rest of the ash after combustion of pellet is very low, about 0,5%. The density of pellet is about 650-700 kg/m<sup>3</sup>. The calorific value of pellet is from 4,7 to 5 kWh/kg (16,9 to 18MJ/kg). A high quality pellet with no admixtures of bark usually has a calorific value of 5kWh. The energy content of the bulk cubic meter of pellet is about 3000-3300kWh/m<sup>3</sup>. One tone of pellets takes up about 1,5m<sup>3</sup> of the storage[1].

### 2.3 Customers

The primary school "Sveti Sava" is the ultimate beneficiary of heat produced with the help of the new built-in pellet boiler. This business plan helps the school management to look into the benefits and investment feasibility of this project of alternative installation of pellet boilers.

### 2.4 Benefit for school and environment

Existing boilers that operate using natural gas have a total installed capacity of approximately 360kW.

Boiler No. 1 with capacity of  $Q_n=260kW$  has gas consumption at maximum load of:

$$q_1 = 3600 \cdot \frac{Q_n}{\eta_k \cdot H_d} = 29,8 \frac{m^3}{h} \quad (1)$$

The actual consumption of gas due to the correction of the heating value is:

$$q_{1s} = 31,4 \frac{m^3}{h} \quad (2)$$

Boiler No. 2 with capacity of  $Q_n = 100kW$  has gas consumption at maximum load of:

$$q_2 = 3600 \cdot \frac{Q_n}{\eta_k \cdot H_d} = 12,5 \frac{m^3}{h} \quad (3)$$

The actual consumption of Boiler No.2 due to the correction of the flow is:

$$q_{2s} = 13,2 \frac{m^3}{h} \quad (4)$$

Where they are the following:  $\eta_k = 0,88$  the efficiency of gas boiler,  $H_d = 35696 kJ/m^3$  lower heating value of natural gas, projektna vrijednost [2].

However, natural gas boilers fired with total power of  $P = 360kW$  during the heating season have different levels of load and never operate at full load (during the stationary operation mode and during the entire heating season). The following table gives an overview of the monthly bills for gas during the last three years.

Table 1. Costs for gas consumed during the past three years, for heating of the school "Sveti Sava" [3]

Year 2011		Year 2012		Year 2013	
January	3.937,59 BAM	January	5.474,42 BAM	January	5.225,21 BAM
February	5.083,80 BAM	February	6.139,22 BAM	February	4.355,97 BAM
March	3.140,31 BAM	March	3.524,04 BAM	March	3.793,06 BAM
April	0 BAM	April	2.178,44 BAM	April	1.299,85 BAM
October	2.271,59 BAM	October	1.993,58 BAM	October	2.000,00 BAM
November	5.193,66 BAM	November	2.958,95 BAM	November	3.000,00 BAM
December	5.364,25 BAM	December	5.855,69 BAM	December	5.365,25 BAM
Total:	24.991,2 BAM	Total:	28.124,3 BAM	Total:	25.039,3 BAM
Average costs of gas during the last three heating seasons			26.052 BAM		

From the table 1 it is clear to notice that during the past three years the highest "peak" of bills for consumed gas occurred in February, in 2012. At the same time from this table it can be concluded that the biggest bills of gas are consumed in three critical winter months (December, January and February). The smallest bills for the consumed gas appeared in April. These seven months which were observed and given during the heating season, are relevant to the overall budget of consumed gas. The primary school "Sveti Sava" works in two shifts, so the daily work of boilers includes a minimum of 12 hours. For calculation of the average level of the load on the gas boiler, during the heating season, it can be taken the average bill for gas of 26052 BAM. The average monthly bill for gas during the period of 7 months is:

$$\frac{26052}{7} = 3722 \text{BAM} \quad (5)$$

The average consumption of gas (in marks) by an hour of work of boilers is:

$$\frac{3722}{23 \cdot 12} = 13,5 \frac{\text{BAM}}{h} \quad (6)$$

The average gas consumption is approximately:

$$\frac{13,5 \frac{\text{BAM}}{h}}{1 \frac{\text{BAM}}{m^3}} = 13,5 \frac{m^3}{h} \quad (7)$$

The average load of gas boilers during the heating season is:

$$Q_s = \frac{q_s \cdot \eta_k \cdot H_d}{3600} = \frac{13,5 \cdot 0,88 \cdot 35696}{3600} = 118 \text{kW}. \quad (8)$$

On the basis of calculating the average load of gas boilers, we are going to calculate the consumption of pellet during the aforementioned heating season. The average load of gas boilers is  $120/360=0,3$ . We will start the calculation under the assumption of medium load of pellet boilers of 0.3 on the basis of loads of old boilers. Thus, the average load of the pellet boilers is  $400 \times 0,3 = 120 \text{ kW}$  (it represents the summarized average load of both of the boilers) during the mentioned period of the production of thermal energy.

$$q_p = 3600 \cdot \frac{Q_s}{\eta_k \cdot H_{dp}} = 3600 \cdot \frac{120}{0,95 \cdot 17500 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 26 \frac{\text{kg}}{h} \quad (9)$$

and where is  $H_{dp}$  -lower heating pellet's value If we consider the heating season of 7 months, 23 working days and 12 hours of work per day, we get the total consumption of pellet:

$$L_p = 7 \cdot 23 \cdot 12 \cdot 26 = 50232 \frac{\text{kg}}{\text{godini}} = 51 \frac{\text{ton}}{\text{godini}}. \quad (10)$$

If we know that the price of pellet is 250 BAM per one tone, and then we have that the cost price of pellet for the whole season is:

$$C_p = L_p \cdot 250 \frac{\text{BAM}}{\text{ton}} = 12750 \text{BAM}. \quad (11)$$

If you compare it with the bill for gas of 26.052 BAM, significant savings are evident, which are:  $U_1=13.302 \text{ BAM}$  at the annual level. As for the reduction of emissions in terms of carbon dioxide  $\text{CO}_2$  The emission of  $\text{CO}_2$  is considered to be zero during the combustion of wood pellet. This all is applicable for sustainable forest management. The amount of carbon dioxide that is emitted during the combustion of pellets is approximately equal to the same amount of  $\text{CO}_2$  incorporated into the structure of wood biomass during the process of photosynthesis. Total median value of

the gas consumed during the heating season is  $V=26.052 \text{ m}^3$  (of standard cubic meters at temperature of  $15^0 \text{ C}$  and pressure of 1.01 bar). The bottom heating value of Russian natural gas is  $34 \text{ MJ/m}^3$ , korektivna vrijednost toplotne moći[4].The following table illustrates the carbon dioxide emissions for certain fuels. The emission of  $\text{CO}_2$  for natural gas per GJ of energy from the caloric power of gas is  $e_1 = 56.1 \text{ kgCO}_2/\text{GJ}$ .

Table 2. Ratios of carbon dioxide emissions of different fuels [5]

Fuel	Emission in $\text{kgCO}_2/\text{GJ}$
Biomass	109,6
peat	106
Stone coal	101,2
Dark coal	97,09
Lignite	96,43
Diesel	77,4
Crude oil	74,1
kerosene	73,3
gasoline	71,5
Liquefied petroleum gas	63,1
natural gas	56,1

The quantity of carbon dioxide emitted expressed in kg during the heating season when natural gas is used as the energy source in the previously mentioned school is:  $\text{CO}_2 = 49,69$  tons. It is evident that there is the reduction of harmful  $\text{CO}_2$  emission into the atmosphere when using wood pellets as fuel.

There are three pellet plants at the radius of 30 km. In order to ensure the security of supply it is possible to enter into the contract on an annual basis with the manufacturers.

Two pellet boilers total power of  $300 + 100 \text{ kW}$  along with the calculated small silos for the storage of wood pellets for seven days. It practically means that it is necessary to store approximately  $26 \times 12 \times 7 = 2,184$  tons of pellet and regarding the fact that the tone of pellets takes about  $1,5 \text{ m}^3$  it would mean that both boilers would need silos for seven days period of  $2,184 \times 1,5 = 3276 \text{ m}^3$  approximately  $3,3 \text{ m}^3$ . The first silo of  $2,2 \text{ m}^3$  will be provided for the bigger boiler and the second one of  $1,1 \text{ m}^3$  for the smaller. The volume of a silo may vary depending on the manufacturer of the equipment and its technical solutions. For storage of the total fuel (pellets) required for heating during one heating season, it is necessary to provide  $0,026 \times 12 \times 23 \times 7 \times 1.5 = 75 \text{ m}^3$  or approximately the volume space of  $6 \times 6.5 \times 2 = 78 \text{ m}^2$ .

### 3. THE SITUATION ON THE MARKET WITH PELLETS AND OTHER ENERGY SOURCES

The market of pellets and bioenergy sources are still at the phase of development. There are no significant consumers of these sources of energy in the vicinity of above mentioned school. The pellet plant Eu-pal d.o.o., is at a distance of approximately 30km.

The construction of gas pipeline "South Stream" will not significantly affect the reduction of gas prices primarily because its customers will be the ultimate beneficiaries of this system. On the other hand, reserves of fossil fuels are very limited and a significant increase in prices of fossil fuel are to be expected in the future time.

#### 4. FINANCIAL INDICATORS OF INVESTMENT

The following table 3 of calculations indicates the justification of investing in the replacement of pellet boilers in the above mentioned facility.

Table 3. *The justification of investing in the replacement of pellet boilers in the above mentioned facility*

<b>EXPENSES</b>	<b>BAM</b>
Expenses in fuel (old system)	26.052,00
Expenses of pellet purchasing on the annual basis ( in the summer period)	12.750,00
Expenses of transport, operating and maintenance expenses	3.000,00
<b>TOTAL COST OF PELLETT HEATING SYSTEM</b>	<b>15.750,00</b>
<b>ANNUAL SAVINGS IN REGARD TO PREVIOUS SYSTEM WHICH USES NATURAL GAS</b>	<b>10.302,00</b>

The investment expenses, table 4, refer to the costs of boilers and installation of system as well as the construction of the pellet storage. Data and boiler prices are taken over from the official web site of the manufacturer[6].

Table 4. *The investment expenses [6]*

<b>INVESTMENT EXPENSES</b>	<b>In BAM taxes included</b>
Boiler No.1 of power 300 kW with outlet fan	23.166,00
Boiler No.2 of power 100 kW with outlet fan	11.848,59
Additional equipment for both boilers: 1. Wireless thermostat – programmer (with 7 days schedule) 2. Telephone and modem ( boiler on and off by telephone, landline connection needed) 3. Boiler managing by GSM control 4. Ash outlet container with engine 5. Big boiler silo of 100 KW and more	$2 \times (210 + 220 + 400 + 170 + 1.500) = 5.000,00$ BAM
Pellet storage construction, installation, preparation of a study and other costs	15.000 BAM
Lectures on Green package and promo material for workshops held by experts and teachers	3.000 BAM
<b>TOTAL VALUE OF INVESTMENT</b>	about <b>58.000,00 BAM</b>
<b>INVESTMENT RETURN FOR ITS OWN FUNDING</b>	<b>58.000/10.302=</b> <b>5,6 year</b>
In case of donation, the boiler would bring the estimated annual savings of 10302 BAM in the first year of exploitation.	
The working life of boiler is up to 15 to 20 years.	

## **5. CONCLUSION**

This example could also be a good promoter of using wooden biomass as a renewable energy source, but at the same time it represents a unique educational example to raise awareness on environmental protection. On financial side we have in this example with relatively short payback period of investment.

Therefore, the best way is to start with the promotion of renewable energy sources from pupils in primary schools and enable them to raise awareness and personal knowledge of this form of pure energy on the example of their own school.

Limited knowledge about the pellet as energy source could be a disadvantage in the process of pellet supply.

It is necessary to find a secure supplier who would provide pellet of high quality without bark and high heating capacity as defined by the calculations.

Due to the small capacity of pellet boilers and small demand during heating season, the school could not possibly be the significant system which would cause any great demand for this fuel.

However, in the near future we should expect greater demand for pellet as a fuel. We must also keep in mind that the cost of fossil fuel is very variable and its growth is to be expected.

On the other hand, the existing gas boilers will remain operative and thus ensure that the school has the possibility of alternative gas heating. This is certainly an additional safety factor for the existing facility in case of any significant turbulence in the prices and supply of pellets.

## **REFERENCES**

- [1] Wood pellet in Finland, technology, economy and market, OPET report 5, Technical Research Centre of Finland, JYVÄSKYLÄ, 2002.
- [2] Taken over from the technical documentation of the project- the part which refers to installation of boilers for heating on the natural gas
- [3] Taken over from Primary school " Sveti Sava", accounting service
- [4] <http://www.gaspromet.com/o-prirodnom-gasu/Osnovne-karakteristike.html>
- [5] <http://www.rgf.rs/predmet/RO/II%20semestar/Sagorevanje/Predavanja/12Ekologija%20sagorevanja.pdf>
- [6] <http://www.bioenergy.ba/cjenik>



## POVRAT TOPLOTE U KLIMATIZACIONIM POSTROJENJIMA

Alojz Tovarović<sup>1</sup>, Veljko Mastilo<sup>2</sup>

*Rezime: U klimatizacionim postrojenjima ustaljena je upotreba sistema za povrat toplote sa odsisne grane ili otpadnih medija (dimni plinovi, vazduh, otpadna voda, itd.), koja bi se inače neiskorištena odbacila u okolinu. Upotrebom ovih sistema ostvaruje se značajno smanjenje pogonskih troškova, smanjenje dimenzija opreme i zaštita okoline. Sa druge strane, implementacijom EPBD-a (Energy Performance of Buildings), tehnički propisi o sistemima ventilacije, djelimične klimatizacije i klimatizacije zgrada uvode obavezu instalacije elemenata za povrat toplote iz odsisne grane u zgradama koje se ventiliraju mehaničkim uređajima, ako je broj izmjena vazduha veći od  $0,7 \text{ h}^{-1}$  ili ukupan protok vazduha prelazi  $2.500 \text{ m}^3/\text{h}$ . Ovim radom će se sistematski predstaviti načini povrata toplote i njihove osnovne karakteristike, uz navođenje primjera direktne ugradnje u klimatizacione komore.*

*Ključne riječi: povrat toplote, klimatizacija, energetska efikasnost*

### HEAT RECOVERY IN HVAC SYSTEMS

*Abstract: The air conditioning installations-established system has been used for heat recovery from exhaust air or waste branch media (flue gases, air, waste water, etc.), Which would otherwise be unused discarded into the environment. Using this system achieves a significant reduction in operating costs, reducing the size of equipment and the environment. On the other hand, the implementation of the EPBD's (Energy Performance of Buildings), technical regulations on ventilation systems, partial air-conditioning and air-conditioning of buildings introduced the obligation of installation elements for heat recovery from the exhaust branch in buildings that are ventilated by mechanical devices, if the number of air changes greater of  $0.7 \text{ h}^{-1}$ , or the total flow rate exceeds  $2,500 \text{ m}^3 / \text{h}$ . This paper will present a systematic means energy recovery and their basic characteristics, stating examples of direct installation in air conditioning chambers.*

*Key words: heat recovery, air conditioning, energy efficiency*

<sup>1</sup> Mr Alojz Tovarović, dipl.ing. maš, Sarejevo, OS BiH, talojz@yahoo.com (CA)

<sup>2</sup> Dipl.ing.maš., Veljko Mastilo, Sarajevo, Parlamentarna Skupština BiH, vmastilo@yahoo.com

## 1. UVOD

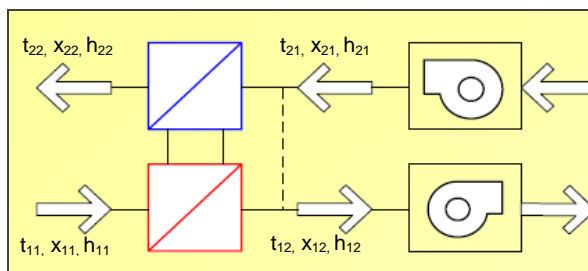
Pod pojmom komforne klimatizacije podrazumijeva se regulacija temperature, vlažnosti, protoka svježeg vazduha, filtracije i brzine kretanja vazduha u cilju postizanja i održavanja uslova ugodnosti u radnom prostoru. Uslovi ugodnosti se postižu obradom i mehaničkom cirkulacijom vazduha, što iziskuje značajne količine energije. Ograničeni izvori fosilnih goriva sa jedne strane i konstatno povećanje potrošnje inicirali su novi koncept gradnje sa fokusom na energetske efikasnosti svih ugrađenih komponenti, a naročito sistema za klimatizaciju, grijanje i hlađenje (KGH). Ukoliko je KGH sistem adekvatno dizajniran, profesionalno instaliran i redovno održavan, povećanje njegove energetske efikasnosti postiže se optimizacijom rada klimatizacionog postrojenja i maksimizacijom iskorištenja sistema za povrat toplote. Iako KGH sisteme, prema načinu prenosa toplote, možemo klasifikovati u tri kategorije: vodeni, vazdušni i vazdušno-vodeni, najzastupljeniji su vazdušni i vazdušno-vodeni te je samim tim korišćenje otpadne toplote vazduha i najčešći oblik povrata toplote u klimatizacionim postrojenjima.

U klimatizacionim postrojenjima je uobičajena upotreba sistema za povrat toplote sa odsisne grane ili otpadnih medija (dimni plinovi, vazduh, otpadna voda, itd.), koja bi se inače neiskorištena odbacila u okolinu. Razlozi za to su dvojaki. Sa jedne strane upotrebom ovih sistema za povrat toplote ostvaruje se značajno smanjenje pogonskih troškova, smanjenje dimenzija opreme i zaštita okoline. Sa druge strane, implementacijom EPBD-a u zemljama EU, tehnički propisi o sistemima ventilacije, djelimične klimatizacije i klimatizacije zgrada navode obavezu korištenja sistema povrata toplote za KGH sisteme od 2500 m<sup>3</sup>/h vanjskog vazduha na više.

Sistemi povrata toplote u vazdušnim klimatizacionim sistemima funkcionišu po principu razmjene toplote prilikom strujanja otpadnog i svježeg vazduha. Proces razmjene toplote između svježeg i otpadnog vazduha može se koristiti i u ljetnom i u zimskom režimu rada, pri čemu se ljeti svjež vazduh predhlađuje, a zimi predgrijava strujanjem kroz izmjenjivač toplote. Najvažnije karakteristike s aspekta efikasnosti predstavljaju stepen povrata toplote –  $\Phi_2$ , stepen povrata vlage –  $\psi_2$  i stepen povrata entalpije –  $\Phi_{h2}$ , koji predstavljaju mjeru prelaza navedene vrijednosti, a njihova veličina ovisi o tipu sistema za povrat toplote i pogonskim uslovima. Uz uslov da je količina ubačenog vazduha jednaka količini na odsisu karakteristike izmjenjivača toplote

matematički možemo predstaviti obrascima,  $\Phi_2 = \frac{t_{22} - t_{21}}{t_{11} - t_{21}}$ ,  $\psi_2 = \frac{x_{22} - x_{21}}{x_{11} - x_{21}}$

i  $\Phi_{h2} = \frac{h_{22} - h_{21}}{h_{11} - h_{21}}$ , gdje  $t$ ,  $x$  i  $h$  predstavljaju temperaturu, relativnu vlažnost i entalpiju na karakterističnim mjestima shodno slici.

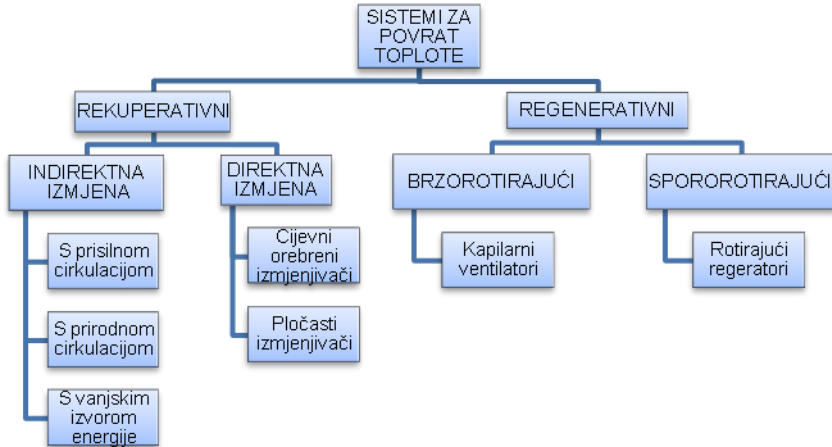


Slika 1. Šematski prikaz razmjene toplote



## 2. SISTEMI ZA POVRAT TOPLOTE

Savremeni sistemi za povrat toplote se proizvode serijski i direktno se ugrađuju u KGH postrojenja bez ograničenja u komfornoj i industrijskoj klimatizaciji. U zavisnosti od energenta koji se koristi, stepena klimatizacije i specifičnosti kontrolisanog prostora, razvijen je čitav niz sistema za povrat toplote – slika 2, te će se u ovom radu predstaviti najučestalije izvedbe u klimatizacionim postrojenjima.

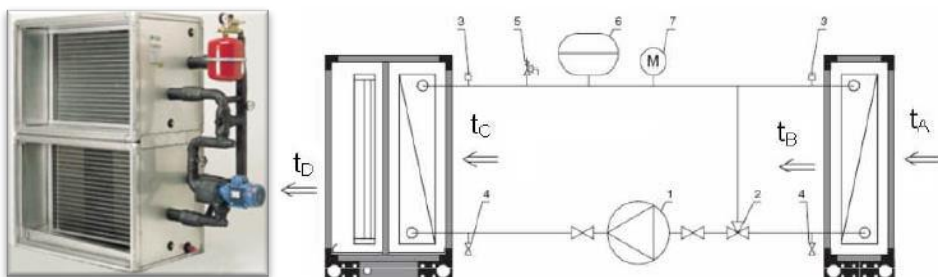


Slika 2. Podjela sistema za povrat otpadne toplote

### 2.1 Rekuperativni izmjenjivači

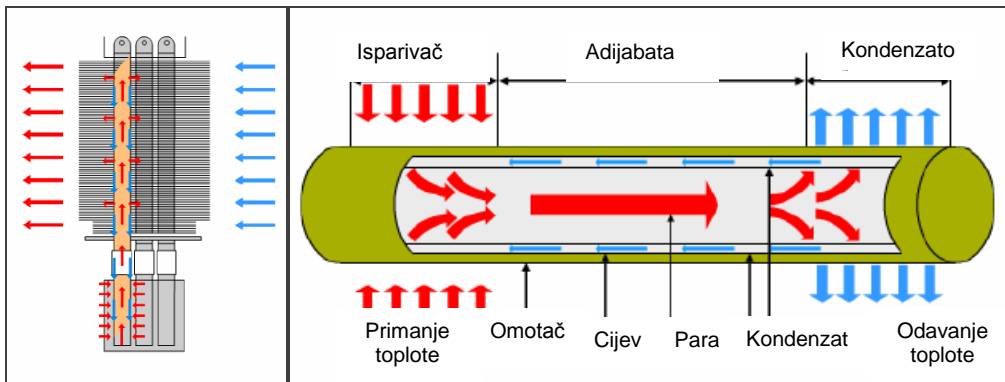
Rekuperativni izmjenjivači su sistemi kod kojih se povrat toplote odvija direktno, preko površina čvrstog tijela (cijevi, ploče), ili indirektno, preko posrednog medija, bez međusobnog dodira vazduha na usisnoj i odsisnoj grani. Generalno, prednost ovakvih izmjenjivača je što su struje otpadnog vazduha (koji može biti zagađen) i svežeg vazduha potpuno odvojene i nema mogućnosti miješanja. Nedostaci su manji stepen povrata toplote, veći pad pritiska za strujanje svežeg i otpadnog vazduha, kao i veći prostor za ugradnju u poređenju sa regenerativnim izmjenjivačima.

*Rekuperatori sa indirektnom izmjenom*, sa posrednim medijumom između struja vazduha, predstavljaju jedan od često korištenih načina povrata energije. U indirektno rekuperatore sa prisilnom cirkulacijom spada zatvoreni kružni sistem sa glikolnim izmjenjivačima toplote (run around system). Ovaj sistem ima dva izmjenjivača vazduh-glikol (najčešće rastvor glikola, jer se voda izbjegava zbog mogućnosti smrzavanja). Na slici 3 prikazan je izgled glikolnog rekuperatora i šema povezivanja.



Slika 3. Rekuperator s prisilnom cirkulacijom

Izmjenjivači su lamelastog tipa, od bakarnih cijevi sa aluminijumskim rebrima na strani vazduha ili čeličnih cijevi sa rebrima od čeličnog lima. Izmjenjivači se obično sastoje od 2 do 8 redova cijevi. Tokom ljeta vazduh iz povratne grane struji preko izmjenjivača i hladi ga. Pošto je temperatura vazduha u radnom prostoru niža od vanjske, čak i preko 10 stepeni, neprekidnom cirkulacijom fluida između povratne i usisne grane postiže se predhlađenje usisnog vazduha. Tokom zime transfer toplote se odvija u suprotnom smjeru. U slučaju kad su vanjske temperature približne zahtjevanim unutar radnog prostora sistem je potrebno ugasiti jer je beskoristan ili čak kontraproduktivan. Stepenn povrata toplote glikolnih rekuperatora kreće se od 40 do 60% uz brzine strujanja vazduha od 2 do 3 m/s. *Toplotne cijevi* predstavljaju osnovnu izvedbu rekuperativnih indirektnih izmjenjivača toplote sa prirodnom cirkulacijom. Toplotne cijevi su tanke cijevi napunjene rashladnim plinom, ili nekim drugim lako isparljivim fluidom. Tip i količina rashladnog fluida se biraju u skladu sa radnim temperaturama. Princip rada je gravitacijski kod uspravne izvedbe – slika 4.a, ili kapilarni kod horizontalne izvedbe – slika 4.b. Toplotne cijevi sa uspravnom izvedbom mogu prenositi samo latentnu toplotu, dok je kod horizontalne izvedbe moguć prenos i latentne i osjetne toplote. Razmjena toplote se odvija isparavanjem rashladnog fluida. Dio cijevi se nalazi u usisnoj, a dio u povratnoj struji vazduha. Na toplijoj strani rashladni plin isparava i lagano prelazi na hladniju stranu na kojoj se kondenzuje, pada na dno i vraća se na topliju stranu gdje ponovo isparava. Ovaj toplotno gonjeni rashladni ciklus je iznenađujuće efikasan. Sastoji se od svežnja cijevi učvršćenih na centralnu ploču koja se nalazi između povratne i usisne zračne grane. Kod horizontalne izvedbe poželjno je obezbijediti fleksibilne konekcije kako bi se prilagodio nagibni ugao u ljetnom ili zimskom ciklusu i obezbijedio prenos toplote. Regulacija protoka rashladnog plina se vrši nagibom cijevi za nekoliko stepeni na jednu ili drugu stranu u zavisnosti od režima grijanja ili hlađenja. Efikasnost ovakvih uređaja može biti i do 80 % sa 14 redova cijevi. No, kako svaki naredni dodati red proporcionalno manje doprinosi, onda je najekonomičniji izbor 10 cijevi čime se postiže efikasnost povrata toplote od 50 % do 60 %.



Slika 4. *Toplotne cijevi (uspravne i horizontalne)*

Rekuperatori sa indirektnom izmjenom imaju sljedeće prednosti:

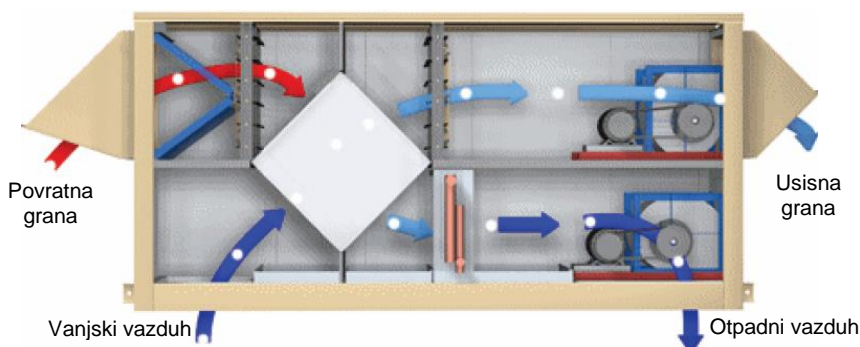
- Ne postoji mogućnost miješanja između ulazne i izlazne grane, što ga čini podesnim za bolnice, laboratorije ili za iskorištenje toplote izduvnih gasova dimnjaka.
- Izmjenjivači ne moraju biti pričvršćeni jedan uz drugi. Usisna grana može biti u prizemlju a odsis na krovu sa kružnom cirkulacijom vode između

izmjenjivača toplote.

- Rekuperatorski izmjenjivači prenose samo osjetnu toplotu i ne kondenzuju vodu u odsisu što ih čini podesnim za povrat toplote u bazenima.
- Mogućnost prelaza toplote na različite medije (voda, vazduh, ulje).

Njihovi nedostaci su: manji stepen iskorištenja, veći pad pritiska, veći potreban prostor za ugradnju, kao i mogućnost povrata samo osjetne toplote.

Pločasti izmjenjivači toplote -slika 5, spadaju u rekuperatore sa direktnom izmjenom, i namjenjeni su za prelaz toplote između fluida ispod 100 °C. Pad pritiska vazduha u kanalima se kreće od 100 do 250 Pa, stepen povrata toplote 50 – 60 % uz brzine strujanja vazduha od 2,5 – 3 m/s. Osnovni problemi u radu ovih rekuperatora predstavlja opasnost od smrzavanja pri niskim vanjskim temperaturama i osjetljivost na onečišćenje, zbog koga dolazi do smanjenja stepena povrata toplote i porasta pada pritiska. Regulacija stepena iskorištenja i prevencija od smrzavanja je moguća isključivo preko prenosnice (bypass-a). Povećanje stepena povrata toplote se može postići povećanjem ugradbene dužine i promjenom iz unakrsnog u protusmjerno strujanje vazduha na 60 – 75 %. Postavljanjem dva izmjenjivača u nizu i raspršivanjem vode sa strane povratnog vazduha u ljetnom režimu rada moguće je, zajedno sa evaporativnim hlađenjem, postići stepen povrata toplote čak i do  $\Phi_2 \approx 90 \%$ .



Slika 5. Pločasti izmjenjivač toplote

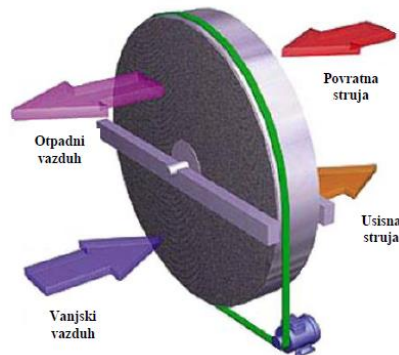
## 2.2 Regenerativni sistemi

Regenerativni sistemi povrata toplote omogućavaju prelaz toplote preko akumulacijske mase uz međusobni kontakt radnog fluida. Prednost ovih sistema predstavlja kompaktna izvedba, mogućnost povrata osjetne i latentne toplote (toplote i vlage), te veći stepen iskorištenja. Njihov osnovni nedostatak je nepotpuno razdvajanje struja vazduha. Osnovni tipovi izvedbi su rotirajući regeneratori i kapilarni ventilatori.

*Rotirajući regeneratori* su uređaji koji sadrže akumulacionu masu koja sporo rotira i kroz koju naizmjenično struje otpadni i spoljni vazduh. Princip rada se bazira na protusmjernom strujanju kroz akumulacionu masu – slika 6.

Namijenjeni su za temperaturno područje do 200 °C. Zavisno od materijala akumulacione mase, može se vršiti samo razmjena osjetne (kondenzacijski regeneratori), odnosno osjetne i latentne toplote (sorpcijski regeneratori). Osjetna toplota se prenosi tako što vazduh više temperature predaje toplotu konvekcijom masi koja se sastoji od niza kanalića kroz koje struji vazduh. Zimi se masa zagrijava strujom povratnog vazduha i rotirajući, nailazi na struju spoljašnjeg vazduha niže temperature od povratnog. Temperaturni uslovi su izmjenjeni i dolazi do prenosa prethodno akumulisane toplote na spoljni vazduh koji se usisava u klimatizacionu komoru. Ukoliko je materijal rotora regeneratora higroskopan, apsorpciona masa će primiti i vlagu koju

će kasnije apsorbovati struja spoljašnjeg vazduha. Kako se radi o razmjeni osjetne i latentne toplote ovakvi izmjenjivači toplote se nazivaju i entalpijskim. Kao akumulaciona masa može se koristiti talasasti nezapaljivi azbestni papir natopljen litijum-hloridom u cilju dobijanja higroskopskih svojstava, ili antikoroziivni legirani aluminijum sa higroskopnom površinom.



Slika 6. Rotirajući regenerators

Broj obrtaja sporo rotirajućeg rotora kreće se od 5 do 15 u minuti. Stepeni razmjene osjetne toplote i razmjene vlage zavise od brzine strujanja vazduha i iznose od 70 do 90 % čime su znatno smanjeni eksploatacioni troškovi. Regulacija učinka se obavlja isključivo promjenom brzine okretanja rotora. Kod rotirajućih regenerators povoljniju opciju predstavlja isisavanje otpadnog vazduha kroz razmjenjivač toplote te se preporučuje ugradnja ventilatora iza regenerators.

### 3. ZAKLJUČAK

Za pravilno projektovanje i integrisanje klimatizacionih postrojenja u zgradu, potrebno je poznavati mogućnosti primene određenih tehničkih rešenja koja značajno mogu doprineti energetskim performansama sistema i smanjenju eksploatacionih troškova. Prihvatanjem principa gradnje niskoenergetskih i pasivnih objekata njihova toplotna emisija i propusnost vazduha se minimizira, a samim tim mehanička ventilacija postaje nezaobilazan faktor. To znači da će u bliskoj budućnosti gubici toplote kroz ventilaciju zgrada postati ključno pitanje i, prema dosadašnjim iskustvima, primjenom čiste ventilacije mogu dostići i više od polovine ukupnih toplotnih gubitaka objekta. Primjenom sistema za povrat toplote te njihovom adekvatnom kombinacijom ovi gubici se mogu smanjiti čak i do 90 %. Imajući u vidu sve prednosti navedenih sistema za povrat toplote, a naročito povećanje energetske efikasnosti, teško je razumjeti zašto povrat toplote nije već odavno postao opšte prihvaćen standard u klimatizacionim postrojenjima.

### LITERATURA

- [1] McDowall, R. (2007). *Fundamentals of HVAC Systems*, Elsevier, Burlington
- [2] Tovarović, A. (2014). Povećanje efikasnosti automatski upravljanih KGH sistema promjenom kontrolnih parametara, Magistarski rad, Mašinski fakultet, I. Sarajevo
- [3] Händel C. (2013). Ventilation with heat recovery is a necessity in "nearly zero" energy buildings, REHVA, volume 48, Issue 3, p. 18-23



## STRATEGIJA I MJERE EVROPSKE UNIJE KA ENERGETSKI EFIKASNIJIM ZGRADAMA

Alojz Tovarović<sup>1</sup>, Veljko Mastilo<sup>2</sup>

*Rezime: Više od 40% finalne energije u Evropskoj Uniji (EU) koristi se u zgradama. Od ukupno isporučene energije za zgrade otprilike dvije trećine se troši na grijanje i ventilaciju. Evropska komisija je procijenila da se aplikacijom mjera za povećanje energetske efikasnosti u zgradarstvu potrošnja energije na grijanje i ventilaciju može smanjiti za oko 30%. Energetska efikasnost je u srcu strategija Evropske Unije za pametan i održiv razvoj do 2020 godine i prelazak na efikasnije ekonomisanje resursima. Energetska efikasnost je jedan od najisplativijih načina da se poboljša sigurnost snabdijevanja energijom, a da se smanji emisija gasova sa efektom staklene bašte i ostalih zagađivača. Na mnogo načina, energetska efikasnost se može smatrati za najveći izvor energije Evrope i to je razlog zašto je Unija sebi za cilj postavila smanjenje potrošnje primarne energije za 20% do 2020. U ovo radu će se prikazati preduzeti koraci i politike u cilju ispunjenja tog cilja.*

Ključne riječi: energetska efikasnost, zakonodavni okvir, Evropska Unija

### STRATEGY AND STEPS OF THE EUROPEAN UNION TOWARDS MORE ENERGY EFFICIENT BUILDINGS

*Abstract: More than 40% of final energy in the EU is consumed in buildings. Approximately two-thirds out of the total energy supplied to building is spent on heating and ventilation. The European Commission has estimated that by application measures of energy efficiency energy consumption for heating and ventilation of buildings can be reduced by about 30%. Energy efficiency represents the core of the EU strategy for smart and sustainable development by 2020. Energy efficiency is one of the most cost-effective ways to improve security of energy supply and to reduce emissions of greenhouse gases and other pollutants. In many ways, energy efficiency can be considered as the largest source of energy in Europe and a reason for the Union to set a target of 20% less consumption of primary energy by 2020. This paper will presented the steps and policies taken by EU in order to meet this goal .*

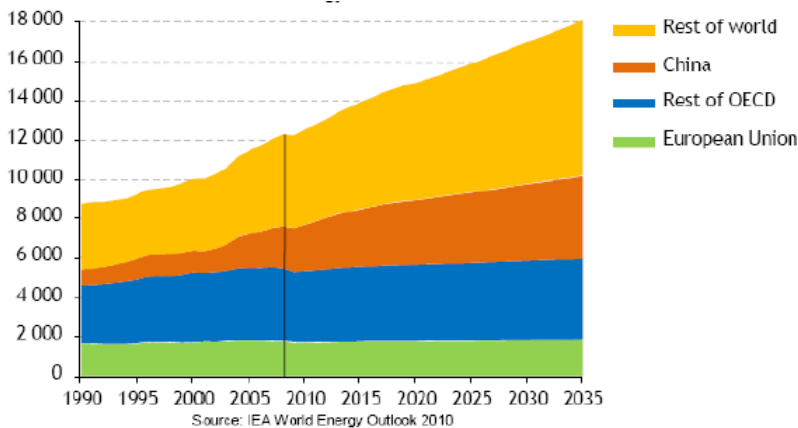
*Key words: energy efficinecy, legislative framework, European Union*

<sup>1</sup> Mr Alojz Tovarović, dipl.ing. maš, Sarejevo, OS BiH, talojz@yahoo.com (CA)

<sup>2</sup> Dipl.ing.maš., Veljko Mastilo, Sarajevo, Parlamentarna Skupština BiH, vmastilo@yahoo.com

## 1. UVOD

Energetska efikasnost je termin kojem se u svijetu, a pogotovo u EU, pridaje velika važnost. Da bi se odgonetnulo zbog čega je to tako, potrebno je malo dublje razmotriti problematiku proizvodnje i potrošnje energije. Poredimo li indikatore potrošnje energije po glavi stanovnika i BDP (bruto društveni proizvod) svjetskih zemalja, lako se da zaključiti da energenti, a posebno fosilna goriva, trenutno igraju veliku ulogu u globalnoj ekonomskoj trci, odnosno, predstavljaju motor razvoja svakog društva. Kraj prošlog i početak ovog stoljeća karakteriše nagli globalni rast stanovništva, koji je, udružen sa porastom životnog standarda i rastućim ekonomijama zemalja BRIKSA (Brazil, Rusija, Indija, Kina i Južnoafrička Republika), doveo do ogromnog povećanja potrošnje energije sa tendencijom daljnjeg rasta – slika 1.



Slika 1. Energetske potrebe u svijetu

Međutim, resursi fosilnih goriva kao osnovnih energenata današnjice su ograničeni, i jasno je da ovakav progres potrošnje vodi ka njihovom rapidnom iscrpljenju. Sa druge strane, smanjenje svjetskih zaliha fosilnih goriva utiče na ubrzan rast cijena i dovodi u pitanje ne samo industrijski rast nego i opstanak industrije u zemljama bez vlastitih izvora energenata. Trenutni trend potrošnje očigledno nije održiv, pa se postavlja pitanje, kako osigurati energetske potrebe današnjeg čovječanstva, a da data rješenja budu u duhu održivog razvoja, i da osiguravaju konzervaciju dovoljnih količina energetske resursa za buduće generacije.

Zemlje EU su generalno izuzetno siromašne energentima i proizvode samo 48% svojih potreba. Sa druge strane, sa ukupnim stanovništvom od 7% svjetske populacije postižu čak 17% ukupne svjetske energetske potrošnje. Suočene sa problemom nedostatka energenata, nesigurnosti snabdijevanja, te stalnim rastom potrošnje i cijena energenata, zemlje EU su se okrenule razvoju kapaciteta za proizvodnju obnovljivih izvora energije te povećanju energetske efikasnosti. Sve zemlje EU ambiciozno su prihvatile akcioni plan „tri puta dvadeset“, kojim se obavezuju da će do 2020. godine smanjiti potrošnju za 20 %, povećati udio obnovljivih izvora energije za 20 % i smanjiti emisiju gasova sa efektom staklene bašte također za 20 % (u odnosu na stanje iz 1990. godine).



## **2. ZAKONODAVNI OKVIR**

Zakonodavni okvir u Evropskoj uniji se bazira na direktivama koje je pripremila Evropska komisija, a prihvaćene su od strane Evropskog parlamenta i Savjeta Evrope. Direktiva zahtjeva od država članica da se postigne određeni rezultat, bez da se diktiraju sredstva za postizanje tog rezultata i obično ostavljaju državama članicama određenu količinu slobodnog prostora za prilagođavanje pravila i uvažavanje specifičnosti same zemlje. Nakon donošenja direktive zemlje članice donose sopstvene nacionalne Akcione planove u oblasti energetske efikasnosti, koji zapravo predstavljaju nacionalne strategije za ostvarenje ciljeva uštede i racionalnog korišćenja energije. U tom smislu donesene su brojne direktive i postavljeni konkretni ciljevi za ostvarenje veće energetske efikasnosti, a najvažniji od njih su:

- Direktive o energetskim karakteristikama zgrada (Directive 2010/31/EU and 2002/91/EC on the energy performance of buildings - EPBD). Ovim direktivama se kroz certifikaciju, uslovljava nivo energetske efikasnosti za sve novoizgrađene zgrade i obavezuju vlasnici postojećih zgrada da u određenom vremenu povećaju energetske efikasnost starih objekata.
- Direktiva o promociji kogeneracije (Directive 2004/8/EC on the promotion of cogeneration). Ova direktiva bliže definiše i promovise kombinovanu proizvodnje električne energije i toplote, kao jednu od najefektnijih mera za povećanje efikasnosti korištenja energenata.
- Direktiva za uspostavljanje okvira za ekološki odgovarajuće izrađene proizvode koji upotrebljavaju energiju (Directive 2005/32/EC and Directive 2009/125/EC on the establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy using)
- Direktiva o energetskim uslugama (Directive 2006/32/EC on energy end-use efficiency and energy services). Odnosi se na energetske efikasnost krajnjih korisnika i energetske usluge. Obuhvata snabdijevanje i distribuciju električne energije, prirodnog gasa, toplotne energije i goriva potrošačima u sektoru domaćinstva, industrije i transporta. Evropski Akcioni plan u oblasti energetske efikasnosti postoji od 2006. godine. Njegov cilj je da podstakne kreatore politike i učesnike na tržištu da učine zgrade, uređaje, transportne sisteme i energetske objekte energetske efikasnijim. Ovaj plan identifikuje šest ključnih oblasti sa najvećim potencijalom za uštedu energije (uređaji, zgrade i usluge, transport, energetske transformacije, finansije, energetske ponašanje, internacionalno partnerstvo) i predlaže 85 akcija i mera koje je potrebno preduzeti na EU i nacionalnom nivou, poput poboljšanja stepena energetske transformacije, razvoja mera ekonomskog podsticaja ili definisanje zahteva za energetskim performansama.
- Direktiva o označavanju potrošnje energije i ostalih resursa za proizvode vezane za energiju putem deklaracija i standardnih informacija o proizvodu (Directive 2010/30/EU on the indication by labelling and standard product information of the consumption of energy and other resources by energy-related products)
- Direktiva o energetskoj efikasnosti (Energy Efficiency Directive 2012/27/EU - EED). Stupanjem na snagu EED-a objedinjava se nekoliko područja, uvode se izmjene direktiva 2009/125/EZ i 2010/30/EU o označavanju potrošnje energije i stavljanju se van snage direktiva 2004/8/EZ o promociji kogeneracije i direktiva 2006/32/EZ o energetskim uslugama.

## **2.1 Direktiva 2002/91/EC o energetske karakteristika zgrada – EPBD 2002**

U cilju promocije energetske efikasnosti zgrada u zemljama članicama EU, Evropski parlament je 16. decembra 2002. godine donio Direktivu 2002/91/EC o energetske karakteristika zgrada. Ova Direktiva predstavlja temeljni zakonodavni instrument koji se odražava na sektor zgradarstva uvodeći okvir za integrisanu metodologiju za mjerenje energetske efikasnosti, primjenu minimalnih standarda u novim zgradama i određenim rekonstrukcijama zgrada, energetske certifikaciju i savjete za nove i postojeće zgrade, nadzor i ocjenu kotlova i sistema za grijanje i hlađenje. Direktiva je složena i po svom sadržaju specifična, te je neophodan poseban integralni pristup za njezinu implementaciju i puni prenos u nacionalno zakonodavstvo.

Opšti okvir za izračunavanje energetske efikasnosti zgrada sadržan je u članu 3. Direktive prema kojem u metodologija za izračunavanje energetske efikasnosti zgrade treba uključiti minimalno sljedeće aspekte: toplotne karakteristike zgrade (vanjski i unutrašnji zidovi, propusnost vazduha i dr.), instalacije za grijanje i pripremu tople vode uključujući i njihove toplotno-izolacione karakteristike, instalacije za klimatizaciju, provjetravanje, ugrađenu rasvjetu, položaj i orijentaciju zgrada, uključujući i vanjske klimatske uslove, pasivne sunčeve sisteme i zaštitu od pregrijavanja od sunca, prirodno provjetravanje, unutrašnje klimatske uslove uključujući i projektovane unutaršnje klimatske uslove.

Prema Direktivi, u obzir treba uzeti, gdje je to relevantno za proračun, i pozitivan doprinos: aktivne sunčeve sisteme i druge sisteme grijanja, električnu energiju koji koriste obnovljive izvore energije, električnu energiju iz kogeneracije, sisteme daljinskog ili blokovskog grijanja ili hlađenja i prirodno osvjetljenje. Pored toga potrebno je definisati i namjenu zgrade, i iste trebaju biti klasifikovane u kategorije (npr.: porodične kuće, apartmanski blokovi, kancelarije, zgrade za obrazovanje, bolnice, hoteli i restorani, sportski objekti, trgovački centri i ostale vrste zgrada koje troše energiju). Direktiva obavezuje zemlje članice da same definišu minimalne zahtjeve u pogledu energetske karakteristika zgrada. Rok za implementaciju Direktive u zakonodavstvo zemalja EU bio je 04. januar 2006. s mogućnošću produženja od tri godine i ne ovisi o aktivnostima CEN-a (Comite Europeen de Normalisation).

Za nove zgrade korisne neto površine veće od 1000 m<sup>2</sup> prije izgradnje potrebno je uzeti u obzir tehničku, ekonomsku i ekološku izvedivost alternativnih sistema kao što su:

- decentralizirani sistemi snabdijevanja energijom koji koriste obnovljive izvore,
- sisteme daljinskog ili blokovskog grijanja i hlađenja,
- dizalice toplote,
- kogeneraciju.

Zahtjevi se primjenjuju i kod postojećih zgrada korisne površine veće od 1000 m<sup>2</sup> kada se radi o opsežnim zahvatima obnove zgrade. Prema Direktivi opsežni zahvati su oni kod kojih ukupni trošak obnove vanjskih zidova zgrade i / ili energetske sisteme kao što su instalacije za grijanje, dovod tople vode, klimatizaciju, ventilaciju i rasvjetu, prelazi 25% vrijednosti zgrade, ne računajući vrijednost zemljišta na kojem se zgrada nalazi ili kada se obnavlja preko 25% same zgrade. Zahtjevi za postojeće zgrade mogu se definirati za zgradu u cjelini ili za obnovljene sisteme ili sastavne dijelove zgrade kada su isti dio obnove koja se odvija u ograničenom vremenskom periodu.

Direktiva uvodi certifikat energetske efikasnosti zgrade koji mora biti dostupan potencijalnom kupcu ili korisniku zgrade, a njegova valjanost ne može biti duža od 10 godina. Certifikat sadrži opis postojećeg stanja korištenja energije s numeričkim indikatorima količine energije koja se stvarno troši ili koja se procjenjuje potrebnom za



različite namjene povezane standardizovanom upotrebom zgrade, a koja može obuhvaćati, između ostalog, grijanje, hlađenje, ventilaciju, pripremu tople vode i rasvjetu. Tako zgrade s manjom potrošnjom, odnosno većom energetskom efikasnošću, dobivaju veću vrijednost na tržištu nekretnina. Certifikovanje potiče „domaćinsko” upravljanje energijom te obnovu postojećih zgrada koja omogućava povrat dodatnih troškova kroz ukupne uštede energije. Zgrade ukupne korisne površine veće od 1000 m<sup>2</sup>, koje koriste organe javne uprave i institucije koje pružaju javne usluge većem broju osoba i zbog toga imaju veliku fluktuaciju stranaka, trebaju certifikat energetske efikasnosti, ne stariji od 10 godina, javno izložiti na vidnom mjestu.

## **2.2 Direktiva 2010/31/EU o energetskim karakteristikama zgrada – EPBD 2010**

Revidirana EPBD Direktiva je usvojena 2010. godine i njena implementacija je obavezujuća u svim zemljama članicama Evropske unije od 2020. godine. Radi se o mnogo strožijoj direktivi od verzije EPBD 2002. Usvojena Direktiva EPBD 2010 je, zbog uticaja Evropskog parlamenta, strožija i od prvog predloga Evropske komisije iz 2008. godine. Najznačajnije novine EPBD 2010 mogu se vidjeti u sljedećem:

- Države članice moraju prilagoditi i optimizirati nacionalne zahtjeve po pitanju energetske efikasnosti prema brzini povrata uložениh sredstava, odnosno isplativosti. Ovo omogućava državama članicama integraciju ovih zahtjeva unutar nacionalnog ekonomskog plana. Smernice za izračunavanje isplativosti prema vrsti ulaganja objavljene su u januaru 2012.
- Ciljne vrijednosti energetske efikasnosti moraju biti nacionalno određene na bazi upotrebene primarne energije u kWh/m<sup>2</sup> ili nekim alternativnim karakteristikama zgrada.
- Energetska efikasnost mora da bude poboljšana bar za jednu klasu pri svakom većem renoviranju postojećih objekata uz obavezno razmatranje upotrebe obnovljivih izvora energije.
- Potrebno je definisati posebne odredbe za određivanje energetske efikasnosti KGH sistema (za postojeće zgrade obavezno, dok je za nove zgrade preporučljivo).
- Sve nove zgrade do 2020. godine moraju biti "zgrade gotovo nulte potrošnje energije" (javne zgrade dvije godine ranije). Analiza postojećeg stanja i uspostavljanje mogućih dodatnih zahtjeva ili rokova (u zavisnosti od rezultata analize) predviđeno je za 2015. Definicija "zgrade gotovo nulte potrošnje energije" je ostavljena državama članicama.
- U svakoj državi članici moraju se razviti nacionalne mjere za prevazilaženje tržišnih barijera u cilju poboljšanje energetske efikasnosti.
- Ukida se granica od 1000 m<sup>2</sup> za nove i postrojeće objekte po pitanju ispunjenja vrijednosti maksimalne potrošnje primarne energije u kWh/m<sup>2</sup>. Svi novi objekti moraju ispunjavati ovaj uslov, a postojeći ga moraju dostići pri svakom većem renoviranju, bez obzira na veličinu zgrade uz obavezu razmatranje upotrebe kogeneracijskih kotlova ili obnovljivih izvora energije ukoliko se pokaže da je to ekonomski isplativo.
- Svi objekti moraju imati energetski certifikat. Direktiva zahtjeva snažniju poziciju energetskih certifikata i uvodi obavezu posjedovanja pri prodaji ili izdavanju, te izlaganja karakteristika zgrade (energetskog razreza) pri oglašavanju. Pored energetskog pregleda i klasifikovanja certifikati obavezno moraju sadržavati i plan za poboljšanje energetske efikasnosti zgrade.

- Inspekcija kotla, koja je zahtjevana u Direktivi 2002, proširuje se na cijeli sistem grijanja.
- Inspekcija klimatizacijskog postrojenja se takođe zahtjeva u Direktivi 2002, dok se sada veći naglasak daje na smanjenje toplotnog opterećenja.
- Nezavisan sistem kontrole kvaliteta mora da bude razvijen za sve nacionalne inspekcije.
- Izmijenjena EPBD 2010 referiše se shodno CEN standardima, u cilju ojačanja uloge evropskih standarda u nacionalnim zakonodavstvima.

### 2.3 Ekološki dizajn proizvoda koji koriste energiju - EDD

Veoma važan dio ukupne energetske efikasnosti zgrade čini efikasnost uređaja i opreme. Pored nezaobilaznog načina upotrebe od strane korisnika, postoje još dva komplementarna načina smanjenja potrošnje energije :

- Zahtjevi u pogledu energetske efikasnosti nametnuti tokom konstruisanja i izrade
- Isticanje energetskog razreza proizvoda u cilju podizanja svijesti kupaca i njihovog usmjeravanja ka energetski efikasnijim proizvodima

Cilj ekološkog dizajna je smanjenje uticaja proizvoda na okolinu uključujući i njihovu potrošnju tokom čitavog životnog ciklusa. Procjenjuje se da je preko 80% svih uticaja proizvoda na okolinu uzrokovano tokom faze konstrukcije i same proizvodnje. Propisi vezani za ekološki dizajn su razvijeni uz konsultacije međuzavisnih strana – industrijalaca, vlasnika zgrada, predstavnika vlasti, itd. Slika 2 ilustruje vezu između ekološkog dizajna, energetskog razreza i ekološkog razreza za određeni proizvod. Ekološki dizajn obuhvata minimalne zahtjeve koje proizvod treba da ispuni shodno uticaju na okruženje i ukoliko ne pređe taj prag neće dobiti obaveznu CE oznaku, te samim tim nema pristup na tržište EU. Energetski razrez uključuje klasifikaciju proizvoda od A do G. Samo najkvalitetniji proizvodi koji u potpunosti ispunjavaju oba zahtjeva će imati ekološke oznake.



Slika 2. Veza između ekološkog dizajna, energetskog i ekološkog razreza

Propisi vezani za ekološki dizajn su na osnovu analize životnog ciklusa proizvoda sa ciljem definisanja konstrukcionog rješenja sa najmanjim ukupnim troškovima tokom životnog ciklusa proizvoda uključujući i njegov uticaj na okolinu. Punom primjenom trenutno usvojenih propisa ostvariće se godišnja ušteda u potrošnji električne energije u iznosu od 377 TWh/a, što je oko 10% potrošnje EU ili ekvivalent godišnjoj proizvodnji električne energije u Velikoj Britaniji. Komisija EU je tokom 2013.

donijela propise iz područja ekološkog dizajna za nekoliko važnih sistema unutar zgrada, kao što su :

- Klimatizacioni i ventilacioni sistemi,
- Sistemi za lokalno grijanje i peći na čvrsta goriva i
- Centralni vazdušnih sistemi grijanja.

## **2.4 Direktiva o energetskej efikasnosti – EED**

Direktiva o energetskej efikasnosti 2012/27/EU stupila je na snagu krajem 2012. godine. Iako je njen sadržaj generalnog karaktera sadrži nekoliko mjera koje utiču na zgradarstvo. Njome se države članice obavezuju na postavljanje okvirnih nacionalnih ciljeva u pogledu energetske efikasnosti za 2020. godinu, temeljenih na potrošnji bilo primarne bilo konačne energije. Države članice mogu te minimalne zahtjeve postrožiti radi što veće uštede energije. To je više administrativna direktiva i zahtjeva od država članica da preduzmu mjere za poboljšanje energetske efikasnosti sa određenim radnjama kao što su inspekcije, renoviranje i poboljšanje efikasnosti kombinovanom proizvodnjom električne energije i toplote – kogeneracija. Direktivom se takođe utvrđuju pravno obavezujuća pravila za krajnje korisnike i dobavljače energije. Povećanje korišćenja obnovljivih izvora energije je suštinski dio energetske politike EU te je cilj postići 20% primarne energije iz obnovljivih izvora unutar ili u blizini zgrade. Zahtevi za države članice su date u Direktivi za promociju korišćenja energije iz obnovljivih izvora (OIE direktiva).

Tehnički propisi predstavljaju potreban ali ne i dovoljan uslov za razvoj zajedničke energetske efikasne tehnologije. Potrebno je ubrzati implementaciju različitih programa povećanja energetske efikasnosti kako bi se dostigao dati cilj smanjenja potrošnje za 20% do 2012. godine. Nekoliko neophodnih aktivnosti su razvijeni u cilju postizanja energetske efikasnosti u praksi i objedinjene u Direktivi o energetskej efikasnosti koja je usvojena u oktobru 2012. godine. Ova Direktiva uspostavlja zajednički okvir mjera kojima se promoviše energetska efikasnost unutar Unije u svrhu obezbjeđenja dostizanja zadatih ciljeva Unije do 2020. godine i postavljanje puta za unapređenja u domenu energetske efikasnosti nakon tog datuma. Ova direktiva daje pravila kreirana da otklone prepreke na energetskom tržištu i prevaziđe tržišne propuste koji ometaju efikasno snabdijevanje i potrošnju energije, te doprinosi uspostavljanju proisteklih nacionalnih ciljeva u području energetske efikasnosti do 2020. godine. Ključni elementi Direktive su:

- Renoviranje zgrada – države članice moraju renovirati 3% od ukupne površine javnih zgrada svake godine
- Sistemska upotreba energetske efikasnosti – kompanije koje se bave proizvodnjom i prenosom energije trebaju postići "kumulativnu uštedu energije u završnoj fazi" do 2020. godine. Na godišnjoj osnovi, ušteda bi trebala biti najmanje 1,5% ukupnog prometa, počevši od 2014. Do 2020. Godine, a na osnovu podataka iz 2009. godine.
- Energetski auditi – sve veće kompanije moraju da urade eksterni audit koji treba počnu tri godine nakon stupanja na snagu ove Direktive, sa obavezom ponavljanja svake treće godine od strane kvalifikovanih i ovlaštenih energetskih kontrolora (auditora).
- Promovisanje efikasnosti pri hlađenju i grijanju – do decembra 2015. Zemlje članice trebaju kompletirati i podnijeti Komisiji „punu procjenu“ potencijala kogeneracije i efikasnog grijanja i hlađenja.

- Mehanizmi finansiranja – zemlje članice trebaju obezbijediti uspostavljanje mehanizama za finansiranje mjera energetske efikasnosti ili korištenje postojećih.
- Evropski i nacionalni ciljevi – Direktiva definira zajedničke mjere za obezbjeđenje ispunjenja osnovnog cilja EU (smanjenje potrošnje za 20 % do 2020). Svaka zemlja članica treba da postavi vlastite ciljeve i prikaže plan energetske efikasnosti svake tri godine (2014 – 2017 – 2020).

### 3. ZAKLJUČAK

Smanjenje potrošnje energije i eliminisanje energetskog otpada spadaju među najvažnije ciljeve Evropske Unije. Podrška EU unapređenju mjera energetske efikasnosti će se pokazati odlučujućom za konkurentnost, sigurnost snabdijevanja i ispunjenje obaveza po pitanju klimatskih promjena prema Kyoto protokolu. Postoji značajan potencijal za smanjenje potrošnje, naročito u energetski intenzivnim sektorima kao što je zgradarstvo. Krajem 2006 godine, EU se obavezala na smanjenje potrošnje primarne energije za 20% do 2020. godine. Naknadne studje tokom 2011. godine su pokazale da ovaj cilje ne može biti dostignut ukoliko se nešto dodatno ne preduzme. Nekoliko aktivnosti je preduzeto u svrhu dostizanja postavljenog cilja kako od strane EU tako i na nacionalnom nivou. U proteklih nekoliko godina i EU i države članice su bile uspješne u mobilisanju javnog mijenja, donosioca odluka i tržišnih operatora u cilju uspostavljanja standarda minimalne energetske efikasnosti i zakona o energetskom klasifikovanju i kategorizaciji prema razrezu na samo proizvoda, nego i infrastrukturnih i drugih usluga. Ukoliko se nastavi ovakav trend održavanja zatvorenog ciklusa od direktiva, preko propisa i akcionih planova, pa do implementacije i izvještaja, osnovni cilj smanjenja potrošnje energije u zgradarstvu ima velike šanse za uspjeh.

### LITERATURA

- [1] Johann Zirngibl (2011). *Opportunities in standardization of heating and cooling systems related to recast EPBD*, REHVA, volume 46, Issue 1
- [2] Dick van Dijk (2011). *Overall energy performance of buildings*, REHVA, volume 46, Issue 1
- [3] Zoltan Magyar (2011). *Buildings in the key role in the EU Energy Efficiency Action Plan*, REHVA, volume 46, Issue 3
- [4] Olli Seppänen (2013). *Steps and policies towards better energy efficiency of European buildings*, REHVA, Special issue for ACREX India 2013 exhibition



## HIDRAULIČKI PRORAČUN SISTEMA ZA DISTRIBUCIJU VODE U VLAŽNIM RASHLADNIM TORNJEVIMA

Sanja Stijačić<sup>1</sup>, Davor Milić<sup>2</sup>, Dušan Golubović<sup>3</sup>, Novica Stijačić<sup>4</sup>,  
Stojan Simić<sup>5</sup>, Mirko Dobrnjac<sup>6</sup>

*Rezime:* U radu je predstavljena osnova hidrauličkog proračuna sistema za distribuciju vode u vlažnim rashladnim tornjevima. Na primjeru radijalnog tipa sistema distribucije vode pod pritiskom, izvršen je proračun radnih i magistralnih cjevovoda. Topla voda se dovodi u centralni distributor. Globalna distribucija vode izvodi se sistemom cijevi a lokalna distribucija sistemom mlaznica. Kao krajnji cilj ovog proračuna određen je koeficijent neravnomjernosti distribucije vode. Takođe, prikazana je njegova zavisnost od vrijednosti prečnika radnog i magistralnog cjevovoda.

*Ključne riječi:* cjevovod, distribucija vode, mlaznice, rashladni toranj.

## HIDRAULIC CALCULATION OF WATER DISTRIBUTION SYSTEM IN WET COOLING TOWERS

*Abstract:* This paper includes basic hydraulic calculation for water distribution system in wet cooling towers. Calculation of operating distributors and main pipelines was made based on a radial type water distribution system. Hot water runs to the central distributor. Global water distribution goes through a piping system and local distribution goes through the nozzle system. The main objective of this calculation is to set water distribution diversity coefficient. Further, it is shown how the coefficient depends on diameters of operating and main pipeline.

*Keywords:* pipelines, water distribution, nozzles, cooling tower.

---

<sup>1</sup> Mr Sanja Stijačić, Istočno Sarajevo, 83sanja@gmail.com

<sup>2</sup> Mr Davor Milić, Istočno Sarajevo, Mašinski fakultet, mdavor82@gmail.com

<sup>3</sup> Dr Dušan Golubović, Istočno Sarajevo, Mašinski fakultet, dusan.golubovic54@gmail.com

<sup>4</sup> Mr Novica Stijačić, Istočno Sarajevo, FAMOS a.d., novica.stijacic@gmail.com

<sup>5</sup> Dr Stojan Simić, Modriča, Rafinerija ulja a.d., stojans@modricaoil.com

<sup>6</sup> Dr Mirko Dobrnjac, Banja Luka, Mašinski fakultet, dobrnjac.mirko@gmail.com

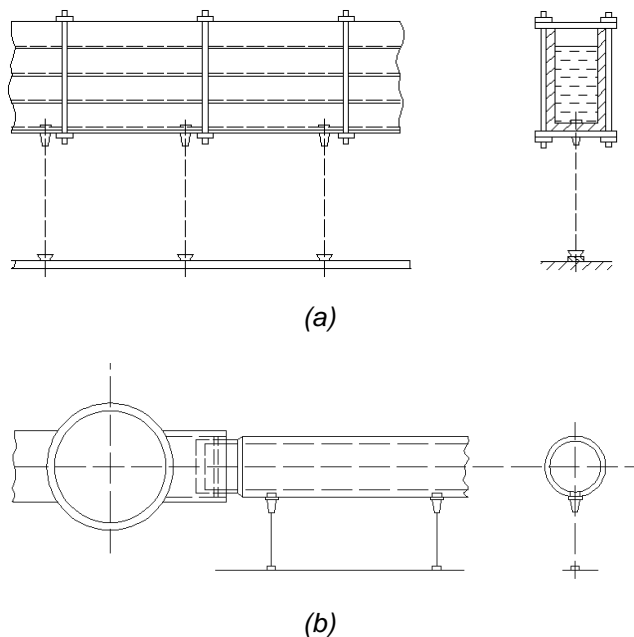
## 1. UVOD

Zadatak hidrauličkog proračuna sistema za distribuciju vode u vlažnim rashladnim tornjevima je određivanje stepena neravnomjernosti distribucije vode po poprečnom presjeku rashladnog tornja. Stepen neravnomjernosti isključivo zavisi od sistema raspršivača (mlaznica). Rezultati hidrauličkog proračuna koriste se pri tehničko–ekonomskom izboru optimalnih rješenja magistralnih cjevovoda, određivanja dimenzija raspršivača, prečnika cjevovoda, pritiska u raspršivačima, itd.

Na osnovu hidrauličkog proračuna dobijaju se određeni podaci: šema sistema za distribuciju vode, prečnici magistralnih i radnih cjevovoda, rastojanje između radnih cjevovoda (distributora), rastojanje između raspršivača (mlaznica), dimenzije raspršivača, srednji protok vode kroz raspršivače, itd. Ovaj proračun sastoji se od niza uzastopnih proračuna sistema za lokalnu i globalnu distribuciju vode [1].

## 2. HIDRAULIČKI PRORAČUN SISTEMA ZA GLOBALNU DISTRIBUCIJU VODE

Globalni sistem za distribuciju vode u vlažnim rashladnim tornjevima čini sistem magistralnih i radnih cjevovoda (kanala). Postoje gravitacioni distributivni sistemi i sistemi pod pritiskom[2]. Magistralni i radni kanali gravitacionih distributivnih sistema, predstavljeni na slici 1.a, izrađuju se od drveta ili armiranog betona. Cjevovod sistema za distribuciju vode pod pritiskom, prikazan na slici 1.b, sastoji se od čeličnih cijevi ili cijevi od plastičnih masa.



Slika 1. Gravitacioni distributivni sistemi i sistemi pod pritiskom

Hidraulički proračun sistema za globalnu distribuciju vode sastoji se od utvrđivanja sljedećih karakteristika:

- prečnika cjevovoda kod sistema pod pritiskom i površine presjeka kanala u gravitacionom sistemu,

- pritiska u početnim i u pojedinim dijelovima sistema pod pritiskom ili nivoa vode u gravitacionim kanalnim sistemima, i
- koeficijenta neravnomjernosti u sistemu za globalnu distribuciju vode.

Koeficijent neravnomjernosti distribucije vode izražava se preko koeficijenta odstupanja brzine (protoka) od srednje vrijednosti i računa se po formuli [3]:

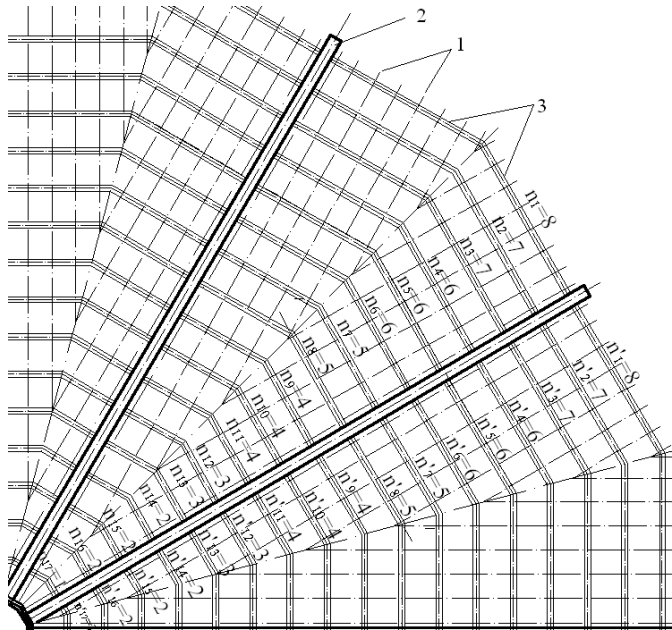
$$\psi = \psi_r + \psi_d = (\varphi_{rmax} - \varphi_{rmin}) + (\varphi_{dmax} - \varphi_{dmin}), \quad (1)$$

ili:

$$\varphi = \left( \frac{v_{rmax}}{v_{rsr}} - \frac{v_{rmin}}{v_{rsr}} \right) + \left( \frac{v_{dmax}}{v_{dsr}} - \frac{v_{dmin}}{v_{dsr}} \right) \quad (2)$$

Dozvoljene vrijednosti koeficijenta neravnomjernosti su  $\psi \leq 0,10 \div 0,15$  [4].

### 3. PRIMJER HIDRAULIČKOG PRORAČUNA SISTEMA ZA DISTRIBUCIJU VODE POD PRITISKOM



Slika 2. Šema radijalnog sistema za distribuciju vode pod pritiskom: 1 - raspršivači (mlaznice), 2 - magistralni cijevovod, 3 - radni cijevovod

Voda se iz centralnog vodotornja razvodi pomoću radijalnih magistralnih cijevi na sistem radnih cijevovoda i mlaznica. Projektovani sistem je osnosimetričan, dužina radnih cijevovoda i odgovarajući broj raspršivača postavljenih na njima povećava se prema kraju magistralnog cijevovoda [1].

Raspršivači su tipa:

- mlaznica izlaznog presjeka usmjerenog prema gore,
- sistem radnog cijevovoda – čelični, jednakog prečnika.

Polazni podaci za proračun su:

- protok rashladne vode  $q_w$ .....15 500 m<sup>3</sup>/h,
  - prečnik mlaznice (raspršivača)  $d_r$ .....0,026 m,
  - dužina mlaznice (od zida cijevi)  $l_r$ .....0,10 m,
  - broj mlaznica (u prvih šest sektora postavljeno je po 150 mlaznica, a u drugih šest po 136 mlaznica)  $N$ .....1 716,
  - broj dvostranih odvodana magistralnom cjevovodu svakom sektorom.....17,
  - rastojanje između mlaznica (raspršivača)  $S_r$ .....1,0 m,
  - rastojanje između radnih cjevovoda (distributora)  $S_d$ .....1,5 m.
- Proračun je izveden za sektora 150 mlaznica (raspršivača).

### 3.1 Proračun prečnika radnog cjevovoda

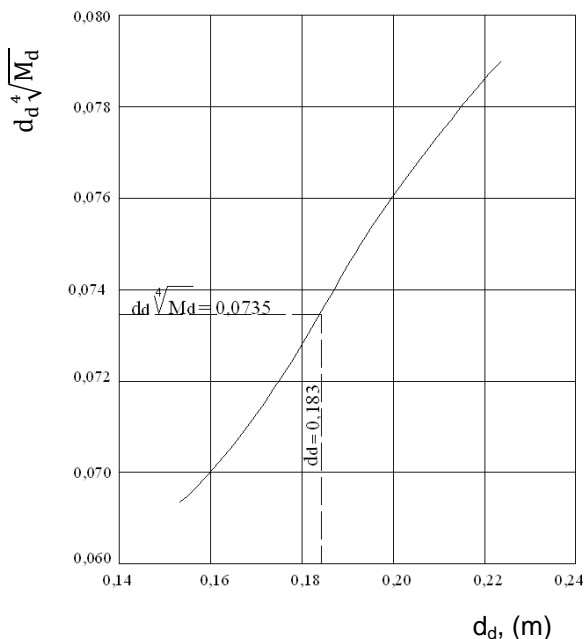
Prečnik radnog cjevovoda određen je na osnovu proračuna cjevovoda sa najvećim brojem raspršivača ( $n = 8$ ), [4]

$$d_r \sqrt{n} = d_d \sqrt[4]{\frac{\xi_{rm} - \xi_{r1}}{\xi_{trd} - \xi_{prd}}} = d_d \sqrt[4]{M_d} \quad (3)$$

Jednakost se rješava za sljedeće vrijednosti prečnika radnog cjevovoda:

$d_d = 0,16; 0,18; 0,20; 0,22$  m.

Traženi prečnik dobijen je na osnovu prikazanog grafika na slici 3. i približno je jednak vrijednosti 0,185 m.



Slika 3. Grafik zavisnosti  $d_d \sqrt[4]{M_d} = f(d_d)$

### 3.2 Proračun prečnika magistralnog cjevovoda

Prečnik magistralnog cjevovoda određuje se na osnovu sljedećeg izraza [4]:



$$d_d \sqrt{\frac{n_M}{n_1}} = d_M \sqrt[4]{\frac{\left(\frac{n_m}{n_1}\right)^2 \xi_{dm} - (\Delta \xi_{trd}^3 + \Delta \xi_{prd}^3 + \xi_{d1})}{\xi_{trM} + \xi_{prM}}} = d_M \sqrt[4]{M_M}, \quad (4)$$

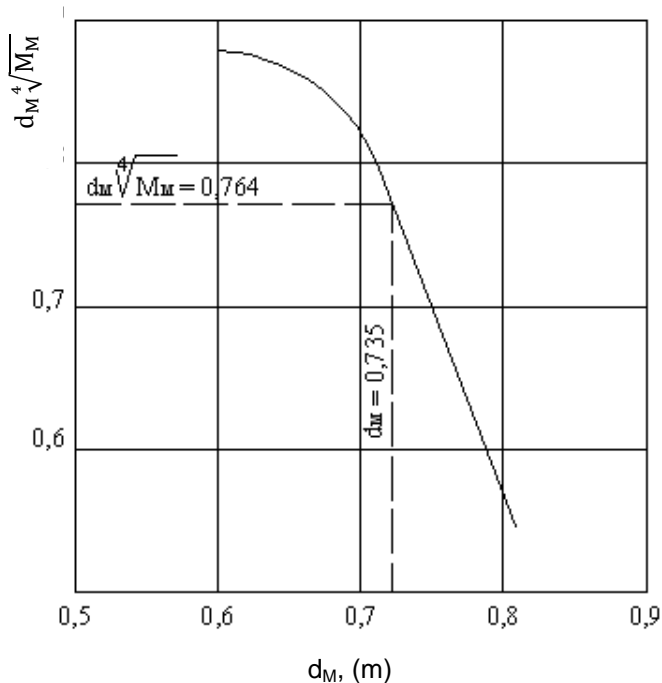
gdje su:

$n_1 = 8, n_m = n_{13} = 3$ , broj raspršivača na prvom i posljednjem radnom cjevovodu.

Jednakost se rješava za sljedeće vrijednosti prečnika magistralnog cjevovoda:

$$d_M = 0,60; 0,70; 0,80; \text{ m.}$$

Za čelične cjevovode usvaja se vrijednost prečnika magistralne cijevi  $d_M = 0,70$  m na osnovu prikazanog grafika na slici 4.



Slika 4. Grafik zavisnosti  $d_M \sqrt[4]{M_M} = f(d_M)$

### 3.3 Određivanje koeficijenta neravnomyernosti distribucije vode

U većini slučajeva koeficijent neravnomyernosti distribucije vode može biti izražen preko koeficijenta odstupanja brzine vode kroz raspršivač i koeficijenta odstupanja brzine u radnim cjevovodima od njegovih srednjih vrijednosti. Opšta formula za određivanje ovih koeficijenata je:

$$\varphi_{ri} = \frac{v_{ri} - v_{rsr}}{v_{rsr}} = \frac{v_{ri}}{v_{rsr}} - 1, \quad \varphi_{di} = \frac{v_{di}}{v_{dsr}} - 1. \quad (5)$$

Distribucija vode kroz raspršivače (mlaznice) duž radnog cjevovoda približno je ravnomjerna i prema sljedećem izrazu iznosi:

$$\psi_r = \varphi_{rmax} - \varphi_{rmin} = 0 - (-0,001) = 0,001. \quad (6)$$

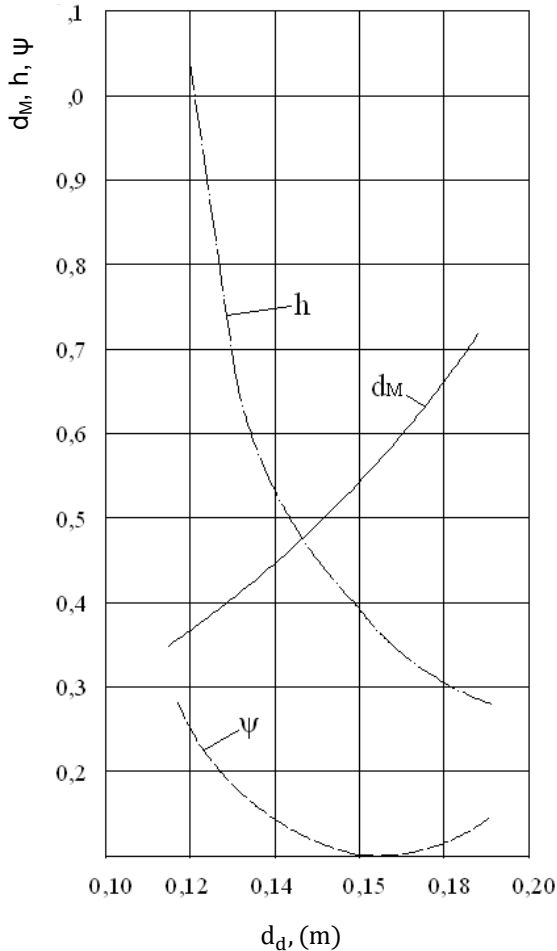
Koeficijent neravnomjernosti distribucije vode u radnom cjevovodu iznosi:

$$\psi_d = \varphi_{d_{\max}} - \varphi_{d_{\min}} = 0,091 - (-0,052) = 0,143. \quad (7)$$

Opšti koeficijent neravnomjernosti distribucije vode u sistemu je:

$$\psi = 0,001 + 0,143 = 0,144.$$

Na slici 5. grafički je prikazana zavisnost određenih vrijednosti hidrauličkog proračuna od vrijednosti prečnika radnog cjevovoda  $d_d$ . Smanjenje vrijednosti  $d_d$  dovodi do povećanja koeficijenta  $\psi$ . Takođe, sa smanjenjem prečnika  $d_d$  dolazi do smanjenja prečnika  $d_M$  ali u tom slučaju visina pritiska (vodenog stuba) se povećava.



Slika 5. Grafik zavisnosti neravnomjernosti distribucije vode  $\psi$ , visine vodenog stuba i prečnika magistralnog cjevovoda  $d_M$  od prečnika radnog cjevovoda  $d_d$

#### **4. ZAKLJUČAK**

Analiziran je hidraulički proračun sistema za distribuciju vode u vlažnim rashladnim tornjevima. Izbor prečnika sistema za globalnu distribuciju vode sastoji se od hidrauličkog proračuna za nekoliko varijanti i odabira se najpovoljnija.

Stepen neravnomjernosti distribucije vode kroz raspršivače zavisi od protoka vode kroz iste. Da bi odredili maksimalni i minimalni protok potrebno je odrediti protok vode kroz svaki raspršivač. To je veoma zahtjevan postupak i zbog toga se koeficijent neravnomjernosti određuje preko koeficijenta odstupanja brzine vode kroz naglavak raspršivača i preko koeficijenta odstupanja u radnom cjevovodu od njihovih srednjih vrijednosti.

Koeficijent neravnomjernosti distribucije vode po površini poprečnog presjeka vlažnog rashladnog tornja zavisi i od izbora prečnika sistema za globalnu distribuciju vode.

#### **NOMENKLATURA**

$d$  - prečnik, m

$h$  - visina vodenog stuba, m

$l$  - dužina, m

$q$  - protok, m<sup>3</sup>/h

#### **Grčki alfabet**

$\xi$  - koeficijent otpora,

$\varphi$  - koeficijent odstupanja brzine od njene srednje vrijednosti,

$\psi$  - koeficijent neravnomjernosti distribucije vode,

#### **Subskripti i superskripti**

$d$  - distributor (radni cjevovod),

$M$  - magistralni cjevovod,

$max$  - maksimalna vrijednost,

$min$  - minimalna vrijednost,

$pr$  - proširenje,

$r$  - raspršivač (mlaznica),

$sr$  - srednja vrijednost,

$tr$  - trenje,

$w$  - rashladna voda.

#### **LITERATURA**

- [1] Stijačić, S.: Uticaj globalne i lokalne distribucije vode na intenzitet hlađenja u vlažnim rashladnim tornjevima, Magistarski rad, Mašinski fakultet Univerziteta u Istočnom Sarajevu, Istočno Sarajevo, 2014.
- [2] Stijačić, S., Milić, D., Golubović, D., Stijačić, N., Simić S., Dobrnjac M.: Krive neravnomjernosti distribucije vode u vlažnim rashladnim tornjevima, Procening 2014, SMEITS, Beograd, 2014.

- [3] Golubović, D.: Razvod vode u hiperboloidnom rashladnom tornju, Kongres o KGH, SMEITS, Beograd.
- [4] Технические указания по расчету и проектированию башенных противоточных градирен для тепловых электростанций и промышленных предприятий, Энергия, Ленинград, 1971.
- [5] Cooling tower fundamentals, SPX Cooling Technologies, Kansas USA, 2009.
- [6] Fisenko, S.P., Brin, A.A., Petrushik, A.I.: Evaporative cooling of water in a mechanical draft cooling tower, International Journal of Heat and Mass Transfer, Minsk, 2004.
- [7] Golubović, D., Milić, D., Stanić, S., Drakulić, Đ.: Analysis of energy efficiency by change of characteristics of fillings in cooling towers, Društvo termičara Srbije, Divčibare, 2013.
- [8] Stanojevic, M., Radic, D., Simic, S., Todorovic, D., Karlicic, N.: Energy efficiency parameters of aeration systems in water treatment, Industrial energy and environmental protection in South Eastern European Countries, IV Regional Conference, IEEP '13, Divčibare, 26-29.06.2013.



## TRIBOLOŠKA SVOJSTVA BILJNIH ULJA

Mile Stojilković<sup>1</sup>

*Rezime: Danas, jedan od najvećih svetskih problema je, kako sačuvati planetu od sve većeg zagađenja i očuvati prirodne, neobnovljive resurse i za buduće generacije. Moramo priznati da je čovek glavni krivac za narušavanje odnosa prema prirodi i životnoj okolini i da se rasipnički ponaša prema prirodnim resursima, a intenzivnim zagađivanjem životne okoline, ubrzano narušava ekološku ravnotežu. Nafta i njeni derivati su osnova modernog industrijskog razvoja, ali nažalost, istovremeno i osnovni zagađivači životne okoline. Veliki udeo zagađenju životne okoline mogu se pripisati mazivima. Godišnja potrošnja maziva u svetu je oko 40 miliona tona, od čega više od 60% nekontrolisano završava u okolinu. Maziva su najčešće mineralnog porekla; toksična i nisu brzo biorazgrađiva. U ovom radu prikazaće se mogućnosti uštede neobnovljivih prirodnih resursa i smanjenje štetnog uticaja na životnu okolinu uvođenjem biljnih ulja kao adekvatnu zamenu za mineralna maziva. Osim toga, ekološki prihvatljiva maziva na bazi biljnih ulja moraju da zadovolje zahteve reoloških i radnih karakteristika koji su definisani specifikacijama i standardima proizvođača tehničkih sistema. U ovom radu će se prikazati ispitana tribološka svojstva biljnih ulja.*

*Ključne riječi: Biljna ulja, Biorazgrađiva maziva, Tribološka svojstva*

### TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF VEGETABLE OILS

*Abstract: Today, one of the world's biggest problems is how to save the planet from the increasing pollution and conserve natural, non-renewable resources for future generations. We have to admit that man is the main culprit for the disruption of the relationship to nature and the environment and to treat wasteful of natural resources, intensive and polluting the environment, rapidly disrupts the ecological balance. Oil and its derivatives are the basis of modern industrial development, but unfortunately, at the same time the main polluters of the environment. A large proportion of environmental pollution can be attributed lubricants. Annual consumption of lubricants in the world is about 40 million tons, of which more than 60% ends up in uncontrolled environment. Lubricants are usually of mineral origin; toxic and not readily biodegradable. In this paper we are able to save non-renewable natural resources and reducing harmful impact on the environment by introducing vegetable oil as an adequate replacement for mineral lubricants. In addition, environmentally friendly lubricants based on vegetable oils must meet the requirements of the rheological characteristics and performance requirements as defined by the specifications and standards of the*

<sup>1</sup> Dr Mile Stojilković, Novi Sad, NIS Gaspromnjeft Srbija, mile.stojilkovic@nis.eu

*manufacturer's technical systems. In this paper we will show tested tribological properties of vegetable oils.*

*Key words: Vegetable oils, Biodegradable lubricants, Tribological properties*

## 1. UVOD

Saglasno svim dosadašnjim rezultatima istraživanja, sva maziva, a naročito otpadna, uništavaju mikrofloru zemljišta i čine ga neplodnim za duže vreme, jer se biološki teško i sporo razgrađuju. Čak i u vrlo malim koncentracijama vodu čine neupotrebljivom za piće, zbog mirisa i ukusa te zbog opasnosti za zdravlje. Produkti sagorevanja predstavljaju opasne zagađivače atmosfere.

Sve glasniji i opravdaniji ekološki zahtevi za očuvanje životne okoline uslovljavajuće uvođenje sve strožih zahteva, propisa i uredbi. Dva osnovna aspekta: ušteda i očuvanje neobnovljivih resursa kao i smanjenje štetnog uticaja maziva na životnu okolinu su osnovni zadaci. Svi navedeni problemi povećali su pažnju javnosti i ekološku svest za razvojem ekološki prihvatljivih maziva. Ekološki prihvatljiva maziva su ona, koja u kontaktu sa okolinom prouzrokuju minimum štetnog delovanja. Uslovi ekološke prihvatljivosti su biološka razgradljivost i netoksičnost maziva. Najvažnija sirovina za formulaciju ekološki prihvatljivih maziva su biljna ulja koja, pored biorazgradivosti i netoksičnosti, predstavljaju obnovljivi resurs.

Biljna ulja imaju veliku prednost pred mineralnim jer su neotrovna, biorazgradiva, manje zagađuju okolinu, jeftinija su od sintetičkih, a posebno su interesantna jer se dobijaju iz obnovljivih sirovina. Biljna ulja imaju sledeće prednosti pred mineralnim uljima: manju potrošnju zbog manjeg gubitka isparavanjem, bolja maziva svojstva, viši indeks viskoznosti, veću otpornost na zapaljivost zbog više temperatura paljenja, bolju rastvorljivost za aditive i produkte oksidacije.

Međutim, bez obzira na navedene prednosti, biljna ulja se još uvek malo koriste kao zamena za mineralna zbog više cene, ali i zbog variranja u kvalitetu. Nedostaci biljnih ulja u poređenju s mineralnim: biljna ulja su manje termički stabilna, u prisustvu vlage podložna su hidrolizi, pri čemu nastaju korozivne kiseline, imaju znatno višu tačku tečenja, imaju znatno veću sklonost pojavi pene, sklona su začepljenju uljnih filtera, loše utiču na elastomere zaptivki, imaju kraći vek skladištenja i korištenja.

Po sastavu biljna ulja su trigliceridi, sastavljeni od glicerola kao baze i različitih masnih kiselina. Razlike između biljnih ulja uglavnom se ogledaju u drugačijem sastavu masnih kiselina, odnosno razlikuju se po broju ugljenikovih atoma i broj dvostrukih veza u lancu ugljenika.

## 2. EKSPERIMENTALNI DEO

U ovom radu prikazani su rezultati istraživanja triboloških karakteristika biljnog ulja proizvedenog presovanjem uljane repice i specijalnim degumiranjem sirovog ulja, tabela 1. Rezultati će biti upoređivani sa odgovarajućim mineralnim uljem.

Kao što se može videti iz tabele 1, biljna ulja imaju visok indeks viskoznosti, dobra maziva svojstva, visoku tačku paljenja i odličnu biorazgradljivost ali lošu tačku tečenja i veoma lošu otpornost na oksidaciju.

Oksidaciona stabilnost i tačka tečenja biljnih ulja se mogu poboljšati dodavanjem odgovarajućih funkcionalnih aditiva antioksidanta i depresanta stiništa. Ove karakteristike se mogu poboljšati dodavanjem sintetičkih baznih ulja ali cena finalnih ulja se značajno povećava.

Maziva svojstva biljnih ulja su veoma dobra u odnosu na mineralna. Za dalje poboljšanje mazivih svojstava, prema zahtevu specifikacija ili proizvođača tehničkih sistema, koriste se odgovarajući aditivi.

Tabla 1. Karakteristike ispitivanih ulja

Fizičko-hemijske karakteristike	Metode ispitivanja	Biljno ulje iz uljane repice	Mineralno ulje VG 32
Gustina na 15 <sup>0</sup> C, kg/m <sup>3</sup>	ASTM D1298	916	865
Kinemat. viskoznost na 40 <sup>0</sup> C, mm <sup>2</sup> /s	ASTM D 445	34,85	32,50
Kinem. viskoznost na 100 <sup>0</sup> C, mm <sup>2</sup> /s	ASTM D 445	7,9	5,43
Indeks viskoznosti	ASTM 2270	210	95
Tačka paljenja, <sup>0</sup> C	ISO 2592	322	215
Tačka tečenja, <sup>0</sup> C	ISO 3016	-8	-15
Oksidaciona stabilnost, RBOT, min	ASTM 2272	13	60
Habanje, (1h;75 <sup>0</sup> C;40kg i 1200o/min), mm	ASTM D 4172	0,55	0,67
Biorazgradivost, %	CEC L-33-A-93	>90	<50

U ovom istraživanju prikazaće se efekat poboljšanja triboloških karakteristika repičinog ulja dodavanjem odgovarajućih aditiva.

Prilikom izvođenja eksperimenta koji je obuhvatio merenje sile trenja, koeficijenta trenja i parametara habanja korišćena je sledeća laboratorijska i merna oprema, slika 1:

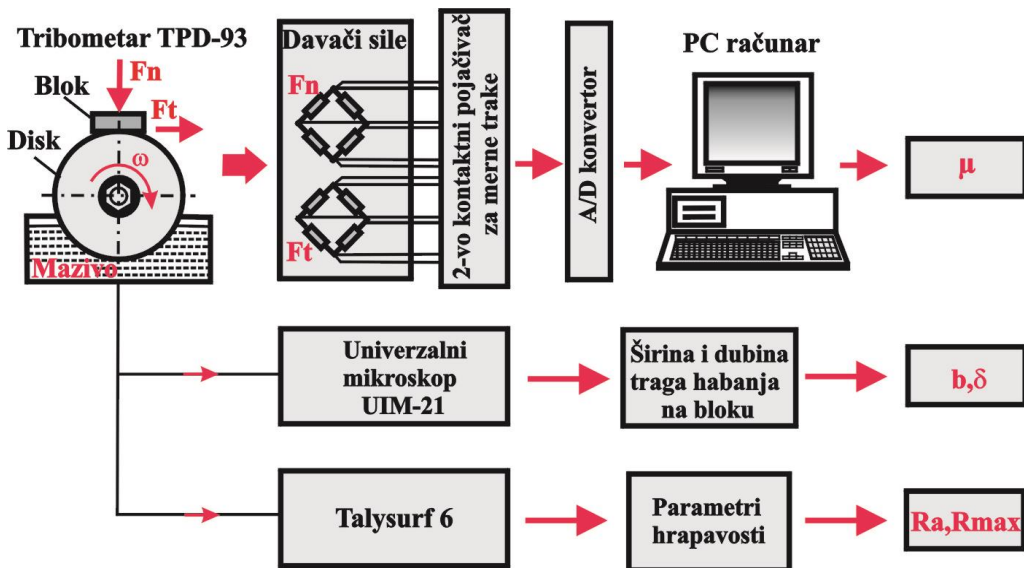
- Tribometar TPD-93,
- A/D konvertor,
- Pojačavač – HBM dvokanalni merni most KWS273.A2,
- PC računar 486 DX133MHz,
- Uređaj za merenje hrapavosti Talysurf (Taylor-Hobson),
- Univerzalni alatni mikroskop UIM-21

Pre ispitivanja određeni su uslovi ispitivanja, odnosno definisani materijali kontaktnih parova, normalno opterećenje, brzinu klizanja, način podmazivanja, geometriju kontakta i vreme ispitivanja. Pre početka ispitivanja mere se parametri topografije diskova i blokova radi provere njihove hrapavosti.

Tribološkim ispitivanjima tipa „block on disk“ podvrgnuta su tri uzorka ulja. Podmazivanje je vršeno prolaskom donjeg dela diska kroz rezervoar sa uljem za podmazivanje, tako da je disk zahvatao određenu količinu ulja i vršio granično podmazivanje kontakta. Između površine bloka i obimne površine diska ostvarivan je linijski kontakt. Specijalna konstrukcija nosača bloka obezbeđuje u svakom trenutku potpuno naleganje bloka celom dužinom kontakta.

- Materijal diska i bloka: 16MnCr5 (Č4320) u sirovom stanju (meko žareno stanje)
- Disk prečnika: 35 mm

- Blok dimenzija 6,3 x 10 x 15 mm
- Brzina klizanja  $v = 0,8 \text{ m/s}$  436 o/min
- Sa opterećenjima 30, 100, 300 N
- Vreme trajanja ispitivanja:  $t = 60 \text{ min}$  (30 N - 15 min; 100 N - 15 min; 300 N - 30 min)



Slika 1. Merni lanac triboloških ispitivanja korišćen pri realizaciji eksperimenta

## 2.1 Aditiv protiv habanja (AW aditivi)

Kao aditiv za zaštitu kontaktnih metalnih površina od habanja koje se dešava u uslovima umerenih temperatura i pritisaka korišćen je aditiv protiv habanja. To su polarni materijali koji formiraju film na površini metala, pri čemu su polarni krajevi usmereni pod pravim uglom u odnosu na metalnu površinu i sa njom čine više ili manje snažni prijanjajući spoj. Ovako nastali film između metalnih površina smanjuje trenje i omogućava metalnim površinama da relativno lako klize jedna po drugoj. Ovi aditivi deluju samo pod blagim uslovima opterećenja, odnosno temperaturnim uslovima. Ispitivanom biljnom ulju dodato je 2% aditiva protiv habanja (amine phosphate compounds), specijalno dizajniran za biljna bazna ulja.

## 2.2 Aditiv za poboljšanje podnošenja ekstremnih pritisaka (EP aditivi)

Pored dobrih osobina mazivosti biljnih ulja, usled ekstremno visokih pritisaka i udarnih opterećenja naročito kod zupčaničkih prenosnika, dolazi do prekidanja sloja ulja. Tada postoji opasnost da se na dodirnim tačkama zupčanika dogodi razorno trenje i habanje i da zbog visoke temperature, koja se razvija u zoni kontakta, dođe do zavarivanja metalnih površina. Da bi se to sprečilo dodaje se aditiv za poboljšanje podnošenja ekstremnih pritisaka. U uslovima udarnih opterećenja i ekstremnih pritisaka ovaj aditiv hemijski reaguje sa metalnom površinom i gradi čvrsto jedinjenje manje smične stabilnosti od metala. To jedinjenje praktično obavlja funkciju čvrstog maziva i tako sprečava razorno trenje i zavarivanje dodirnih površina zupčanika, sve dok se ponovo ne formira sloj ulja, odnosno dok se ne uspostavi granično podmazivanje. Ispitivanom biljnom ulju dodato je 1,8% ovog aditiva.



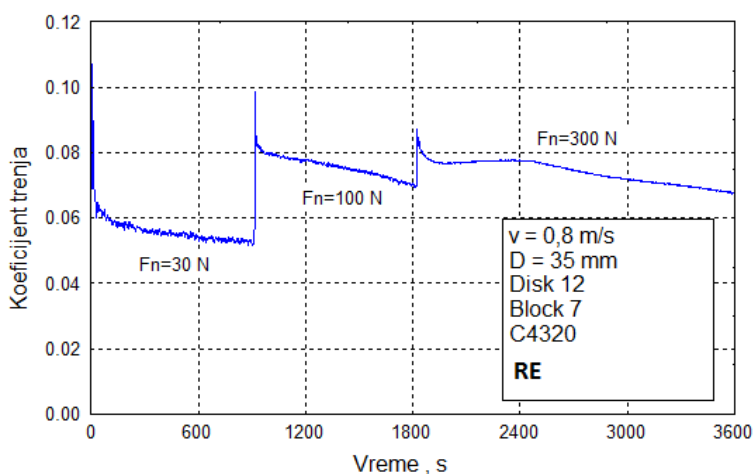
### 3. REZULTATI I ANALIZA TRIBOLOŠKIH KARAKTERISTIKA ULJA

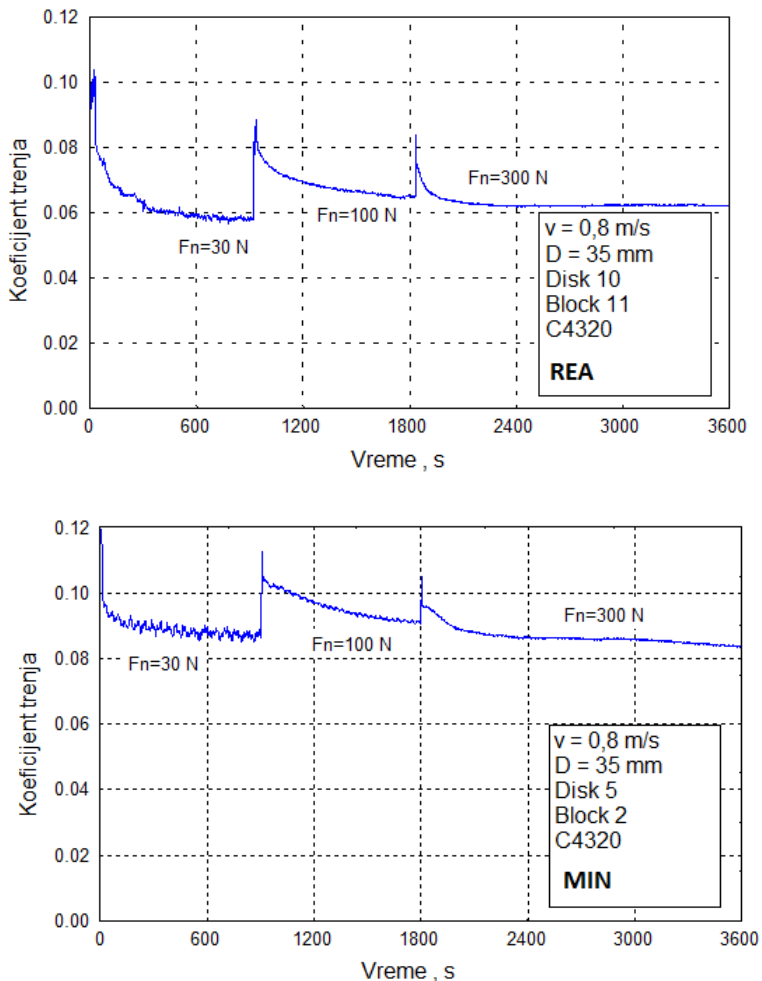
Tribološkim ispitivanjima podvrgnuti su uzorci ulja (ukupno 3 uzoraka). Pri ovim ispitivanjima merene su promene triboloških karakteristika elemenata u kontaktu korišćenog uzorkovanog ulja. Rezultati koji su dobijeni tokom ispitivanja sadrže informacije o koeficijentu trenja, sili trenja, širini i dubini traga habanja, obliku habanja kontaktne površine bloka, promeni koeficijenta trenja i temperature u toku vremena ostvarivanja kontakta, parametre topografije površine bloka i diska pre i posle ispitivanja, trag habanja na bloku i disku i dr.

Na slici 2 prikazani su dijagrami promene koeficijenta trenja uzorkovanih ulja u funkciji vremena ispitivanja i promena opterećenja, a u tabeli 2 date su srednje vrednosti koeficijenta trenja za ispitivana ulja, kao i veličine širine traga habanja.

Tabla 2. Karakteristike ispitivanih ulja

Uzorci ispitivanih ulja	Šifra uzoraka	Koeficijent trenja, $\mu$			Granično podmazivanje
		$F_n=30N$ $t=15$ min	$F_n=100N$ $t=15$ min	$F_n=300N$ $t=30$ min	Širina traga habanja na bloku (mm)
Repičino ulje bez aditiva	RE	0,053	0,071	0,077	1,360
Repičino ulje sa aditivima	REA	0,058	0,065	0,062	1,217
Mineralno ulje sa aditivima	MIN	0,086	0,091	0,086	1,410





Slika 2. Promena koeficijenta trenja ispitivanih uzoraka ulja

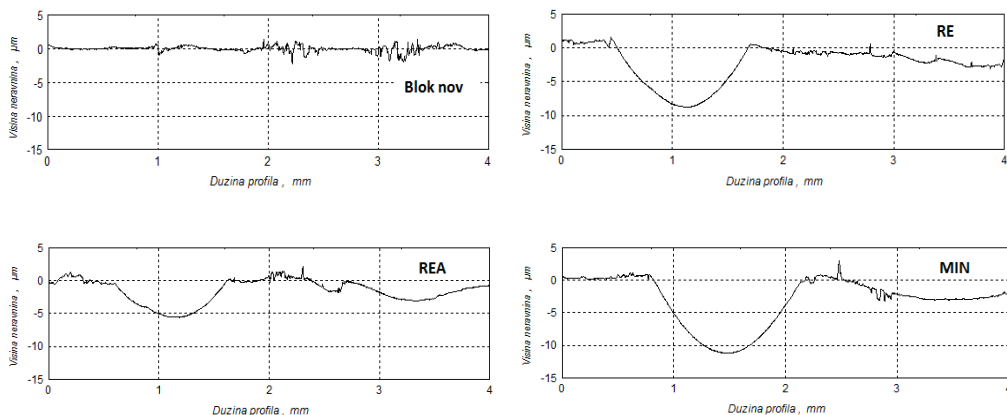
Rezultati merenja svih ispitivanih ulja, slika 2 pokazuju da nakon početnog rasta do maksimalne vrednosti, u svakoj fazi opterećenja, koeficijent trenja postepeno pada, da bi se u kasnijoj fazi ispitivanja njegova veličina stabilizovala i imala skoro konstantnu vrednost. Vremenski period u kome se vrednost koeficijenta trenja intenzivno menja iznosi 0 - 200 sekundi, (zavisno od vrste ulja) i označava se kao faza uhodavanja. Faznu uhodavanja karakteriše značajna promena topografije površina bloka i diska usled prelaska tehnološke u eksploatacionu topografiju i postizanja realne geometrije kontakta, odnosno površine teže da se „uravnoteže“ u pogledu topografije.

Analizom dijagrama može se zapaziti da je koeficijent trenja uzoraka repičinog ulja sa aditivima veoma niska u odnosu na mineralno ulje sa aditivima. Čak i repičino ulje bez aditiva ima koeficijent trenja niži od mineralnog ulja sa aditivima. To dokazuje pretpostavku da biljna ulja, zbog triglicerida u svom sastavu, imaju odlične osobine mazivosti u svim fazama opterećenja. Prirodni estri masnih kiselina biljnih ulja se čak koriste kao aditivi za poboljšanje mazivih svojstava.

Na slici 3 prikazane su topografije površina novog bloka i diska na referentnoj dužini. Evidentni su vrhovi neravnina kod novog bloka i diska, koji se nakon dodira

spregnutih površina, uz prisustvo ulja kao trećeg tribološkog elementa, deformišu i kidaju. Intenzitet opterećenja i vreme trajanja testa su definisani i jednaki su za sve uzorke pri tribološkim ispitivanjima, te dubina i širina traga habanja na bloku zavisi od vrste ulja. Na osnovu topografije površina, prikazanih na slici 3, može se zaključiti da je najmanji trag habanja kod tribološkog ispitivanja sa repičinim uljem sa aditivima (REA), a najveći trag habanja kod mineralnog ulja sa aditivima (MIN).

Tragovi habanja blokova pri tribološkim ispitivanjima mogu se videti i na fotografijama prikazanim na slici 4.



Slika 3. Topografija površine bloka posle ispitivanja uzorka ulja



Slika 4. Tragovi habanja blokova pri tribološkim ispitivanjima

#### 4. ZAKLJUČCI

Rezultati merenja koeficijenta trenja su prikazani grafički na slici 2 pri različitim opterećenjima i vremenima ispitivanja. U prvoj fazi vršeno je merenje koeficijenta trenja pri opterećenju od 30N i vremenu trajanja od 15 minuta, nakon toga opterećenje je povećano na 100N u vremenu od 15 minuta i u poslednjoj fazi opterećenje je povećano na 300N i vreme ispitivanja u ovoj fazi na 30 minuta. Najmanju vrednost koeficijenta trenja ima repičino ulje sa odgovarajućim aditivima (REA), a najviši koeficijent trenja pokazuje mineralno ulje sa aditivima (MIN).

Rezultati merenja na tribometru pokazuju da biljna ulja čak i bez aditiva imaju koeficijent trenja niži od mineralnog ulja sa aditivima. To dokazuje pretpostavku da

biljna ulja, zbog triglicerida u svom sastavu, imaju odlične osobine mazivosti u svim fazama opterećenja.

## LITERATURA

- [1] Bartz, W.J., (2003). Ekotribologija, *XXXVI stručno znanstveni skup Maziva 2003, Rovinj*, Separat No. 347.
- [2] Stojilković, M., (2014). "Istraživanje primene ekoloških ulja u tribološkim sistemima", *doktorska disertacija*, Mašinski fakultet, Istočno Sarajevo, 2013;
- [3] Stojilković, M., Vukolov, D., Kolb. M., (2013). Tribološka ispitivanja biorazgradivih ulja, *stručno znanstveni skup Maziva 2013*, Rovinj
- [4] Stojilković, M. (2011). Primena maziva, *NIS a.d., Beograd* (2011)
- [5] Stojilković, M. (2002). Podmazivanje motornih vozila, *YUNG*, Beograd (2002)
- [6] Stojilković, M., Pavlović, M. (2007). Utjecaj maziva na okoliš, *XXXVIII stručno znanstveni skup Maziva 2007*, Rovinj
- [7] Stojilković, M., Golubović, D., Ješić, D., (2014). Ecotribology aspects in the lubricants application, *IEEE*, Subotica, 2014.
- [8] Golubović, D., Kovač, P. i dr. (2012). Wear intensity of different heat treated nodular cast irons, *Journal of Metallurgy, Vol. 53*, January/March, 2012.
- [9] Sovilj, B., Sovilj-Nikic, I., Golubovic, D., Jesic, D. (2012). The effect of specific relationship between material and coating on tribological and protective features of product, *Journal of Metallurgy, Vol. 53*, January/March, 2012.
- [10] Hewstone R.K., Spiess G.T., Handling, reuse and disposal of used lubricating oils, Institute of Petroleum, Petroleum review, \*ISSN\* 0020-3076, 1988
- [11] Marin AG., Petre I., Bogatu L. (2007). Vegetable oils in engine lubricants formulation, Serbiatrib 07, 10th International Conference on Tribology, 2007.
- [12] Linda McGraw, "Biodegradable Hydraulic Fluid Nears Market", April 19, 2000, USA Agricultural Research Service.



## RECIKLAŽA STARIH AUTO GUMA PROCESOM PIROLIZE

Jovan Sredojević<sup>1</sup>, Maja Krajišnik<sup>2</sup>

*Rezime: Proces pirolize starih auto guma zasniva se na principu da se cijele ili usitnjene gume zagrijavaju u reaktoru postrojenja bez prisustva zraka, odnosno kiseonika, pri čemu dolazi do termičkog razlaganja gumenih komponenti. Produkti pirolize starih auto guma su: pirolizno ulje, pirolizni plin, pirolizni koks – čisti ostatak ugljika (grafit) i metalne žice. Piroliza starih auto guma predstavlja posebni oblik energetske iskorištenja, pošto se ovim procesom dobivaju pretežno produkti (ulje, plin i čisti ostatak ugljika - grafit) koji se koriste kao energenti. Svi produkti razgradnje starih auto guma procesom pirolize spadaju u vrijedne sekundarne i energetske sirovine. Pirolizno ulje i pirolizni plin se koristi za zagrijavanje reaktora postrojenja, metalne žice za proizvodnju čelika, a grafit ima široku primjenu za proizvodnju guma, obuće, punila, pigmenta i dr.. U samom procesu pirolize nema produkcije otpada, dok su emisije u zrak prisutne iz procesa sagorijevanja piroliznog ulja i piroliznog plina za zagrijavanje reaktora postrojenja. Zbrinjavanje starih auto guma procesom pirolize zadovoljava najveći dio ekoloških i ekonomskih kriterijuma. U ovom radu je obrađena tehnologija pirolize starih guma u postrojenju operatora „TSP-EUROGUMA“ d.o.o. Sarajevo*

*Ključne riječi: energija, guma, otpad, okoliš, piroliza*

### WASTE TYRES PYROLYSIS PROCESS

*Abstract. Waste tyres pyrolysis is process of thermal decomposition that occurs in the plant reactor under non oxidative conditions. As reactor feedstock tyres can be used whole or shredded. Products of waste tyres pyrolysis process are: pyrolysis oil, pyrolysis gas, char and metal wires. Waste tyres pyrolysis is a special form of energetic waste utilization, because its outputs are mainly used as energy-generating products. All pyrolysis products are valuable secondary raw materials. Pyrolysis oil and gas are used for plant reactor heating, metal wires are used for steel production and char is widely used for tyres manufacturing, pigments etc. Tyres pyrolysis process does not generate waste. Air emissions occur from burning pyrolysis oil and gas for plant reactor heating. Waste tyres pyrolysis process satisfy most of the ecological and economical criteria. In this paper is described waste tyres pyrolysis process at plant „TSP-EUROGUMA“ Sarajevo.*

*Key words: energy, environment, pyrolysis, tyres, waste.*

<sup>1</sup> Prof. dr Jovan Sredojević, Mašinski fakultet Univerziteta u Zenici, jsredojevic@mf.unze.ba

<sup>2</sup> Asistent Maja Krajišnik, Mašinski fakultet Univerziteta u Zenici

## 1. UVOD

U stare gume spadaju gume putničkih automobila, teretnih kamiona i autobusa, aviona, motocikla, bicikla i drugih transportnih i prevoznih sredstava koje koriste pneumo gume na uređajima za kretanje. Zbrinjavanje starih auto guma, koje više nisu u eksploataciji, u Bosni i Hercegovini nije značajnije rješavan. Iz tog razloga nastavlja se neprekidno gomilanje, pošto je do sada korištenje ovih guma bilo neznatno. Stare auto gume spadaju u posebne otpade, kako po gabaritima tako i po energetske osobinama. Ove gume sadrže polimere koji se praktično ne razgrađuju u realnom vremenu. Iz ovog razloga reciklaža procesom pirolize i iskorištavanje produkata iz ovog procesa ima veoma važan ekološki i ekonomski značaj.

Zbrinjavanje starih auto guma u zemljama zapadne Evrope prema podacima ETRMA u 2010. godini je izgledalo[1]:

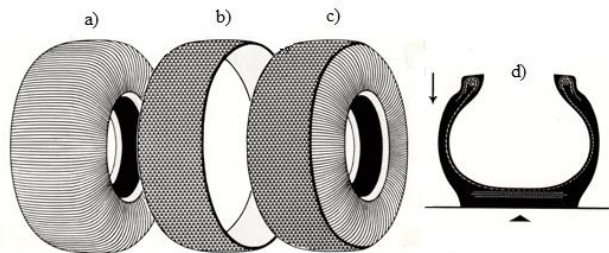
▪ Izvoz u zemlje jugoistočne i istočne Evrope	10%
▪ Obnavljanje – protektiranje	8 %
▪ Materijalno iskorištavanje	40%
▪ Energetsko iskorištavanje	38 %
▪ Deponovanje i sl.	4 %

Nema pouzdanih podataka o sistemu zbrinjavanja starih auto guma u Bosni i Hercegovini, ali smo svakodnevni svjedoci da se ove gume nalaze na mjestima gdje im nije mjesto: na obalama rijeka i potoka, u šumama, pored puteve i sl. Prema procjenama, godišnja produkcija starih auto guma od putničkih automobila, te transportnih i radnih sredstava u Bosni i Hercegovini iznosi oko 20.000 tona.

Jedna od često korištenih sistema zbrinjavanja starih auto guma kako u Evropi, tako i u svijetu je njihova reciklaža procesom pirolize. U posljednje vrijeme i u Bosni i Hercegovini je u fazi izgradnje i probnog rada nekoliko postrojenja za pirolizu starih auto guma. Jedno od tih postrojenja je u Sarajevu – operater „TSP-EUROGUMA“. U ovom radu se i daju neki parametri ovog postrojenja.

## 2. OSNOVNI SASTAV I PARAMETRI AUTO GUMA

Auto gume sastoje se iz mješavine određenih vrsta gume, čelične žice (metalni kord), tekstilnih vlakana i drugih mineralnih materijala. Najširu primjenu na svim vrstama vozila imaju radijalne gume (Slika 1). Radijalni karakas se sastoji od čeličnih žica koje su položene radijalno od ruba do ruba gume. Preko radijalnog karakasa po širini gazeće površine postavlja se više pojaseva sa čeličnim žicama koji opasuju gumu obrazujući na taj način voznu površinu. Zadatak višeslojnih pojaseva je da stabilizira voznu površinu gume. Osnovna karakteristika guma koje se koriste na teretnim kamionima i autobusima je veći sadržaj prirodnog kaučuka, dok gume za putničke automobile sadrže više sintetičkog stirol-butadin kaučuka (tabela1) [2].



Slika 1. Osnovni konstruktivni dijelovi radijalnih auto guma: a) radijalni karakas, b) pojas, c) vozna površina, d) poprečni presjek

Tabela 1. Prosječni sastav komponenti guma za putničke automobile i teretne kamione

Komponenta	Jed. mjere	Putnički automobili	Teretni kamioni i autobusi
Prirodni kaučuk	%	21	31
Sintetički kaučuk		24	14
Čađ, SiO <sub>2</sub>		28	21
Čelična žica		12	24
Tekstil		4	1
Ostali materijali		11	9

Hemijski sastav i mase ugrađenih materijala u auto gume različit je od proizvođača do proizvođača. Mješavine ovih materijala je poslovna tajna svakog proizvođača auto guma. Auto gume za putničke automobile i teretne kamione se razlikuju kako po ugrađenim materijalima, tako i po hemijskom sastavu zbog različitog opterećenja i oblasti korištenja. Iz ovog razloga nije moguće dati tačan hemijski sastav ovih guma. U Tabeli 2 dat je prosječni sastav, u Tabeli 3 prosječni hemijski sastav materijala ugrađenih u gume putničkih automobila, a u Tabeli 4 prosječni broj guma i masa jedne gume na pojedinim vrstama motornih vozila.

Tabela 2. Prosječni sastav materijala ugrađenih u gume putničkih automobila [3]

Materijal	Jed. mjere	Vrijednost
Polimeri ugljika (prirodni i/ili vještački kaučuk)	mas. %	47
Čađ*		21,5
Čelik		16,5
Tkanina		5,5
Cinkoksid		1,0
Sumpor		1,0
Ostalo		7,5
Ukupno:		100

Tabela 3. Prosječni hemijski sastav materijala ugrađenih u gume putničkih automobila [4]

Materijal	Jed. mjere	Vrijednost
Ugljik	mas. %	ca. 70
Željezo		16
Vodonik		7
Kiseonik		4
Cinkoksid		1
Sumpor		1
Azot		0,5
Soli		0,3
Halogeni		0,1
Bakarna jedinjenja		200
Kadmijum		10
Hrom	mg/kg	90
Nikl		80
Olovo		50

Tabela 4. Prosječan broj i masa jedne gume na motornim vozilima [5]

Vrsta motornog vozila	Srednja masa gume, kg	Prosječni broj guma
Motocikl	2	2
Putnički automobil	6,5	4
Kombi	9	4
Omnibus	32	5,3
Teški kamioni i cisterne	38	5,6
Jednoosovinske prikolice	12	2
Višeosovinske prikolice	35	4,5
Traktori	30	4,5

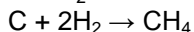
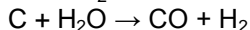
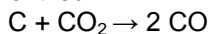
### 3. OSNOVNI PRINCIP I OSOBINE PRODUKATA PIROLIZE STARIH AUTO GUMA U POSTROJENJU OPERATERA „TSP-EUROGUMA“

#### 3.1 Osnovni principi procesa i produkti pirolize starih auto guma

Piroliza (pyr-vatra, lyein-razgradnja) ili isplinjavanje predstavlja termičko razlaganje organskih komponenti bez prisustva sredstava za isplinjavanje (kisika, zraka, ugljendioksida i sl.), pri čemu dolazi do cijepanja makromolekula i dobivaju se čisti oblici ugljika. Prilikom zagrijavanja organske komponente postaju nestabilne i razlažu se u jednostavne produkte.

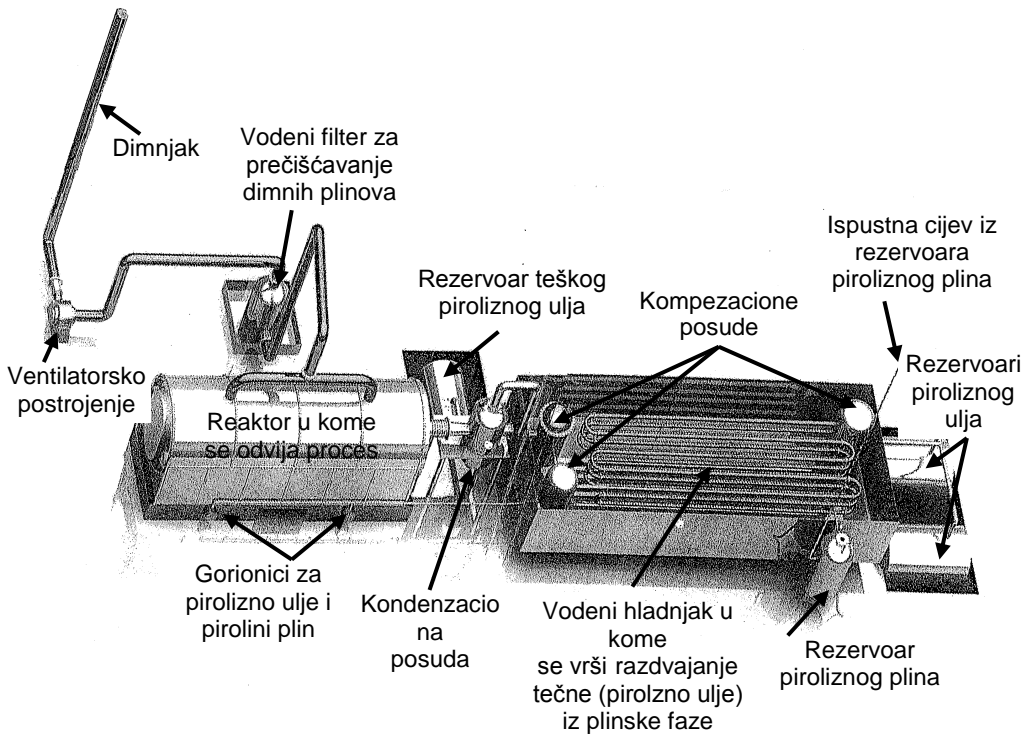
Zagrijevanjem organskih komponenti do 550 °C odvija se proces niskotemperaturne pirolize, a od 550 do 800 °C srednjetemperaturni proces, dok se na temperaturi od 800 do 1.100 °C odvija viskotemperaturni proces pirolize. U procesu pirolize organske komponente u temperaturnoj zoni od 300 do 350 °C prelaze u C<sub>25</sub> do C<sub>40</sub> alifate (lanci dugih molekula sa 25 do 40 atoma ugljika), sa daljim povećanjem temperature dolazi do daljnjeg prelaza u C<sub>2</sub> do C<sub>6</sub> olefine, koji kod većih koncentracija i temperatura prelaze u aroamate.

Osnovne hemijske reakcije koje se odvijaju u procesu pirolize organskih komponenti su:



Proces pirolize starih auto guma u postrojenju operatera „TSP-EUROGUMA“ d.o.o. Sarajevo odvija se u zoni niskotemperaturne zone do maksimalno 450 °C. Na Slici 2 date su osnovne komponente, a na Slici 3 tehnološka šema procesa pirolize u ovom postrojenju [6].





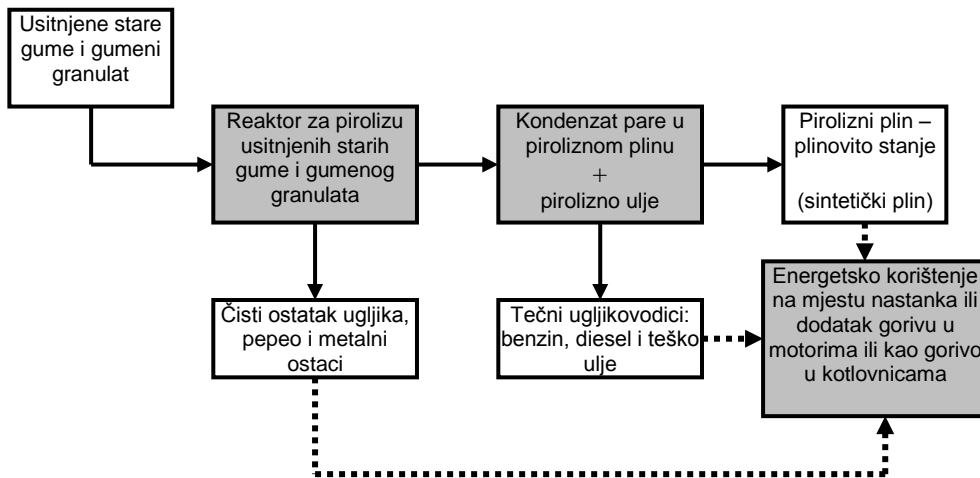
Slika 2. Osnovne komponente postrojenja operatera „TSP-EUROGUMA“ d.o.o. Sarajevo

Zagrijavanje reaktora zapremine  $V = 8 \text{ m}^3$  u kome se odvija proces pirolize u ovom postrojenju vrši se sagorijevanjem piroliznog plina i piroliznog ulja iz procesa pirolize. Produkti i prosječni maseni udio pirolitičke razgradnje starih auto guma dati su u Tabeli 5 [7].

Tabela 5. Produkti i prosječni maseni sadržaj pirolitičke razgradnje starih auto guma

Produkti pirolitičke razgradnje	Mas. %
Pirolizni čađ – čvrsti ostatak ugljika	38
Pirolizno ulje (lako i teško isparljivo)	30
Pirolizni plin	15 (sa ca. 40 % $\text{CH}_4$ )
Metalni kord	17

Proces pirolize starih auto guma u postrojenju operatera „TSP-EUROGUMA“ traje 10 – 12 sati. Nakon hlađenja iz reaktora se odstranjuje čvrsti ostatak ugljika (grafit) i metalni ostatak (metalni kord), a zatim punjenje reaktora sa usitnjenim gumama. Ukupni ciklus procesa pirolize (zagrijavanje i pražnjenje reaktora, te punjenje reaktora sa usitnjenim gumama u prosjeku traje oko 24 sata. Na bazi ovih parametara i zapremine reaktora od  $V = 8 \text{ m}^3$  godišnji kapacitet pirolize starih auto guma u postrojenju operatera „TSP-EUROGUMA“ Sarajevo iznosi oko 2.000 tona.



Slika 3. Tehnološka šema procesa pirolize starih auto guma u postrojenju operatera „TSP-EUROGUMA“ d.o.o. Sarajevo

### 3.2 Osnovne osobine produkata pirolize starih auto guma

Osnovne osobine i oblast primjene pirolizne čađi – čvrstog ostatka ugljika, piroliznog ulja i piroliznog plina date su u Tabelama 6, 7 i 8. Pirolizno ulje (sintetičko diesel gorivo) po osobinama je slično diesel gorivu, a pirolizni plin zemnom plinu .

Tabela 6. Osnovne osobine pirolizne čađi – čvrstog ostatka ugljika [7]

Parametar	Jed. mjere	Opis i vrijednost
Osnovne karakteristike:		
Gustina	kg/m <sup>3</sup>	346 – 430
Donja toplotna moć	kJ/kg	29.000 do 34.100
Vlažnost	%	0,6
Ukupni sadržaj sumpora	%	1,81 – 2,31
Sadržaj pepela	%	< 12
pH vrijednost vodenog ekstrakta	-	10,25
Gubitak kod 105 °C	%	0,44
Zapremina sorpcije benzola	cm <sup>3</sup> /g	0,16
Specifična vanjska površina	m <sup>2</sup> /g	85,1
Specifična adsorpcija gornje površine	m <sup>2</sup> /g	51,77
Adsorpcioni aktivitet za plavi metilen	mg/1g	55,7
Spoljni izgled:	Osnovna masa su komadići veličine 2 – 20 mm, krajevi se lome, boja crna sa sivkastim nijansama, struktura porozna	

Oblast primjene:
- proizvodnja filtera (npr. aktivni ugalj),
- proizvodnja gumarsko-tehničkih proizvoda,
- industrija obuće,
- proizvodnji pigmentnih boja,
- proizvodnju tonera za štampače i kopir aparate,
- čvrstog goriva (briketa),
- sorbenta

Tabela 7. Osnovne osobine piroliznog ulja [7]

Parametar	Jed. mjere	Opis i vrijednost	
		Diesel gorivo (ljetno), 100%	Sintetičko diesel gorivo iz guma, 100%
Osnovne karakteristike:			
Gustina	kg/m <sup>3</sup>	830	825
Donja toplotna moć	kJ/kg	42.500	44.800
Specifična potrošnja goriva	kg/kWh	0,24	0,227
Tok isparavanja:			
- početak isparavanja	°C	-	30 – 70
- kraj isparavanja			200 – 250
Kinetički viskozitet (pri 55 °C) (pri 20 °C)	cSt	- -	6,97 20
Rastvaranje u vodi	%	-	do 20
Oblast primjene:			
- dodatak Diesel gorivu			
- lož ulje za kotlovnice, zamjena za mazut			
- moguća dalja obrada za dobivanje različitih naftnih proizvoda (npr. benzin, diesel gorivo, ulje, smole)			
Spoljni izgled:			
- tamna ulja tečnost sa karakterističnim mirisom nafte			
- boja crna sa blagom smeđom nijansom			

U postrojenju za pirolizu starih auto guma operatera „TSP-EUROGUMA“ na izlazu iz reaktora u kondenzacionoj posudi dolazi do izdvajanja teško isparljivog piroliznog ulja, koje je po osobinama slično mazutu (tabela 8). Iz ovog ulja daljom obradom može se dobiti naftalin u iznosu do 25 %.

Tabela 8. Sastav i osobine teško isparljivih piroliznih komponenti [8]

Komponenta	Jed. mjere	Vrijednost
Benzol, toluol, xsilol aromati	mas. %	5
Naftalin + metilnaftalin	mas. %	20 - 30
Plinoviti hromati	mas. %	70
Ostaci ekstrakcije	mas. %	6 - 10
Gustina	kg/m <sup>3</sup>	1.000 – 2.000
Pepeo	mas. %	10
Organski hlor	mg/kg	5
Sadržaj anorganskog hlora	mg/l	1.000 – 2.000

Nakon prolaska mješavine isparljivih komponenti iz procesa pirolize kroz vodeni hladnjak ovog postrojenja dolazi do razdvajanja lako isparljivog piroliznog ulja i piroliznog plina.

Glavna komponenta lako isparljivih frakcija piroliznog ulja je benzol sa sadržajem od 30 do 50 %. Pored benzola ovo ulje sadrži toluol i xsilol. Pirolizno ulje se koristiti kao pogonsko gorivo, a pirolizni benzin za poboljšanje oktanskog broja goriva.

Osnovne osobine piroliznog plina iz procesa pirolize starih auto guma, koji se koristi za zagrijavanje reaktora postrojenja za pirolizu date su u Tabeli 9 [5]. Pirolizni plin predstavlja plinovito stanje u zasićenoj pari tečnih ugljikovodika, a sastoji se iz metana, etana, etilena, propana i ima kvalitet zemnog plina. Hemijski sastav produkata pirolize starih auto guma dat je u Tabeli 10.

Tabela 9. Sastav i osnovne osobine piroliznog plina [7]

Parametar	Jed. mjere	Opis i vrijednost
Osnovne karakteristike		
Gustina	kg/m <sup>3</sup>	0,8
Donja toplotna moć	kJ/kg	8.250
Sadržaj plinskih komponenti:		
N <sub>2</sub>	%	32 – 40
H <sub>2</sub>		18 – 25
CO		15 – 18
CO <sub>2</sub>		10 – 18
CH <sub>4</sub>		4 -7
C <sub>2</sub> – C <sub>4</sub>		2,5 – 5,0
Vlage		20
Oblast primjene:		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- oko 50 % se koristiti za zagrijavanje reaktora postrojenja za pirolizu, dok se ostali dio izbacuje u atmosferu (spaljivanjem na baklji ili prolaskom kroz filter aktivnog uglja) ili se skladišti</li> </ul>		
Spoljni izgled:		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- bezbojan sa blagom nijansom bijele boje, sa mirisom gareži, ima sposobnost da gori u zagrijanom prostoru pri temperaturi višoj od 90 °C</li> </ul>		

Tabela 10. Hemijski sastav produkata pirolize starih auto guma [4]

Parametar	Jed, mjere	Pirolizni čađ	Pirolizno ulje	Pirolizni plin
Ugljik, C	%	91,5	86,6	85,76
Vodik, H		2,0	10,3	14,24
Azot, N		0,4	0,6	u tragovima
Kiseonik, O		0,2	0,8	u tragovima
Sumpor, S		2,1	1,2	u tragovima
Hlor, Cl		0,11	-	-
Hloridi	mg/m <sup>3</sup>	-	-	0,3
HF		-	-	< 0,06
SO <sub>2</sub>		-	-	< 1,35
Vlaga	%	do 24	do 0,6	do 20

U reaktoru postrojenja za pirolizu starih auto gume metalni kord se spoji u jedinstvenu cjelinu. Ovako formirani oblik metalni kord se jednostavno odstranjuje iz reaktora i direktno se koristi bez dalje obrade u metalurgiji, odnosno u elektrolučnoj peći za proizvodnju željeza i čelika.+

#### 4. PRODUKCIJA OTPADA I EMISIJA IZ PROCESA PIROLIZE

U procesu pirolize starih auto guma nema produkcije otpada. Manje količine otpada koji je po sastavu i osobinama sličan komunalnom produkuju se u procesu pripreme starih auto guma (skladištenje, usitnjavanje i punjenje reaktora) za pirolizu.

U procesu sagorijevanja piroliznog ulja (sintetičko diesel gorivo) za zagrijavanje reaktora postrojenja dolazi do emisije u zrak. Prečišćavanje plinova sagorijevanja piroliznog ulja i piroliznog plina u postrojenju operatera „TSP-EUROGUMA“ vrši se u vodenom filteru. Emisije iz procesa sagorijevanja piroliznog plina u atmosferu, kao i diesel goriva date su u Tabeli 11 [8].

Tabela 11. *Emisije iz procesa sagorijevanja diesel goriva i piroliznog ulja (sintetičko diesel gorivo)*

Parametar	Jed. mjere	Opis i vrijednost	
		Diesel gorivo, 100%	Sintetičko diesel gorivo iz guma, 100%
CO <sub>2</sub>	kg/kWh	0,2949	0,2960
H <sub>2</sub> O		0,0960	0,0980
N <sub>2</sub>		1.1140	1,1100
O <sub>2</sub>		0,0564	0,0600
Čađ	g/kWh	0,4110	0,3060
CO	g/kWh	0,1900	0,1500

#### 5. ZAKLJUČAK

Jedan od sistema zbrinjavanja starih auto guma na okolinsko prihvatljiv način je reciklaža procesom pirolize. Reciklažom starih auto guma procesom pirolize dobivaju se sekundarne i energetske sirovine bez produkcije otpada, kao i neznatnom emisijom plinova sagorijevanja. Pogodne lokacije za instaliranje postrojenja pirolize starih auto guma u uslovima Bosne i Hercegovine su reciklažna dvorišta na Regionalnim deponijama otpada i postrojenja većih kapaciteta za protektiranje ovih guma. Prema prognoznoj produkciji starih auto guma na ovim lokacijama realno je očekivati instaliranje do 10 postrojenja za pirolizu starih auto guma zapremine reaktora od 5 – 8 m<sup>3</sup>. Dio dobivenih energenata (pirolizno ulje i pirolizni plin) se direktno koristiti za zagrijavanje reaktora, dok se ostatak energenata može koristiti za proizvodnju energije za tehnološke potrebe na samoj lokaciji. Metalni kord i čvrsti ostatak ugljika (grafit) ima sigurno tržište. Prema tome, reciklažom starih auto guma procesom pirolize u uslovima Bosne i Hercegovine zadovoljeni su svi ekonomski i ekološki kriterijumi.

## LITERATURA

- [1] Kurt Reschner: Recycling von Altreifen und anderen Elastomeren, 2012., [www.entire-engineering.de](http://www.entire-engineering.de), pristupljeno 05.10.2014.
- [2] Verkens-Club der Schwiz: Altreifenentsorgung, Kreuzlingen März 2003.
- [3] [www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/suchen/index.html](http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/suchen/index.html), pristupljeno 10.10.2014.
- [4] Bericht zur Altreifersituation in der Steiermark, Stand: jul 2004.
- [5] Altauto-Verordnung vom 27. Januar 1994.
- [6] Sredojević J.: Zahtjev za izdavanje okolinske dozvole za postrojenje pirolize starih auto guma operatera „TSP-EUROGUMA“ d.o.o. Sarajevo, Sarajevo 2014.
- [7] [www.potram.ru/DE/index.php?page=119](http://www.potram.ru/DE/index.php?page=119), pristupljeno 17.10.2014.
- [8] Sredojević J.: Reciklaža otpada; Mašinski fakultet Univerziteta u Zenici, Zenica 2006.
- [9] Tavzaz R.: Okoljsko poročilo – Skrajšani del, Sippo d.o.o. decembar, 2011.



## EMISIJE U ATMOSFERU PRI PROCESU PRERADE NAFTE I NAFTNIH DERIVATA

Stojan Simić<sup>1</sup>, Novica Stijačić<sup>2</sup>, Dušan Golubović<sup>3</sup>, Sanja Stijačić<sup>4</sup>,  
Davor Milić<sup>5</sup>

*Rezime: Proizvodna postrojenja u rafinerijama produkuju znatnu količinu polutanata koji se emituju u atmosferu. Da bi se smanjila emisija polutanata iz postrojenja za preradu nafte i naftnih derivata primjenjuju se savremena tehnička rješenja. Primjenom savremenih tehničkih rješenja istovremeno se postižu energetske i ekološke efekte procesa proizvodnje u rafinerijama.*

*U radu se prezentovana iskustva i postignuti rezultati vezano za smanjenje emisija u atmosferu zagađujućih komponenata koje produkuju rafinerije u industrijski razvijenim zemljama. Takođe, navedene su neke od sprovedenih mjera i aktivnosti u rafinerijama u Bosni i Hercegovini na smanjenju emisije u atmosferu.*

*Ključne riječi: emisije, izvori, rafinerije, smanjenje zagađenja.*

### ENVIRONMENTAL EMISSIONS AS A RESULT OF OIL REFINING

*Abstract: Refinery production facilities generate high amounts of pollutants that are being emitted in environment. Modern technical solutions are implemented to reduce emissions from oil refineries. Implementing such solutions bring energy efficient and eco-friendly effects on refinery production.*

*This paper presents experiences and results related to reduction of pollutant emissions in developed countries. Further, it reads some measures and activities to reduce pollution implemented in Bosnia and Herzegovina refineries.*

*Keywords: emissions, sources, refineries, pollution reduction.*

### 1. UVOD

Naftna industrija je jedna od vodećih strateških grana industrije u nacionalnim ekonomijama svake države čije aktivnosti direktno utiču na kvalitet životne sredine.

<sup>1</sup>Dr Stojan Simić, Modriča, Rafinerija ulja a.d. Modriča, stojans@modricaoil.com

<sup>2</sup>Mr Novica Stijačić, I. Sarajevo, FAMOS a.d. Istočno Sarajevo, novica.stijacic@gmail.com

<sup>3</sup>Dr Dušan Golubović, I. Sarajevo, Mašinski fakultet Istočno Sarajevo, dusan.golubovic54@gmail.com

<sup>4</sup>Mr Sanja Stijačić, I. Sarajevo, 83sanja@gmail.com

<sup>5</sup>Mr Davor Milić, I. Sarajevo, Mašinski fakultet Istočno Sarajevo, mdavor82@gmail.com

Iako naftne kompanije u svoje poslovanje imaju inkorporirane složene sisteme zaštite životne sredine, smanjenje zagađenja u naftnoj industriji, predstavlja jedno od najkritičnijih pitanja menadžmenta zaštite životne sredine. Gasovi, isparljiva organska jedinjenja i čvrste čestice su zagađujuće komponente koje nastaju u toku tehnoloških procesa iz postrojenja za preradu kao i iz pomoćnih postrojenja. Iz tog razloga preduzimaju se brojne aktivnosti kako bi se smanjio intezitet emisija iz procesa prerade nafte i naftnih derivata.

Danas se u atmosferu emituju milioni tona različitih čestica, gasova i para, koji snižavaju kvalitet vazduha. U radu je prikazano koje su najčešće zagađujuće komponente koje produkuju u atmosferu tehnološki procesi i postrojenja u rafinerijama. Takođe, prikazano je trenutno stanje u ovoj oblasti u privredno razvijenim zemljama i BiH.

## **2. EMISIJE IZ RAFINERIJSKIH PROCESA I POSTROJENJA**

Od ukupne emisije gasova u atmosferu iz rafinerija, jedan dio se oslobodi pri procesu prerade sirove nafte, dok ostali dio gasova nastaje tokom proizvodnje toplotne energije, tehnološke pare i iz pomoćnih procesa i postrojenja. U tabeli 2.1. prikazan je pregled emisija iz rafinerija sa njihovim glavnim izvorima.

Proizvodna postrojenja u rafinerijama produkuju znatnu količinu polutanata u atmosferu. U privredno razvijenim zemljama primjenjuju se savremena tehnološka rješenja u cilju smanjenja emisije polutanata u atmosferu iz postrojenja za preradu nafte i naftnih derivata.

Prilikom projektovanja i izgradnje novih rafinerija ili proizvodnih postrojenja u sklopu postojećih rafinerija moraju se primjeniti savremena tehnička rješenja. U postojećim rafinerijama nizom mjera se može smanjiti emisija otpadnih gasova u atmosferu:

- smanjenjem potrošnje goriva za proizvodnju toplote smanjuje se količina gasova koji se emituju u atmosferu, a samim time i emisija polutanata;
- redovnim održavanjem i investiranjem u sistem za obradu otpadnih gasova iz procesnih i energetske postrojenja;
- planskim remontom procesnih i energetske postrojenja;
- redovnom kontrolom i zatvaranjem tačkastih izvora u proizvodnom postrojenju iz kojih ističu otpadni gasovi;
- kontinuiranim praćenjem i kontrolom kvaliteta otpadnih gasova.

Jedna od vodećih rafinerija u svijetu sa aspekta smanjenja emisije polutanata u atmosferu je BP rafinerija Kwinana (British Petroleum Kwinana) u zapadnoj Australiji. U ovoj rafineriji upravljanje kvalitetom vazduha se vrši u skladu sa standardima za upravljanje kvalitetom životne sredine. Od ukupne emisije u atmosferu iz BP rafinerije Kwinana, gasovi se oslobađuju tokom prerade sirove nafte, proizvodnje toplotne energije, tehnološke pare i rada pomoćnih postrojenja [1].

U cilju adekvatnog praćenja kvaliteta vazduha kao i analize uticaja proizvodnih postrojenja na životnu sredinu u BP rafineriji Kwinana izvodi se kontrola kvaliteta vazduha mjerenjem emisije i imisije. Način i učestanost mjerenja jasno su definisani za svaki ispus otpadnih gasova iz ove rafinerije.



Tabela 2.1. Emisije iz rafinerija sa njihovim glavnim izvorima

Zagađujuće materije	Izvor
Ugljen-dioksid	Procesne peći, kotlovi, gasne turbine Regeneratori fluidnog katalitičkog krekinga Gasne baklje Spalionice
Zagađujuće materije	Izvor
Ugljen-monoksid	Procesne peći, kotlovi Regeneratori fluidnog katalitičkog krekinga Pogon za regeneraciju sumpora Gasne baklje Spalionice
Oksidi azota (N <sub>2</sub> O, NO, NO <sub>2</sub> )	Procesne peći, kotlovi, gasne turbine Regeneratori fluidnog katalitičkog krekinga Gasne baklje Spalionice Visoko temperaturene peći
Praškaste materije (uključujući i metale)	Procesne peći i kotlovi posebno kada se lože tečna goriva Regeneratori fluidnog katalitičkog krekinga Postrojenje za proizvodnju naftnog koksa Spalionice
Oksidi sumpora	Procesne peći, kotlovi, gasne turbine Regeneratori fluidnog katalitičkog krekinga Gasne baklje Spalionice Pogon za proizvodnju sumpora Visoko temperaturene peći
Lakoisparljiva organska jedinjenja (VOC)	Skladišta i utovarno/istovarne stanice Jedinice za odvajanje gasa API separator Odbjegle emisije (ventili sigurnosni, prirubnice i sl.) Odušci Gasne baklje

Kvalitet otpadnih gasova emitovanih iz BP rafinerije Kvinana se konstantno poboljšava, što se može vidjeti na primjeru smanjenja emisije ugljen-monoksida, sumpor-dioksida, azotnih oksida, ugljen-dioksida i lakoisparljivih organskih jedinjenja. Sredinom devedesetih godina prošlog vijeka emisija ugljen-monoksida je iznosila od 4000 do 5000 tona/god, a u posljednjih nekoliko godina se kreće od 700 do 800 tona/god. Tokom 1989. i 1992. godine, BP rafinerija Kvinana uvela je dvije jedinice za povrat sumpora sa ciljem da dnevno ukloni 70 tona sumpora iz proizvoda kao što su pogonska goriva. Ovom izmjenom smanjena je emisija sumpor-dioksida za 60%. Tokom 1993. godine uvedeni su uređaji (elektronski sistem) za stalno praćenje emisije u vazduh. Na ovaj način je količina sumpor-dioksida koji se emituje u atmosferu u posljednjih dvadeset godina prepolovljena i sada se kreće oko 2500 tona/god. I pored relativno malih emisija azotnih oksida u rafineriji su preduzete aktivnosti na smanjenju emisija upotrebom prirodnog gasa umjesto mazuta kao dopunskog goriva za procesne peći. U cilju smanjenja emisije azotnih oksida projektovana je nova jedinica kontinualnog katalitičkog reforminga sa gorionicima sa niskom emisijom azotnih

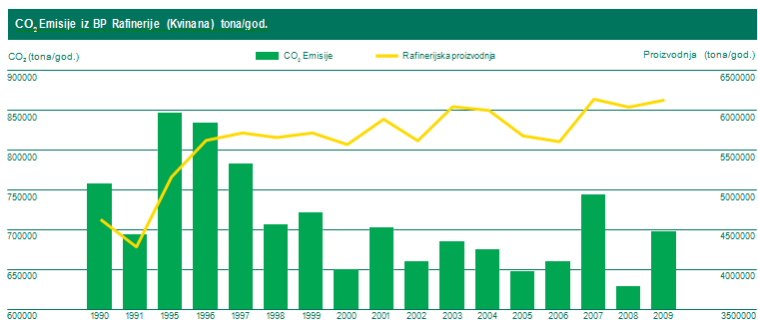
oksida. Na ovaj način je sa 2500 do 3000 tona/god. smanjena emisija azotnih oksida na 500 do 700 tona/god.

U BP rafineriji Kvinana realizovano je više projekata da bi se smanjila emisija ugljen-dioksida iz rafinerijskih postrojenja u atmosferu:

- umjesto dizel goriva kao energent za potrebe proizvodnog procesa u rafineriji se koristi prirodni gas,
- izvršena je zamjena starih sa novim kotlovima,
- izvršena je rekonstrukcija i modernizacija postrojenja katalitički kreking i postrojenja za vakuum destilaciju.

Pored toga, rafinerija je izvršila zasađivanje drveća na jugoistoku Zapadne Australije da bi se dodatno smanjila količina emitovanog ugljen-dioksida, jer drveće "apsorbuje" ugljen-dioksid za potrebe procesa fotosinteze [1].

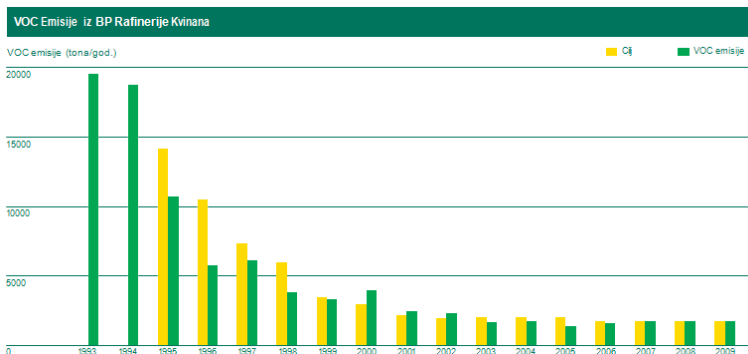
Na slici 1. prikazana je emisija ugljen-dioksida iz BP rafinerije Kvinana u zavisnosti od količine prerađene sirove nafte.



Slika 1. Emisije ugljen-dioksida iz BP rafinerije Kvinana [1]

U BP rafineriji Kvinana postoji oko 50000 prirubničkih spojeva, ventila, zaptivki i ostalih elemenata armature gdje se pri određenim uslovima emituju nestabilni ugljovodonići (lakoisparljiva organska jedinjenja). Svi elementi iz kojih je isticao sadržaj, zamjenjeni su novim, uz upotrebu ekoloških ventila, koji su se na testovima pokazali kao najbolji zaptivači u sprečavanju isticanja nestabilnih organskih jedinjenja. Pored ovoga, na smanjenje količine lakoisparljivih organskih jedinjenja uticalo se tako što su plutajući krovovi na rezervoarima osigurani sa pomoćnim zaptivkama.

Na slici 2. prikazana je emisija lakoisparljivih organskih jedinjenja iz BP rafinerije Kvinana u zavisnosti od količine prerađene sirove nafte.



Slika 2. Emisije lakoisparljivih organskih jedinjenja iz BP rafinerije Kvinana [1]

### 3. PRIKAZ SPROVEDENIH MJERA NA SMANJENJU EMISIJA U ATMOSFERU IZ RAFINERIJA U BOSNI I HERCEGOVINI

Radi dostizanja Evropskih normi u očuvanju životne sredine, rafinerije u BiH u posljednjih nekoliko godina su intezivirale aktivnosti koje za cilj imaju smanjenje negativnog uticaja rafinerijskih procesa na životnu sredinu. Iz tog razloga Rafinerija ulja Modriča i Rafinerija nafte Brod teže da smanje emisije zagađujućih komponenata u vazduh.

U cilju smanjenja emitovanja polutanata u atmosferu u Rafineriji ulja Modriča u posljednjih pet godina realizovane su sljedeće aktivnosti:

- izvršen remont parnih kotlova (zamijenjen cijevni ekran ložišta kotla),
- izvršena zamjena dimnjaka na energani,
- izvršena rekonstrukcija cijevnog ekrana peći na postrojenju vakuum destilacija,
- izvršeno podešavanje i regulacija rada gorionika,
- izvršena zamjena armature gdje je dolazilo do isticanja lakoisprljivih ugljovodonika,
- nabavljen uređaj Testo 350 M/XL koji služi za mjerenje sastava dimnih gasova, i dr.

Pored toga, direktnom smanjenju potrošnje energije, a samim time i goriva doprinijele su sljedeće aktivnosti koje su realizovane u rafineriji:

- izvršena zamjena termoizolacije na cjevovodima kojima se transportuju sirovine, poluprodukti i gotovi proizvodi, kao i na cjevovodima pratećeg grijanja;
- izvršena zamjena izmjenjivača toplote (cijevna zmija) i toplotne izolacije omotača rezervoara za sirovine, poluproizvode i proizvode (završen remont oko 80% ukupnog rezervoarskog prostora rafinerije);
- izvršeno postavljanje toplotne izolacije od stiropora debljine 10 cm i zamjena postojeće spoljašnje stolarije sa PVC stolarijom čiji je minimalni koeficijent toplotne provodljivosti  $k = 1,2 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$  (restoran za ishranu radnika, zgrada gdje je smješten komercijalni sektor i logistika, pomoćne prostorije za boravak radnika u sklopu proizvodnih postrojenja), zamjena krovnog pokrivača na zgradi održavanja i dijelu objekta komercijalnog sektora i logistike;
- u zimskom periodu se vrši plansko održavanje temperature na minimalnoj vrijednosti u prostorijama kada u njima ne borave radnici.

Smanjenjem potrošnje mazuta za potrebe proizvodnog procesa smanjena je količina dimnih gasova, a samim time i polutanata koji se emituju u atmosferu. U tabeli 3.1. prikazana je jedinična potrošnja mazuta po jedinici prerađene bazne uljne sirovine (BUS).

Tabela 3.1. *Potrošnja mazuta po jedinici prerađene bazne uljne sirovine*

Energent	Jedinica	Godina				
		2009.	2010.	2011.	2012.	2013.
Mazut	$T_{mazut}/T_{BUS}$	0,273	0,190	0,146	0,150	0,129

U Rafineriji nafte Brod u skladu sa zahtjevima iz Ekološke dozvole izdate 2011. godine od strane Ministarstva za prostorno uređenje, građevinarstvo i ekologiju sprovode se mjere iz oblasti zaštite životne sredine. U posljednjih nekoliko godina izvršena je rekonstrukcija i modernizacija procesnih i energetskih postrojenja čime je značajno smanjena emisija otpadnih gasova u atmosferu. Pored toga, u značajnoj mjeri je smanjena potrošnja goriva po jedinici prerađene sirove nafte što je direktno doprinijelo smanjenju količine dimnih gasova, odnosno količine polutanata u dimnim

gasovima. U Rafineriji nafte Brod se nalazi od jula mjeseca 2013. godine stacionarna mjerna stanica za praćenje kvaliteta vazduha.

#### **4. ZAKLJUČAK**

Smanjenju emisije zagađujućih komponenata u atmosferu iz rafinerijskih procesa i postrojenja u privredno razvijenim zemljama poklanja se velika pažnja i kontinuirano se sprovode aktivnosti kako bi se njihov uticaj sveo na najmanju moguću mjeru.

Stalna tendencija smanjenja emisije zagađujućih komponenti u rafinerijama u BiH dovela je do investiciono razvojnih projekata radi postizanja evropskih normi, a čiji su rezultati u posljednje vrijeme vidljivi. Nakon izvršene rekonstrukcije i modernizacije proizvodnih postrojenja u rafinerijama u BiH postignuti su značajni rezultati vezano za smanjenje emisije štetnih gasova u atmosferu. S obzirom na sve strožije zakone iz oblasti zaštite životne sredine u narednom periodu je potrebno planirati određena finansijska sredstva da se jedan broj proizvodnih postrojenja u ovim rafinerijama zamijeni sa savremenim postrojenjima koja su projektovana u skladu sa najbolje raspoloživim tehnikama (BAT).

#### **LITERATURA**

- [1] \*\*\* <http://www.mcilvainecompany.com>
- [2] \*\*\* <http://www.bp.com>
- [3] Stijačić, N.: Izvori polutanata i postupci za smanjenje zagađenja u rafinerijama, Magistarski rad, Mašinski fakultet, Istočno Sarajevo, 2013.
- [4] Simić, S.: Izvori zagađujućih komponenata i načini za smanjenje zagađenja u rafinerijama, SMEITS Beograd, Processing 2003., Zrenjanin, 15-18.04., str.152-157.
- [5] Simić, S.: Zaštita životne sredine u rafinerijama u svjetlu pridruživanja zemalja regiona Evropskoj Uniji, Šesta međunarodna naučno-stručna konferencija o zaštiti životne sredine u elektroprivredi, ELECTRA VI, Zlatibor, 06-10.12.2010., str. 192-198.
- [6] Simić, S.: Rafinerije kao zagađivači atmosfere i zaštita životne sredine, Međunarodna naučno-stručna konferencija o sistemu upravljanja zaštitom životne sredine u elektroprivredi i međusobno zavisnim kompanijama, ELECTRA V, Divčibare, 10-14.11.2008., str. 243-246.
- [7] \*\*\* U.S. Refinery Benzene Emissions Increase in 2008: Data Quality Concerns Undermine Confidence in Reported Data, The Environmenta Integrity Project, Washington, D.C. February 4, 2010.
- [8] Simić, S., Mitrović, D., Džudželija, Ž., Vujić, S.: Energetska efikasnost u rafinerijama kao mjera zaštite životne sredine, Zaštita životne sredine između nauke i prakse - stanje i perspektive, Institut zaštite, ekologije i informatike, Banjaluka, 13.12.2013., str. 465-471.



## OSNOVNI ASPEKTI PRIPREME I OBRADJE VODE U RAFINERIJAMA

Stojan Simić<sup>1</sup>, Novica Stijačić<sup>2</sup>, Dušan Golubović<sup>3</sup>,  
Davor Milić<sup>4</sup>, Sanja Stijačić<sup>5</sup>

*Rezime: Za rad proizvodnih i pomoćnih postrojenja u rafinerijama neophodno je obezbijediti potreban kvalitet i dovoljnu količinu vode. Rafinerije predstavljaju kompleksna industrijska postrojenja u kojima se tokom proizvodnog procesa stvaraju relativno velike količine otpadne vode. U toku proizvodnog procesa u rafinerijama nastaju otpadne vode koje se prema porijeklu grupišu na: procesne, rashladne, zauljene, sanitarne, kao i otpadne vode nastale usljed atmosferskih padavina. Kompletan tehnološki ciklus upravljanja vodama u rafinerijama treba da bude sa ekološkog i energetskog aspekta prihvatljiv.*

*Racionalizacijom procesa pripreme i obrade vode direktno se utiče na troškove proizvodnog procesa u rafinerijama. U radu su prezentovani osnovni aspekti pripreme i obrade vode u rafinerijama.*

*Ključne riječi: aspekti, obrada, priprema, rafinerije, voda.*

### BASIC ASPECTS OF PREPARATION AND PROCESSING OF REFINERY WATER

*Abstract: Appropriate quantity and quality of water must be ensured for production and auxiliary refinery facilities. Refineries are complex industrial facilities in which relatively high amounts of waste water are generated during operation. Such waste waters are divided by their origin: operation, cooling, oil, sanitary and rainfall waste-water. Entire technology cycle of water management in refineries ought to be acceptable from environmental and energy aspects.*

*Rationalization of preparation and water processing directly impact costs of refinery production. The paper presents basic aspects of water processing in refineries.*

*Key words: aspects, processing, preparation, refinery, water.*

---

<sup>1</sup> Dr Stojan Simić, Modriča, Rafinerija ulja a.d. Modriča, stojans@modricaoil.com

<sup>2</sup> Mr Novica Stijačić, I. Sarajevo, FAMOS a.d. Istočno Sarajevo, novica.stijacic@gmail.com

<sup>3</sup> Dr Dušan Golubović, I. Sarajevo, Mašinski fakultet Istočno Sarajevo, dusan.golubovic54@gmail.com

<sup>4</sup> Mr Davor Milić, I. Sarajevo, Mašinski fakultet Istočno Sarajevo, mdavor82@gmail.com

<sup>5</sup> Mr Sanja Stijačić, I. Sarajevo, 83sanja@gmail.com

## 1. UVOD

Voda je jedna od najvažnijih supstanci pri procesu transformacije energije u rafinerijskim postrojenjima. Izvori snabdijevanja rafinerijskih kompleksa sirovom vodom mogu biti rijeke, jezera, bunari, gradska vodovodna mreža i dr. Izborom adekvatnog izvora i racionalizacijom tehnološkog postupka pripreme sirove vode za potrebe proizvodnog procesa mogu se postići odgovarajući efekti u vidu smanjenja troškova proizvodnje.

Odgovarajućim tehnološkim rješenjima može se smanjiti potrošnja sirove vode za potrebe procesno-energetskih postrojenja, a ujedno i količina otpadne vode koju treba obraditi i ispustiti u recipijent.

Skoro svi proizvodni pogoni i pomoćna postrojenja u rafinerijama u toku proizvodnog procesa stvaraju određenu količinu otpadnih voda različitog sastava. Ove vode sadrže sljedeće polutante: soli, mulj, glinu, suspendovane i rastvorene čvrste čestice, fenole, amonijak, vodonik-sulfid, sulfide, itd. Količina otpadne vode kao i količina polutanata zavisi od porijekla (čistoće) sirove nafte kao i starosti postrojenja za preradu.

Pripremi vode za potrebe procesno-energetskih postrojenja i obradi otpadnih voda mora se posvetiti posebna pažnja jer se na taj način direktno utiče na specifične, a samim time i na ukupne troškove proizvodnog procesa u rafinerijama.

U radu su prezentovani osnovni zahtjevi pripreme i obrade vode u rafinerijama sa aspekta racionalizacije potrošnje energije.

## 2. UPRAVLJANJE CIKLUSOM VODE U SAVREMENIM RAFINERIJAMA

Za rad parnih kotlova potrebno je obezbijediti napojnu vodu određenih karakteristika za čiju se pripremu troše hemikalije i energija. U rafinerijama se, za potrebe tehnološkog procesa, troši značajna količina rashladne vode koja mora biti pripremljena tako da ne izaziva oštećenja instalacija i opreme. Fizičko-hemijske i biološke karakteristike vode moraju odgovarati definisanim parametrima tehnološkog procesa. Smanjenjem potrošnje vode i troškova pripreme vode za potrebe tehnološkog procesa smanjuju se ukupni troškovi proizvodnje u rafineriji.

U svim tipovima rafinerija (rafinerije za preradu sirove nafte, rafinerije za proizvodnju ulja i dr.) voda se koristi kao:

- izvor pare,
- rashladni medijum koji odvodi toplotu iz kondenzatora,
- rashladni medijum za pumpe i ležajeve, i
- voda za piće.
- Prema stepenu čistoće, vode se u rafinerijama klasifikuju kao:
  - sirova voda (podzemna voda iz bunara ili površinska voda rijeka i jezera),
  - dekarbonizovana voda (omekšana voda iz koje su uklonjena jedinjenja i joni koji čine tvrdoću vode),
  - demineralizovana ili demi voda (dejonizovana voda iz koje su uklonjeni joni),
  - kondenzat (kondenzovana vodena para), i
  - otpadna voda.
- U ciklusu voda – para razlikuju se sljedeći tipovi vode:
  - vodena para,
  - kondenzat,
  - dodatna voda (koju čini demi voda za nadoknadu gubitaka vode u sistemu),
  - napojna voda (koju čine dodatna voda i kondenzat, a služi za napajanje kotlova),

- kotlovska voda (voda u kotlu koja se posredstvom toplote pretvara u paru).

U rafinerijama se nalaze postrojenja za obradu i preradu sirovih voda: hemijska priprema vode (HPV), postrojenje za povrat kondenzata (PPK), hemijsko – biološki tretman rashladne vode, i dr. Cilj hemijske pripreme vode je dobijanje vode propisanog kvaliteta. Zahtijevani kvalitet vode ostvaruje se primjenom različitih fizičko – hemijskih procesa i različitih tehnoloških postupaka. Adekvatan kvalitet vode može se postići primjenom jednog ili više postupaka hemijske obrade vode.

Kod savremenih rafinerija za potrebe proizvodnog procesa, potrošnja sirove vode iznosi od 0,19 do 0,25 m<sup>3</sup>/t prerađene nafte [1]. Jedan od glavnih razloga za smanjenje potrošnje sirove vode je što se umjesto sistema vodenog hlađenja sve više primjenjuje vazdušno hlađenje. U Rafineriji ulja Modriča čija su proizvodna postrojenja izgrađena sedamdesetih i osamdesetih godina prošlog vijeka jedinična potrošnja sirove vode u 2013. godini je iznosila 6,12 m<sup>3</sup>/t prerađene sirovine [3, 4].

U rafinerijama najveću količinu otpadnih voda stvaraju sljedeći procesi [2]:

- destilacija 75 ÷ 95 L/bbl (barel nafte),
- kataličko krekovanje 55 ÷ 60 L/bbl,
- desalinizacija 7,5 ÷ 9,5 L/bbl,
- visbrejking oko 7,5 L/bbl,
- koksovanje oko 4 L/bbl.

Pri procesu katalitičkog reformisanja, izomerizacije, alkilacije i polimerizacije nastaje mala količina otpadne vode. Ostali procesi i podprocesu u rafinerijama nemaju značajniji uticaj na ukupnu količinu procesnih otpadnih voda [2].

U cjelokupnom ciklusu upravljanja vodom u rafineriji pored sirove vode potrebno je obratiti pažnju na upravljanje otpadnom vodom koja u zavisnosti od porijekla može imati i različita svojstva. Rafinerijske otpadne vode sadrže:

- procesne otpadne vode,
- otpadne vode od pranja aparata i uređaja, cjevovoda i pogona,
- otpadne vode nastale djelovanjem atmosferskih padavina na zauljene platoe i površine.

Preradom nafte rafinerije proizvode velike količine otpadnih voda koje nastaju tokom i van procesa. Otpadne vode nastale radom rafinerijskih procesa sadrže zagađujuće komponente organskog i neorganskog porijekla.

U tabeli 1. prikazani su podaci o karakterističnim vrstama rafinerijskih otpadnih voda, mjestu nastajanja i osnovnim zagađujućim komponentama (komponente organskog porijekla).

Tabela 1. Vrste, mjesto nastajanja i sastav karakterističnih rafinerijskih otpadnih voda organskog porijekla

Vrsta vode	Mjesto nastajanja	Zagađujuće komponente
Procesni kondezati	Atmosferska i vakuum destilacija Koksovanje Hidro – odsumporavanje Proizvodnja bitumena Termički, katalitički i hidrokreking	Ugljovodonici i njihovi halogenidi Vodonik – sulfid, merkaptani, fenoli, katalizatori, amonijak, cijanidi, naftenske kiseline, antikorozivna sredstva, i dr.
Voda za kvenčovanje odnosno naglo hlađenje	Direktno hlađenje gasovitih i tečnih proizvoda pri krekovanju	Ugljovodonici, fenoli, deterdženti, neorganska i organska sumporna jedinjenja, oksidi metala, i dr.
Voda za pranje i ispiranje	Desalinizacija nafte Fizički postupci izdvajanja Hemijska rafinacija Rezervoari proizvoda i poluproizvoda	Ugljovodonici, alkaloini, vodonik-sulfid, ekstrakciona sredstva, amonijak, merkaptani, baze, kiseline, alkalni i zemno-alkalni hloridi i sulfidi, i dr.

Bez obzira na proizvodno postrojenje u kojem se produkuju može se vidjeti da se u svim vrstama otpadne vode nalazi odgovarajuća količina ugljovodonika.

U tabeli 2. prikazani su podaci o karakterističnim vrstama rafinerijskih otpadnih voda, mjestu nastajanja i osnovnim zagađujućim komponentama (komponente neorganskog porijekla).

Tabela 2. Vrste, mjesto nastajanja i sastav karakterističnih rafinerijskih otpadnih voda neorganskog porijekla

Vrsta vode	Mjesto nastajanja	Zagađujuće komponente
Atmosferske vode bez prisustva ulja	Skladišta i druge površine	Mineralne lebdeće čestice
Rashladna i voda za hlađenje rezervoara	Protočni i zatvoreni rashladni sistemi Filtri sporednih tokova Rezervoari hlađeni vodom	Neorganske soli, fosfati, hloridi, lignin, akrilati, sulfokiseline, biološke nečistoće, biocidi, i dr.
Voda od odmuljivanja i voda iz regeneracije	Dekarbonizacija Destilacija Kotlovnica	
Protivpožarna voda	-	Neorganske soli, kiseline, baze, kalcijum-karbonat, i dr.
Voda od pranja dimnih gasova	Postrojenje za spaljivanje otpada i mulja	Neorganske soli i teški metali

Kod većine savremenih rafinerija otpadne vode iz različitih izvora usmjeravaju se u odvojene kanalizacione sisteme. Uglavnom u rafinerijama postoje najmanje dva odvojena kanalizaciona sistema, jedan za atmosferske i površinske vode, a drugi za sve tehnološke vode i vodu nastalu u komunalnim jedinicama. U savremenim rafinerijama odvodi za tehnološku vodu podjeljeni su u više odvodnih kanala u zavisnosti od sastava otpadne vode. Na ovaj način se utiče na smanjenje opterećenja



postrojenja za tretman otpadnih voda i povećava efikasnost jedinica za tretman otpadnih voda i stvara mogućnost ponovne upotrebe otpadnih voda u različitim dijelovima proizvodnog procesa rafinerije.

Uzimajući u obzir sastav i količinu otpadnih voda u rafinerijama, pri tretmanu se obično kombinuje više procesa radi što efikasnijeg uklanjanja ulja i ostalih polutanata prije ispuštanja vode u recipijent.

### 3. OSNOVNI ASPEKTI RACIONALNOG UPRAVLJANJA VODAMA U RAFINERIJAMA

Nove rafinerije, odnosno novi proizvodni pogoni u rafinerijama se projektuju u skladu sa najbolje raspoloživim tehnikama. U cilju smanjenja negativnog uticaja na površinske i podzemne vode, kao i racionalizaciju potrošnje energije u zamjenu za zastarjelu sa savremenom opremom rafinerije u svijetu izdvajaju značajna finansijska sredstva. Investirana sredstva se relativno brzo isplate kroz uštedu energije za pripremu i obradu vode.

U rafinerijama se preduzima veliki broj mjera na postrojenjima u cilju smanjenja zagađenosti i količine otpadnih voda, kao što su:

- Korišćenje vazdušnog hlađenja do donje temperaturne granice koja zavisi od vrste proizvodnog procesa.
- Direktna upotreba djelimično prečišćene otpadne vode sa niskim udjelom soli u procesu destilacije sirove nafte. Za ovaj proces se može koristiti prečišćena otpadna voda. Pošto su jedinjenja sumpora veoma rastvorljiva u sirovoj nafti, ona se sakupljaju u frakcijama ugljovodonika i tako odstranjuju iz tečne faze.
- Primjena metoda regenerativnog odsumporavanja sa monoetanolaminom, koje proizvode male količine otpadne vode.
- Primjena visokotemperaturske regeneracije u procesu katalitičkog krekovanja, čime se može značajno smanjiti koncentracija jedinjenja cijanida i organskih jedinjenja sumpora.
- Nakon što se vodena para upotrijebi za različite namjene u parnom postrojenju, prelazi u kondenzat, koji je u suštini visoko kvalitetna topla voda. Ukoliko ne dođe do zaprljanja tokom procesa, kondenzat je idealan da se iskoristi za napojnu vodu kotla. Realno nemoguće je povratiti sav kondenzat, dio pare se može koristiti u procesu unutar postrojenja kao što je vlaženje vazduha i uparavanje. S obzirom da je kondenzat prividno čista voda i ne samo da se uštedi na cijeni koštanja vode, već i na hemikalijama za pripremu i obradu vode.

Nizom mjera koje su preduzete u Rafineriji ulja Modriča u cilju racionalizacije potrošnje vode značajno je smanjena potrošnja sirove vode za potrebe proizvodnog procesa i postignute su značajne finansijske uštede. U tabeli 3. prezentovani su ekonomski pokazatelji upravljanja sirovom vodom u ovom preduzeću u periodu od 2009. do 2014. godine (prvih osam mjeseci).

Tabela 3. *Ekonomski pokazatelji upravljanja sirovom vodom u Rafineriji ulja Modriča*

Jedinični troškovi u odnosu na prerađenu sirovinu (bazna uljna sirovina), KM/t	Godina					
	2009	2010	2011	2012	2013	2014*
	5,14	3,99	3,64	2,84	1,13	0,51

\*za osam mjeseci

U cilju racionalizacije potrošnje sirove vode i hemikalija za njenu pripremu u Rafineriji ulja Modriča realizovane su sljedeće aktivnosti:

- izvršena rekonstrukcija dijela sistema za snabdijevanje proizvodnih postrojenja sirovom i rashladnom vodom u cilju smanjenja njihove potrošnje i gubitaka;
- izvršen je povrat dijela kondenzata u proizvodni proces (oko 70% otpadnog kondenzata se vraća u proces);
- izvršen je povrat dijela obrađene tehnološke otpadne vode u proizvodni proces (od 35 do 40% se vraća u proces);
- u cilju povećanja kapaciteta izvršena je fizičko-hemijska revitalizacija jednog broja postojećih bunara sirove vode, ali se nije postigao značajniji efekat posebno u sušnom periodu;
- izvršeno bušenje četiri istražne hidrogeološke bušotine za nove bunare na dubinu od 102 do 110 m (kapacitet od 6 do 10 L/s po jednom bunaru) i dobijena je voda tvrdoće 10,5 do 12,5<sup>o</sup>dH koja je znatno niža u odnosu na postojeće (18 do 32<sup>o</sup>dH).

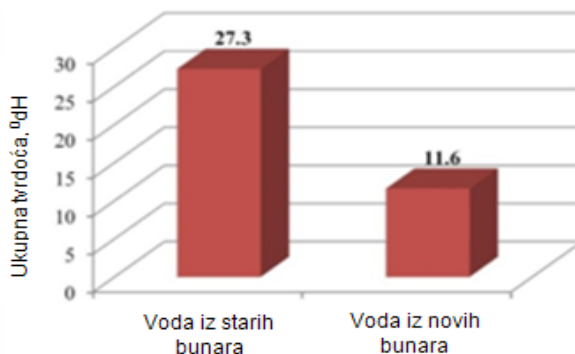
U tabeli 4. prikazan je opseg vrijednosti karakteristika sirove vode koja se eksploatiše iz starih i novoizgrađenih bunara.

Tabela 4. Karakteristike sirove vode iz starih i novoizgrađenih bunara [5]

Karakteristika	Jedinica	Metoda	Opseg vrijednosti (stari bunari)	Opseg vrijednosti (novi bunari)
Vrijednost pH	-	BAS ISO 10523	7,35 ÷ 7,80	8,0 ÷ 8,4
Ukupna tvrdoća	<sup>o</sup> dH*	BAS ISO 6059	18,00 ÷ 32,00	10,50 ÷ 12,50
Kalcijumova tvrdoća	<sup>o</sup> dH	BAS ISO 6059	15,10 ÷ 15,60	5,20 ÷ 5,90
Karbonatna tvrdoća	<sup>o</sup> dH	BAS ISO 6059	20,10 ÷ 20,80	9,80 ÷ 10,30
p-alkalitet	mmol/L	JUS H.Z1.124	0	0
m-alkalitet	mmol/L	JUS H.Z1.124	7,10 ÷ 7,50	3,50 ÷ 8,00
Elektroprovodljivost	μS/cm	BAS ISO 7888	750 ÷ 820	340 ÷ 380

\* 1<sup>o</sup>dH = 10 mg CaCO<sub>3</sub>/L

Na slici 1. dat je uporedni prikaz prosječne tvrdoće uzoraka vode iz starih i novoizgrađenih bunara.



Slika 1. Uporedni prikaz prosječne tvrdoće uzoraka vode iz starih i novoizgrađenih bunara

Korišćenjem vode manje tvrdoće za potrebe tehnološkog procesa u rafineriji značajno je smanjeno taloženje naslaga kalcijum-karbonata u cjevovodima, uređajima i opremi, a samim tim i troškovi održavanja.

Pored očuvanja recipijenta u koji se ispuštaju prečišćene rafinerijske otpadne vode, konačan cilj obrade otpadnih voda je ponovna upotreba i potpuno eliminisanje ispuštanja otpadnih voda u prirodne vodotoke, odnosno uspostavljanje recirkulacije obrađene otpadne vode. U cilju poboljšanja kvaliteta i načina upravljanja otpadnim vodama u Rafineriji ulja Modriča urađeno je sljedeće:

- postavljen koalescentni separator za izdvajanje masti i ulja nazivnog kapaciteta 50 L/s;
- izvršena je rekonstrukcija dijela postrojenja za fizičko-hemijski tretman tehnoloških otpadnih voda;
- redovno se vrši čišćenje lamelnog separatora i po potrebi izlaznog separatora, i zbrinjava zauljeni otpadni materijal na bezbjedan način po životnu sredinu;
- izvršeno je kompletno čišćenje tehnološke kanalizacije i zbrinjavanje zauljenog otpadnog materijala na ekološki prihvatljiv način;
- izgrađen sistem cjevovoda za povrat obrađene tehnološke otpadne vode u proizvodni proces gdje se koristi kao rashladni medijum;
- izvršena ugradnja uređaja za automatsko uzorkovanje vode, kao i uređaja za mjerenje protoka vode na ulazu u postrojenje za obradu, obrađene otpadne vode i vode koja se vraća u proizvodni proces.

#### **4. ZAKLJUČAK**

U radu su prezentovani osnovni aspekti pripreme i obrade vode u rafinerijama. Za rad proizvodnih i pomoćnih postrojenja u rafinerijama neophodno je obezbijediti dovoljnu količinu i potreban kvalitet vode. Kompletan tehnološki ciklus upravljanja vodama u rafinerijama treba da bude sa ekološkog i energetskog aspekta prihvatljiv. Racionalizacijom procesa pripreme i obrade vode direktno se utiče na troškove proizvodnog procesa u rafinerijama.

Na primjeru Rafinerije ulja Modriča prezentovani su efekti racionalizacije pripreme i obrade sirovih i otpadnih voda. Rezultati koji su postignuti u posljednjih nekoliko godina u oblasti upravljanja vodama u rafineriji su opravdani sa energetskog i ekološkog aspekta. Realizovanim tehničko-tehnološkim mjerama u rafineriji smanjeni su jedinični troškovi upravljanja sirovom vodom za deset puta čime se u značajnoj mjeri sniženi troškovi proizvodnje.

#### **LITERATURA**

- [1] Simić, S.: Tretman otpadnih voda u savremenim rafinerijama, Prva regionalna naučno-stručna konferencija o upravljanju industrijskim otpadom, INDUSTRIJSKI OTPAD I, Kopaonik, 22-25.10.2007.
- [2] Simić, S., Vujić, S., Popović, B.: Monitoring rafinerijskih otpadnih voda, Trinaesta međunarodna konferencija, Vodovodni i kanalizacioni sistemi, Jahorina-Pale, 22-24.05.2013., str. 279-284.
- [3] Simić, S., Vujić, S., Popović, B.: Optimizacija potrošnje vode u rafinerijama, Međunarodna konferencija, Otpadne vode, komunalni čvrsti otpad i opasan otpad, Zlatibor, 01-03.04.2014.

- [4] Simić, S., Popović, B., Vujić, S.: Tehnološki i ekonomski aspekti pripreme sirove vode u rafinerijama, Četrnaesta međunarodna konferencija, Vodovodni i kanalizacioni sistemi, Jahorina-Pale, 25-27.06.2014.
- [5] \*\*\* Laboratorijske analize kvaliteta voda, Ispitna laboratorija, Rafinerija ulja Modriča, 2013-2014.
- [6] \*\*\* Water Pollution Prevention Opportunities in Petroleum Refineries, The Washington State Department of Ecology, Ecology Publication No. 02-07-017, November, 2002.
- [7] Simić, S., Vujić, S., Popović, B.: Efekti primjene koalescentnog separatora u procesu obrade rafinerijskih otpadnih voda, Dvanaesta međunarodna konferencija, Vodovodni i kanalizacioni sistemi, Jahorina-Pale, 23-25.05.2012., str. 249-253.
- [8] Simić, S., Vujić, S., Kovač, O.: Adekvatno upravljanje otpadnim vodama značajan segment uštede energije u rafinerijama, Primijenjene tehnologije u mašinskom inženjerstvu, Prva međunarodna naučna konferencija, COMETA, Jahorina, 28-30.11.2012., str. 479-486.
- [9] Stijačić, N.: Izvori polutanata i postupci za smanjenje zagađenja u rafinerijama, Magistarski rad, Mašinski fakultet, Istočno Sarajevo, 2013.

# COMET<sub>a</sub> 2014

2nd INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

2nd - 5th December 2014  
Jahorina, B&H, Republic of Srpska



University of East Sarajevo  
Faculty of Mechanical Engineering  
Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications

---

## ***APPLIED MECHANICS AND MECHATRONICS***





## NUMERICAL MODELING OF THE EDENTULOUS MANDIBLE WITH A COMPLETE DENTURE USING MULTIBLOCK METHOD

Milan Blagojević<sup>1</sup>, Jelena Erić<sup>2</sup>, Ljubica Knežević<sup>3</sup>,  
Miroslav Živković<sup>4</sup>, Ljiljana Tihaček Šojić<sup>5</sup>

*Abstract: In this paper, finite element model of edentulous lower jaw (mandible) is generated, as well as the model of support layer and complete denture using various software. The aim of this study was to produce 3D digital mandibular complete denture, mucosa, and supporting bone models using reverse engineering and evaluate effect of mucosa thickness and resiliency on stress distribution of complete denture. In this study we used a model of mandibular complete denture and 5 mm thickness of mucosa (which represent the resiliences soft). The influence of resilient mucous membranes layer thickness is analysed by assigning loads to simulate the force due to chewing on the lower right and left central incisor and lower right and left first molar. Based on the numerical results, we conclude that the maximum stress values were concentrated in cortical bone.*

*Key words: mandible, complete denture, biomechanics, FEM, STL2MESH*

### 1. INTRODUCTION

A variety of treatment for the edentulous mandible has been employed. Complete oral rehabilitation including dental implants is a viable clinical treatment option for total edentulous patients with good acceptance on functional and social aspects. The implant supported fixed prosthesis is a preferable alternative to treatment with conventional complete denture, the main advantages are decreased resorption of the residual ridges; psychological benefits for the patients and maintenance of masticatory efficiency [1]. However, these prostheses are an expensive treatment due to the complexity of surgical and prosthetic phases and cost of implants and prosthetic components. For this reason, patients afflicted with the edentolouism usually wear less expensive, conventional dentures. Such dentures, also called the mucous membrane-supported dentures, function on the mucous membrane that covers edentulous processes of the denture foundation. This type of dentures can cause mucosal tenderness, ulceration and pain in most of patients because of instability of a loaded

<sup>1</sup>Milan Blagojević, PhD student, University of Kragujevac, Faculty of Engineering, blagoje@kg.ac.rs

<sup>2</sup>Jelena Erić, MSc, DD, University of East Sarajevo, Faculty of Medicine, jelena\_kulic@yahoo.co.uk

<sup>3</sup>Ljubica Knežević, Student, University of Kragujevac, Faculty of Engineering, ljubica.lula@gmail.com

<sup>4</sup>Miroslav Živković, PhD, Full professor, University of Kragujevac, Faculty of Engineering, zile@kg.ac.rs

<sup>5</sup>Ljiljana Tihaček Šojić, PhD, Full professor, University of Belgrade, Faculty of Dentistry,  
ljiljana.tihacek@stomf.bg.ac.rs

complete dentures. For this reason, knowledge of the transmission of mechanical load on supporting tissues in complete denture wearers is extremely important. Knowledge of load transfer to the surrounding bone and understanding of the distribution of stress and strain is essential to be able to assume the answer bony structures and adaptation to occlusal loads generated by natural teeth, a variety of dental restorations or implants.

Some previous in vitro studies indicated that the stress distribution in different attachment system on implants, but the effect of mucosal thickness and resilience to the stress distribution is not yet known [2, 3]. In addition, if the problem of understanding the distribution of stress on the supporting tissues to be studied carefully, it could have a very great benefit to the population that is forced to wear a prosthesis.

This study is a contribution to the solution of practical dilemmas related to prosthetic treatment. Understanding of the forces and patterns of stress distribution in the bone underneath the denture is a major factor during the planning of denture fabrication.

## 2. MATERIALS AND METHODS

This chapter explains the process of digitizing 3D physical model of the mandible and complete denture, the transformation of these models into the desired coordinate system, construction of blocks and resilient layer modeling. To generate the numerical model cadaver mandible was used and complete denture was made on it.

Model of the mandible and the complete denture was obtained by digitizing the 3D optical measuring systems ATOS (GOM, Germany). The denture was first sprayed with a thin coat of titanium-dioxide ( $\text{TiO}_2$ , white colour) due to increase its contrast for scanning. Models are digitized using two measuring projects, one for the upper side of the model, and the other for the lower. Upper and lower sides are connected via common reference points (at least 3 reference markers affixed to the models). System combines the different individual measurements [4] to render a complete 3D scan of surface (Figure 1).

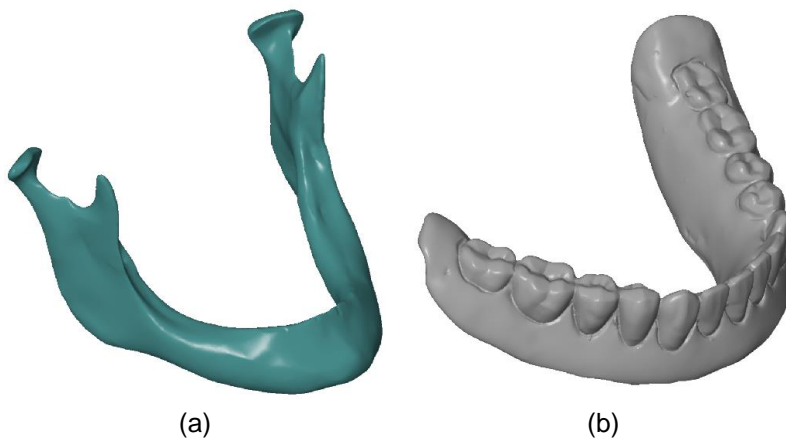


Figure 1. *Poligonized mesh of surface: (a) mandible and (b) complete denture*

Digitized models are transformed into a coordinate system that enables the simplest setting of boundary conditions. Blocks are generated using the sections



(Figure 2a), in which all vertices of the blocks are set. Blocks generated for mandible, mucous layer and complete denture enables the creation of finite element models for these structures (Figure 2b). Multiblock method implemented in software STL2MESH enables the nodes on the contact surfaces of these models have the same 3D coordinates [5]. Joining of models is performed by importing into the same project and merging nodes (Figure 3).

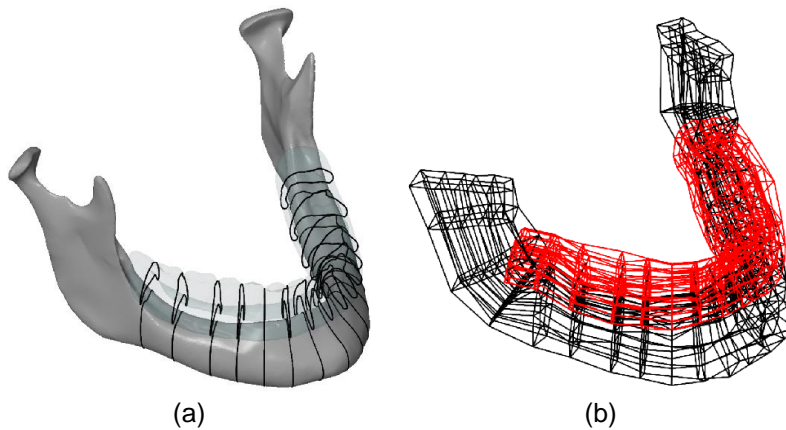


Figure 2. Block generation: (a) sections for design blocks and (b) blocks for mandible, mucous layer and complete denture

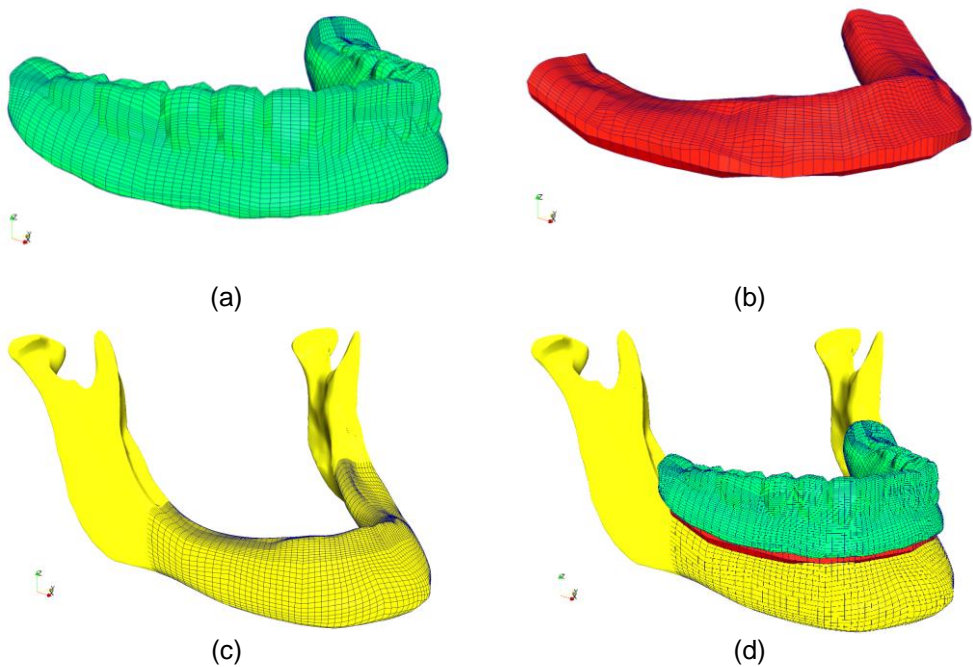


Figure 3. Finite element models: (a) complete denture, (b) mucous membrane, (c) mandible, and (d) full model

Mechanical properties of materials complete denture, mucous membrane, mandible are given in Table 1. Total denture was considered as a homogeneous structure since it is constructed of acrylic resin and acrylic teeth. Thickness of cortical bone is modeled is a uniform: the thickness of 2 mm on the outside of the bone and the thickness of 3 mm on the inner side.

An occlusal load of 120 N was applied onto the left and right central incisor and the left and right first molar teeth, simulating occluding and clenching forces (Figure 4a). Constraints are specified at locations shown in Figure 4b. The masticatory stress distribution was studied with FE software (PAK).

Table 1. *Materials mechanical properties*

Material	Mechanical properties	
	Young Modul [MPa]	Poason Coefficient
Cortical bone	15000	0.30
Trabecular bone	1500	0.30
Acrylic tooth	3000	0.35
Acrylic resin	3000	0.35
Mucosa hard	680	0.45
Mucosa resilient	340	0.45
Mucosa soft	1	0.37

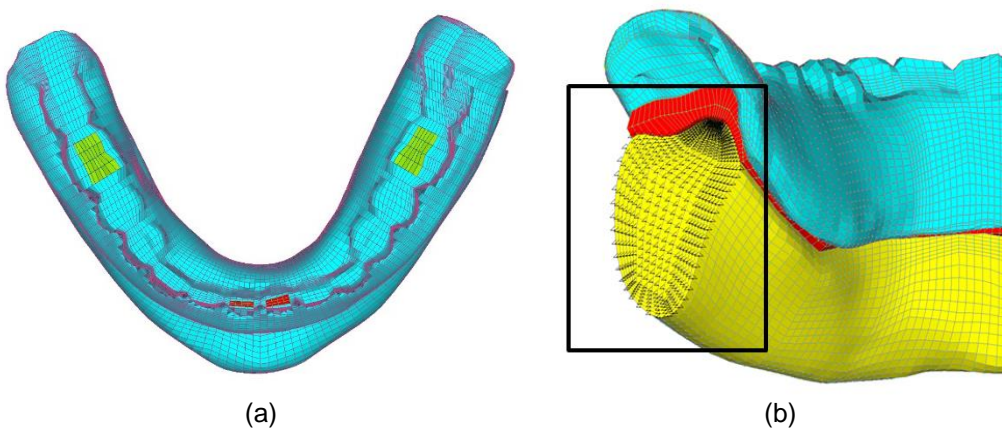


Figure 4. *Boundary conditions: (a) Loads and (b) Constraints*

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

In finite element analysis studies, the assumptions made regarding geometry, mechanical properties of the materials, and loads and constraints applied to the model have a key role in the accuracy of the experiment [6]. The present study used 3D models to evaluate the stress distribution in complete denture regarding mucosa 5 mm thickness and soft resiliency. Results of the analysis are shown in Figure 5.

In dentistry, the first study of stress distribution using 3-D FEM began with a mandibular complete denture, due to its simple shape [7]. The mandibular denture model was initially developed with graphical methods using computer aided design (CAD) software to mimic the mandible anatomically. However, the simple CAD model

can only provide basic information for FEA of stress distribution. For this reason, there is a need for better methods.

It is well known that 3D eight-noded elements provide a better solution results than tetrahedral elements. Improvement of tetrahedral elements' solution accuracy is achieved by forming meshes with a large number of elements which requires greater computer time and/or hardware resources. Generation of finite element models for complex biomechanical structure allows a small number of software.

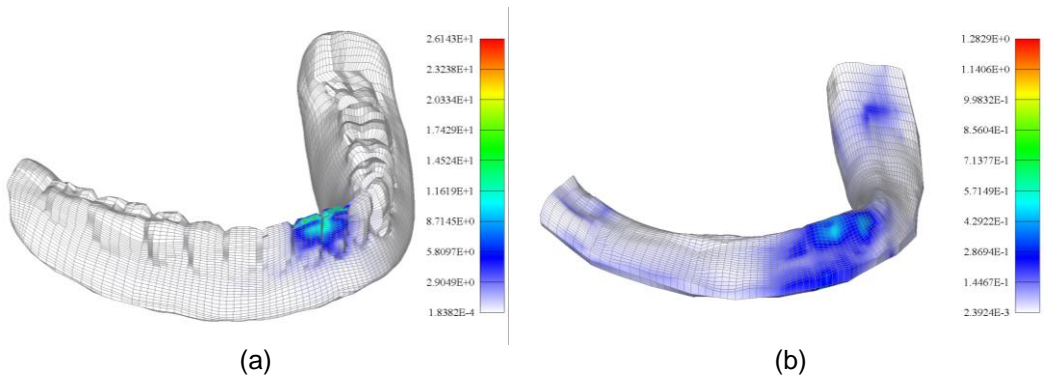


Figure 5. Field of von Mises stress: (a) complete denture and (b) resilient layer

In this study, it was observed that the highest stress values were concentrated in the zone below of assigning load (the contact surface of the mandible with a resilient layer, inside the acrylic teeth). For the 5-mm mucosa models, which simulates a soft mucosa in a clinical condition, the maximum stress values in supporting bone were 26.96 MPa in the area of incisors and concerning the supporting tissues, cortical bone showed the highest stress values. Song et al. evaluated the energy relieving effect of different mucosa thickness beneath mandibular complete denture using a 3D FEA [8]. The authors observed that as mucosa thickness increased so did the energy relieving, leading to lower bone tissue deformation. Therefore, thicker mucosa is benefit to reduce bone loss [8]. In general, these results are in accordance with the present study. The decrease in stress values in supporting tissues when softer mucosa is present could be explained by the principle that softer structures absorb more impact caused by loading. Therefore, softer mucosa would relieve the stress in the supporting tissues. Assuncao et al. evaluated the effect of different mucosa characteristics on stress distribution in complete denture and implant-retained overdenture by use of a FEA-2D. They showed that cortical bone showed the highest stress values [9]. These results were in accordance with our study.

#### 4. CONCLUSION

This paper presents a method for modeling the complete denture and the supporting tissue (mandible and resilient layer) using the finite element method. To generate the finite element model software GOM Inspect and STL2MESH were used. Presented method of modeling preprocessing is performed in a program GOM Inspect which is not intended for use in the finite element method. This has several advantages: (a) manipulation of point clouds is much easier in programs that are designed to work with polygonal models, (b) construction of blocks is a much simpler

and user-friendly compared to the currently existing methods, (c) finite element model is created directly over the digitized model, which is primarily to avoid time-consuming steps to create NURBS surfaces and solids, and indirectly increases the accuracy of the model because the steps that cause errors and approximations are bypassed, (d) when complete software development, STL2MESH will be able to generate the finite element models of complex structures fully automatically, assisted by engineers only when defining blocks.

In the space between the mandible and complete denture is modeled mucous membranes, as resilient soft (5 mm thickness). Numerical analysis was performed in the software PAK. In this study the maximum stress value occurred in the zone below of assigning load (the contact surface of the mandible with a resilient layer, inside the acrylic teeth). Regarding supporting tissues, the maximum stress values were concentrated in cortical bone.

## ACKNOWLEDGMENT

The part of this research is supported by Ministry of Education, Science and Technological Development, Republic of Serbia, Grant TR32036.

## REFERENCES

- [1] Budtz-Jørgensen E. (1991). *Effect of controlled oral hygiene in overdenture wearers: a 3-year study. The International Journal of Prosthodontics*, Vol. 4, p. 226–231.
- [2] Menicucci G., Lorenzetti M., Pera P., Preti G., (1998). *Mandibular Implant-Retained Overdenture: Finite Element Analysis of Two Anchorage Systems, The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, Vol 13/3, p. 369-376.
- [3] Mariano L.O.H., Sartori E.A., Broilo J.R., Shinkai R.S., Corso L., Marczak R.J., (2012). *Stresses in implant-supported overdentures with bone resorption: A 3-D finite element analysis. Journal of Dental Science*, Vol. 27/1, p. 41-46.
- [4] Blagojević M., (2009). *Use of optical measuring systems in modeling and simulation*, Diploma work (mentor Miroslav Živković), University of Kragujevac, Faculty of Mechanical Engineering, Kragujevac.
- [5] Blagojević M., Nikolić A., Živković M., Živković M., Stanković G, (2013). *Influence of blocks' topologies on endothelial shear stress observed in CFD analysis of artery bifurcation, Acta of Bioengineering and Biomechanics*, Vol 15/1, p. 97-104.
- [6] Saab X.E., Griggs J.A., Powers J.M., Engelmeier R.L., (2007). *Effect of abutment angulation on the strain on the bone around an implant in the anterior maxilla: a finite element study, The Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol. 97, p. 85–92.
- [7] Takayama Y., Yamada T., Araki O., Seki T., Kawasaki T., (2001). *The dynamic behaviour of a lower complete denture during unilateral loads: analysis using the finite element method. Journal of Oral Rehabilitation*, Vol. 28, p. 1064-1074.
- [8] Song W.Z., Yin W.Z., Li M.H., (2004). *Energy relieving effect of different thickness of mucosa beneath mandibular complete denture, Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi*, Vol. 39, p. 57–59.
- [9] Assuncao W. G, Barao V. A. R, Tabata L. F., de Sousa E. A. C, Gomes E. A., Delben J. A. (2009). *Comparison between complete denture and implant-retained overdenture: effect of different mucosa thickness and resiliency on stress distribution. Gerodontology*, Vol. 26, p. 273–281.



## BUCKLING ANALYSIS OF ORTHOTROPIC DOUBLE- NANOPLATE-SYSTEMS BASED ON NONLOCAL TWO- VARIABLE REFINED PLATE THEORY

Nebojša Radić<sup>1</sup>, Dejan Jeremić<sup>2</sup>, Lana Sekulić<sup>3</sup>

*Abstract: This paper presents an analytical study on the buckling of orthotropic double-nanoplate-system (DNPS) subjected to biaxial compression using the two-variable refined plate theory and nonlocal elasticity theory. The two - variable refined plate theory takes into account the effects of small scale and transverse shear strains through the thickness of the nanoplate. The theory assumes parabolic distribution of the transverse shear strains through thickness of the nanoplate and does not require shear correction factors. Derived nonlocal governing equations are based on the nonlocal theory and the principle of virtual displacements. The expression for buckling load of a simply supported orthotropic DNPS was derived using the Navier's method.*

*Key words: Double-orthotropic nanoplates, Refined plate theory, Nonlocal buckling; Nonlocal elasticity theory; Navier's method*

### 1. INTRODUCTION

The discovery of carbon nanotube by Iijima [1] represents a significant breakthrough in the development of nanoscience and nanotechnology. It has been experimentally proven that three dimensional graphite can be shelled into micron-sized graphene sheets with the thickness of several atomic layers or even a single atomic layer [2]. Due to their superb electronic, chemical properties and high mechanical strength, graphene sheets (GSs) are often used as component of micro electro-mechanical systems (MEMS) and nano electro-mechanical systems (NEMS). After the introduction of these novel methods for graphene sheets preparation [3] numerous investigations have been conducted on electronic and mechanical properties of single layered graphene sheets (SLGSs). There are numerous studies which deal with the investigation of electronic properties of graphene sheets while on the other side, only a small number of investigations focuses on their mechanical properties [4]. Superior mechanical, electrical and chemical properties of GSs have allowed their application in a number of novel structures and devices at nanoscale [5]. Exact prediction of vibrational and buckling behaviour of nanostructural elements (nanorods, nanobeams, carbon nanotubes, and nanoplates, such as GSs) is crucial to their engineering and

<sup>1</sup> Mr Dejan Jeremić, dip.maš.inž., UIS, Mašinski fakultet I. Sarajevo, dejan.jeremic@yahoo.com

<sup>2</sup> Dr Nebojša Radić, vanredni profesor, UIS, Mašinski fakultet I. Sarajevo, nebojsaradic67@gmail.com

<sup>3</sup> Lana Sekulić, student UIS, Mašinski fakultet I. Sarajevo



manufacturing. However, experimental investigations on nanoscale size samples are very difficult and expensive. Application of molecular-dynamic (MD) simulation is also difficult and financially exacting, especially when analyzing nanostructures comprising a larger number of atoms. This motivates the development of an appropriate mathematical model which would allow analysis of mechanical behaviour of nanostructures, to allow their successful application in MEMS and NEMS. Atomistic methods have been used in analysis of nanostructure behaviour [6] and yielded good results.

Classical continuum elasticity is a scale-free theory and cannot predict the influence of size effects on mechanical behaviour of nanostructures. However, some researchers have used classical plate theory to investigate vibrations in graphenenanosheets [7] and buckling carbon nanotubes [8]. It should be noted that, in some cases, application of classical continuum mechanics leads to controversial and inexact results. This requires some modifications of the classical continuum theory so that it can be used for analysis of small scale structures. Eringen suggested a nonlocal continuum elasticity [9] which considers the size effect in a way which allows the study of size-dependent mechanical properties. This theory assumes that the stress at a considered point does not depend solely on the deformation at that particular point, but is also the function of deformations at all points of the entire domain of the considered body. Peddiesson et. al [10] have been the first to apply the theory of nonlocal elasticity on the analysis of static deformations of Euler-Bernoulli nanobeams. Recently, a significant number of contributions emerged that use the nonlocal constitutive Eringen equations to analyze flexural [11], vibrational [12], and buckling [13] behaviours of nanoplates. Moreover, there are contributions [14] which analyze shape optimization of nanorods and nanobeams.

This paper presents a formulation of nonlocal two-variable refined plate theory for the buckling analysis of biaxially compressed orthotropic DNPS. Stress displacement relations of the orthotropic DNPS are derived on the basis of the nonlocal constitutive relations of Eringen [9] and the basic assumptions of a two-variable refined plate theory. A recent contribution [15] reports on a study of biaxial buckling of isotropic DNPS based on nonlocal classical Kirchhof's plate theory. To the best of the author's knowledge, up to present, there are no available studies on biaxial buckling phenomenon in orthotropic DNPS which are based on the two-variable refined plate theory.

## 2. MATHEMATICAL FORMULATION

Let us consider nanoplates the length of  $a$ , width  $b$  and height  $h$ , as shown in Fig. 1.

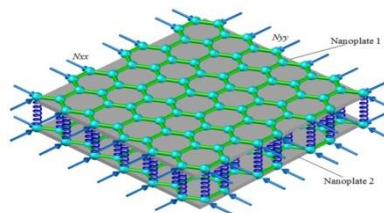


Figure 1. *Double-orthotropic nanoplates coupled by an elastic medium*

## 2.1. Nonlocal constitutive relations

Within the nonlocal theory of elasticity, stress value at reference point within elastic continuum does not solely depend on the value of deformation at that particular point, but also depends on deformations at all other points of the elastic body. Based on [9], a differential nonlocal constitutive equation can be written in which the internal length characteristic can be simply considered as material parameter

$$(1 - g^2 \nabla^2) \sigma_{ij}^{nl} = \sigma_{ij}^l, \nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}, g = e_0 l \quad (1)$$

where  $g$  represents nonlocal small scale parameter which depends on material constant,  $e_0$ , and internal length characteristic,  $l$ .  $\sigma_{ij}^{nl}$  and  $\sigma_{ij}^l$  are components of nonlocal and local stress tensor, respectively.

## 2.2. Governing equations for double-orthotropic nanoplate

We are considering a typical double-orthotropic nanoplate shown in Fig.1. The two nanoplates are referred to as nanoplate 1 and nanoplate 2. The two nanoplates of orthotropic DNPS are coupled by an elastic medium (polymer matrix). The elastic medium between two nanoplates was mathematically modelled using a system of vertical Winkler springs. The springs are oriented orthogonally relative to nanoplates and have stiffness,  $k$ . In this study, various stiffness values have been used for different elastic media (polymer matrices). It is assumed that the two nanoplates have the same length, width and bending rigidity. The displacements of the nanoplate 1 and nanoplate 2 are denoted by  $w_{b1}(x, y, t)$ ,  $w_{s1}(x, y, t)$  and  $w_{b2}(x, y, t)$ ,  $w_{s2}(x, y, t)$  respectively.

### Nanoplate-1

$$D_{11} \frac{\partial^4 w_{b1}}{\partial x^4} + 2(D_{12} + 2D_{66}) \frac{\partial^4 w_{b1}}{\partial x^2 \partial y^2} + D_{22} \frac{\partial^4 w_{b1}}{\partial y^4} + N_0 \left( \frac{\partial^2 w_{b1}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_{s1}}{\partial x^2} \right) + RN_0 \left( \frac{\partial^2 w_{b1}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_{s1}}{\partial y^2} \right) + k(w_{b1} + w_{s1} - w_{b2} - w_{s2}) - N_0 g^2 \nabla^2 \left( \frac{\partial^2 w_{b1}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_{s1}}{\partial x^2} \right) - RN_0 g^2 \nabla^2 \left( \frac{\partial^2 w_{b1}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_{s1}}{\partial y^2} \right) - \quad (2)$$

$$kg^2 \nabla^2 (w_{b1} + w_{s1} - w_{b2} - w_{s2}) = 0$$

$$\frac{1}{84} \left( D_{11} \frac{\partial^4 w_{s1}}{\partial x^4} + 2(D_{12} + 2D_{66}) \frac{\partial^4 w_{s1}}{\partial x^2 \partial y^2} + D_{22} \frac{\partial^4 w_{s1}}{\partial y^4} \right) - \left[ A_{55} \frac{\partial^2 w_{s1}}{\partial x^2} + A_{44} \frac{\partial^2 w_{s1}}{\partial y^2} \right] + N_0 \left( \frac{\partial^2 w_{b1}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_{s1}}{\partial x^2} \right) + RN_0 \left( \frac{\partial^2 w_{b1}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_{s1}}{\partial y^2} \right) + k(w_{b1} + w_{s1} - w_{b2} - w_{s2}) - \quad (3)$$

$$N_0 g^2 \nabla^2 \left( \frac{\partial^2 w_{b1}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_{s1}}{\partial x^2} \right) - RN_0 g^2 \nabla^2 \left( \frac{\partial^2 w_{b1}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_{s1}}{\partial y^2} \right) - kg^2 \nabla^2 (w_{b1} + w_{s1} - w_{b2} - w_{s2}) = 0$$

### Nanoplate-2

$$\begin{aligned}
 & D_{11} \frac{\partial^4 w_{b2}}{\partial x^4} + 2(D_{12} + 2D_{66}) \frac{\partial^4 w_{b2}}{\partial x^2 \partial y^2} + D_{22} \frac{\partial^4 w_{b2}}{\partial y^4} + N_0 \left( \frac{\partial^2 w_{b2}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_{s2}}{\partial x^2} \right) + RN_0 \left( \frac{\partial^2 w_{b2}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_{s2}}{\partial y^2} \right) + \\
 & k(w_{b2} + w_{s2} - w_{b1} - w_{s1}) - N_0 g^2 \nabla^2 \left( \frac{\partial^2 w_{b2}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_{s2}}{\partial x^2} \right) - RN_0 g^2 \nabla^2 \left( \frac{\partial^2 w_{b2}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_{s2}}{\partial y^2} \right) - \\
 & kg^2 \nabla^2 (w_{b2} + w_{s2} - w_{b1} - w_{s1}) = 0
 \end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned}
 & \frac{1}{84} \left( D_{11} \frac{\partial^4 w_{s2}}{\partial x^4} + 2(D_{12} + 2D_{66}) \frac{\partial^4 w_{s2}}{\partial x^2 \partial y^2} + D_{22} \frac{\partial^4 w_{s2}}{\partial y^4} \right) - \left[ A_{55} \frac{\partial^2 w_{s2}}{\partial x^2} + A_{44} \frac{\partial^2 w_{s2}}{\partial y^2} \right] + \\
 & N_0 \left( \frac{\partial^2 w_{b2}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_{s2}}{\partial x^2} \right) + RN_0 \left( \frac{\partial^2 w_{b2}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_{s2}}{\partial y^2} \right) + k(w_{b2} + w_{s2} - w_{b1} - w_{s1}) - \\
 & N_0 g^2 \nabla^2 \left( \frac{\partial^2 w_{b2}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_{s2}}{\partial x^2} \right) - RN_0 g^2 \nabla^2 \left( \frac{\partial^2 w_{b2}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_{s2}}{\partial y^2} \right) - \\
 & kg^2 \nabla^2 (w_{b2} + w_{s2} - w_{b1} - w_{s1}) = 0
 \end{aligned} \tag{5}$$

For the solution of Eqs. (2),(3),(4) and (5) we change variables by considering  $w_b$  and  $w_s$  as the displacement of the nanoplate-1 relative to nanoplate-2

$$w_b = w_{b1} - w_{b2} \tag{6}$$

$$w_s = w_{s1} - w_{s2} \tag{7}$$

Subtracting Eq. (4) from (2) and Eq. (5) from (3) would lead to

$$\begin{aligned}
 & D_{11} \frac{\partial^4 w_b}{\partial x^4} + 2(D_{12} + 2D_{66}) \frac{\partial^4 w_b}{\partial x^2 \partial y^2} + D_{22} \frac{\partial^4 w_b}{\partial y^4} + N_0 \left( \frac{\partial^2 w_b}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_s}{\partial x^2} \right) + RN_0 \left( \frac{\partial^2 w_b}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_s}{\partial y^2} \right) + \\
 & 2k(w_b + w_s) - N_0 g^2 \nabla^2 \left( \frac{\partial^2 w_b}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_s}{\partial x^2} \right) - RN_0 g^2 \nabla^2 \left( \frac{\partial^2 w_b}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_s}{\partial y^2} \right) - \\
 & 2kg^2 \nabla^2 (w_b + w_s) = 0
 \end{aligned} \tag{8}$$

$$\begin{aligned}
 & \frac{1}{84} \left( D_{11} \frac{\partial^4 w_s}{\partial x^4} + 2(D_{12} + 2D_{66}) \frac{\partial^4 w_s}{\partial x^2 \partial y^2} + D_{22} \frac{\partial^4 w_s}{\partial y^4} \right) - \left[ A_{55} \frac{\partial^2 w_s}{\partial x^2} + A_{44} \frac{\partial^2 w_s}{\partial y^2} \right] + N_0 \left( \frac{\partial^2 w_b}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_s}{\partial x^2} \right) + \\
 & RN_0 \left( \frac{\partial^2 w_b}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_s}{\partial y^2} \right) + 2k(w_b + w_s) - N_0 g^2 \nabla^2 \left( \frac{\partial^2 w_b}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_s}{\partial x^2} \right) - \\
 & RN_0 g^2 \nabla^2 \left( \frac{\partial^2 w_b}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_s}{\partial y^2} \right)
 \end{aligned} \tag{9}$$

Utilizing Eqs. (6) and (7) in Eqs. (4) and (5) we get



$$\begin{aligned}
 & D_{11} \frac{\partial^4 w_{b2}}{\partial x^4} + 2(D_{12} + 2D_{66}) \frac{\partial^4 w_{b2}}{\partial x^2 \partial y^2} + D_{22} \frac{\partial^4 w_{b2}}{\partial y^4} + N_0 \left( \frac{\partial^2 w_{b2}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_{s2}}{\partial x^2} \right) + RN_0 \left( \frac{\partial^2 w_{b2}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_{s2}}{\partial y^2} \right) - \\
 & k(w_b + w_s) - N_0 g^2 \nabla^2 \left( \frac{\partial^2 w_{b2}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_{s2}}{\partial x^2} \right) - RN_0 g^2 \nabla^2 \left( \frac{\partial^2 w_{b2}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_{s2}}{\partial y^2} \right) + \quad (10) \\
 & kg^2 \nabla^2 (w_b + w_s) = 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \frac{1}{84} \left( D_{11} \frac{\partial^4 w_{s2}}{\partial x^4} + 2(D_{12} + 2D_{66}) \frac{\partial^4 w_{s2}}{\partial x^2 \partial y^2} + D_{22} \frac{\partial^4 w_{s2}}{\partial y^4} \right) - \left[ A_{55} \frac{\partial^2 w_{s2}}{\partial x^2} + A_{44} \frac{\partial^2 w_{s2}}{\partial y^2} \right] + \\
 & N_0 \left( \frac{\partial^2 w_{b2}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_{s2}}{\partial x^2} \right) + RN_0 \left( \frac{\partial^2 w_{b2}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_{s2}}{\partial y^2} \right) - k(w_b + w_s) - \quad (11) \\
 & N_0 g^2 \nabla^2 \left( \frac{\partial^2 w_{b2}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_{s2}}{\partial x^2} \right) - RN_0 g^2 \nabla^2 \left( \frac{\partial^2 w_{b2}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_{s2}}{\partial y^2} \right) + \\
 & kg^2 \nabla^2 (w_b + w_s) = 0
 \end{aligned}$$

The critical buckling load of a simply supported, orthotropic, rectangular double-nanoplate-system, will be determined in this paper by using Navier's solution. Navier's method is only used for simply supported boundary conditions on all four edges of the rectangular nanoplate. At each end of the nanoplates, the displacements and the nonlocal moments are considered to be zero.

### 3. EXACT SOLUTION OF THE BUCKLING EQUATIONS

To discuss the buckling of double-orthotropic nanoplates, three typical cases such as asynchronous (out-of-phase) sequence of buckling, synchronous (in phase) sequence of buckling and one stationary nanoplate are considered.

#### 3.1. Out-of- phase buckling

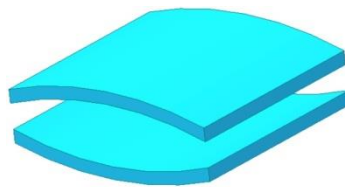


Figure 2. *Asynchronous type buckling*

In this case, both nanoplates are buckled out-of-phase (asynchronous):

$$\begin{aligned}
 & w_{b1}(x, y, t) - w_{b2}(x, y, t) \neq 0, \\
 & w_{s1}(x, y, t) - w_{s2}(x, y, t) \neq 0 \quad (12)
 \end{aligned}$$

The configuration of the orthotropic DNPS with the out-of phase sequence of buckling is shown in Fig.2. To analyze out-of-phase buckling, Eqs. (8) and (9) are

used. These equations with nonlocal boundary conditions can be solved by the Navier' method assuming solutions in the form of

$$w_b = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} w_{bmn} \sin(\alpha x) \sin(\beta y) \quad (13)$$

$$w_s = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} w_{smn} \sin(\alpha x) \sin(\beta y) \quad (14)$$

In the upper equation:

$$\alpha = \frac{m\pi}{a}, \quad (15)$$

$$\beta = \frac{n\pi}{b}$$

where  $m$  and  $n$  are the half waves numbers.

Substituting Eqs. (12) and (13) into Eqs. (8) and (9), the following system of equations is obtained

$$\begin{bmatrix} B_1 + B_2 N_0 & B_3 + B_4 N_0 \\ B_3 + B_4 N_0 & B_5 + B_6 N_0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} w_{bmn} \\ w_{smn} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (16)$$

$$B_1 = D_{11}\alpha^4 + 2(D_{12} + 2D_{66})\alpha^2\beta^2 + D_{22}\beta^4 + 2k + 2kg^2(\alpha^2 + \beta^2) \quad (17a)$$

$$B_2 = -\left[ (\alpha^2 + R\beta^2) + g^2(\alpha^4 + (1+R)\alpha^2\beta^2 + R\beta^4) \right] \quad (17b)$$

$$B_3 = 2k + 2kg^2(\alpha^2 + \beta^2) \quad (18a)$$

$$B_4 = -\left[ (\alpha^2 + R\beta^2) + g^2(\alpha^4 + (1+R)\alpha^2\beta^2 + R\beta^4) \right] \quad (18b)$$

$$B_5 = \frac{1}{84} \left[ D_{11}\alpha^4 + 2(D_{12} + 2D_{66})\alpha^2\beta^2 + D_{22}\beta^4 \right] + (A_{55}\alpha^2 + A_{44}\beta^2) + 2k + 2kg^2(\alpha^2 + \beta^2) \quad (19a)$$

$$B_6 = -\left[ (\alpha^2 + R\beta^2) + g^2(\alpha^4 + (1+R)\alpha^2\beta^2 + R\beta^4) \right] \quad (19b)$$

It should be noted that

$$B_2 = B_4 = B_6$$

For nontrivial solution of  $w_{bmn}$  and  $w_{smn}$ , the determinant of the coefficient matrix in Eq. (16) must be zero

$$\begin{vmatrix} B_1 + B_2 N_0 & B_3 + B_4 N_0 \\ B_3 + B_4 N_0 & B_5 + B_6 N_0 \end{vmatrix} = 0 \quad (20)$$

Solving this determinant yields

$$N_{0Asyn} = \frac{B_3^2 - B_1 B_5}{B_2(B_1 + B_5 - 2B_3)} \quad (21)$$

The non-dimensional form of critical buckling load can be written as

$$N_{Asyn} = N_0 \frac{a^2}{D_{11}} \quad (22)$$

### 3.2. In-phase buckling

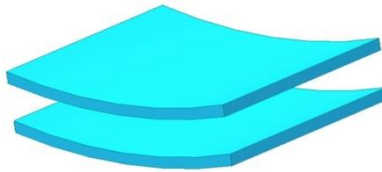


Figure 3. *Synchronous type buckling*

In the case of in-phase buckling, two nanoplates are buckled synchronously, thus the relative displacement between them disappears, i.e., ( $w_{b1}(x, y, t) - w_{b2}(x, y, t) = 0$ ,  $w_{s1}(x, y, t) - w_{s2}(x, y, t) = 0$ ). The configuration of the orthotropic DNPS with the in-phase sequence of buckling is shown in Fig.3. To analyze out-of-phase buckling Eqs. (10) and (11) are used.

Substituting Eqs. (13) and (14) into Eqs. (10) and (11) the following system of equations is obtained

$$\begin{bmatrix} C_1 + C_2 N_0 & C_3 N_0 \\ C_3 N_0 & C_4 + C_5 N_0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} w_{bmn} \\ w_{smn} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (23)$$

where

$$C_1 = D_{11}\alpha^4 + 2(D_{12} + 2D_{66})\alpha^2\beta^2 + D_{22}\beta^4 \quad (24a)$$

$$C_2 = -[(\alpha^2 + R\beta^2) + g^2(\alpha^4 + (1+R)\alpha^2\beta^2 + R\beta^4)] \quad (24b)$$

$$C_3 = -[(\alpha^2 + R\beta^2) + g^2(\alpha^4 + (1+R)\alpha^2\beta^2 + R\beta^4)] \quad (24c)$$

$$C_4 = \frac{1}{84}[D_{11}\alpha^4 + 2(D_{12} + 2D_{66})\alpha^2\beta^2 + D_{22}\beta^4] + (A_{55}\alpha^2 + A_{44}\beta^2) \quad (25a)$$

$$C_5 = -\left[ (\alpha^2 + R\beta^2) + g^2(\alpha^4 + (1+R)\alpha^2\beta^2 + R\beta^4) \right] \quad (25b)$$

It should be noted that

$$C_2 = C_3 = C_5$$

Following procedure similar to that of out-of-phase buckling, one can determine critical buckling load as

$$N_{0, syn} = \frac{-C_1 C_4}{C_2 (C_1 + C_4)} \quad (26)$$

Here, we see that the critical buckling load is independent of the stiffness of the coupling springs and therefore the orthotropic DNPS can be treated as a single orthotropic nanoplate. The non-dimensional form of critical buckling load can be written as

$$N_{syn} = N_0 \frac{a^2}{D_{11}} \quad (27)$$

### 3.3. One nanoplate being stationary

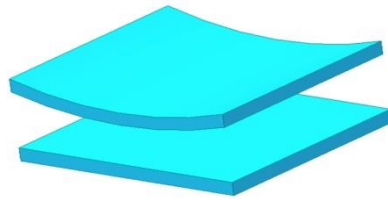


Figure 4. Buckling with one nanoplate fixed

Another buckling mode of interest is one nanoplate being stationary, i.e., ( $w_{b2}(x, y, t) = 0, w_{s2}(x, y, t) = 0$ ). The configuration of the orthotropic DNPS with one plate being stationary is shown in Fig.4. In this case, Eqs. (2) and (3) are reduced to

$$\begin{aligned} & D_{11} \frac{\partial^4 w_{b1}}{\partial x^4} + 2(D_{12} + 2D_{66}) \frac{\partial^4 w_{b1}}{\partial x^2 \partial y^2} + D_{22} \frac{\partial^4 w_{b1}}{\partial y^4} + N_0 \left( \frac{\partial^2 w_{b1}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_{s1}}{\partial x^2} \right) + RN_0 \left( \frac{\partial^2 w_{b1}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_{s1}}{\partial y^2} \right) + \\ & k(w_{b1} + w_{s1}) - N_0 g^2 \nabla^2 \left( \frac{\partial^2 w_{b1}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_{s1}}{\partial x^2} \right) - RN_0 g^2 \nabla^2 \left( \frac{\partial^2 w_{b1}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_{s1}}{\partial y^2} \right) - \\ & kg^2 \nabla^2 (w_{b1} + w_{s1}) = 0 \end{aligned} \quad (28)$$

$$\begin{aligned}
 & \frac{1}{84} \left( D_{11} \frac{\partial^4 w_{s1}}{\partial x^4} + 2(D_{12} + 2D_{66}) \frac{\partial^4 w_{s1}}{\partial x^2 \partial y^2} + D_{22} \frac{\partial^4 w_{s1}}{\partial y^4} \right) - \left[ A_{55} \frac{\partial^2 w_{s1}}{\partial x^2} + A_{44} \frac{\partial^2 w_{s1}}{\partial y^2} \right] + \\
 & N_0 \left( \frac{\partial^2 w_{b1}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_{s1}}{\partial x^2} \right) + RN_0 \left( \frac{\partial^2 w_{b1}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_{s1}}{\partial y^2} \right) + k(w_{b1} + w_{s1}) - \\
 & N_0 g^2 \nabla^2 \left( \frac{\partial^2 w_{b1}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_{s1}}{\partial x^2} \right) - RN_0 g^2 \nabla^2 \left( \frac{\partial^2 w_{b1}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_{s1}}{\partial y^2} \right) - \\
 & kg^2 \nabla^2 (w_{b1} + w_{s1}) = 0
 \end{aligned} \tag{29}$$

Here DNPS behaves as a nanoplate embedded or supported on an elastic medium. If we suppose solution, Eqs. (28) and (29) have the same form as Eqs. (13) and (14) the following system of equations is obtained

$$\begin{bmatrix} E_1 + E_2 N_0 & E_3 + E_4 N_0 \\ E_3 + E_4 N_0 & E_5 + E_6 N_0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} w_{bmn} \\ w_{smn} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \tag{30}$$

where

$$E_1 = D_{11} \alpha^4 + 2(D_{12} + 2D_{66}) \alpha^2 \beta^2 + D_{22} \beta^4 + k + kg^2 (\alpha^2 + \beta^2) \tag{31a}$$

$$E_2 = -[(\alpha^2 + R\beta^2) + g^2 (\alpha^4 + (1+R)\alpha^2 \beta^2 + R\beta^4)] \tag{31b}$$

$$E_3 = k + kg^2 (\alpha^2 + \beta^2) \tag{32a}$$

$$E_4 = -[(\alpha^2 + R\beta^2) + g^2 (\alpha^4 + (1+R)\alpha^2 \beta^2 + R\beta^4)] \tag{32b}$$

$$E_5 = \frac{1}{84} [D_{11} \alpha^4 + 2(D_{12} + 2D_{66}) \alpha^2 \beta^2 + D_{22} \beta^4] + (A_{55} \alpha^2 + A_{44} \beta^2) + k + kg^2 (\alpha^2 + \beta^2) \tag{33a}$$

$$E_6 = -[(\alpha^2 + R\beta^2) + g^2 (\alpha^4 + (1+R)\alpha^2 \beta^2 + R\beta^4)] \tag{33b}$$

It should be noted that

$$E_2 = E_4 = E_6$$

Following procedure similar to that of out-of-phase buckling, one can determine critical buckling load as

$$N_{0Sr} = \frac{E_5^2 - E_1 E_5}{E_2 (E_1 + E_5 - 2E_3)} \tag{34}$$

The non-dimensional form of critical buckling load can now be written as

$$N_{Sr} = N_0 \frac{a^2}{D_{11}} \tag{35}$$

#### 4. NUMERICAL RESULTS AND DISCUSSION

For illustration, the properties of single-layered orthotropic graphene sheets are considered. The two single-layered orthotropic graphene sheets are coupled by embedded polymer. The Young's modulus and Poisson's ratio of the orthotropic graphene sheets are  $E_1=1765\text{GPa}$ ,  $E_2=1588\text{GPa}$ , and  $\nu_{12}=0.3, \nu_{21}=0.27$ . The thickness of the graphene sheets is  $h=0.34\text{nm}$ . The elastic medium which binds two nanoplates was modelled as a system of springs whose stiffness,  $k$ , is varied within the 10-100 range. The range of nonlocal small scale parameter for graphene sheet is adopted as  $g=0\text{-}2\text{nm}$ .

The buckling analysis of the single isotropic nanoplate using two-variable refined plate theory. It is well known that in the Case 2 (in-phase buckling) the two bonded nanoplates act like one. The same holds true if for the Case 1 (out-of-phase buckling) and Case 3 (one nanoplate fixed) we assume stiffness parameter  $k=0$ . The properties of the nanoplates in the validation analysis were adopted for the case of isotropic nanoplates, as in [15]. Young's modulus of the nanoplate was adopted as  $E_1=E_2=1.06\text{TPa}$ , Poisson's ratio  $\nu_{12}=\nu_{21}=0.25$  and thickness  $h=0.34\text{nm}$ . In [13] analysis of buckling of a biaxially compressed orthotropic single-layered graphene sheet was conducted based on the classical Kirchhoff's plate theory and analytical expression for nondimensional buckling load was given. It has been shown that in Case 3 (one-nanoplate fixed), orthotropic DNPS behaves like a single-layered nanoplate. Thus, in this paper the accuracy of the presented theory was checked, as shown in Fig. 5, by comparing the analytical solution for Case 3 (one-nanoplate fixed) with the solution obtained in [13]. Application of the classical Kirchhoff's plate theory yields expressions for the two remaining cases (out-of-phase buckling and in-phase buckling) for orthotropic DNPS. Although the expressions were derived, they are here omitted for brevity. Shown in Fig. 5 is the good matching of results for all three buckling cases.

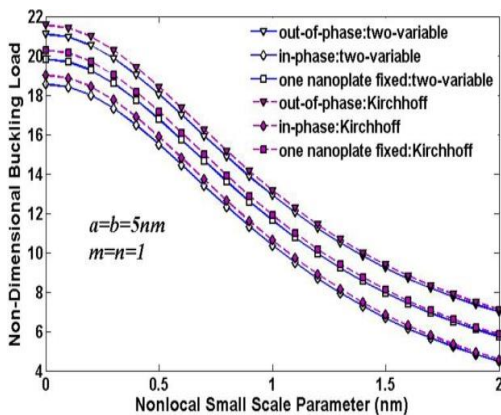


Figure 5. Effect nonlocal small scale parameter on non-dimensional buckling load for two-variable refined plate theory and Kirchhoff's plate theory for  $m=n=1$

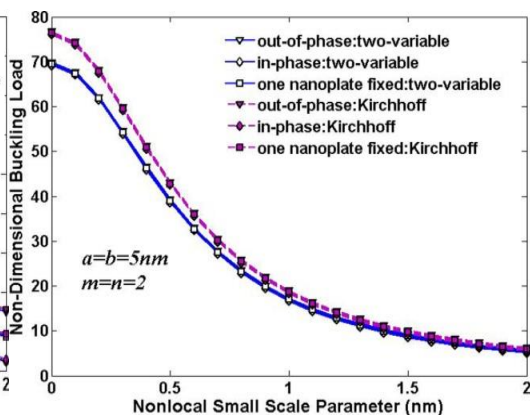


Figure 6. Effect nonlocal small scale parameter on non-dimensional buckling load for two-variable refined plate theory and Kirchhoff's plate theory for  $m=n=2$

Shown in Fig. 5 is comparison between nondimensional buckling load obtained by nonlocal small scale parameter for two-variable refined plate theory and the classical Kirchhoff's plate theory. Square nanoplates of edges  $a=b=5$  nm are considered. The stiffness parameter of the coupling springs between the nanoplates is assumed to be constant ( $k=25$ ). The number of half waves is  $m=1, n=1$ . It can be seen that nondimensional buckling load in the case of two-variable refined plate theory is smaller than that obtained by the classical Kirchhoff's plate theory. The conclusion is that transverse shear deformation has the effect of reducing the buckling load. The difference in nondimensional buckling load gets smaller with the increase of nonlocal small scale parameter. It should be noted that larger values of nonlocal small scale parameter reduce the nondimensional buckling load, which is confirmed by previous contributions [15,13]. Comparing the three typical cases of buckling, it is possible to note that the value of nondimensional buckling load in Case 1 (out-of-phase buckling) is larger than that obtained in Case 3 (one-nanoplate fixed) and Case 2 (in-phase buckling). This corresponds to the results previously reported for isotropic DNPS [16]. Fig. 6 illustrates the difference in values of nondimensional buckling load in case when  $m=n=2$ . It can be seen that larger  $m$  and  $n$  result in larger nondimensional buckling load. Also, larger  $m$  and  $n$  lead to more pronounced difference in nondimensional buckling loads between results obtained by two-variable refined plate theory and classical Kirchhoff's plate theory. That difference is particularly noticeable for small values of nonlocal small scale parameter. In case when nonlocal small scale parameter is larger than one, the results for nondimensional buckling load yielded by the two theories become very close. Furthermore, Fig. 6 shows that in case when  $m=n=2$ , the values of nondimensional buckling load for the three typical cases of buckling are almost identical, which complies with [15] which considers isotropic DNPS based on the classical Kirchhoff's plate theory.

## 5. NUMERICAL RESULTS AND DISCUSSION

In the presented paper, analysis of buckling behaviour of the double-orthotropic-nanoplate-systems was performed on the basis of the nonlocal theory of elasticity and two-variable refined plate theory. Two single-layered orthotropic graphene sheets coupled by polymer matrix were considered, while the buckling load was obtained analytically for three typical deformation modes. Based on the numerical results, the following main conclusions are drawn. It was found that the values of nondimensional buckling load - obtained by two-variable refined plate theory - were smaller than the values obtained by the classical Kirchhoff's plate theory. The difference in nondimensional buckling obtained by the two theories increases with the larger number of modes. The influence of nonlocal effect on the nondimensional buckling load is diminished by higher stiffness of coupling springs.

## REFERENCES

- [1] Iijima, S. (1991). *Helical microtubules of graphitic carbon*. Nature 354, 56-58.
- [2] Geim, A.K, Novoselov, K.S. (2007). *The rise of graphene*. Nature Materials 6, 183-191.
- [3] Stankovich, S., Dmitry , A.D, Kevin, H.B.D., Eric, J.Z., Eric, A.S., et al. (2006). *Graphene-based composite material*. Nature 442, 282-286.
- [4] Lee, C., Wei ,X., Li, Q., Carpik, R., Kysar, J.W., Hone, J. (2009). *Elastic and frictional properties of graphene*. Physics Status Solidi 246, 2562-2567.

- [5] Sakhaee-Pour, A., Ahmadian, M.T, Vafai A. (2008). *Applications of single-layered graphene sheets as mass sensors and atomistic dust detectors*. Solid State Communications 145, 168-172.
- [6] Schwarzbart, M., Steindl, A., Troger, H. (2008). *Molecular statical calculation of graphene sheet buckling*. Proceedings in Applied Mathematics and Mechanics 8, 10343-10344.
- [7] Behfar, K., Naghdabadi, R. (2005). *Nanoscale vibrational analysis of a multi-layered grapheme sheet embedded in elastic medium*. Composites Science and Technology **65**,1159-1164.
- [8] Yang, H.K.,Wang, X. (2007). *Torsional buckling of multi-wall carbon nanotubes embedded in an elastic medium*. Composite Structures **77**, 182-192.
- [9] Eringen, A.C. (1983). *On differential equations of nonlocal elasticity and solutions of screw dislocations and surface waves*. Journal of Applied Physics 54,4703-4710
- [10] Peddieson, J.,Buchanan, G.R., McNitt, R.P. (2003). *Application of nonlocal continuum models to nanotechnology*. International Journal of Engineering Science 41, 305-312.
- [11] Aghababaei, R., Reddy, J.N. (2009) *Nonlocal third-order shear deformation plate theory with application to bending and vibration of plates*. Journal of Sound and Vibration **326**, 277-289.
- [12] Murmu, T., Pradhan, S.C. (2009). *Small-scale effect on the free in- plane vibration of nanoplates by nonlocal continuum model*. Physica E : Low -Dimensional Systems and Nanostructures 41, 1628-1633.
- [13] Murmu, T., Pradhan, S.C. (2009). *Buckling of biaxially compressed orthotropic plates at small scales*. Mechanics Research Comuncations 36, 933-938.
- [14] Atanackovic, T.M., Novakovic, B.N., Vrcelj Z. (2012). *Shape optimization against buckling of micro- and nano-rods*. Archive of Applied Mechanics 82, 1303-1311.
- [15] Murmu, T., Sienz, J., Adhikari, S., Arnold, C. (2013). *Nonlocal buckling of double-nanoplate-systems under biaxial compression*. Composites Part B: Engineering 44, 84-94.





## UTICAJ UGLA ORIJENTACIJE UGLJENIČNIH VLAKANA NA SVOJSTVA KOMPOZITNIH PLOČA PRI IZVIJANJU

Dejan Jeremić<sup>1</sup>, Nebojša Radić<sup>2</sup>

*Rezime: U ovom radu je izvršena analitička studija izvijanja dvostrukih ortotropnih kompozitnih ploča primjenom klasične teorije laminatnih ploča (CLPT). Sistem se sastoji od dvije ortotropne kompozitne ploče spojene sa unutrašnjim elastičnim medijumom i nalaze se u spoljašnjem elastičnom okruženju. Razmatrena su tri karakteristična tipa izvijanja. Glavne jednačine su izvedene i izrazi za kritičnu silu izvijanja su prikazani u eksplisnom obliku za slučaj kada su sve četiri strane laminatne ploče zglobno oslonjene. Analizirane su dvije šeme laminata čiji ugao orijentacije vlakana je  $0^\circ$  i  $30^\circ$ .*

*Ključne riječi: elastični medij, izvijanje, ugao orijentacije karbonskih vlakana, kompozitna ploča*

### INFLUENCE OF CARBON FIBER ANGLE ORIENTATION ON BUCKLING PROPERTIES OF COMPOSITE PLATES

*Abstract: In this paper is presented an analytical study of the buckling of double orthotropic composite plates using the Classical Laminated Plate Theory (CLPT). This system consists of two orthotropic composite plates bonded by an internal elastic medium and surrounded by external elastic foundation. Three characteristic types of buckling are considered. Governing equations are derived, while the expressions for the buckling load are given in explicit form for a composite plate with all edges simply supported. We analyzed two lamination schemes which fiber angle orientation is equal to  $0^\circ$  and  $30^\circ$ .*

*Key words: elastic media, angle of orientation carbon fibers, buckling, composite plates*

#### 1. UVOD

Široka je mogućnost primjene kompozitnih materijala u različitim područjima tehnike. Ovo proizlazi iz razloga što su kompoziti konstrukcijski elementi različitih tipova, a koji se javljaju i kao samostalne nosive konstrukcije i kao dijelovi neke složenije konstrukcije, zajednički za sva gore spomenuta područja. Uzimajući u obzir različite pristupe projektnim rješenjima te različite tehnološke mogućnosti proizvodnje,

<sup>1</sup> Mr Dejan Jeremić, dip.maš.inž., UIS, Mašinski fakultet I. Sarajevo, dejan.jeremic@yahoo.com

<sup>2</sup> Dr Nebojša Radić, vanredni profesor, UIS, Mašinski fakultet I. Sarajevo, nebojsaradic67@gmail.com

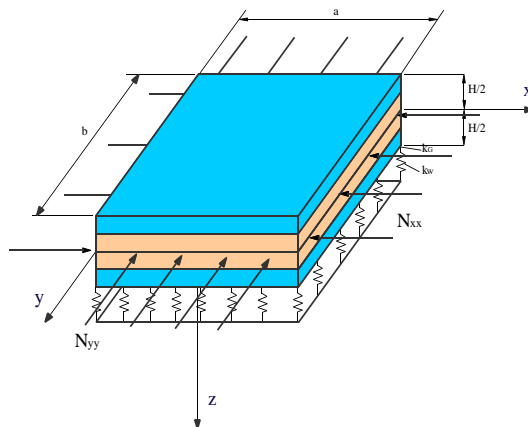
optimalno se projektno rješenje nameće kao primarni cilj. U analizi stabilnosti to znači da se ne stvara samo teorijski moguće dobro rješenje, već se ono stvara kao optimalno. Pri tome dobijeni rezultati prikazivali stabilnosti kompozitnih laminatnih ploča koje su generalno konstruisane od više ortotropnih slojeva, pa je zbog toga analiza čvrstoće, stabilnosti i vibracija ovih ploča veoma složena i bazira se na rješavanju složenog sistema parcijalnih diferencijalnih jednačina.

Predmet ovog rada je proučavanje kompozitnih materijala koji predstavljaju kombinaciju visoke otpornosti sa malo mgustinom odnosno težinom. Kompozitni materijali se sastoje od dva osnovna konstituenta: vlakna i matrice koji čine slojeve koji su međusobno povezani i tako čine višeslojni kompozit (laminat). Materijali od kojih su najčešće napravljeni ovi konstituenti su prikazani u [1], [2] i [3].

Ploča od kompozitnog materijala predstavlja jednu laminu (list, ljusku) ili sloj i ona je osnovni modul, odnosno sastavni blok laminata. Lamina ojačana vlaknima sastoji se od mnogo vlakana ugrađenih u materijal matrice. Laminat predstavlja skup lamina naslaganih da se postigne željena krutost i čvrstoća. Različiti način slaganja lamina u laminatu, a takođe i različita orijentacija lamina, odnosno definisanje šeme laminata dato je u [1], [2],[4],[6]. Sa aspekta makromehanike, lamina se posmatra kao kontinuum. Zadatak makromehanike laminata jeste da poznavajući mehaničke osobine svih pojedinih slojeva, njihovu debljinu i usmjerenost vlakana u pojedinim slojevima, odredi mehaničke osobine laminata, kao u [1],[2],[5]. Ovaj pristup podrazumijeva određivanje vrijednosti komponenti tenzora napona i deformacije u slojevima, na osnovu kojih se određuju vrijednosti sila i momenata za čitav laminat.

Klasična teorija laminatnih ploča opisana je u [1],[4],[6] koja je i predmet istraživanja u ovom radu. Treba još naglasiti da pored klasičnih kompozitnih materijala, koji su u ovom radu zastupljeni, kombinacije mogu da se ostvare i u metalnim materijalima vlaknima ojačanim s vlaknima, a takođe i navarivanjem sloja metala različitih karakteristika od baznog materijala, kao što je prikazano radovima [7],[8].

## 2. GLAVNE JEDNAČINE ZA ČETVEROSLOJNU ORTOTROPNU PLOČU



Slika 1. Četveroslojna simetrična laminatna ploča postavljena na elastični medij

Posmatramo ponašanje ortotropne simetrične laminatne ploče, sastavljene od četiri lamine, dužine  $a$ , širine  $b$  i visine  $h$  koja se nalazi na elastičnoj spoljašnjoj sredini (elastičnoj medij) kao što je prikazano na slici 1. Spoljašnja sredina je matematički modelirana sa Pasternakovim tipom oslanjanja koji se matematički modelira preko

Winklerovog  $k_w$  i smičućeg  $k_G$  modulu matrice polimera. Pretpostavljeno je da svaka lamina ima istu dužinu i širinu  $b$ , masu po jedinici dužine i savojnu krutost. U opštem slučaju te vrijednosti mogu biti različite. Mi ćemo pretpostaviti da je laminat dvoosno pritisnut u svojoj srednjoj ravni sa silama  $N_{xx}$  i  $N_{yy}$  u pravcu osa  $x$  i  $y$  respektivno. Postepenim povećavanjem  $N_{xx}$  i  $N_{yy}$  dolazi se do stanja, kada ravni ravnotežni oblik ploče postaje nestabilan i dolazi do pojave izbočenja.

Kritične vrijednosti sila u srednjoj ravni laminatne kompozitne ploče, pri kojoj ravan ravnotežni oblik postaje nestabilan i ploča počinje da se izvija, mogu se dobiti pod pretpostavkom da ploča ima neku prvobitnu krivinu ili neko poprečno opterećenje. One vrijednosti sila u srednjoj ravni, pod kojim ugibi teže da postanu beskonačno veliki, obično su kritične vrijednosti opterećenja. Problem stabilnosti se može takođe ispitati pod pretpostavkom da se ploča blago izvija islijed djelovanja sila u srednjoj ravni, pa se onda sračunaju veličine koje treba da imaju sile, da bi održale ploču u tako blago izvijenom obliku.

Glavna jednačina za dvoosno pritisnuto ortotropno laminatno pločko kojasenalanastielastičnom mediju, zasnovanana klasičnoj teoriji laminatnih ploča (CLPT) ima sljedeći oblik:

$$D_{11} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2(D_{12} + 2D_{66}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_{22} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + N_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + N_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + k_w w - k_G \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (1)$$

Pretpostavićemo da je laminat opterećen u pravcu osa  $x$  i  $y$ , tj.  $N_x = N_y$ . Sada ćemo definisati odnos sila pritiska koji je jednak količniku sila u pravcu ose  $y$  i  $x$ .

Ako uvedemo da je

$$\delta = \frac{N_{xx}}{N_{yy}} \rightarrow N_{yy} = \delta N_{xx} \quad (2)$$

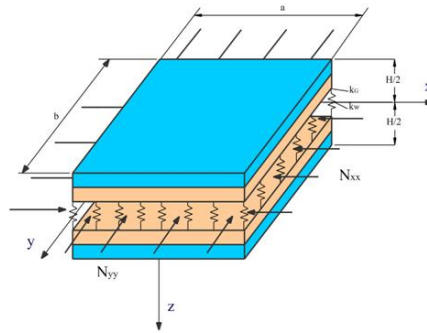
dobije se uproštena glavna jednačina

$$D_{11} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2(D_{12} + 2D_{66}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_{22} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + N_x \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \delta \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) + k_w w - k_G \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (3)$$

Prije rješavanja glavne jednačine (3) potrebno je definisati konturne uslove. U ovoj slučaju ćemo pretpostaviti da su sve ivice laminatne ploče zglobno oslonjene. To znači da su na krajevima laminatne ploče pomjeranja i momenti jednaki nuli što se može matematički izraziti sljedećim jednačinama:

$$w_i(0, y, t) = 0, \quad w_i(a, y, t) = 0, \quad w_i(x, 0, t) = 0, \quad w_i(x, b, t) = 0 \quad i = 1, 2 \quad (4)$$

$$M_i(0, y, t) = 0, \quad M_i(a, y, t) = 0, \quad M_i(x, 0, t) = 0, \quad M_i(x, b, t) = 0 \quad (5)$$



Slika 2. Četveroslojna simetrična laminatna sa elastičnim medijem u srednjoj ravni

Ako u sredinu četveroslojnog laminata ubacimo elastični medij koji polovi laminat na dva simetrična dijela, imaćemo dvije kompozitne ploče po dvije lamine (slika 2) čije su glavne jednačine oblika:

Ploča 1

$$D_{11} \frac{\partial^4 w_1}{\partial x^4} + 2(D_{12} + 2D_{66}) \frac{\partial^4 w_1}{\partial x^2 \partial y^2} + D_{22} \frac{\partial^4 w_1}{\partial y^4} + N_x \frac{\partial^2 w_1}{\partial x^2} + N_y \frac{\partial^2 w_1}{\partial y^2} + k_w (w_1 - w_2) - k_G \nabla^2 (w_1 - w_2) = 0 \quad (6)$$

Ploča 2

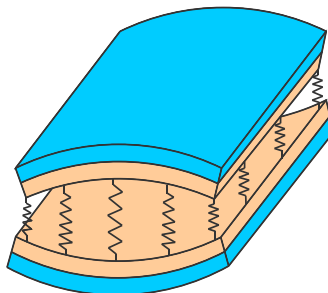
$$D_{11} \frac{\partial^4 w_2}{\partial x^4} + 2(D_{12} + 2D_{66}) \frac{\partial^4 w_2}{\partial x^2 \partial y^2} + D_{22} \frac{\partial^4 w_2}{\partial y^4} + N_x \frac{\partial^2 w_2}{\partial x^2} + N_y \frac{\partial^2 w_2}{\partial y^2} + k_w (w_2 - w_1) - k_G \nabla^2 (w_2 - w_1) = 0 \quad (7)$$

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \quad (8)$$

### 3. ANALIZA TRI KARAKTERISTIČNA TIPA IZVIJANJA

U ovom poglavlju ćemo razmotriti tri različita slučaja dvoosnog izvijanja. Proučićemo slučajeve kada se dvije kompozitne ploče izvijaju asinhrono (out-of-phase), sinhrono (in-phase) i kad je jedna kompozitna ploča fiksna.

#### 3.1 Asinhrono (out-of-phase) izvijanje



Slika 3. Asinhrono izvijanje ploča

U ovom slučaju obje ploče će se izviti asinhrono (out-of-phase) i  $w_1(x, y, t) - w_2(x, y, t) \neq 0$  kao što je prikazano na slici 3. Ovdje ćemo razmatrati slučaj kada su svi krajevi ploča zglobno oslonjeni. Da bismo izračunali kritično opterećenje (buckling load) u ovom slučaju ćemo koristiti jednačine (6) i (7). Ako od jednačine (6) oduzmemo jednačinu (7) dobijamo:

$$D_{11} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2(D_{12} + 2D_{66}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_{22} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + N_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + N_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + 2k_w w - 2k_G \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (9)$$

$$w = w_1 - w_2 - w_2 + w_1 = 2w_1 - 2w_2 = 2(w_1 - w_2) = 2w \quad (10)$$

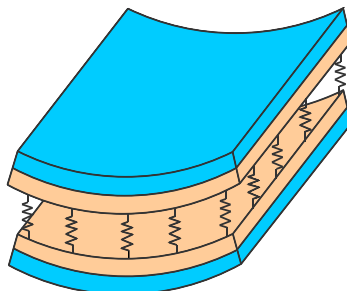
Ova jednačina (9) se može riješiti primjenom Navier metode pretpostavljajući rješenje pomoću izraza

$$w = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} W_{mn} \sin(\alpha x) \sin(\beta y) \quad (11)$$

Ako zamijenimo jednačinu (11) u jednačinu (9) dobićemo vrijednost kritične sile za asinhroni (out-of-phase) oblik izvicanja

$$N_{cr} = \frac{D_{11}\alpha^4 + 2(D_{12} + 2D_{66})\alpha^2\beta^2 + D_{22}\beta^4 + 2k_w + 2k_G(\alpha^2 + \beta^2)}{(\alpha^2 + \beta^2)} \quad (12)$$

### 3.2 Sinhrono (in-phase) izvicanje



Slika 4. Sinhrono izvicanje ploča

U ovom slučaju dvije kompozitne ploče se izvijaju sinhrono kao što je to prikazano na slici 4 tako da je relativno pomjeranje ( $w_1(x, y, t) - w_2(x, y, t) = 0$ ). Objе ploče se izvijaju u istom smjeru. Za ovaj slučaj izvicanja glavna jednačina ima sljedeći oblik

$$D_{11} \frac{\partial^4 w_2}{\partial x^4} + 2(D_{12} + 2D_{66}) \frac{\partial^4 w_2}{\partial x^2 \partial y^2} + D_{22} \frac{\partial^4 w_2}{\partial y^4} + N_x \frac{\partial^2 w_2}{\partial x^2} + N_y \frac{\partial^2 w_2}{\partial y^2} = 0 \quad (13)$$

$$w_1 = w_2 \quad (14)$$

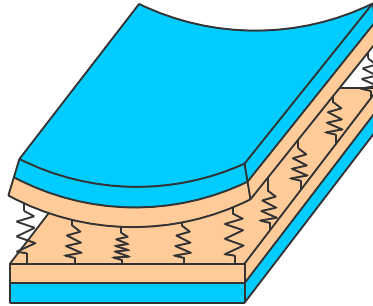
$$w = w_1 - w_2 = 0$$

Sljedeći proceduru kao u slučaju asinhronog možemo odrediti kritičnu silu izvicanja

$$N_{cr} = \frac{D_{11}\alpha^4 + 2(D_{12} + 2D_{66})\alpha^2\beta^2 + D_{22}\beta^4}{(\alpha^2 + \delta\beta^2)} \quad (15)$$

Na osnovu gornjeg izraza može se zaključiti da kod sinhronog izvijanja interakcija između dvije kompozitne ploče ne utiče na vrijednost kritične sile.

### 3.2 Izvijanje kada je jedna kompozitna ploča nepokretna



Slika 5. Izvijanje u slučaju kada je jedna ploča nepokretna (fiksirana)

U ovom slučaju se izvija samo kompozitna ploča-1 dok je druga kompozitna ploča-2 nepokretna kao što je prikazano na slici 5. Za ovaj slučaj izvijanja glavna jednačina ima sljedeći oblik

$$D_{11} \frac{\partial^4 w_1}{\partial x^4} + 2(D_{12} + 2D_{66}) \frac{\partial^4 w_1}{\partial x^2 \partial y^2} + D_{22} \frac{\partial^4 w_1}{\partial y^4} + N_x \frac{\partial^2 w_1}{\partial x^2} + N_y \frac{\partial^2 w_1}{\partial y^2} + k_w w_1 - k_G \left( \frac{\partial^2 w_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_1}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (16)$$

abedimenzionalnakritičnasilaizvijanja

$$N_{cr} = \frac{D_{11}\alpha^4 + 2(D_{12} + 2D_{66})\alpha^2\beta^2 + D_{22}\beta^4 + k_w + k_G(\alpha^2 + \beta^2)}{(\alpha^2 + \delta\beta^2)} \quad (17)$$

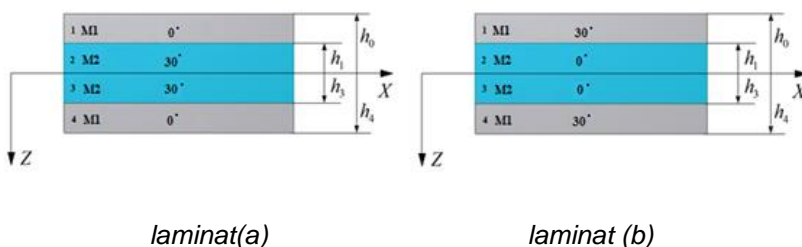
Dobijena vrijednost kritične sile je ista kao u slučaju izvijanja jedne kompozitne ploče. Na osnovu jednačina (12), (15) i (17) može se zaključiti da uticaj interakcije između dvije kompozitne ploče zavisi od tipa izvijanja.

## 4. REZULTATI I DISKUSIJA

Analiziran je četveroslojni simetrični laminat sastavljen od dvije vrste materijala sa različitim uglovima orijentacije vlakana. Kombinovane se dvije vrste materijala:

- Kevlar 49/CE 3305 (material M1)
- Graphite-Epoxy AS-1/3501-5A (material M2)

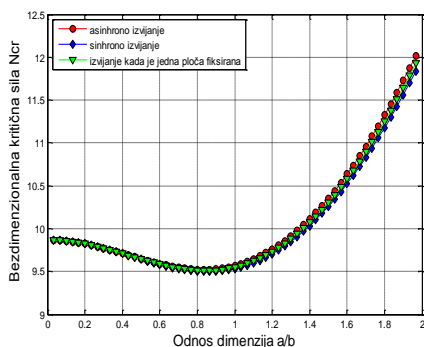
Prvo je dobijena matrice krutosti [D] za izabrane šeme laminata (slika 6) izvrštavanjem vrijednosti njenih članova u prethodno postavljene izraze dobijene su vrijednosti kritičnih sila.



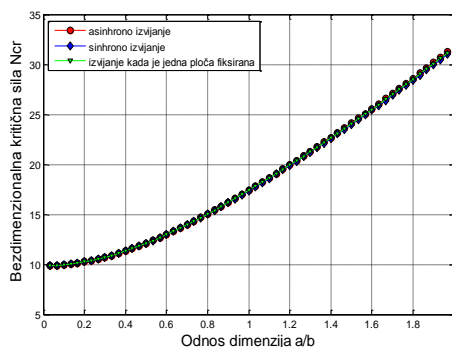
Slika 6. Prikaz ugla orijentacije vlakana unutar lamina i raspored lamina po slojevima

Na osnovu jednačina (12), (15) i (17) izvršena je analiza uticaja promjene ugla orijentacije vlakana unutar laminata na kritičnu silu  $N_{cr}$  (bezdimenzionalna veličina) pri navedenoj šemi laminata (slike 7 i 8).

Debljina ploče je  $h=0,25 \text{ mm}$ , a ukupna debljina laminata je  $1 \text{ mm}$ . Odnos dužine  $a$  i širine  $b$  ploče označen je sa  $a/b$  pri čemu je  $b=0,3 \text{ m}$  i  $a=0-0,6 \text{ m}$ . Elastična sredina koja povezuje dvije ploče je modelirana sistemom opruga pri čemu je vrijednost Winklerovog modula  $k_w=10N/m^3$ , a vrijednost smičućeg modula  $k_G=1N/m$ . Posmatrane su dvoosno opterećene ploče pri odnosu pritisknog opterećenja (compression ratio)  $\delta=0,5$  i broja polutala sa  $m=1$  i  $n=1$ .



Slika 7. Zavisnost kritične sile  $N_{cr}$  (bezdimenzionalna veličina) od ugla orijentacije vlakana za laminat a)



Slika 8. Zavisnost kritične sile  $N_{cr}$  (bezdimenzionalna veličina) od ugla orijentacije vlakana za laminat b)

Ako usporedimo dijagrame za laminat a) i laminat c) može se zaključiti da postoji minimalna kritična sila i da je ona za laminat a) pri odnosu dimenzija  $a/b \approx 0.8$ . Kod laminata c) vrijednost kritične sile nešto veća u odnosu na laminat a). Za razliku od laminata a) u slučaju laminata c) ne može se uočiti odnos dimenzija ploče  $a/b$  pri kojem imamo minimalnu vrijednost kritične sile, tj. sa povećanjem odnosa dimenzija  $a/b$  vrijednost kritične sile se neprekidno povećava. Očigledno je da vrsta materijala pojedinih lamina i način njihovog slaganja imaju veliki uticaj na vrijednost kritične sile izvijanja i o tome treba voditi računa. Može se zaključiti da u slučaju laminata a) imamo ponašanje slično ponašanju izotropne i ortotropne ploče, dok u slučaju laminata b) ponašanje ploče je slično ponašanju anizotropnih ploča.

## 5. ZAKLJUČAK

U ovom radu je prikazan uticaj ugla orijentacije vlakana unutar laminata na bezdimenzionalnu kritičnu silu dvoosno pritisnute četveroslojne laminatne ploče koju elastični medij polovi na dva simetrična dijela. Posmatrana su tri karakteristična slučaja izvijanja : asinhrono (out-of-phase) izvijanje, sinhrono (in-phase) izvijanje i izvijanje kada je jedna laminatna ploča nepokretna. Posmatrane su ploče koje su na svojim krajevima globalno oslonjene tako da je pomoću analitičkog metoda dobijena vrijednost bezdimenzionog kritičnog opterećenja za sva tri karakteristična slučaja. U radu je pokazano da uglovi orijentacije vlakana unutar laminata imaju značajan uticaj na ponašanje pri izvijanju i ne mogu se zanemariti.

Pokazano je da se sa promjenom ugla orijentacije vlakana povećava vrijednost bezdimenzionog kritičnog opterećenja za sva tri karakteristična slučaja izvijanja. Njihove krive se poklapaju pri datim vrijednostima parametara krutosti kod laminata b), dok je za laminat a) sa povećanjem odnosa  $a/b$  razlika između krivih uočljivija i najmanja vrijednost bezdimenzionalne kritične sile je pri sinhronom izvijanju. Laminati imaju različite minimalne i maksimalne vrijednosti bezdimenzionalne kritične sile pri istim odnosima  $a/b$ . Pri asinhronom izvijanju kritična sila ima najveću vrijednost kod obje šema posmatranih laminata.

## LITERATURA

- [1] Reddy, J. N., *Mechanics of Laminated Composite Plates and Shells: Theory and Analysis*, CRC Press LLC, London and New York, 2004.
- [2] Smojver, I., *Mehanika kompozitnih materijala*, Fakultet strojarstva i brodogradnje
- [3] Milosavljević, D. *Prostiranje talasa u elastičnim pločama ojačanim sa dve familije vlakana*, Doktorska disertacija, Beograd 1986.
- [4] Spencer, A.J.M., *Constitutive Theory for Strongly Anisotropic Solids, in Continuum Theory of the Mechanics of Fibre Reinforced Composites*, ed. by A.J.M. Spencer, 1-32, Springer-Verlag, Wien, 1984.
- [5] Milosavljevic, D.I., *Dynamic Properties of Layer Reinforced by Two Families of Fibres, in Mechanical Identification of Composites*, ed. by A. Vautrin and H. Sol, Elsevier Applied Science, 262-269, London and New York, 1991.
- [6] Powell, P. C., *Engineering with Fibre-Polymers Laminates*, Chapman & Hall, England, 1994.
- [7] Lazic, V., Milosavljevic, D., Aleksandrovic, S., Marinkovic, P., Bogdanovic, G., Nedeljkovic, B., Mutavdžić, M., *Tribological Investigations of Hard-Faced Layers and Base Materials of Forging Dies with Different Kinds of Lubricants Applied, Tribology in industry*, Volume 32, No. 4, pp. 36-44., 2010.
- [8] Lazic, V., Milosavljevic, D., Aleksandrovic, S., Marinkovic, P., Bogdanovic, G., Nedeljkovic, B., *Carbide Type Influence on Tribological Properties of Hard Faced Steel Layers-Part II – Experimental Results*, Tribology in industry, Volume 32, No. 3, pp. 1-12., 2010.
- [9] Pradhan, S.C., Murmu, T. (2009). *Buckling of biaxially compressed orthotropic plates at small scales*, Mech. Res. Commun, 36, p. 933-938,.
- [10] Mitić, S., *Buckling of a simply supported stepped plate*, The International Conference mechanical Engineering in XXI, Niš novembar 2010.
- [11] Jeremić, D., *Analiza stabilnosti laminatnih kompozitnih ploča*, Magistarski rad, Istočno Sarajevo, oktobar 2013.





## POREĐENJE REZULTATA SOPSTVENIH FREKVENCIJA KARBONSKIH NANOCIJEVI DOBIJENIH METODOM KONAČNIH ELEMENTA (MKE) I ANALITIČKOM METODOM

Nikola Vučetić<sup>1</sup>, Nebojša Radić<sup>2</sup>, Miroslav Milutinović<sup>3</sup>, Spasoje Trifković<sup>4</sup>,  
Aleksandar Košarac<sup>5</sup>

*Rezime: Kroz ovaj rad je izvršeno poređenje rezultata sopstvenih frekvencija karbonskih nanocijevi dobijenih korišćenjem MKE analize i analitičke metode. Svako tijelo ima sopstvenu frekvenciju kojom osciluje ukoliko nije izloženo dejstvu spoljašnjih sila. Cilj rada je da se utvrdi jednakopravnost MKE analize i analitičke metode u izračunavanju sopstvenih frekvencija karbonskih nanocijevi. Izračunate su sopstvene frekvencije karbonskih nanocijevi kružnog i kvadratnog poprečnog presjeka putem MKE analize i analitičke metode, te je izvršeno poređenje dobijenih rezultata prikazanih tabelarno i na dijagramima. Na osnovu dobijenih vrijednosti može se zaključiti da se odstupanja u rezultatima pri određivanju sopstvenih frekvencija nanocijevi putem MKE analize i analitičke metode nalaze u dozvoljenim granicama.*

*Ključne riječi: analitički metod, MatLab, MKE, nanocijevi, sopstvena frekvencija;*

## CARBON NANOTUBES NATURAL FREQUENCIES RESULTS COMPARISON USING FEM AND ANALYTICAL METHOD

*Abstract: The paper presents carbon nanotubes natural frequencies results comparison using FEM and analytical method. Each body has its own frequency which oscillates if it is not exposed to the action of external forces. The aim of this paper is to establish the equality of FEM and analytical method in calculating carbon nanotubes natural frequencies. In our work we have calculated circular and square cross-section carbon nanotubes natural frequencies via FEM and analytical method and the comparisons of the results obtained in tables and graphs. Based on the obtained values it can be concluded that the discrepancies in the results for the calculation of nanotubes natural frequencies using FEM and analytical method were within permissible limits.*

*Key words: analytical method, MatLab, FEM, nanotubes, natural frequency;*

<sup>1</sup> Asistent, Nikola Vučetić, I. Sarajevo, Mašinski fakultet I. Sarajevo, vuceticnikola@yahoo.com

<sup>2</sup> Prof. dr Nebojša Radić, I. Sarajevo, Mašinski fakultet I. Sarajevo, nesor67@yahoo.com

<sup>3</sup> Doc. dr Miroslav Milutinović, I. Sarajevo, Mašinski fakultet I. Sarajevo, m.milutinovic82@gmail.com

<sup>4</sup> Viši asistent, Spasoje Trifković, I. Sarajevo, Mašinski fakultet I. Sarajevo, trifkovic\_s@yahoo.com

<sup>5</sup> Viši asistent, Aleksandar Košarac, I. Sarajevo, Mašinski fakultet Istočno Sarajevo, akosarac@gmail.com

## 1. UVOD

Veoma specifična vrsta kretanja se dešava kada na tijelo djeluje sila proporcionalna otklonu tijela od ravnotežnog položaja. Ukoliko je ta sila uvijek usmjerena ka ravnotežnom položaju, uspostavlja se »naprijed-nazad« kretanje oko tog položaja. Takvo kretanje se naziva periodično kretanje, harmonijsko kretanje, oscilovanje ili vibriranje.

Kada su u pitanju molekuli tijela koje je u čvrstom agregatnom stanju, njihovo oscilovanje se izvodi oko čvora kristalne rešetke, dakle oko ravnotežnog položaja.

Metod konačnih elemenata (MKE) je danas najopštiji numerički metod primijenjen u gotovo svim naukama, a posebno u inženjerskim oblastima. Veliki broj međunarodnih časopisa najvišeg nivoa, čitava industrija za razvoj *software*-a na osnovama MKE, svakodnevna primjena MKE komercijalnih i specijalnih programskih paketa u okviru CAD sistema u svim industrijskim granama i intenzivna naučna istraživanja u MKE najkraće su ilustracije prethodne tvrdnje. Osnovna prednost MKE se ogleda u njoj uopštenost u primjeni (oblast solida, fluida, provođenja toplote, linearni i nelinearni problemi), kao i pogodnosti u pogledu primjene računara.

U našoj zemlji MKE se koristi u istraživačkom radu i u inženjerskoj praksi, počevši od sedamdesetih godina [1].

Jednačine konačnih elemenata se izvode pomoću diferencijalne i varijacijske formulacije. Drugim riječima, moguće je primijeniti *Galerkin*-ovu i *Rayleigh-Ritz*-ovu metodu [1].

Najjednostavniji konačni element je jednodimenzionalni element sa dva čvora i sa linearnom interpolacijom koji su korišćeni i u ovom radu.

Analiza vibracija nanogreda prikazana je u radu *Vibration analysis of Euler-Bernoulli nanobeams by using Finite Element Method* [2].

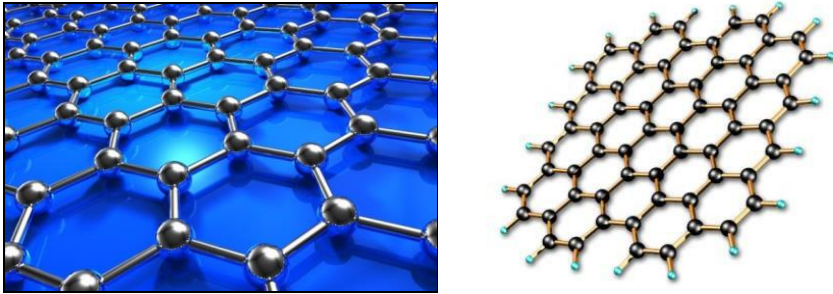
U novije vrijeme sve više pažnje se posvećuje nanotehnologiji i analizi fizičkih osobina karbonskih nanocijevi [3]. Jasno je da je ova tehnologija u samom začetku, no sva istraživanja ukazuju da je izuzetno važna i da će u skorije vrijeme zauzeti značajno mjesto u inženjerskim oblastima. Stoga je svakako veoma važno usmjeriti istraživačke napore u smjeru definisanja i što jasnijeg razumijevanja principa nanotehnologije.

Rezultati sopstvenih frekvencija karbonskih nanocijevi u ovom radu su dobijeni korišćenjem metode MKE i analitičke metode, te je izvršeno njihovo tabelarno poređenje, kao i poređenje putem dijagrama iz *software*-skog paketa MatLab.

## 2. KARBONSKE NANOCIJEVI

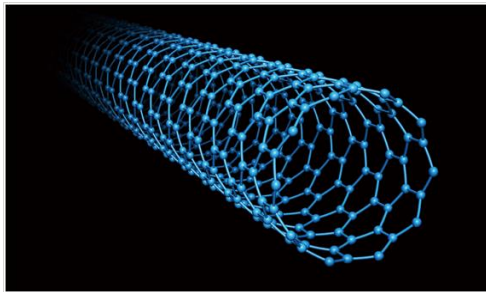
Karbonske nanocijevi su otkrivene 1991. godine. Od tada su provedena mnoga istraživanja s ciljem opisivanja njihovih osobina u svim granama nauke. Odlikuju se odličnim električnim, mehaničkim i toplotnim osobinama u poređenju sa konvencionalnim materijalima. Primjera radi, mehanička čvrstoća nanocijevi je znatno veća nego čvrstoća čelika [4].

Grafen, odnosno nanosloj ugljenikovih atoma pakovanih u dvodimenzionalnu (2D) rešetku u obliku saća, je osnovni gradivni blok karbonskih nanocijevi (slika 1).



Slika 1. Grafen, osnovni gradivni element karbonskih nanocijevi [4]

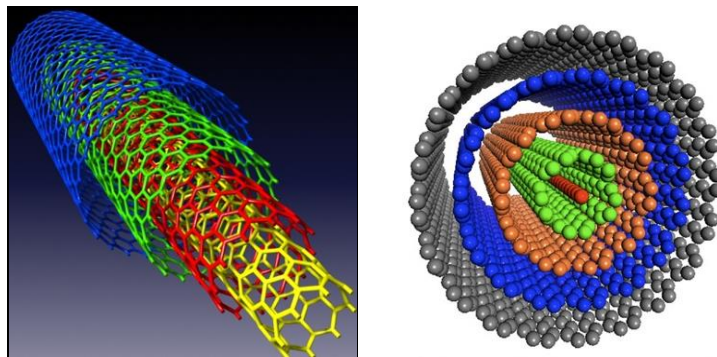
Jednoslojne karbonske nanocijevi (slika 2) (*single-walled carbon nanotubes-SWCNT*) se sastoje od jedne ploče grafena zamotane u oblik šupljeg cilindra.



Slika 2. Jednoslojna karbonska nanocijev (SWCNT) [4]

Atomi ugljenika se nalaze u vrhovima heksagona, a linije između vrhova predstavljaju veze između atoma ugljenika. Karbonske nanocijevi su obično prečnika oko 1 nm, a mogu biti duge čak i nekoliko mm.

Višeslojne karbonske nanocijevi (slika 3) (*multi-walled carbon nanotubes-MWCNT*) se sastoje od reda jednoslojnih karbonskih nanocijevi koncentrično ugnježenih, poput godova na drvetu. Mogu da imaju prečnik i do 100 nm. Rastojanje između slojeva višeslojnih karbonskih nanocijevi iznosi 0,34 nm [4].



Slika 3. Višeslojne karbonske nanocijevi (MWCNT) [4]

Karbonske nanocijevi mogu se produžavati raznim metodama, uključujući gasovite faze sinteze, metalno-organska hemijska taloženja ili hidrotermalnu analizu.

Osnovna primjena karbonskih nanocijevi je zasnovana kod nanouređaja [5], tranzistora [6], nanosenzora, dioda, led osvjetljenja i sl.

### **3. PRIMJENA MKE I ANALITIČKE METODE U ODREĐIVANJU SOPSTVENIH FREKVENCIJA KARBONSKIH NANOCIJEVI**

#### **3.1. Primjena MKE**

Jednačine elastične ravnoteže konačnih elemenata postavljaju se uravnoteženjem elastičnih sila, odnosno pomijeranja u čvornim tačkama i sila i pomijeranja na spoljnim konturama [1]. Matrični oblik ovih jednačina je:

$$[K] \cdot \{\delta\} = [F], \quad (1)$$

gdje je:

$[K]$  matrica krutosti mreže konačnih elemenata, N/m

$\{\delta\}$  matrica pomijeranja čvornih tačaka konačnih elemenata, m

$[F]$  matrica sila u čvornim tačkama, N

Matrica krutosti je dijagonalna i dobija se sabiranjem matrica krutosti konačnih elemenata. Sumiranje se vrši po dijagonali matrice, i to po čvornim tačkama gdje se spajaju konačni elementi. Matrica krutosti ima opšti oblik:

$$[K] = \begin{bmatrix} & 0 \\ 0 & \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Matrica krutosti je kvadratna, dijagonalna i pojasna matrica. Dužina dijagonale zavisi od broja konačnih elemenata, a širina pojasa od broja čvorova konačnih elemenata.

Matrica pomijeranja  $\{\delta\}$  je povezana sa matricom dilatacije:

$$\{\varepsilon\} = [B] \cdot \{\delta\}, \quad (3)$$

gdje je  $[B]$  matrica koja zavisi od oblika mašinskog dijela

Konturni uslovi su spoljašnji uticaji i ograničenja za koja se proračun realizuje. U osloncima su pomijeranja jednaka nuli ili se mogu usvojiti da su nule.

Za razliku od statičke analize u kojoj su spoljašnji uticaji, a samim tim i sve ostale naponsko-deformacione veličine nezavisne od vremena, u dinamičkoj analizi spoljašnji uticaji su funkcije od vremena. Pored osnovnih parametara koji su neophodni za prikazivanje statičkog ponašanja nekog sistema, u dinamičkoj analizi vrijeme se pojavljuje kao novi, dodatni parametar koji znatno komplikuje analizu. Veoma je mali broj zadataka iz područja dinamičke analize za koje se mogu naći analitička rješenja. Zbog toga, numeričke metode pomoću kojih se dobijaju približna rješenja imaju veliki značaj u dinamici.

Kada se pri sračunavanju elemenata matrice masa primijene iste interpolacione funkcije kao i za aproksimaciju polja pomijeranja u elementu, tako dobijena matrica se naziva konzistentna matrica mase elementa. Ona je simetrična i

pozitivno definitna kvadratna matrica  $n$ -tog reda, gdje je  $n$  broj stepeni slobode elementa. Po svojoj strukturi, matrica  $m$  je ista kao i matrica krutosti  $K$  i sastoji se iz blokova:

$$m = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{1j} & m_{1k} \\ m_{i1} & m_{ij} & m_{ik} \\ m_{k1} & m_{kj} & m_{kk} \end{bmatrix} \quad (4)$$

gdje je  $k$  broj čvorova elementa, a dimenzije pojedinih blokova su jednake broju stepeni slobode u odgovarajućim čvorovima.

Određivanje sopstvenih frekvencija se svodi na određivanje rješenja homogenog sistema diferencijalnih jednačina kretanja. Pri određivanju rješenja treba razlikovati dva slučaja:

- sopstvene frekvencije bez prigušenja i
- sopstvene frekvencije sa prigušenjem.

Ovdje će se razmatrati slučaj sopstvenih frekvencija bez prigušenja.

Ovaj problem se definiše sljedećom diferencijalnom jednačinom:

$$M\ddot{q} + K\dot{q} = 0. \quad (5)$$

Ako se vektor generalisanih parametara pomijeranja u čvorovima sistema prikaže u obliku:

$$q = \bar{q} e^{i\omega t}, \quad (6)$$

gdje je  $e^{i\omega t} = \cos \omega t + i \sin \omega t$ , (7)

Matrična jednačina sada postaje:

$$(K - \omega^2 M)\bar{q} = 0. \quad (8)$$

Sistem algebarskih jednačina ima rješenje, osim trivijalnog ( $q=0$ ), samo ako je determinanta ovog sistema jednaka nuli, tj:

$$|K - \omega^2 M| = 0 \quad (9)$$

Pošto su  $K$  i  $M$  pozitivno definitne matrice, svi korjeni karakterističnog polinoma su realni pozitivni brojevi i predstavljaju sopstvene frekvencije [2].

### 3.2. Primjena analitičke metode

Za karbonsku nanocijev dužine  $L$  i prečnika  $d$  važi:

$$(1 - \mu\Delta^2)\tau_{kl} = \lambda\varepsilon_{kl}\delta_{kl} + 2G\varepsilon_{kl}, \quad (10)$$

gdje su:

$\tau_{kl}$  nelokalni tenzor napona,  $N/m^2$

$\varepsilon_{kl}$  tenzor deformacija, m

$\lambda$  i  $G$  konstante.

$\mu = (e_0 \cdot a)^2$  nelokalni parametar ( $a$  karakteristika dužine, m,  $e_0$  konstanta)

Nakon niza transformacija, dobijamo jednačinu za slobodna aksijalna pomijaranja nanocijevi:

$$EA \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + f - \mu \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = (1 - \mu \frac{\partial^2}{\partial x^2}) m \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (11)$$

Ova jednačina se svodi na jednačinu klasičnog štapa ukoliko je nelokalni parametar  $\mu$  jednak nuli.

U cilju povećanja jačine kompozita, karbonske nanocijevi su uronjene u elastični medijum koji ima veliki uticaj na mehaničke osobine nanocijevi.

Shodno tome, aksijalna sila se predpostavlja kao  $f = -ku$ , gdje je  $k$  krutost elastičnog medijuma.

Nizom transformacija dolazimo do analitičkog oblika jednačine iz koje ćemo, određivanjem bezdimenzionalnog parametra frekvencije:

$$\Omega = \sqrt{\frac{\left[ \left[ (2n-1)\pi/2 \right]^2 + \bar{K} \left( \mu/L^2 \left[ (2n-1)\pi/2 \right]^2 + 1 \right) \right]}{\mu/L^2 \left[ (2n-1)\pi/2 \right]^2 + 1}} \quad (12)$$

na osnovu relacije:

$$\Omega^2 = \frac{m\omega^2 L^2}{EA} \quad (13)$$

određivati sopstvene frekvencije karbonskih nanocijevi sa jednim, odnosno sa dva konačna elementa [7].

Matrica masa se može predstaviti kao [8]:

$$M_e = m \int_0^L N(x) N^T(x) dx + m(e_0 \cdot a)^2 \int_0^L \frac{dN(x)}{dx} \cdot \frac{dN^T(x)}{dx} dx = \frac{mL^2}{6} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} + mL^2 \left( \frac{e_0 \cdot a}{L} \right)^2 \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} = \quad (14)$$

$$mL^2 \begin{bmatrix} \frac{1}{3} + \left( \frac{e_0 \cdot a}{L} \right)^2 & \frac{1}{6} - \left( \frac{e_0 \cdot a}{L} \right)^2 \\ \frac{1}{6} - \left( \frac{e_0 \cdot a}{L} \right)^2 & \frac{1}{3} + \left( \frac{e_0 \cdot a}{L} \right)^2 \end{bmatrix}$$

Za karbonsku nanocijev sa jednim konačnim elementom slijedi analitički oblik jednačine za određivanje sopstvene frekvencije:

$$\omega^2 = \frac{K}{mL^2 \left[ \frac{1}{3} + \left( \frac{e_0 \cdot a}{L} \right)^2 \right]} = \frac{K}{T} \quad \omega = \sqrt{\frac{K}{T}} \quad (15)$$

Za karbonsku nanocijev sa dva konačna elementa slijedi analitički oblik jednačine za određivanje sopstvene frekvencije:

$$\omega^4 - 3\omega^2 H + H^2 = 0. \quad (16)$$

Uz pomoć MatLab-a dolazimo do rješenja jednačine četvrtog stepena, od kojih uzimamo dva pozitivna, a odbacujemo negativne i konjugovano-kompleksne vrijednosti, pa dobijamo konačno:

$$\begin{aligned} \omega_1 &= 1,62\sqrt{H} \\ \omega_2 &= 0,92\sqrt{H} \end{aligned} \quad (17)$$

Za dalji proračun se usvaja vrijednost sopstvene frekvencije koja je bliža vrijednosti sopstvene frekvencije određene za jedan konačni element.

#### 4. POREĐENJE DOBIJENIH REZULTATA SOPSTVENE FREKVENCIJE

##### 4.1. Tabelarno poređenje rezultata

Uzimajući u obzir poznate vrijednosti pojedinih članova koji figurišu u jednačinama MKE i analitičkoj jednačini za određivanje sopstvene frekvencije za karbonske nanocijevi kružnog poprečnog presjeka sa jednim i sa dva konačna elementa, te variranjem vrijednosti pojedinih članova, dobijamo uporedne rezultate sopstvenih frekvencija (tabela 1).

Tabela 1. Uporedni rezultati sopstvenih frekvencija karbonskih nanocijevi kružnog poprečnog presjeka

$K \left[ \frac{N}{m} \right] \cdot 10^4$	$b$ [nm]	$m$ [kg] · 10 <sup>-24</sup>	$L$ [nm]	$e_o \cdot a$ [nm]	$\omega_1$ [Hz] · 10 <sup>12</sup>	$\omega_{a1}$ [Hz] · 10 <sup>12</sup>	$\omega_2$ [Hz] · 10 <sup>12</sup>	$\omega_{a2}$ [Hz] · 10 <sup>12</sup>
1	0,5	136,1	10	1	8,69	9,92	7,99	9,92
1	0,5	136,1	10	2	4,27	9,92	3,92	9,92
1	0,5	136,1	20	1	8,69	9,89	7,99	9,89
1	0,5	136,1	30	1	7,63	9,88	7,02	9,88
1	1	236,97	10	1	<b>6,49</b>	<b>6,50</b>	<b>5,97</b>	<b>6,50</b>
2	0,5	136,1	10	1	10,74	11,33	9,88	11,33

U tabeli 1  $\omega_1$  i  $\omega_2$  predstavljaju sopstvene frekvencije karbonskih nanocijevi sa jednim, odnosno sa dva konačna elementa dobijene metodom MKE, dok  $\omega_{a1}$  i  $\omega_{a2}$  predstavljaju sopstvene frekvencije karbonskih nanocijevi sa jednim, odnosno sa dva konačna ekementa dobijene analitičkim putem.

Na isti način se dobijaju rezultati sopstvenih frekvencija za karbonske nanocijevi kvadratnog poprečnog presjeka sa jednim i sa dva konačna elementa (tabela 2).

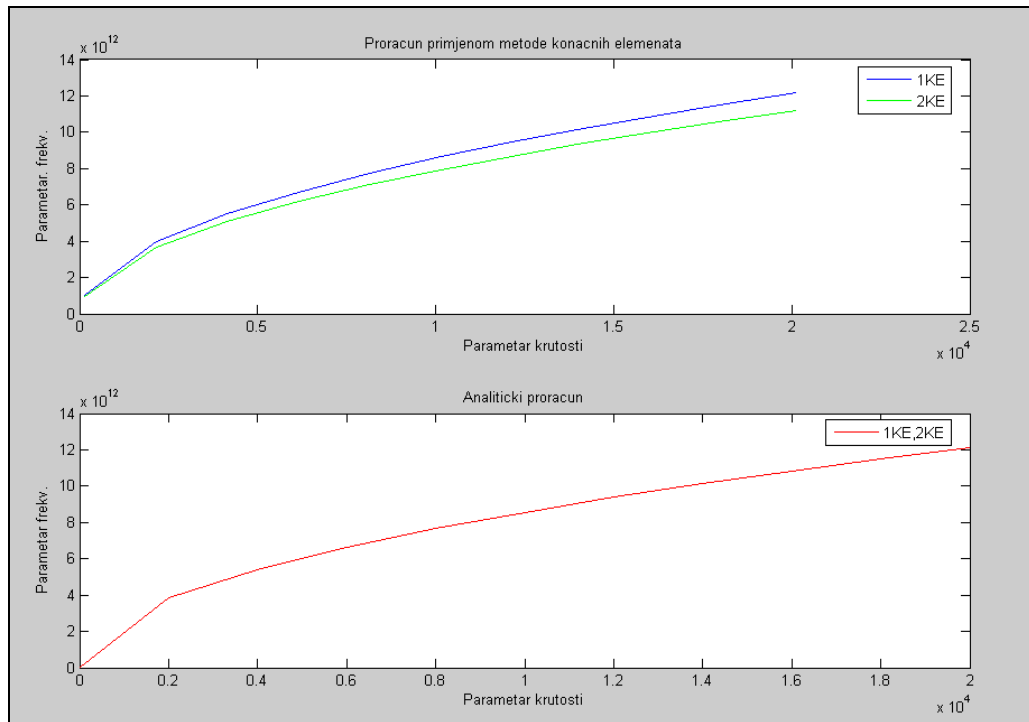
Tabela 2. Uporedni rezultati sopstvenih frekvencija karbonskih nanocijevi kvadratnog poprečnog presjeka

$K \left[ \frac{N}{m} \right] \cdot 10^4$	$b$ [nm]	$m$ [kg] $\cdot 10^{-24}$	$L$ [nm]	$e_o \cdot a$ [nm]	$\omega_1$ [Hz] $\cdot 10^{12}$	$\omega_{a1}$ [Hz] $\cdot 10^{12}$	$\omega_2$ [Hz] $\cdot 10^{12}$	$\omega_{a2}$ [Hz] $\cdot 10^{12}$
1	1	173,21	10	1	7,59	8,03	6,98	8,03
1	1	173,21	10	2	3,79	8,03	3,48	8,03
1	1	173,21	20	1	7,59	7,71	6,98	7,71
1	1	173,21	30	1	<b>7,63</b>	<b>7,71</b>	<b>7,02</b>	<b>7,71</b>
1	2	302,64	10	1	5,74	6,05	5,28	6,05
2	1	173,21	10	1	10,74	12,10	9,88	12,10

#### 4.2. Poređenje rezultata dijagramima dobijenim u MatLab-u

U ovom poglavlju izvršeno je upoređivanje rezultata sopstvenih frekvencija dobijenih metodom MKE i analitičkom metodom putem dijagrama izrađenih u MatLab-u u odnosu na vrijednosti poznatih parametara koji figurišu u navedenim obrascima, njihovo pojedinačno variranje, kao i u odnosu na oblik poprečnog presjeka karbonskih nanocijevi i broj konačnih elemenata.

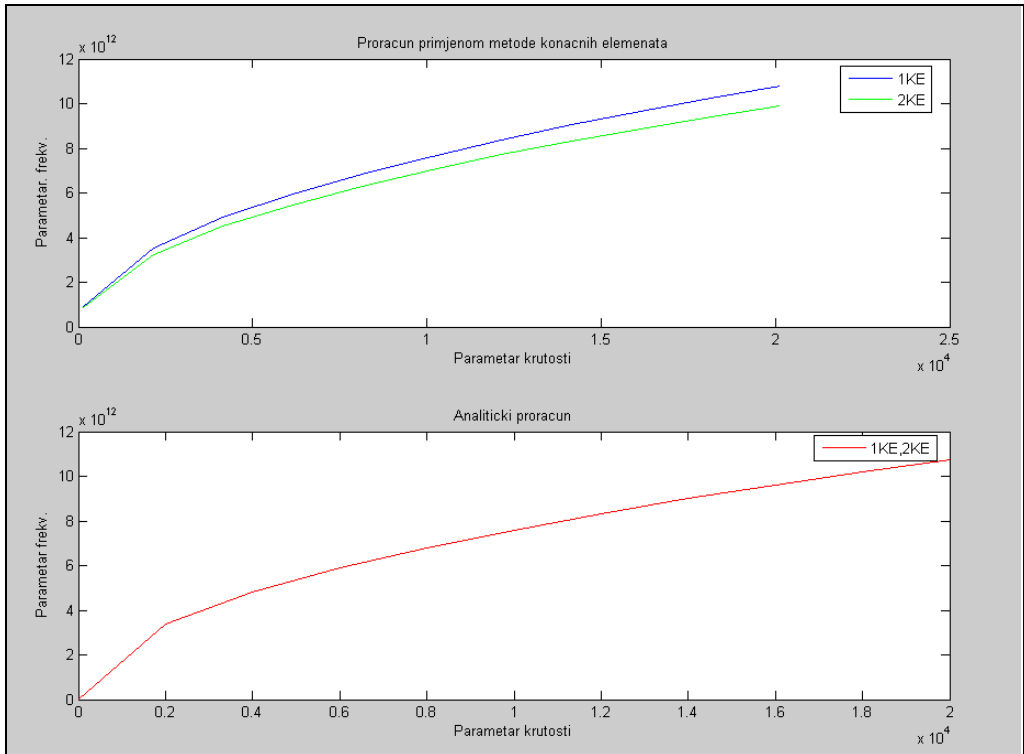
Rezultati sopstvenih frekvencija za karbonske nanocijevi kružnog poprečnog presjeka sa jednim i sa dva konačna elementa prikazani su slikom 4.



Slika 4. Uporedni rezultati sopstvenih frekvencija karbonskih nanocijevi kružnog poprečnog presjeka

Rezultati sopstvenih frekvencija za karbonske nanocijevi kvadratnog poprečnog presjeka sa jednim i sa dva konačna elementa prikazani su slikom 5.





Slika 5. Uporedni rezultati sopstvenih frekvencija karbonskih nanocijevi kvadratnog poprečnog presjeka

## 5. ZAKLJUČAK

U radu su prikazani uporedni rezultati sopstvenih frekvencija karbonskih nanocijevi kružnog i kvadratnog poprečnog presjeka sa jednim i sa dva konačna elementa.

Do navedenih rezultata došlo se korišćenjem metode MKE i analitičke metode za određivanje sopstvenih frekvencija karbonskih nanocijevi.

Variranjem vrijednosti parametara u obrascima za određivanje frekvencije, te variranjem oblika poprečnog presjeka karbonske nanocijevi i broja konačnih elemenata dobijeni su rezultati frekvencija koji su prikazani tabelarno i dijagramima korišćenjem *software*-skog paketa MatLab.

Iz navedenih rezultata može se zaključiti da se nalaze u dozvoljenim odstupanjima, odnosno možemo potvrditi jednakopravnost u smislu tačnosti metode MKE i analitičke metode u izračunavanju sopstvenih frekvencija karbonskih nanocijevi.

U toku posljednjih dvadeset godina došlo je do znatnih promjena u načinu proračuna inženjerskih konstrukcija. Tradicionalne metode proračuna koje su prilagođene uglavnom klasičnim računskim sredstvima, a ujedno i limitirane njihovim skromnim mogućnostima, ustupaju mjesto savremenim metodama numeričke analize koje se zasnivaju na primjeni elektronskih računara.

## LITERATURA

- [1] Sekulović, M. (1988). Metod konačnih elemenata, Građevinska knjiga, Beograd.
- [2] Eltaher, M.A., Alshorbagy, A.E., Mahmoud, F.F. (2013). *Vibration analysis of Euler-Bernoulli nanobeams by using Finite Element Method*. Applied Mathematical Modelling, p. 4787-4797.
- [3] Saito, R., Dresselhaus, G., Dresselhaus, M.S. (2003). *Physical Properties of Carbon Nanotubes*. Imperial College Press. London, U.K.
- [4] Cvetičanin, M.J. (2013). Funkcionalizovani materijali na bazi ugljeničnih nanocevi, Doktorska disertacija, Fakultet za fizičku hemiju, Beograd.
- [5] Dragoman, M., Hartmagel, H.L., Tuovinen, J., Plana, R. (2005). *Microwave applications of carbon nanotubes*. Frequenz., vol. 59, no.11-12, p. 251-263.
- [6] Yu, S. Z., Li Yen, S.F., Tang, W.C., Burke, P.J. (2004). *Carbon nanotube transistor operation at 2.6 GHz*. Nano Lett., vol. 4, p. 753–756.
- [7] Aydogdu, M. (2012). *Axial vibration analysis of nanorods (carbon nanotubes) embedded in an elastic medium using nonlocaly elasticity*. Mechanics Research Communications, p. 34-40.
- [8] Adhikari, S., Murmu, T., McCarthy, M.A. (2013). *Dynamic finite element analysis od axially vibrating nonlocal rods*. Finite Elements in Analysis and Design, p. 42-50.



## DYNAMIC ANALYSIS OF THE SLOPING BRIDGE USING FEM

Tale Geramitchioski<sup>1</sup>, Ljupco Trajcevski<sup>2</sup>

*Abstract: During the work reported increased levels of vibration sloping Bridge Np.2 in terms of sloping Bridge No.1. Because of the exceptional importance of hair in the bridge supplay coal to the TE approach to this problem seriously and carried out preliminary measurements to determine the vibration state of the construction of the sloping bridge.*

*In this paper modeling the sloping bridge is performed with the software package FEMAP and NX NASTRAN. FEMAP (Finite Element Modeling And Post-processing) is a software package used for the analysis of elements and structures using the finite element method. It is important to mention that FEMAP has defined units, or programs running on principle without measurement units. Because of this, you need to be careful when entering all sizes, in order to obtain additional units of analysis results. In the present case, as basic units will use: mm and N, which consequently results in a unit  $N/mm^2$  (MPa) for strain.*

*Based on the calculations performed previously presented measurements were performed on a sloping bridge 2 REK Bitola We Bring to the following conclusion:*

*By calculation shows that the maximum displacement in the first zone of frequencies is 0.0224mm. Also when measuring the vibration of the system in conditions when the equipment is in operation, measured a maximum displacement of 0.056 mm at a frequency of 7 Hz. The maximum acceleration of 0,556 m/sek<sup>2</sup> registered at a frequency of 28 Hz, which is far from the frequencies of frequent tones forms the free oscillations of the system or the first zone of thickening of frequencies ranging from 1.84Hz to 12.08Hz. Thus the system can come into resonance condition in many forms treble, with no significant impact on the dynamic condition.*

*Key words: FEM , FEMAP, Frequencies, Sloping bridge, Vibration*

### 1. INTRODUCTION

Finite element method today is already a separate scientific discipline under the scope of potential applications in many areas of engineering. In particular the calculations and analysis of the leading structures of constructions finite element method is an exceptional application and substitutes all other methods. Actually in

---

<sup>1</sup>PhD Tale Geramitchioski, University St. Kliment Ohridski, Technical Faculty-Bitola, Macedonia  
tale.geramitchioski@tfb.uklo.edu.mk

<sup>2</sup>PhD Ljupco Trajcevski, University St. Kliment Ohridski, Technical Faculty-Bitola, Macedonia  
ljupco.trajcevskii@tfb.uklo.edu.mk

reality certain bearing structure of mechanical design system with an infinite number of degrees of freedom. The practical applicability of FEM from the ability to reduce the whole system of sufficiently large, but finite number of degrees of freedom. Finite element method is a sampling of the structure of elements with the right geometric shape and the considered system down to a finite number of degrees of freedom.

The analysis of discrete model consists of two basic parts:

- First element analysis (stick)
- Second analysis system element (carriers)
- Analysis of a linear system includes the following stages of calculation:
- First formation of the finite element model, i.e. separation of system nodes and sticks, each stick only connects two nodes.
- 2<sup>nd</sup> Choice of the unknown nodes. If we adopt the method of deformation formulation of the finite element method, each node is adopted components of displacement and tilt, as independent parameters that characterize the stick and his behavior as a whole. The components of displacement in certain nodes of the stick is the vector of generalized displacement rod  $u$ .
- 3<sup>rd</sup> Selection interpolated functions. When selected in the unknown nodes, it is necessary to adopt the functions of the shift on which describes the state of voltages and deformations in each finite element. Through the function of the shape, the interpolated features a quality picture of the movements, they "interpolated" displacement of points on the axis between the values of the displacements at the ends of the stick. For interpolated functions are adopted Hermit polynomials of the first order.
- 4<sup>th</sup> Establishing the basic equations of the final element. The basic equations establish a relationship between the forces and displacements at the ends of the rod considered as finite element.
- 5<sup>th</sup> Establishment of a system of equations over the finite element model. These equations represent a system of algebraic equations for the unknown displacements of nodes. In forming the equations need to perform transformation of the unknown parameters of local and global coordinate system, which is accomplished by using the transformation matrix, whose form depends on the geometric position of the local coordinate system relative to the global coordinate system.
- 6<sup>th</sup> Solving systems of equations. The solution of the system requested the default load taking into account the boundary conditions. The FEM assumes that load acts only nodes in the carrier. In case the load of the element it is necessary to determine the equivalent load of nodes.
- 7<sup>th</sup> Calculation of impact on sticks. When you determine the unknown displacements, forces are set at the ends of each element in the calculation is completed.

## 2. DYNAMIC ANALYSIS OF THE SLOPING BRIDGE FEM

Modelling the sloping bridge is performed with the software package FEMAP and NX NASTRAN. FEMAP (Finite Element Modeling And Post-processing) is a software package used for the analysis of elements and structures using the finite element method.

Process analysis of a particular element or structure using the software package involves performing six steps:

- Importing or creating geometry;
- Building the model of finite elements;

- Checking the model;
- Analysis;
- Review the results and
- Documentation of results.

## 2.1 Creating geometry

Geometry in FEMAP can be defined in two ways: by creating a geometry directly in the program or by entering the finished item made in any of the engineering CAD software packages. Because it is a simple design, creating geometry to use the program. To define it is suffice to bring specific points (nodes).

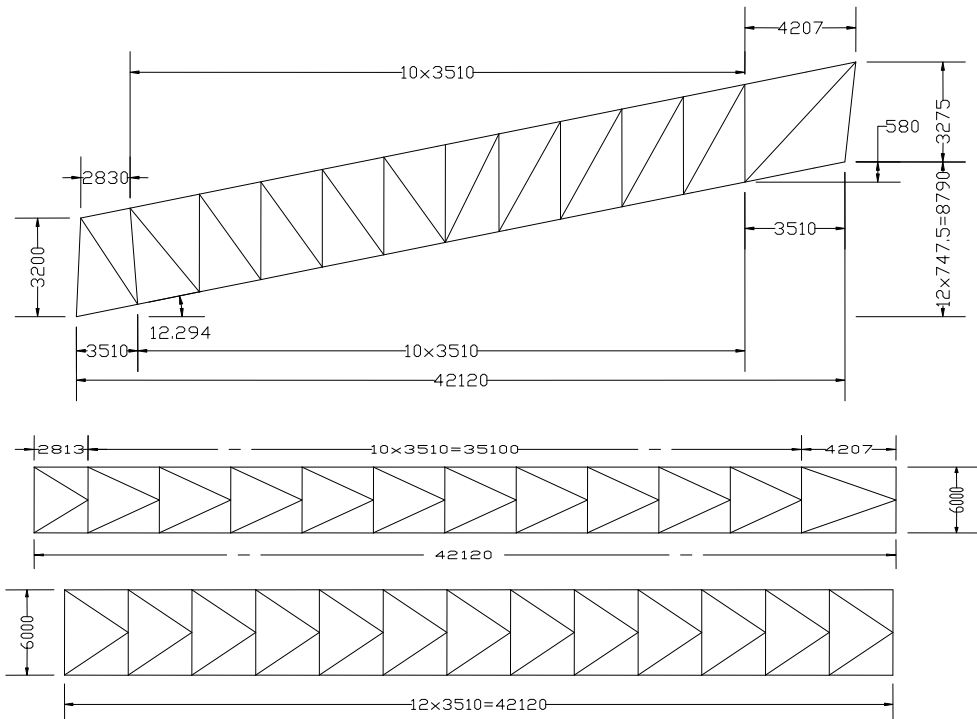


Figure 1. Scheme of geometry sloping bridge



Figure 2. Global geometry of sloping bridge with photo

Before we start defining items, open a new document in FEMAP: File → New. To create paragraphs use the command Geometry → Point. With the help of the command Geometry → Curve - Line → Points drawing lines so that's point. Lines are defined through the definition of the two endpoints. Since a bridge is symmetric the other side has a uniform geometry, and are receiving by copying the already the created geometry relative to the z - axis.

The process of copying to existing lines are held in the next way: Geometry → Copy → Curve by which opens the window with the help of the option Select All, selected the site lines and so gets Ok.

The number of iterations remains 1, followed again confirm with OK. In the last window (Figure 3) it is necessary to define a vector that indicates where it will be copied to the selected geometry.

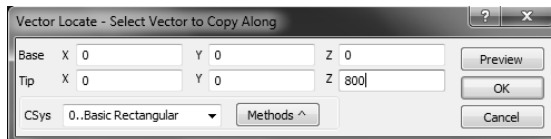


Figure 3. *Window Vector Locate*

Again with the help of the command Geometry → Curve - Line → Points we draw lines with which connects the two elements of the construction of the bridge. In this way, we finishing process of creating the geometry. (Figure 4.)

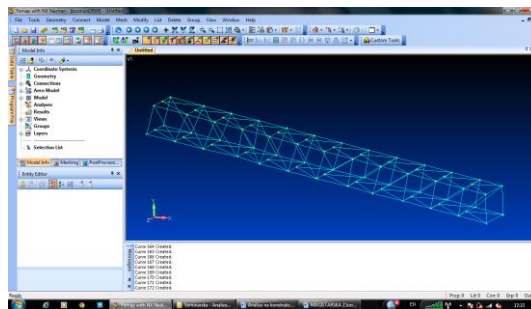


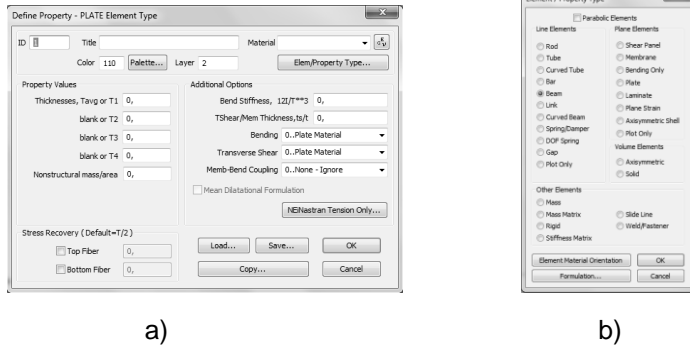
Figure 4. *Geometry of sloping bridge in a FEMAP software*

## 2.2 Defining materials and creating a grids of finite elements

The creation of adequate and proper grid of finite elements is crucial to perform an accurate analysis of the corresponding structure or element. At first it is necessary to define the size of the final elements. In the investigated structure, each of the lines created geometry is a finite elements. Adjust the size of the final elements to extract using: Mesh → Mesh Control → Size Along Curve, after we get the window it is necessary to select the option Select All. After confirming the choice with OK, the window to enter the number of elements is 1. The next step is defining the cross-section of the elements. FEMAP supports a variety of standard forms of cross-section elements, but can also be defined and non-cross-sections.

Created cross section we use the definition of the element that will create a network of finite elements for trellis construction. Defining a new element with certain properties is performed as follows:

- From the Model menu select the option Property .after we get the window shown in the figure.5a



a) b) Figure 5. Window Define Property and element property

By choosing Element / Property Type to open the window shown in Figure 5b where the select line item - carrier (Beam). Confirmed by Ok in the window that will receive in the Shape section select General Section, click the Surface option and select a predefined transverse area. Then you need to define a vector that indicates the orientation of the intersection. It is very important to properly define the Y axis in cross section.

Once you confirm with OK, we get the window shown in Figure 6 where FEMAP displays all the calculated characteristics of the selected cross-section.

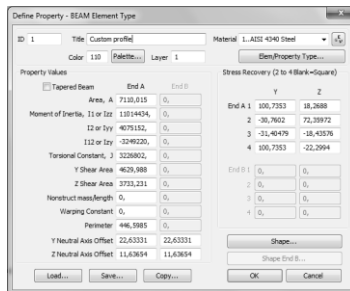


Figure 6. Calculation window from BEAM Element Type

Regarding Material, click on the window to define the material. We will call a predefined material (Load → Steel, OK, OK). Beam element type window to close the confirmation of OK. Using the previously described procedure we return in terms of the base layer. The geometry of the grids of finite elements defined by the Mesh → Geometry → Curve. This created a model is shown in Figure 7.

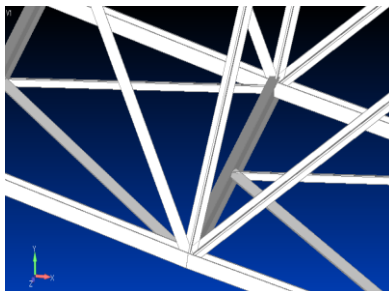


Figure.7 Creating and define property of sloping bridge in FEMAP

## 2.3 Define boundary conditions and load

Once you define the geometry, materials and network of finite elements, the next step is defining the boundary conditions and loads in construction. In the present case, the boundary conditions will define the right end of the structure will be fixed and the left side will set conditions for symmetry with respect to the X - axis geometry because we have only partially represented. Setting the boundary conditions is performed as follows:

First you have to define a new set of boundary conditions: Model → Constraint → Create / Manage Set after we get the box Figure 8 where we choose New Constraint Set. Bring name of your choice and confirm The Ok in both windows.



Figure 8. Windows Constraint Set manager

Next we will add boundary conditions - symmetry. To do this, you need to call the menu option Nodal Model → Constraint. In the appearing window select the four nodes after confirming the Ok. Choose X symmetry by automatically marking the degrees of freedom that limit (Tx, Ry, Rz).

In the same way define the boundary conditions at the nodes, but the window Create Nodal Constraints / DOF choose Fixed. Confirm the selection with OK.

The last step in defining the boundary conditions is limiting the degree of freedom of all the nodes of the structure in relation to the Tz, Rx, Ry and Rz. It is defined in the same way as above, with the difference that the Entity Selection window choose Select All. Once you define the degree of freedom (Figure 9), after confirming with OK will get the message that you should choose No = combine, which translates into a predefined nodes degrees of freedom to represent the combination of the previously defined levels of freedom.

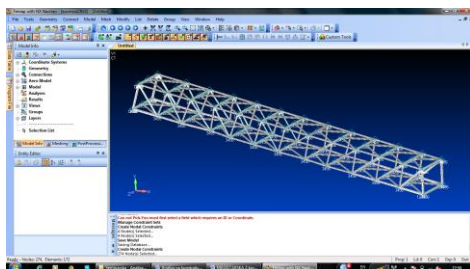


Figure 9. Constraints windows of sloping bridge

## 2.4 Analyzing the model

To define the type of analysis and its performance it is necessary to perform several steps. Defining the type of analysis performed from the menu Model →



Analysis. From the window , choose New after that window Analysis Set (figure 10) entering the following parameters:

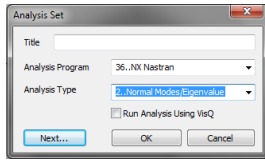


Figure 10. Windows Analysis Set

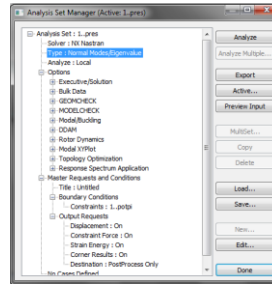


Figure 11. Windows Analysis Set Manager

Press Analyze we have the results (figure 11).

After you perform the analysis, FEMAP allows us to display many outputs (results) that can be combined in different ways. We will consider only their own frequency modes (forms) in the analyzed structure. The analysis program calculates the first ten frequencies (modes shapes) are shown on figure 12.

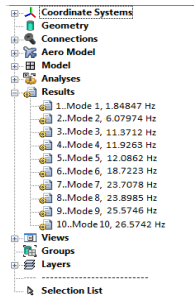


Figure 12. First ten frequencies of model

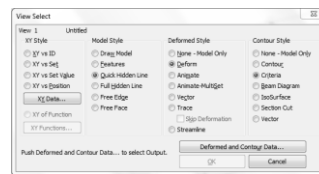


Figure 13. Windows View selection

Disclosures may be presented were the simplest reference View Select menu by pressing F5. Regarding Deformed Style - choose Deform, and in Section Contour Style - select Criteria. Then choose Deformed and Contour Data. After confirming The Ok get the same result as shown on figure 13.

Table 1.

Shape i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f_i$ [Hz]	1.84	6.07	11.37	11.92	12.08	18.72	23.70	23.89	25.57	26.57

Frequencies f1 through f5 pressed represent the first zone of thickening of frequencies, and the frequencies f6 to f10 represents the beginning of the second zone of thickening. It is known from the literature that the first forms are frequent tones forms of free oscillations ranging up to 12Hz.

The first five modes (tones forms) are given below figure 14.

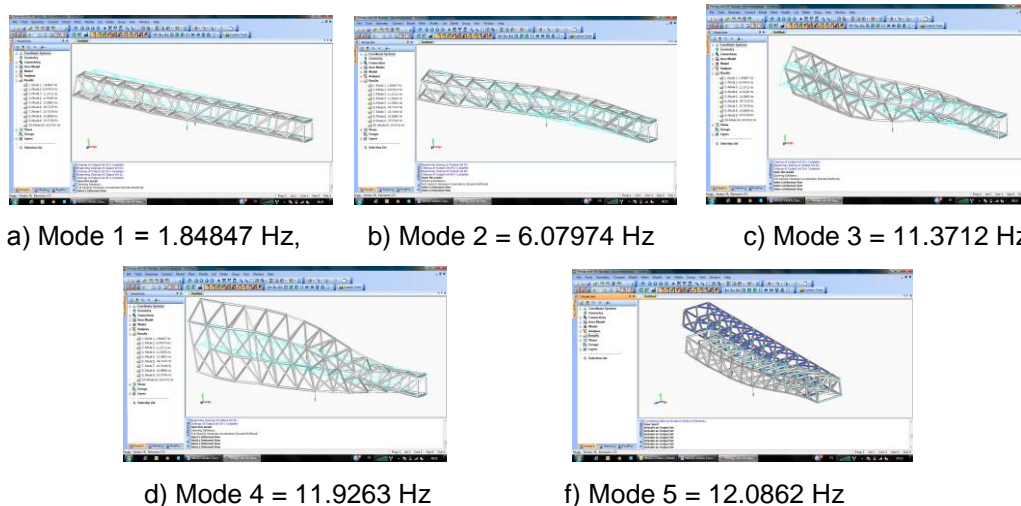


Figure 14. *First five modes of frequencies*

### 3. CONCLUSION

Some general conclusions as a part of the researching:

- During the detail review as a part of the reconstruction phase of the whole construction of the slopping bridge, check all joint connection between elements and led to its original condition
- Check the rollers from the ribbon conveyer; if they are damaged or lost their rotation ability, replace them with the new
- Regularly cleaned (washed) hair floors of bridges, but for security reasons, and for raising the supporting static and dynamic reserves of construction.

It is necessary to continue monitoring the behavior of the structure and perform vibration measurements from time to time with the same assessment of the safety aspect of construction.

### REFERENCES

- [1] Budevac, D., "Čelice Konstrukcija u Zgradarstvu", Medifarm i Građevinska knjiga, Beograd 1992.
- [2] Lazarov, Lj., *Granicna nosivost na liniskite konstrukcii*, Skopje, 2000.
- [3] Ćorić B., Ranković S. i Salatić R., *Dinamika konstrukcija*, Univerzitet u Beogradu, Beograd 1998.
- [4] Timoshenko S. and Young D.H., *Teorija osilacija*, Građevinska knjiga, Beograd 1966.
- [5] Bartelmus W. 2006: *Condition monitoring of open cast mining machinery*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław
- [6] Brčić S., *Dinamika diskretnih sistema*, Studentski kulturni centar, Beograd 1998.



## BOUNDARY IDENTIFICATION AND WEAK PERIODIC CONDITION APPLICATION IN DEM METHOD

Miroslav Živković<sup>1</sup>, Marko Topalović<sup>2</sup>, Milan Blagojević<sup>3</sup>, Aleksandar Nikolić<sup>4</sup>,  
Vladimir Milovanović<sup>5</sup>, Siniša Mesarović<sup>6</sup>, Jagan Padbidri<sup>7</sup>

*Abstract: Meshless character of the DEM method brings forth certain problems that must be solved in a computer implementation, such as the determination of the neighbouring particles, determining the boundaries of the model and the definition of boundary conditions. During large deformations of the model a particular internal particle may become boundary particle and the other way round so it is necessary to re-determine the boundary layer after a given number of steps in the analysis. In this paper, two approaches for defining the boundary layer are shown, whose effectiveness depends on the current positions of the particles, and imperfections in their arrangement. Due to the large computer requirements of the DEM method, only a small part of the real problem is modelled and continuity can be achieved by using periodic boundary conditions. Since the DEM particles have arbitrary radius and the boundary is often irregular, it is not possible to achieve the classic periodic boundary conditions in which the particle that leaves the model on one side enters the model on the other side, but it is possible to apply a soft periodic boundary conditions that transmit only the force from one to another end of the model. Previously mentioned routines are applied to the modelling of shear in the critical layer of granular material.*

*Key words: DEM method, boundary layer, periodic boundary conditions*

### 1. INTRODUCTION

Granular materials are the second most manipulated material in engineering (water is first), so understanding their behavior is crucial in designing new machines for their transportation, manipulation and processing. Theoretical study of stress and strains in granular material gives great insight into grain interaction [1] while experimental testing shows behavior of whole granular material such as failure of

---

<sup>1</sup> Ph.D. Miroslav Živković, full professor, University of Kragujevac, Faculty of Engineering, zile@kg.ac.rs

<sup>2</sup> Marko Topalović, University of Kragujevac, Faculty of Engineering, topalovic@kg.ac.rs

<sup>3</sup> Milan Blagojević, University of Kragujevac, Faculty of Engineering, blagoje@kg.ac.rs

<sup>4</sup> Aleksandar Nikolić, University of Kragujevac, Faculty of Engineering, dziga@kg.ac.rs

<sup>5</sup> Vladimir Milovanović, University of Kragujevac, Faculty of Engineering, vladicka@kg.ac.rs

<sup>6</sup> Ph.D. Siniša Mesarović, full professor, School of Mechanical and Materials Engineering,

Washington State University, Pullman, WA, USA, smesarovic@wsu.edu

<sup>7</sup> Ph.D. Jagan Padbidri, George W. Woodruff School of Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, USA, jagan.padbidri@me.gatech.edu

overloaded material along narrow shear bands [2]. Within these shear bands vortexes are formed and dissolved and dilatation of material in shear band is observed [2]. To analyze these phenomena a numerical method called Discrete Element Method (DEM) is used [3]. DEM method is based on modeling inter-particle contact forces using non-linear elastic Hertz law which requires very small time step to achieve accurate results [4]. Loads in granular material are not transmitted equally over the whole volume of material, with most of the load transmitted over certain particles that form "force chains", while other particles only have supportive role [5]. During deformations of granular material some chains are broken while new ones are formed [5]. These deformations are sum of all translations and rotations of granular particles, where rotations are more likely to occur due to lower friction coefficient. Rotations also require smaller time step for the calculations [4]. Since this method is very computationally demanding, most of the problems that are analyzed are modeled in 2D using only a section of real-life problems. Determination of the boundary layer is important in the DEM analysis because through the particles of the boundary layer loads are imposed that simulate the interaction of the analyzed part of the granular material with the environment.

## 2. IDENTIFICATION OF THE BOUNDARY LAYER

In order to include entire model in analysis of boundary layer we must first find the most left particle, then we continued counter-clockwise searching for next boundary particle, until we reach the beginning of the boundary layer (most left particle). We used two methods to search for next boundary particle:

- The most right method
- Smallest deviation angle method

In both methods we have previous particle  $p_1$ , current particle  $p_2$  and we search all particles connected to particle  $p_2$  for the best candidate for the next particle  $p_3$ . Both methods compare angles in order to find proper next particle.

In the most right method, vector between current and previous particle is defined with  $\vec{r}_1 = (x_2 - x_1, y_2 - y_1)$ , while  $\vec{r}_2 = (x_3 - x_2, y_3 - y_2)$  is calculated for every possible next particle, like it is illustrated in Figure 1.

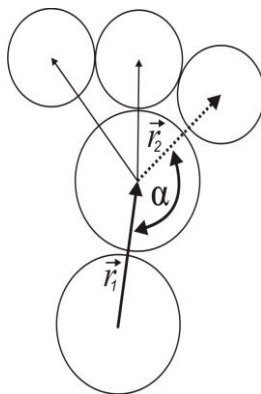


Figure 1. Identification of the next boundary particle using the most right method

Using dot product of vectors  $\vec{r}_1 \cdot \vec{r}_2 = |\vec{r}_1| \cdot |\vec{r}_2| \cos \alpha$  we can calculate cosine of angle between vectors using equation (1)

$$\cos \alpha = \frac{(x_2 - x_1)(x_3 - x_2) + (y_2 - y_1)(y_3 - y_2)}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \cdot \sqrt{(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2}} \quad (1)$$

From equation (1) we can obtain angle using arc cosine function and search all contacts for minimum angle (most right particle) but since arc cosine is very expensive mathematical operation, we can avoid using it and search for maximum cosine (which would yield minimum angle). In order to account all possible cases for positions of particles the following if condition is formulated, using equation (2)

$$\begin{aligned} \text{if } \left( (x_2 - x_1)(y_3 - y_2) - (y_2 - y_1)(x_3 - x_2) \right) > 0 \text{ then } \cos \alpha = \cos \alpha - 2 \\ \text{else } \cos \alpha = -\cos \alpha \end{aligned} \quad (2)$$

The smallest deviation angle method aims to keep boundary as straight as possible which could lead to some particles remain outside of the boundary, but the boundary has more regular particle arrangement. This method is illustrated in Figure 2.

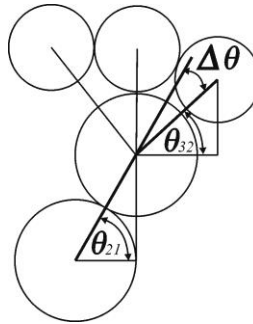


Figure 2. Identification of the next boundary particle using the smallest deviation method

Excluded particles can be moved by another routine to more appropriate position and are included in the next boundary search. Angles between vectors and x axis is defined by equations (3) and (4).

$$\theta_{21} = a \tan \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} \quad (3)$$

$$\theta_{32} = a \tan \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2} \quad (4)$$

Difference between these angles is the value that we seek to minimize, as given in equation (5)

$$\Delta \theta = \theta_{23} - \theta_{21} \quad (5)$$

Efficiency of both methods depends on several factors such as distance tolerance for determination of neighboring particles. A situation that arises if this parameter is not defined appropriately is shown in Figure 3.

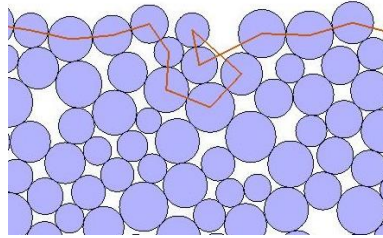


Figure 3. *Selection of wrong boundary particle due to large distance between particles*

Another problem that may occur due to large displacements of particles and that may cause failure of boundary routines is formation of groups of particles that dangle on the sides of the model, Figure 4.

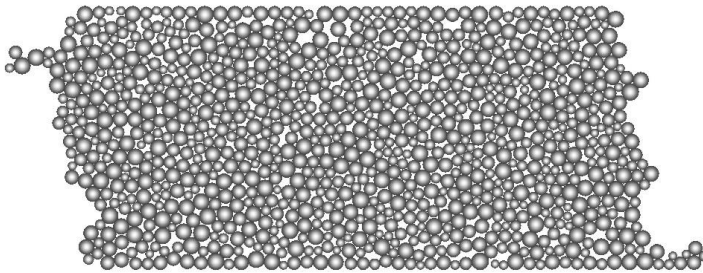


Figure 4. *Formation of groups of dangling particles*

### 3. APPLICATION OF WEAK PERIODIC CONDITION IN DEM

In order to reduce irregular arrangement of boundary particles which could cause failure of both methods for boundary identification, weak periodic boundary condition is implemented. Classical periodic boundary condition is not applicable to DEM method, because DEM particles have arbitrary radius so that moving certain particle from one side to another could lead to significant overlapping of particles if particular particle has greater radius than there is void space available on the other side. Weak boundary condition only transfers force from one boundary to the other, while particles remain part of their respective boundaries. Force that needs to be transferred to certain particle  $k$  can be calculated as partial derivate of work given by equation (6)

$$F_k = \frac{\partial W}{\partial v_k} \quad (6)$$

where  $v_k$  is horizontal velocity of particle  $k$ . If we observe certain boundary particle  $k$  we can see that it is connected to particles  $k-1$  and  $k+1$ , while on the other side at the same height there is boundary line that connects particles  $m$  and  $m+1$ , as illustrated in Figure 5.



Figure 5. Particles in boundary layer

Considering all particles on the left and right side, work on the boundary is given with equation (7)

$$W = \sum_L \frac{1}{2} K (v^L - \tilde{v}^D)^2 + \sum_D \frac{1}{2} K (v^D - \tilde{v}^L)^2 \quad (7)$$

where  $L$  is the number of particles on the left side while  $D$  is the number of particles on the right side.  $K$  is the coefficient that depends on average particle mass. Velocity of the real particle on the left side is given with  $v^L$  while  $\tilde{v}^D$  represents interpolated velocity on the right boundary line. The same notation applies for velocities on the right boundary. Solving partial differential equation (6) for work calculated using equation (7) gives us the force that needs to be applied on particle  $k$ , which is calculated using equation (8).

$$F_k = \frac{\partial W}{\partial v_k} = K \left[ \begin{aligned} &v_k^L - v_{m+1}^D \frac{y_k^L - y_m^D}{y_{m+1}^D - y_m^D} + v_m^D \frac{y_k^L - y_{m+1}^D}{y_{m+1}^D - y_m^D} - \\ &v_m^D \frac{y_m^D - y_{k+1}^L}{y_k^L - y_{k+1}^L} + v_k^L \left( \frac{y_m^D - y_{k+1}^L}{y_k^L - y_{k+1}^L} \right)^2 - v_{k+1}^L \frac{y_m^D - y_{k+1}^L}{y_k^L - y_{k+1}^L} \frac{y_m^D - y_k^L}{y_k^L - y_{k+1}^L} + \\ &v_{m+1}^D \frac{y_{m+1}^D - y_{k-1}^L}{y_{k-1}^L - y_k^L} + v_k^L \left( \frac{y_{m+1}^D - y_{k-1}^L}{y_{k-1}^L - y_k^L} \right)^2 - v_{k-1}^L \frac{y_{m+1}^D - y_k^L}{y_{k-1}^L - y_k^L} \frac{y_{m+1}^D - y_{k-1}^L}{y_{k-1}^L - y_k^L} \end{aligned} \right] \quad (8)$$

#### 4. RESULTS

Two methods for boundary identification are implemented in DEM code and used in analysis of shear bands in granular material. In order to prevent large deformations of the boundary and irregular arrangement of particles weak periodic boundary condition is implemented. Figure 6a shows the model with boundary layer used to impose velocities on top and bottom particles, with weak periodic condition applied on left and right side. Figure 6b shows the formation of vortexes in modeled problem.



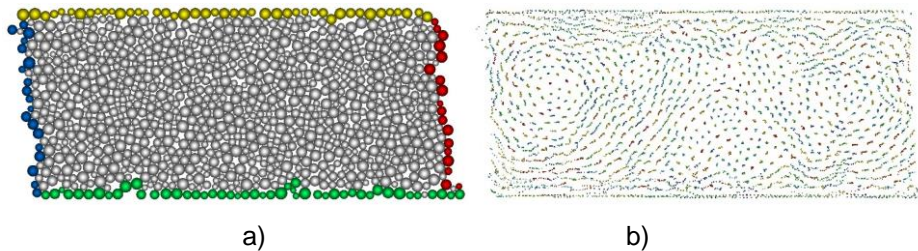


Figure 6. Analysis of granular material shear process a) model with boundary  
b) vortex formation in model

## 5. CONCLUSION

Both analyzed methods are very accurate in identification of boundary particles, but also, they both have limitations which could be exceeded if deformation of model becomes too large and arrangement of particles too irregular. In some distorted particle configurations the first method was able to successfully identify whole boundary while the second method failed, but in some other configurations the first method failed and the second method succeeded. These methods could complement each other, with one method chosen to be primary and used by default, and if it fails to identify the whole boundary the other (secondary) method could be called in to attempt to complete the task. Weak periodic boundary condition virtually connects right and left boundary of the model creating impression of continuity. Using these routines, behavior of granular material in shear band can be successfully modeled and formation of vortices can be observed.

## ACKNOWLEDGMENT

The part of this research is supported by Ministry of Education, Science and Technological Development, Republic of Serbia, Grant TR32036

## LITERATURE

- [1] Bagi K. (1996). Stress and strain in granular assemblies. *Mechanics of Material*, vol. 22, p. 165-177.
- [2] Abedi, S., Rechenmacher, A., Orlando, A. (2012). Vortex formation and dissolution in sheared sands. *Granular Matter*, vol. 14, p. 695-705.
- [3] Mesarovic S., Padbidri J., Muhunthan B. (2012). Micromechanics of dilatancy and critical state in granular matter. *Geotechnique Letters*, vol. 2, p. 61-66.
- [4] Padbidri J., Mesarovic S. (2011) Acceleration of DEM algorithm for quasistatic processes. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, vol 86, no. 7, p. 816-828.
- [5] Padbidri J., Hansen C., Mesarovic S., Muhunthan B., (2012). Length scale for transmission of rotations in dense granular materials. *Journal of Applied Mechanics*, vol 79, p. 031011-1-031011-9. DOI:10.1115/1.4005887





## POVEĆANJE EKONOMIČNOSTI POSLOVANJA ŽELJEZNICE RECIKLAŽOM VITALNIH SKLOPOVA ŠINSKIH VOZILA I GEOMETRIJE KOLOSJKA

Duško Tešanović<sup>1</sup>, Nijaz Puzić<sup>2</sup>, Marko Vasiljević<sup>3</sup>, Relja Jovanović<sup>4</sup>

*Rezime: Tok vremena, tehničko-tehnološki i ekonomski "rat", koji traje preko 75 godina, doveo je manje države, posebno željeznice kao jedan od stubova privredne aktivnosti i državnosti, u veoma tešku ekonomsku situaciju.*

*Pokušaj nadležnih državnih organa i respektivnih –njihovih– željeznica, da se iste oporave i profitabilno posluju, reorganizacijom i umanjenjem broja zaposlenih, bar na prostorima bivše Jugoslavenske Željeznice (JŽ) zadnjih 15 godina, pokazala se – neuspješnim. I pokušaji da se ulože znatna materijalna sredstva u vozila i opremu za održavanje raznih segmenata ovog sistema, pokazali su se kao veliki promašaji.*

*Navedene probleme, u znatnoj mjeri, podstakla je stagnacija privredne aktivnosti te pad prevoza.*

*U ovom radu se ukazuje na potrebu smanjenja troškova poslovanja održavanjem bitnih dijelova i podsistema vozila, kako bi se, reciklažom dinamičkih osobina vozova te kolosijeka, poboljšao vijek upotrebe sredstava željezničkog saobraćaja i kvalitet usluga željeznice.*

*Ključne riječi: željeznice, ekonomičnost, komfor vožnje, mirnoća hoda, bezbjednost, održavanje, amortizeri, vozila, kolosijek*

### **RECYCLING THE VITAL SETS OF THE RAILWAY VEHICLES AND TRACK GEOMETRY, AS AN ECONOMICAL WAY OF BUSINESS OF THE RAILWAY**

*Abstract: The technical and economic "war", which lasts over 75 years, has brought smaller countries, especially their Railways, as one of the main holders of their economic activities and statehood, in a very bad economic situation. The effort of the public authorities and well respected Railways, to enhance the position of the Railways by reorganizing and decreasing the number of employees, has been unsuccessful. Even the effort to invest serious material means in the vehicles as well as equipment for maintaining different segments of the Railway as a system, has been*

<sup>1</sup> Mr Duško Tešanović, dipl. el. inž., Visoka železnička strukovna škola, Beograd, Srbija, tesanovic.dusko@yahoo.com

<sup>2</sup> Mr Nijaz Puzić, dipl. saobr. inž., Željeznica FBiH, Sarajevo, BiH, nijaz.puzic@bih.net.ba

<sup>3</sup> V. prof. dr Marko Vasiljević, dipl. saobr. inž., Saobraćajni fakultet, Doboj, BiH

<sup>4</sup> Prof. emeritus dr Relja Jovanović, dipl. inž. maš., Sarajevo, BiH, rvjovanovic@gmail.com

*a huge failure. The named problems, in a huge percentage, were generated by the decline in transport.*

*The work is expressing the need of lowering business expenses by maintaining the vital parts and vehicle's subsystems, in order to better the endurance of the means of railway traffic and the quality of its services, by recycling the dynamic characteristics of trains or tracks.*

*The enforcement of the idea is illustrated with regeneration of the shock absorbers, springs and axles. The maintenance needs to be in accordance with the European Norms. That requires a whole new way of work of the Railways.*

*Key words: railway, economy, ride comfort, stillness, walk security, maintenance, shock absorbers, vehicles, track.*

## **1. UVOD**

Od nastanka željeznice sredinom XIX vijeka, u Engleskoj, a posebno kada se u to vrijeme- desio prvi vanredni događaj ranga udesa, vlasnici željeznice su počeli razmišljati o tehničko-tehnoškim preduslovima da prevoz putnika, a kasnije i roba, bude bezbjedan, da „prati“ što manja šteta, bude uredan i redovan, pri čemu je ta djelatnost morala biti ekonomski isplativa.

U daljem periodu, dolazi do razvoja tehničkih rješenja voznih sredstava, kolosjeka i signalne tehnike, sve u cilju povećanja brzina prevoza, bržeg stvaranja profita, a to je morala pratiti povećana bezbjednost prevoza željeznicom. Kada se tome doda i obaveza da se putnicima obezbjedi dinamički komfor vožnje, slijedi da je kretanje vozova pred čovječanstvo iznjedrilo brojne teorijske i praktične probleme koji i do danas, 150 godina od nastanka željeznice nisu, u kvalitetu i kvantitetu, razjašnjeni; i to-za sve rangove brzina vozova.

Navedene ciljeve lako je bilo navesti, ali provesti u praksi- znatno teže. Naime, slijedi da je lanac: vozila (vučna i vučena) –voz - kolosjek sa pripadajućom infrastrukturom- komfor vožnje-bezbjednost-ekonomično poslovanje, veoma složen, do danas, naučnim radom, sveobuhvatno neobrađen; posebno kod željeznica manjih i siromašnijih država.

U najnovije vrijeme, sve željeznice svijeta su u teškoćama ekonomske prirode: one za održavanje voznog parka i organizacije složenog-tehnički- prevoza- a državne- vlasnici infrastrukture- pri obezbjeđenju sredstava za njeno održavanje.

U tom cilju će se, u ovom radu, obraditi principi obezbjeđenja komfora vožnje vozova, sigurnosti od iskliznuća i prevrtanja te odbjegnuća vozova, od nastanka željeznice do danas, sa pažnjom za brzine do ranga „konvencionalne“, a one su do 160 km/h. Ovo i zbog toga što su to brzine koje su, i biće još duži period, eksploatacioni cilj većine željeznica u svijetu, a na prostorima Balkana, naročito.

## **2. KOMFOR VOŽNJE- MIRNOĆA HODA VOZILA I VOZA**

### **2.1 Metode kontrole mirnoće hoda tokom razvoja željeznice**

#### *a) Ocjena kvaliteta kolosjeka subjektivnim osjećajem nadležnog inspektora*

Još krajem XIX vijeka, u nedostatku današnje mjerne tehnike, željeznički stručnjaci su, u svijetu, ocjenu komfora vožnje vršili subjektivnom ocjenom kolosjeka od strane nadležnog inspektora, vožnjom na posebno podešenoj lokomotivi-tada „parnjači“. U upravljačnici –„kuhinji“ lokomotive, pored mašinovođe, koji je vozio po

Redu vožnje, bio je nadležni inspektor i odgovorno lice za kontrolisanu pružnu dionicu, koji je uz sebe imao i kantu sa razređenim gašenim krečom i u isti umočenom četkom.

Na mjestima gdje bi tokom vožnje- lokomotiva imala jači bočni udar, ili uočljiv vertikalni odskok („zec“ na pruzi!), po zahtjevu inspektora, prisutni nadležni organ za pružnu dionicu bi uz prugu bacio , četkom, kreč te taj postupak ponavljao tokom vožnje po cijeloj dionici. Po završetku vožnje, inspektor bi davao nalog šta se mora poduzeti na pruzi da se „slaba mjesta“ saniraju, a ako je bilo potrebno poduzimao je i sankcije.

Kao što se, iz prethodno rečenog, vidi, ova ocjena komfora vožnje-a kada je on obezbjeđen, praktično je nemoguće očekivati iskliznuće vozova, sem defekta ili loma u području „točak-šina“- je gruba, amnestira nedostatke vozila (voza), jer se smatralo da je lokomotiva garantovanog kvaliteta (a nije!); posebno, jer se ocjena komfora vrši preko ekstreme sile bočnog ili vertikalnog udara, a postoje i drugi važni faktori od uticaja na komfor vožnje, pa i na bezbjednost kretanja vozova. Tako se došlo do kontrole komfora vožnje po metodi ocjene pomoću „šoljice kafe“ / 1 / .

#### *b) Metoda ocjene komfora pomoću šoljice kafe*

Razvojem teorijskih znanja o oscilovanju vozila, stručnjaci željeznica su spoznali da pored veličine bočne sile, koja djeluje na putnika u vagonu, na zamor istog utiče i frekvencija ubrzanja koje tu silu stvara. Naime, čovječiji organizam se različito zamara pri raznim amplitudama i frekvencijama sila koje tokom vožnje voza djeluju na putnika; čak, različit je zamor ako sile djeluju u bočnom ili vertikalnom smjeru Dekartovog sistema na podu vozila ili u težištu čovjeka /1...9/.

Na osnovama posljednje rečenog, od vodećih željeznica svijeta, determinisana je kontrolna „šoljica kafe“ /1/ koja se stavlja na oslonu ploču pored prozora vagona, u enterijeru vozila, te se pri raznim brzinama, po istim dionicama pruge, kvalitet vožnje-koji, sada, proizilazi iz dinamičkog odnosa vozilo/kolosijek!-ocjenjuje prema količini prosute kafe, uz snimanje (analogno, na papir, /4/), pa obrada po frekvencijal) bočnih ubrzanja i analizu istih po frekvenciji /1,2,4/.

Ovaj metod je razvijen kada je električnim putem moglo da se obavi snimanje djelujućih bočnih ubrzanja preko akcelerometra (seizmograf)- na vrlo jednostavan način- isti moglo analogno snimati na papir i „pješke“ da se snimci obrade amplitudno i frekventno, kako bi se, preko dijagrama uzorne šoljice kafe, mogle odrediti optimalne brzine sa aspekta zamora putnika. Pri ovome treba imati u vidu da je, u početku svog razvoja, cilj željeznice bio da pridobije što više putnika, a tome je išla u prilog činjenica da tada ,niti na vidiku, nije bio viđen kao konkurencija drumski i avio prevoz.

Ovaj metod je razvijen kada je električnim putem moglo da se obavi snimanje djelujućih bočnih ubrzanja preko akcelerometra (seizmograf) - na vrlo jednostavan način- isti moglo analogno snimati na papir i „pješke“ da se snimci obrade amplitudno i frekventno, kako bi se, preko dijagrama uzorne šoljice kafe, mogle odrediti optimalne brzine sa aspekta zamora putnika. Pri ovome treba imati u vidu da je, u početku svog razvoja, cilj željeznice bio da pridobije što više putnika, a tome je išla u prilog činjenica da tada niti na vidiku nije bio viđen kao konkurencija drumski i avio prevoz.

c) *Mirnoća hoda po Den Hartogu i Šperlingu*

Čovjek, kao živo biće, po rođenju- „ne voli“ da se pomjera, a neki sociolozi smatraju da on –po rođenju „ne voli niti da radi“, ali svojim življenjem navikne se da- u borbi za opstanak-„zavoli“ da radi, te „navike“ postaje ovisnik, tj.,bez rada, normalan čovjek ne može živjeti, čak i ako je materijalno obezbijeđen; odnosno, odrastao čovjek želi i ima potrebu da radi- želi da radi!

Imajući i ovo u vidu *naučnici su razvoj komfora prevoza željeznicom vezali za stvaranje uslova vožnje lica* na željezničkom vozilu, *koji će putnika što sporije pomjerati* –translatorsno ili rotaciono-uzduž (ili oko) sve tri ose Dekartovog koordinatnog sistema, u x, y i z pravcu, a –respektivno- u  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\Omega$  ugaonom kretanju /1,2/.

Dalja istraživanja su dovela do spoznaje da na zamor putnika u vozu negativno utiče i brzina pomjeranja čovjeka u Dekartovom sistemu; posebno u bočnom i vertikalnom smjeru, pri čemu mu ne odgovara ljuljanje oko uzdužne ose u pravcu kretanja, klaćenje oko bočne ose pomjeranja te ugaono zakretanje oko vertikalne ose Dekartovog sistema, koje se još naziva „plivanje“ /1,2/.

I ako su, u praksi kretanja vozova do konvencionalnih brzina, bitna pomjeranja putnika u bočnom i vertikalnom pravcu, problem komfora vožnje će se, u ovom radu, obraditi za bočne oscilacije.

Njemački stručnjak Šperling (Sperling) istražujući problem komfora prevoza putnika na željeznici, pošao je od činjenice da težište čovjeka (koje je u stomaku), pri kretanju-hodu čovjeka, opisuje sinusoidu  $z=f(t)$ , tokom vremena (t) trajanja hoda. zavisno od brzine kretanja (v, km/h) i koje ima amplitudu (a, cm) i kružnu frekvencu  $\omega = 2\pi f$ , gdje je f(Hz) te je izraz za bilo koje kretanje ili *pomjeranje putnika* u šinskom vozilu, z:

$$z = a \sin \omega t . \quad (1)$$

Nadalje, isti stručnjak zaključuje da na zamor utiče i *brzina pomjeranja težišta putnika*, a ona iz izraza (1) glasi:

$$\dot{z} = a \omega \cos \omega t . \quad (2)$$

Takođe, po Šperlingu, na putnika utiče i sila koja na njega djeluje, usljed dejstva ubrzanja, uzrokovanog u pravcu ose ( $Oz$ ), analizirane ovdje, a to ubrzanje ( $\ddot{z}$ ) je se dobije iz izraza (2), te je ubrzanje u bočnom smjeru u odnosu na kretanje vozila u kome putnik nalazi:

$$\ddot{z} = -a \omega^2 \sin \omega t \quad (3)$$

Američki naučnik Den Hartoga, je iznio svoj stav 1935.godine/1/, te je prihvaćen njegov stav da na zamor putnika veoma utiče i *brzina promjene djelujuće sile* na putnika, koji je nazvao *trzaj (JERK)*, a koji je izvod iz funkcije ubrzanja, date u izrazu (3), pa je:

$$\ddot{\dot{z}} = -a \omega^3 \cos \omega t . \quad (4)$$

Konačno, Njemački stručnjaci za dinamiku kretanja vozova, prihvatili su stav da se uvede pojam *Mirnoća hoda*, a da se ista determiniše kao specifično tretirani- brojno, kao određen broj ocjene, koji apsolvira ekstrema amplituda: brzine, ubrzanja i

promjene ubrzanja i frekvencije kojim pri tome izložen putnik, a koje prema izrazima (2) do (4) glasi:

$$(\ddot{z} \cdot \ddot{z} \cdot \ddot{z})_{\max} = a \cdot a \omega^2 \cdot a \omega^3 = a^3 \omega^5 \quad (5)$$

gdje su:  $a$  (cm)- veličina amplitude pomjeranja putnika u vožnji, pod dejstvom sile i trzaja

$\omega(s^{-1})=2\pi f$ - kružna frekvencija pomjeranja i drugih dinamičkih faktora.

Prihvatajući stav da se zamor putnika može ocjenjivati preko Mirnoće hoda, ona se označava sa  $W_z$ . Nadalje, da bi se ovaj faktor približio praktičnoj upotrebi, on se detriminiše kao /1,2,4/:

$$W_z = 2,7^{10} \sqrt[10]{a^3 f^5} [-] \quad (6)$$

Zbog tehničkih problema mjerenja pomjeranja ( $a$ ) i ugaone brzine ( $\omega$ ) te frekvencije ( $f$ ) takvog kretanja, prešlo se na način, kako slijedi.

Iz izraza (3), za  $\cos \omega t = 1$ , je:

$$a_{\max} = \left( \frac{\ddot{z}}{\omega^2} \right)_{\max} = \frac{\ddot{z}(t)}{(2\pi f)^2}, \text{ te izraz (6) prelazi u:}$$

$$W_z = 2,7^{10} \sqrt[10]{\frac{[\ddot{z}(t)]^3}{(2\pi f)^6} \cdot f^5} = 0,9^{10} \sqrt[10]{\frac{[\ddot{z}(t)]^3}{f}} [-]. \quad (7)$$

gdje je 10. koren funkcije (7) uzet iz praktičnih razloga, da se rezultat  $W_z$  kreće do broja 10, što ljudi lakše pamte i primjenjuju /1,2,4/.

Izraz (7) važi i za ocjenu Mirnoću hoda vučnog vozila, kada na njemu nema putnika, ili kada u upravljačnici vučnog vozila nema mašinovođe.

Kada je u pitanju ocjena mirnoće hoda preko komfora za prevoz putnika i mašinovođe, moraju se uzeti u obzir i anatomske osobina ljudi-u ovom slučaju-putnika. Naime, brojna istraživanja uticaja oscilacija na zamor ili prijatnost vožnje putnika, pri pomjeranju usljed kretanja voza u kome se nalaze, došlo se do naučne spoznaje da se putnici različito zamaraju pod uticajem oscilacija (vibracija) pri oscilovanju vozila u vertikalnom ili bočnom pravcu, u odnosu na pravac kretanja voza. Takođe, utvrđeno je da na zamor imaju različit negativan uticaj djelujuće frekvencije  $f$  (Hz), a što se na faktor zamora putnika  $F(f)$  /1,2/. Pri tome, vidi se da je putnik osjetljiviji, pri istoj oscilatornoj frekvenciji ( $f$ ), kada se pomjera bočno, već pri vertikalno.

Imajući u vidu red veličina amplitude pomjeranja ( $a$ ) i kružne frekvencije ( $\omega$ ), posebno činjenicu da je veoma složeno mjerenje tih veličina, a da je mjerenje ubrzanja

( $\ddot{z}$ ), koje djeluje na putnika, i frekvencija ( $f$ ) iz ( $\omega$ ) jednostavno, izraz (5) se može transformisati u praktino pogodan za snimanje, proračun i određivanje Mirnoće hoda-  $W_z$ , po Šperlingu. Tako je, ukupan zamor putnika produkt-tokom vremena kretanja voza- navedenih izraza, sumarno definisan kao u formuli (5), ali uz korekciju sa faktorom  $F(f)$  te je mirnoća hoda za prevoz putnika :

$$W_z = 0,9 \cdot F(f) \cdot 10 \sqrt{\frac{[\ddot{z}(t)]^3}{f}} [-] \quad (8)$$

Danas, nezadovoljavajuće stanje geometrije kolosijeka na prugama bivšeg JŽa, uzrokovano je nedovoljnim i nekvalitetnim održavanjem donjeg i gornjeg stroja pruga u odnosu na norme u EU željeznicama, a neadekvatna ocjena geometrije kolosijeka vodi njegovom bržem zamoru, ubrzanom habanju i točkova u vozovima, narušavanju komfora vožnje i narušavanju bezbjednosti kretanja, srećom, uglavnom teretnih vozova

Standard JŽS V3.005, na snazi od februara 1958. godine, daje tehnologiju regeneracije opruga ogibljena vozila, koje su usljed zamora „izgubile visinu“, ali naglašava da se treba primjenjivati: „kada se ostvari oprema za termičku obradu (koja je postojala) i Mašina (Uređaj) za korekciju koraka opruga“. Sticajem okolnosti, prva veća potreba za povećanjem koraka zamorenih opruga, pojavila se 1973. godine, a reparacijske tehnologije - nema. Pristupa se lošoj improvizaciji - na JŽ se to odobrava kod teretnih četvorosovnih kola svih sa Y25 obrtnim postoljima: da se ispod opruga koje su usljed zamora „legle“, podmeću limeni podmetači, radi nadoknade njima nedostajuće visine. Tog trenutka na JŽ se ni ne pomišlja preispitivanje Mirnoće hoda, Wz kola, sa krućim ogibljenjem, jer je „struka shvatala“ da pri dinamičkom atestu takvih kola, nebi se „odbranila“ licenca sposobnost tih teretnih kola (ali i putničkih i svih vućnih vozila JŽ!), kada bi nastao haos, koji se nebi mogao sanirati sa milijardama dolara! Taj problem se slučajno, ali ekonomski štetno, „prebrodio“: prešlo se na kreditno zaduživanje za nabavku i domaću proizvodnju vozila, posebno kola, EMV i DMV, jer je to bilo „zlatno doba zaduživanja“. Tada se odustalo od kvalitetnog, inženjerskog održavanja opruga, ali i amortizera.

Ilustracije radi, u daljem tekstu se daje osvrt na poboljšanje dinamičkih osobina šinskih vozila sa aspekta održavanja hidrauličkih amortizera, koje treba provoditi u praksi.

## 2.2 Amortizeri voznih sredstava

### 2.1.1 Opšti podaci

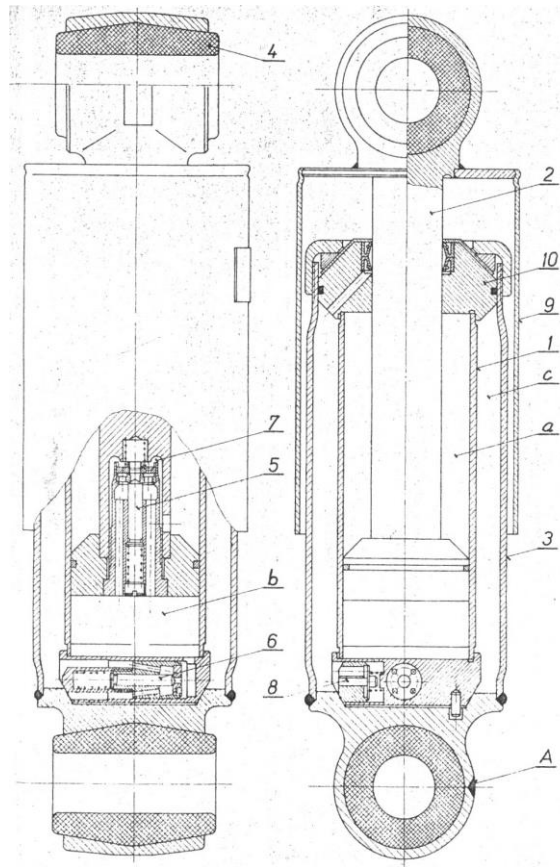
#### Hidraulični amortizeri

Služe za brže i preciznije prigušivanje oscilacija modernijih vućnih vozila motornih garniturai kola za brži prevoz putnika. Tu, složenu ulogu hidro-mehaničkog djeljstva, ovi amortizeri mogu udovoljiti svojom veoma složenom konstrukcijom, Sl.1./1,11/.

Kontrola amortizera se vrši ocjenom kvaliteta dijagrama prigušenja, zavisnosti sile  $F(s)$  razvlačenja/sabijanja, tokom radnog hoda. Primjer radnog dijagrama iz prakse dat je na sl.2. i sl.3.

Ako snimci amortizera ne pokazuju odstupanje veće od  $\pm 15\%$  u odnosu na propisani dijagram od proizvođača, i ako nema curenja ulja, ovaj se kao ispravan ugrađuje u vozilo.

Opravka amortizera je specifična, zahtijeva visoki zanatski i inženjerski nivo znanja i tehnologije. Ona se u svijetu radi, jer krije visoke uštede imaocu vozila a značajan profit remonteru, uz humanu i finu tehnologiju rada za radnog čovjeka.



Slika 1. Teleskopski hidraulični amortizer:

1 – radni cilindar; 2 – klipnjača, sa klipom, komplet; 3 – cijev, srednja, sa navojem i ušicom; 4 – gumeni ulošci ušica; 5 – rastezni ventil, sklop; 6 – pritisni, donji, ventil, sklop; 7 – prelivni ventil za radni fluid; 8 – usisni, bočni, ventil; 9 – oklopna spoljna cijev sa gornjom ušicom; 10 – zaptivna šolja.

Opravka amortizera je specifična, zahtijeva visoki zanatski i inženjerski nivo znanja i tehnologije. Ona se u svijetu radi, jer krije visoke uštede imaoću vozila a značajan profit remonteru, uz humanu i finu tehnologiju rada za radnog čovjeka.

Međutim, na ovim (šire gledano) prostorima, već 50 godina se ovaj posao ne obavlja, ili se površno i nestručno obavlja. Razlozi su razni, ali najvažnije je što se ne poznaje – tehnički i teorijski – rad amortizera, a kada se on i spozna, složenost njegovog rada i tehnologije da ga reparira – opet – udaljuje inženjerski kadar da se upušta u taj posao.

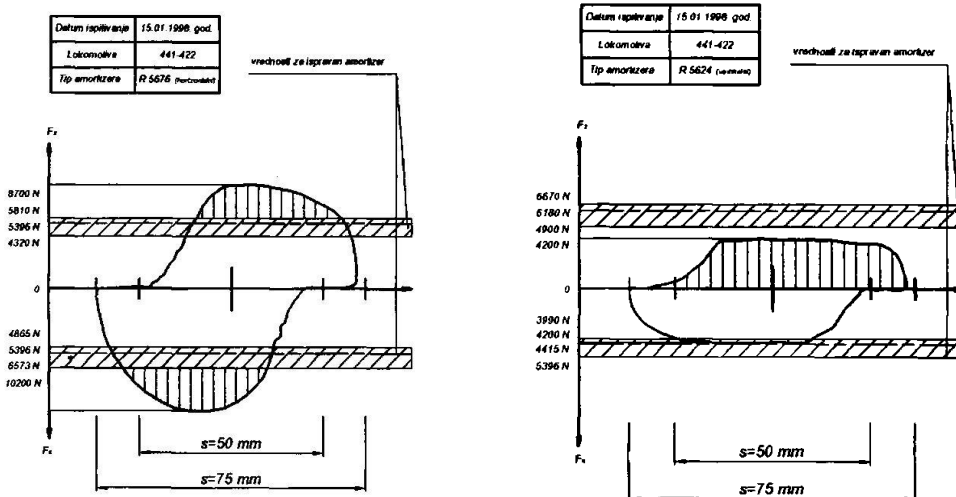
Smatrajući da je jedan od bitnih uzroka navedenog nestručnog i neekonomskog ponašanja, zanemarivanje potrebe da amortizeri ispravno rade – nedovoljno znanje njihovog rada (teorijski!), u daljem tekstu se daje, za relativno prostiji amortizer, teorijski opis rada, s ubjeđenjem da će inženjeri i tehničari mašinstva i saobraćaja biti pobuđeni da u daljem periodu ovom sklopu posvijete dužnu pažnju, u cilju očuvanja bezbjednosti i ekonomičnosti rada u željezničkom saobraćaju.

Za bolje razumijevanje štetnosti neblagovremene opravke (zamjena je skupa) hidrauličnih amortizera, neophodno je znati sljedeće:

- ako je amortizer "zaribao", a posebno ako su i zavojne opruge "legle" usljed zamora, znatno raste "neovješana masa" ( $m_n$ ) na točku iznad koga se ovi malaze, a to sa  $\sqrt{m_n}$  utiče na porast bočne sile (Y) na vijencu točka, ubrzava njegovo habanje i ojedanje šina te zamora kolosijeka, povećava buku i narušava ekologiju i bezbjednost,
- ako je, pak, zbog raznih unutrašnjih oštećenja, otpor u amortizeru opao (istrošen radni cilindar, otkazali ventili, ulje slabog viskoziteta) vertikalni ili bočni otpor oscilovanju kolijevke, točkova i osovine opada, a vertikalna i bočni asila udara u tački dodira točak – šina raste te i zamor OP i kolosijeka, opet povećava buka i narušava se ekologija.

Znači, u praksi se mora težiti da se sile razvlačenja i sabijanja svakog amortizera u OP vozila moraju nalaziti u tolerantnom polju (šrafirane zone na slici 2.), odn. u tolerantnom polju  $\pm 10\%$  do  $\pm 15\%$  od propisanog za novi amortizer. Posebno, na istoj kolijevci šinskog vozila se amortizeri, po dijagramima, ne smiju razlikovati više od  $10\%$  - kako u sabijanju tako i razvlačenju – pri čemu se odstupanja ne smiju sabirati (napr. lijevi  $+10\%$ , a desni  $-10\%$ ). Ovo zato da bi ljuljanje oko ose uzduž pravca vožnje bilo u tolerantnim granicama, kao i opterećenje točkova, mirnoća hoda i bezbjedna vožnja. Ilustracije radi, na slici 2. daje se snimak radnog dijagrama amortizera, iz željezničke prakse /10 /, sa uočljivim neispravnostima u radu amortizera, a koji su ostavljeni za dalju upotrebu od strane imaoca elektro lokomotive ŽS Beograd.

Na slici 2 je uočljivo da je u oba smjera rada amortizer imao znatno zapinjanje, a na slici 2 amortizer je imao slabiji otpor i prigušenje od potrebnog. U Projektu /11/ dati su dijagrami svih mogućih kvarova modernih hidrauličkih amortizera, tako da, nakon snimka radnog dijagrama amortizera, remonter može ići „direktno“ na otklanjanje kvara te potom atestiranjem utvrditi da li je kvar otklonjen.



Slika 2. Radni dijagrami hidrauličkih amortizera narušenih prigušnih osobina iz eksploatacije



### 3. ZAKLJUČCI

a) U sveukupnim obavezama imaoca šinskih vozila za ekonomičnim poslovanjem, ovi moraju biti usmjereni ka validnom održavanju dinamičkih osobina voznih sredstava, naročito kroz održavanje opruga i amortizera-hidrauličkih ili suvih.

b) Hidraulički amortizeri su podsistemi veoma složene izvedbe i rada. Praksa pokazuje da se ovi sklopovi, na ovim prostorima i šire, ne održavaju što vodi narušavanju kvaliteta vožnje vozova, ubrzanog trošenja kolosječnih šina i točkova šinskih vozila, a imaju znatnog uticaja na pojavu najtežih iskliznuća vozova. Zato je neophodno amortizere održavati na tehnološkim principima opisanih u ovom radu.

c) Inženjerskim održavanjem hidrauličkih(a i tarnih,koji postoje pod teretnim vagonima željeznica u svijetu, a koji nisu bili predmet ovog rada), željeznice održavaju dinamičke osobine vozila i validnu geometriju kolosijeka,a pošto su ti sistemi nosioci bitnih troškova rada željeznice, ova podiže ekonomičnost poslovanja.

d) Postoje tehnologije za brzo i korektno ocjenjivanje prigušnih osobina hidrauličkih amortizera te njihovo održavanje.

e) Prosječna cijena održavanja hidrauličkih amortizera je u nivou 20%do 30% cijene istog novog,što -na ovim prostorima- daje veliku šansu za zapošljavanje ljudi na ekološki čistoj i profitabilnoj tehnologiji, koja se vremenom može (i treba!) razviti i u novu proizvodnju amortizera.

### LITERATURA

- [1] Jovanović, R.: Dinamika šinskih vozila (skripta predavanja), Saobraćajni fakultet, Sarajevo, 1986.
- [2] Veršinski, S.V. i dr.: Dinamika vagona, Transport, Moskva, 1972.
- [3] Jovanović, R. i sar.: Uzroci prevremenog otkaza opruga - prigušivača oscilacija - na bazi gume, kod el.lok. serija 441 i 461, i pravci sanacije, SI CIP, Beograd 2001/2003.
- [4] Utvrđivanje dinamičkih osobina Fad kola "ŽZ" Zenica sa postoljem Y25G, na realnim prugama JŽ, Institut "Kirilo Savić" Beograd, 1976.
- [5] Jovanović, R. i sar.: Mogućnosti minimiziranja šteta od težih udesa na željeznici, SIZ Nauke BiH i ŽTP Sarajevo, Sarajevo 1989/90.
- [6] Jovanović, R. i sar.: Mogućnosti umanjenja šteta od težih udesa uzrokovanih dinamikom kretanja vozova na području ŽTP "Beograd", SI CIP, Beograd, 1994/96.
- [7] Simić, G.: Istraživanje realne geometrije dodira točak-šina i njenog uticaja na kretanje šinskih vozila i habanje sistema točak - šina (doktorska disertacija), Mašinski fakultet, Beograd, 1997.
- [8] Mandić, D.: Određivanje faktora koji narušavaju regularno kretanje teretnih vozova (magistarski rad), Saobraćajni fakultet, Beograd, 1992.
- [9] Jovanović, R.: "Ekspertize o težim udesima vozova, u Bosni i Hercegovini i Srbiji, od 1974 do 2005. godine i gde su karakteristični udesi u uslovima, po JŽ-sve ispravno"

- [10] Verigo, M.F.: Vzaimodejstvije puti i podvižnago sostava v krivih malago radiusa i borba s bokovim iznosom reljsov i grebene v koljos, Bilten OSŽD, br. 4, Varšava, 1998.
- [11] Jovanović, R. i sar.: Definisiranje tehnologije regeneracije hidrauličkih amortizera za šinska vozila ŽTP "BEOGRAD", SI CIP; Beograd, 2003.



## PRIMJENA FUZZY LOGIKE U IDENTIFIKACIJI OŠTEĆENJA KLIZNIH LEŽAJEVA

Ranko Antunović<sup>1</sup>, Amir Halep<sup>2</sup>

*Rezime: Dva najznačajnija tehnička indikatora ispravnosti kliznih ležaja, koji su mjerljivi tokom rada kliznog ležaja, su brzina vibracija i temperatura na kućištu kliznog ležaja. Ukoliko se vrijednosti ova dva indikatora obrade primjenom disjunktivno probablističkog fazi (neizrastitog) operatora dobiva se integrisani tehnički indikator ispravnosti kliznog ležaja koji sadrži u sebi informaciju kako o vibracijama tako i o temperaturi ležaja. Osim navedena dva indikatora postoji mogućnost integracije i trećeg dodatnog indikatora. Ovakav integrisani tehnički indikator je nazvan defekt faktor kliznog ležaja, a u ovom radu je isti definisan i ilustrovana je njegova primjena.*

*Ključne riječi: defekt faktor kliznih ležaja, disjunktivno probablistički fazi operator, klizni ležaj, tehnički indikator ispravnosti*

### APPLICATION OF FUZZY LOGIC IN THE IDENTIFICATION OF DEFECTS JOURNAL BEARINGS

*Abstract: The two most important technical indicators correctness of journal bearings, which are measurable during operation of the journal bearing are the speed of vibration and temperature on the housing slide bearing. If the values of these two indicators by applying disjunctive probabilistic fuzzy operator gets integrated technical indicator of the journal bearing which contains in itself the information about how to vibration as well as on temperature beds. In addition to these two indicators there is a possibility of integration and third additional indicator. This integrated technical indicator is called the defect factor of the journal bearing, and this paper is the same defined and illustrated by its application.*

*Key words: defect factor of the journal bearing, disjunctive probabilistic fuzzy operator, journal bearing, technical indicator of correctness*

## 1. UVOD

Upravljanje pripremom procesa održavanja i održavanjem predstavlja jednu od složenijih funkcija proizvodno-tehnoloških preduzeća. Često i naočigled mali problem u

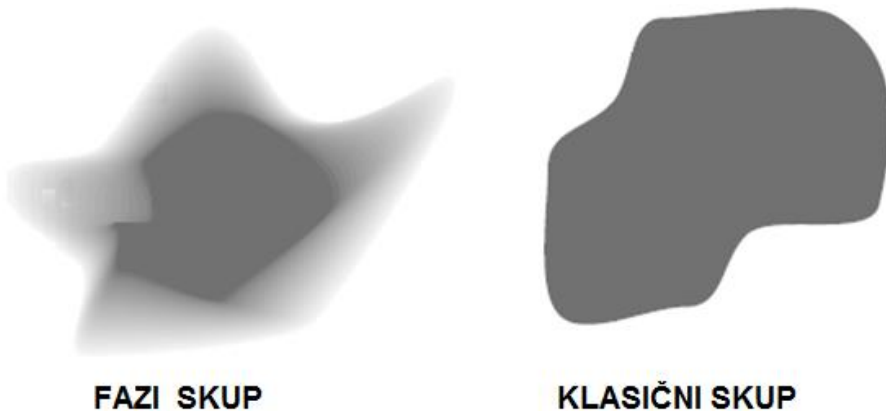
---

<sup>1</sup>Dr Ranko Antunović, vanredni profesor, UIS, Mašinski fakultet Istočno Sarajevo, rankoantunovicmf@gmail.com

<sup>2</sup>Mr Amir Halep, Zenica, amir.halep@gmail.com

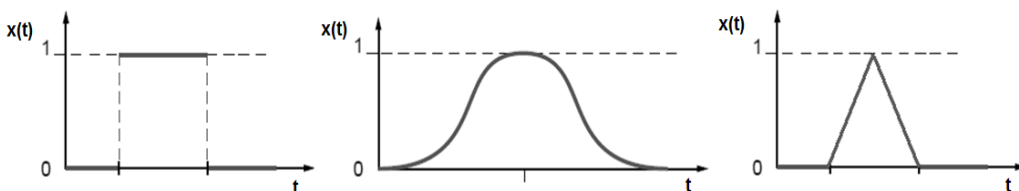
radu procesno orjentisanih složenih proizvodnih sistema, kao što je otkaz kliznog ležaja, može uzrokovati duge zastoje u radu postrojenja koji obično rezultuju velikim finansijskim troškovima u poslovanju preduzeća. Zbog toga se danas u svijetu posvećuje posebna pažnja usavršavanju postupaka za predikciju otkaza tehničkih sistema i mašinskih elemenata. Klizni ležajevi imaju veliku primjenu u teškoj mašinogradnji kod mlinova, turbina, drobilica, valjaoničkih i kovačkih mašina, presa itd.. Osnovna prednost kliznih ležajeva ogleda se u njihovoj nosivosti te vijeku trajanja, od čijeg ispravnog rada ovisi raspoloživost tih tehnički sistema te se proučavanju metoda predikcije otkaza kliznih ležajeva danas posvećuje velika pažnja.

Engleska riječ fuzzy (fazi) znači da je nešto nejasno i zamučeno. Temelj fazi logike leži u činjenici da su u realnom svijetu stvari rijetko crne ili bijele već sive. U tom smislu fazi logika za razliku od Bulove logike ne prihvata isključiva stanja 0 i 1. Fazi logiku je u nauku uveo američki naučnik Lotfi Zadeh 1965. godine, ali je do šire primjene ovog upravljanja došlo u Japanu na polju proizvoda široke potrošnje kao što su npr. video kamere, veš mašine i slični proizvodi [4]. Fazi logika operiše sa fazi varijablama i fazi skupovima. Fazi skupovi su, najkraće rečeno, skupovi sa stepenastim granicama, odnosno varijable imaju mogućnost da sa postotkom pripadaju određenom skupu. Kod klasičnih skupova koje je 1874. godine definisao njemački matematičar Georg Kantor varijable ili pripadaju u potpunosti ili ne pripadaju određenom skupu tj. klasični skupovi imaju čvrste granice. Potreba da se definišu fazi skupovi proizašla je zbog navedene činjenice da su u realnom svijetu stvari rijetko crne ili bijele [3]. Ovo je ilustrovano na slici 1.



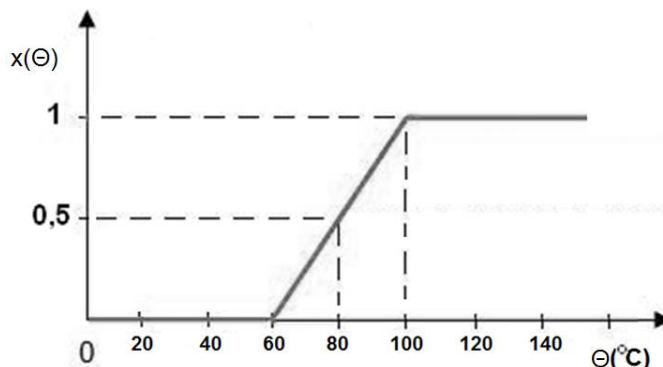
Slika 1. Fazi i klasični skup

Dalje, definišu se i tzv. funkcije pripadnosti  $x(t)$  fazi varijable  $t$  fazi skupu, gdje je  $x(t)$  u rasponu od 0 do 1. Funkcije pripadnosti mogu biti zadane u analitičkom obliku, a mogu i u tabličnom. Oblici funkcija pripadnosti mogu biti različiti (trokutasta, trapezna, Gausova, sigmoidalna itd.), a na slici 2. su dati primjeri funkcija [4].



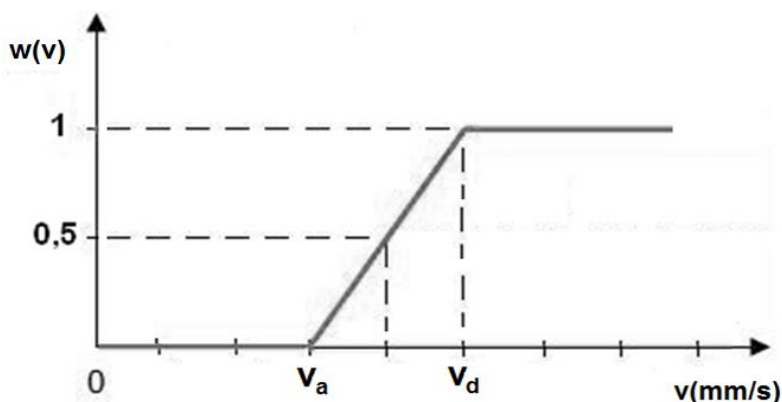
Slika 2. Primjeri funkcija pripadnosti

Na slici 3. je dat primjer definisanja funkcije pripadnosti  $x(\Theta)$  temperature kliznog ležaja fazi skupu „pregrijan ležaj“.



Slika 3. Primjer definisanja funkcije pripadnosti neizrazitom skupu „PREGRIJAN LEŽAJ“

Sa slike 3. se vidi da je temperatura ležaja zadovoljavajuća, ako je temperatura ležaja  $\Theta$  ispod  $60^{\circ}\text{C}$ , zatim dolazi fazi područje „upozorenje“ između  $60^{\circ}\text{C}$  i  $100^{\circ}\text{C}$  te područje „pregrijan ležaj“ iznad  $100^{\circ}\text{C}$ . Bitno je napomenuti da se jednoj varijabli može pridružiti više funkcija pripadnosti [4]. Npr. temperaturi ležaja se osim funkcije pripadnosti skupu „pregrijan ležaj“ može pridružiti funkcija pripadnosti skupu „ležaj zadovoljavajuće zagrijan“ itd. Pomoću funkcije pripadnosti se vrši tzv. fazifikacija tj. realni brojevi se konvertuju u fazi vrijednosti. Npr. temperatura od  $80^{\circ}\text{C}$  se konvertuje u vrijednost 0,5 kao što se vidi na slici 3. Na isti način se definiše funkcija pripadnosti  $w(v)$  brzine vibracija kliznog ležaja fazi skupu „previsoke vibracije ležaja“ što je ilustrovano na slici 4.



Slika 4. Funkcija pripadnosti neizrazitom skupu „PREVISOKE VIBRACIJE LEŽAJA“

Vidi se da je nivo vibracija zadovoljavajući, ako su iste ispod  $v_a$ , područje upozorenja je između  $v_a$  i  $v_d$ , a vibracije su previsoke ako su iznad  $v_d$ . Dakle limiti vibracija su  $v_a$  i  $v_d$ , a limiti temperature su  $\Theta_a$  i  $\Theta_d$ , odnosno u primjeru sa slike 3.

$\Theta_a=60^\circ\text{C}$  i  $\Theta_d=100^\circ\text{C}$ . Funkcija pripadnosti neizrazitom skupu "PREGRIJAN LEŽAJ" se može analitički izraziti kao:

$$\chi(\theta) = \begin{cases} 0 & \text{za } \theta < \theta_a \\ \frac{\theta - \theta_a}{\theta_d - \theta_a} & \text{za } \theta_a \leq \theta \leq \theta_d \\ 1 & \text{za } \theta_d < \theta \end{cases} \quad (1)$$

Na isti način se analitički izražava funkcija pripadnosti neizrazitom skupu „PREVISOKE VIBRACIJE LEŽAJA“:

$$\psi(v) = \begin{cases} 0 & \text{za } v < v_a \\ \frac{v - v_a}{v_d - v_a} & \text{za } v_a \leq v \leq v_d \\ 1 & \text{za } v_d < v \end{cases} \quad (2)$$

Disjunktivno-probabilistički fazi operator se izračunava po metodi koja je određena formulom:

$$z = \text{probor}(x, y) = (x + y) - x \cdot y \quad (3)$$

gdje su x i y varijable u rasponu od 0 do 1 [5].

## 2. INDIKATORI OŠTEĆENJA KLIZNIH LEŽAJA

Na kliznim ležajima se javljaju sljedeće vrste defekata: istrošenost, kovitanje i udari ulja u ležaju, loša podmazanost i neadekvatna debljina uljnog filma. Najčešći defekt kliznog ležaja je istrošenost istog [8]. Na ležaju van pogona se vrši ispitivanje stanja mjerenjem zračnosti pomoću mjernih listića i vizuelnim pregledom, te analizom maziva, a na ležaju u pogonu se vrši analiza dinamičkog ponašanja ležaja (analiza vibracija) i analiza temperature ležaja (termička metoda) te mjerenje debljine uljnog filma u aplikacijama koje to zahtijevaju. Sukladno rečenome, dva najznačajnija indikatora za predikciju otkaza kliznih ležaja su analiza dinamičkog ponašanja ležaja (analiza vibracija) i analiza temperature ležaja (termička metoda) [1], [2]. U pojedinim aplikacijama kliznih ležaja osim temperature i vibracija i drugi parametri, kao što je npr. debljina uljnog filma ležaja, se koriste za indikaciju pogonskog stanja ležaja [7]. Istrošenost kliznog ležaja u frekventnom spektru vibracija manifestuje se u vidu izraženih viših harmonijskih komponenti osnovne frekvencije  $\omega$  kao što je ilustrovano na slici 5. Osnovna frekvencija  $\omega$  se računa po formuli:

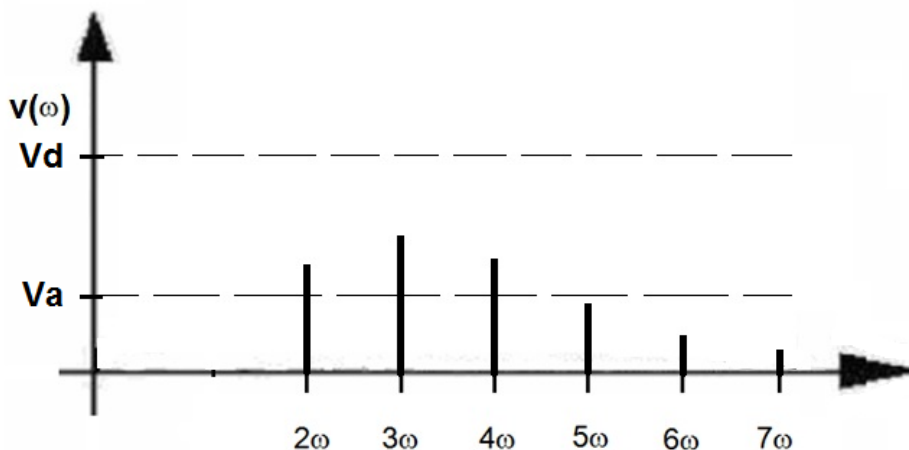
$$\omega = \frac{n}{60} \quad (4)$$

gdje je n broj obrtaja u minuti. Primjenom fazi logike se mogu obraditi indikacije mjerenja navedenih indikatora te integrisati u jedan jedinstveni integrisani indikator stanja ispravnosti kliznog ležaja.

Primjenom disjunktivno probablističkog fazi operatora se može definisati defekt faktor kliznog ležaja (engleski: Defect Factor of Journal Bearing) DFJB kao:

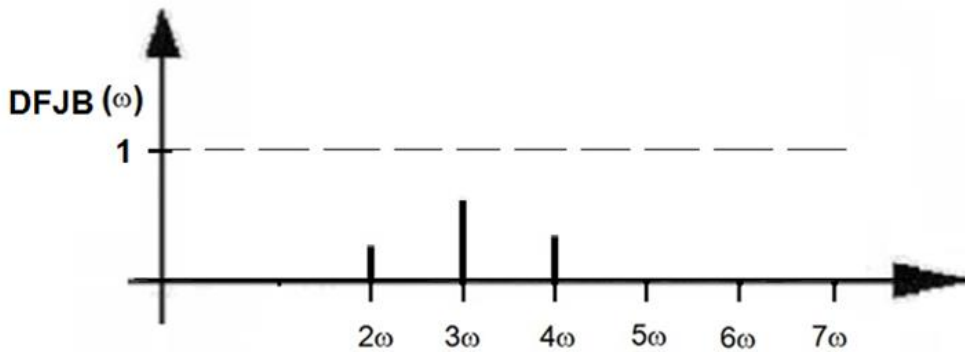
$$DFJB = (x(\theta) + w(v)) - x(\theta) \cdot w(v) \quad (5)$$

Ovakav defekt faktor kliznog ležaja DFJB predstavlja jedinstveni integrirani indikator stanja ispravnosti kliznog ležaja koji u sebi sadrži informaciju kako o temperaturi tako i o vibracijama ležaja. Ako su temperatura i vibracije u dozvoljenim granicama tj. ispod limita upozorenja tada je vrijednost defekt faktora kliznog ležaja DFJB=0, a ako je barem jedan od parametara (temperatura ili vibracije) iznad limita opasnosti tada je vrijednost defekt faktora kliznog ležaja DFJB=1 sukladno pravilima disjunkcije. Ako je bilo koji od parametara u fazi području upozorenja tada je i defekt faktor kliznog ležaja u fazi području. Uzme li se konkretan primjer u kome je vrijednost fazi varijable korespodentne temperaturi ležaja  $x(\Theta)=0$ , uzrokovano činjenicom da je temperatura ležaja u zadanim granicama, vrijednost fazi varijable korespodentne vibracijama ležaja  $w(v)=0,3$  uzrokovano blagim povišenjem intenziteta vibracija dobivamo vrijednost defekt faktora kliznog ležaja  $DFJB=(0+0,3)-0 \cdot 0,3=0,3$ . Ako su obje fazi varijable vrijednosti 0,5 dobivamo defekt faktora kliznog ležaja  $DFJB=(0,5+0,5)-0,5 \cdot 0,5=0,75$ . Kada se želi uključiti u razmatranje frekventni spektar vibracija tada je potrebno uzeti u obzir činjenicu da se otkaz kliznog ležaja u frekventnom spektru vibracija manifestuje u vidu izraženih viših harmonijskih komponenti osnovne frekvencije  $\omega$  kao što je ilustrovano na slici 5. Dakle, uzimaju se u razmatranje više harmonijske komponente frekvencije  $2 \cdot \omega$ ,  $3 \cdot \omega$ ,  $4 \cdot \omega$  itd. te se za amplitude ovih harmonijskih komponenti zadaju limiti  $v_a$  i  $v_d$  na isti način kao što su zadani za ukupne vibracije.



Slika 5. Limiti vibracija izraženi za harmonijske komponente

Osnovna harmonijska komponenta frekvencije  $\omega$  se ne uzima u obzir zbog činjenice da neuravnoteženost rotora koja je uvijek prisutna, u manjoj ili većoj mjeri, dovodi do pojave ove harmonijske komponente u spektru sa amplitudom koja je značajno velika. Obradom harmonijskih komponenti primjenom disjunktivno probablističkog fazi operatora se dobiva frekventni spektar na temelju koga se može donijeti znatno tačnija dijagnoza, jer se eliminišu uticaji signala smetnji. Na slici 6. je dat primjer frekventnog spektra DFJB.

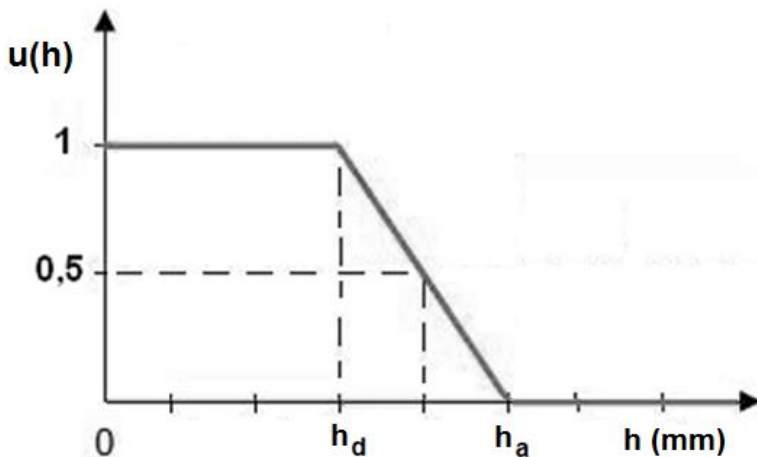


Slika 6. Frekventni spektar DFJB

Defekt faktor kliznog ležaja DFJB definisan obrascem (5) u sebi sadrži informaciju o temperaturi i o vibracijama ležaja, ali u pojedinim aplikacijama osim temperature i vibracija se mogu i drugi parametri, kao što je npr. debljina uljnog filma ležaja, koristiti za indicaciju pogonskog stanja ležaja. U tome slučaju se i ovaj dodatni parametar može integrisati u defekt faktor kliznog ležaja DFJB. Označi li se debljina uljnog filma sa  $h$  funkcija pripadnosti neizrazitom skupu „NEADEKVATNA DEBLJINA ULJNOG FILMA“ se može analitički izraziti kao:

$$u(h) = \begin{cases} 1 & \text{za } h < h_d \\ \frac{h - h_a}{h_d - h_a} & \text{za } h_a \leq h \leq h_d \\ 0 & \text{za } h_d < h \end{cases} \quad (6)$$

Grafički prikaz funkcije pripadnosti neizrazitom skupu „NEADEKVATNA DEBLJINA ULJNOG FILMA“  $u(h)$  je dat na slici 7.



Slika 7. Funkcija pripadnosti neizrazitom skupu „NEADEKVATNA DEBLJINA ULJNOG FILMA“

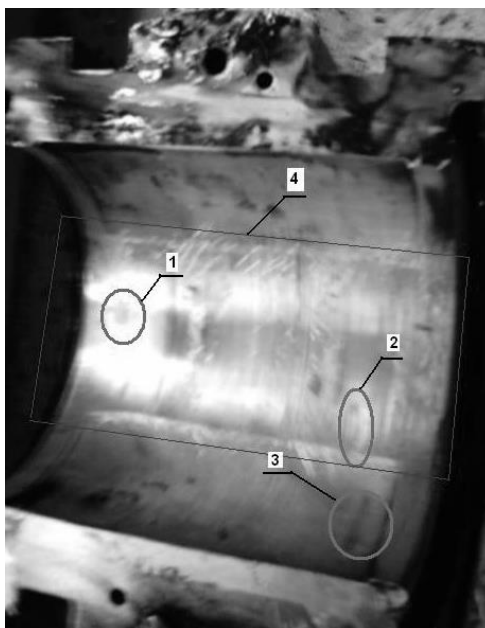


Označi li se sa DFJBe defekt faktor kliznog ležaja koji u sebi sadrži integrisan i podatak o debljini uljnog filma sledećim obrascem je određeno izračunavanje ovog faktora sukladno disjunktivno-probabilističkoj fazi logici datoj obrascem (7):

$$DFJBe = (DFJB + u(h)) - DFJB \cdot u(h) \quad (7)$$

Pri samom mjerenju vibracija i temperature i vibracija ležaja potrebno je poduzeti mjere da se eliminiraju izvori smetnji kako ne bi dolazilo do grešaka u dijagnozi. Npr. ako dolazi do zagrijavanja kliznog ležaja iz nekog vanjskog izvora potrebno je metodom kompenzacije i drugim metrološkim metodama doći do podatka o intenzitetu zagrijavanja ležaja usljed defekta. Dakako, bilo kakvo zagrijavanje ležaja iznad zadanih limita neovisno o njegovom uzroku je nedopustivo.

Slijedi primjer primjene u praksi. Na elektromotoru snage 1,6MW su bili ugrađeni klizni ležajevi sa promjerom rukavca F1180mm. Mjerenjem temperature i brzine vibracija na kućištima spomenutih kliznih ležajeva na jednom ležaju su izmjerene vibracije  $v=9,3$  mm/s i temperatura  $\Theta=66$  °C.



Slika 8. Oštećenja donje polutke kliznog ležaja

Za dati ležaj limiti vibracija su bili  $v_a=4$  mm/s i  $v_d=12$  mm/s, a limiti temperature  $\Theta_a=60$ °C i  $\Theta_d=90$ °C. Primjenom obrazaca (1) i (2) se provodi fazifikacija izmjerenih vrijednosti brzine vibracija i temperature te se dobiva:  $x(\Theta)=(66-60)/(90-60)=0,20$  odnosno  $w(v)=(9,3-4)/(12-4)=0,66$ . Sračunavanjem defekt faktora prema obrascu (5) se dobiva  $DFJB=(0,20+0,66)-0,20 \cdot 0,66=0,73$ . Može se primjetiti da je vrijednost defekt faktora veća od obje fazi varijable  $x$  i  $w$ . Nakon što je ležaj rastavljen uočena su značajna oštećenja na donjoj polutki ležaja, što je vidljivo na slici 8. Frekventni spektar dobiven obradom harmonijskih komponenti vibracija primjenom disjunktivno probabilističkog fazi operatora je dat na slici 6. i može se zapaziti da se radi o spektru karakterističnom za otkaz kliznog ležaja [1], [6].

### 3. ZAKLJUČAK

Primjenom opisanog defekt faktora kliznog ležaja se znatno pojednostavljuje postupak dijagnosticiranja kliznih ležaja, jer se dva najznačajnija tehnička indikatora (temperatura, vibracije) na inteligentan način integrišu u jedan jedinstveni tehnički indikator ispravnosti. Ovo posebno dolazi do značaja kada su u pitanju složeni sistemi sa velikim brojem mjernih tačaka gdje često dolazi do preopterećenja operatora.

### LITERATURA

- [1] R. Antunović, „NADZOR I DIJAGNOSTIKA TEHNIČKIH SISTEMA“, Naučna knjiga, Mašinski fakultet Istočno Sarajevo, 2009. god.
- [2] Ž. Novinc, A. Halep, „TEHNIČKA DIJAGNOSTIKA I MONITORING U INDUSTRIJI“, Kigen, Zagreb, 2010.
- [3] L. Zadeh, „FUZZY SETS“, Information and Control, Vol. 8, pp. 338-353, 1965.
- [4] F. Chevie, F. Guély, „FUZZY LOGIC“, Cahier technique no 191., Schneider, Grenoble, 1998.
- [5] grupa autora, „FUZZY LOGIC TOOLBOX™ USER'S GUIDE“, The MathWorks, Inc., Natick, 2013.
- [6] W. C. Laws, A. Muszynska, „PERIODIC AND CONTINUOUS VIBRATION MONITORING FOR PREVENTIVE MAINTENANCE OF ROTATING MACHINERY“, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol. 109, 1987.
- [7] H. Ličen, N. Zuber, „PROAKTIVNO ODRŽAVANJE HIDROTURBINSKE OPREME PRIMENOM 01DB-METRAVIB ONEPROD KONCEPTA“, Tehnička dijagnostika, Broj 1, 2008.
- [8] A. Rac, A. Vencl, „OŠTEĆENJA I OTKAZI METALNIH KLIZNIH LEŽAJA“, Mašinski fakultet Beograd, 2004.



## DYNAMIC BEHAVIOR OF RADIAL BALL BEARING DUE TO THE PERIODIC VARIABLE STIFFNESS

Radivoje Mitrovic<sup>1</sup>, Natasa Soldat<sup>2</sup>, Ivana Atanasovska<sup>3</sup>

**Abstract:** *The dynamic behavior of machine elements and systems has a very important influence to the machine stability and efficiency. In this paper the single-row ball bearing is subject of research. The ball bearing dynamics is analyzed and reduce to the single degree of freedom dynamics model. The different reasonable assumptions are taken in this analysis.*

*The periodic variable ball bearing stiffness is recognized as the main influent factor to the vibration behavior of this machine element, and therefore, the special attention was paid to the new approach and procedure for stiffness solving.*

*The periodic variable radial stiffness for one particular type of single-row ball bearing is calculated in this paper. The Finite Element Analysis (FEA) is used for stiffness calculation. Obtained periodic stiffness function is built in the developed single degree of freedom analytical model of ball bearing dynamics. Results for ball bearing vibration is shown and verified by comparison with experimental measurements.*

*Key words: radial ball bearings, nonlinear dynamics, stiffness, Finite Element Analysis*

### 1. INTRODUCTION

The one of the most important parts of mechanical systems with aspect of their safety and continuous work is bearings. Damage or other reasons that lead to the operating failure of bearings have very high influence on the life of all equipment and sometimes their suddenly failures can cause significant economic losses. Therefore, the study of rolling-element bearings was and still is an important research topic.

Research of rolling-element bearings dynamics has an impact in almost all innovative research in order to prevent mechanical systems failures, [1-3]. There is a very wide range of different procedures for analytical and experimental determination of the vibration characteristics of rolling-element bearings in recent years, [1-7]. The analyses of these procedures concluded with very large deviations in results, which are the effect of different positions for displacement and acceleration measurement in experimental setups or different assumptions in mathematical calculations.

In accordance with above mentioned postulates, the aim of this paper is to

<sup>1</sup> Prof. Radivoje Mitrovic, Belgrade, Serbia, Faculty of Mechanical Engineering, rmitrovic@mas.bg.ac.rs

<sup>2</sup> Msc. Natasa Soldat, Belgrade, Serbia, Faculty of Mechanical Engineering, nsoldat@mas.bg.ac.rs

<sup>3</sup> PhD Ivana Atanasovska, Belgrade, Serbia, Innovation center of Faculty of Mechanical Engineering, (CA) iviatanasov@yahoo.com

define the basic settings for developing of the analytical procedure for assessment of the radial ball bearing dynamic behavior. This procedure should uses advanced numerical methods which have extensive use in recent decades with computer performances rise. So, the Finite Element Analysis and numerical solution of differential equation of bearings assembly dynamics have been used in procedure developing.

## 2. ANALITICAL DYNAMICS MODEL FOR RADIAL BALL BEARING DYNAMICS

The physical model for analyzing the vibration of the rolling element bearing is shown in Fig. 1, [8]. This model describes a machine system that consists of a flexible shaft and a flexible casing on a flexible mount. A shaft and a casing are coupled with a rolling element bearing. This system can be a part of various mechanical assemblies and machines.

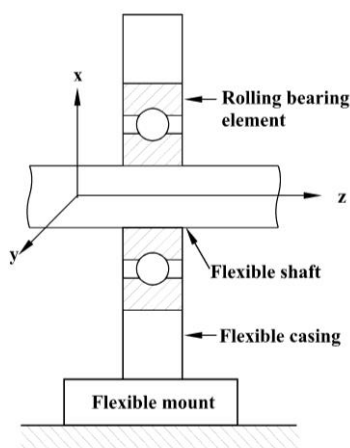


Figure 1. Physical model of mechanical system with rolling element bearing, [8]

The matrix form equation that explains the linear discrete vibration model of the system shown in Fig.1 has a following for:

$$[M]\{\ddot{q}(t)\} + [D]\{\dot{q}(t)\} + [C]\{q(t)\} = \{F(t)\} \quad (1)$$

where  $[M]$ ,  $[D]$  and  $[C]$  are the system mass, damping and stiffness matrices respectively, and  $\{q(t)\}$  and  $\{F(t)\}$  are the generalized displacement and applied load vectors respectively. The calculation of variable components of the vector of applied loads  $\{F(t)\}$  and variable components of the stiffness matrix appear to be the main tasks in order to solve the equation (1). In accordance with the shaft rotating it could be supposed that the periodic alternating shaft loads act on the rolling element bearing. Also, the time dependent periodic stiffness of rolling element bearing could be assumed. The energy dissipation associated with the rolling element bearings is assumed to be an energy equivalent damping matrix  $[D] = \sigma[C]$ , where  $\sigma$  is the damping matrix proportionality constant, [8].

Fig.2 shows the example of the reduction of the linear bearing system shown in Fig.1. The Fig.2(a) presents the mechanical system which is assumed to be freely suspended, so a ball bearing with constant axial load is supporting a short rigid shaft.

This model has 12 degrees of freedom, but the same system has been analyzed as simple vibration model with two degree of freedom shown in Fig.2(b) in the case of radial ball bearing, when the generalized displacement vectors have been reduced to the corresponding displacements in  $x$  direction and the assumption of rigid casing is adopted. It is due to the main characteristic of radial ball bearing to support only in one – radial direction (direction normal to the shaft axes direction). The dynamic excitation in  $DOF=2$  case is difference between the displacements of casing and shaft ( $x_c-x_s$ ).

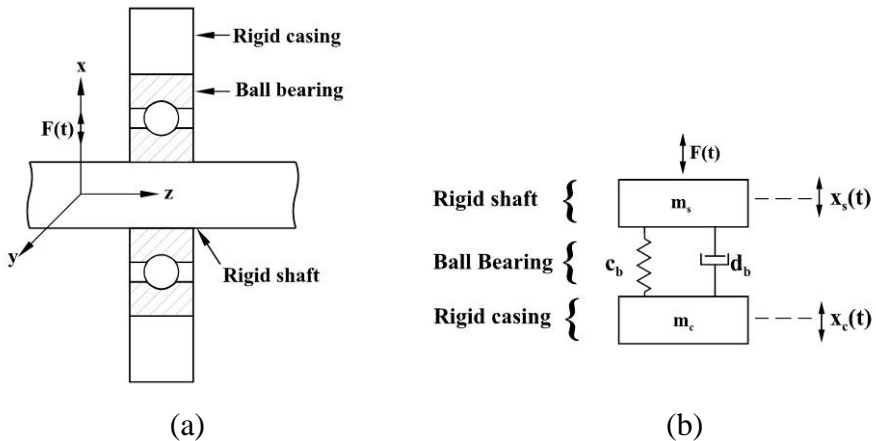


Figure 2. (a) A mechanical system with rigid shaft, ball bearing and rigid casing  
(b) Reduced model with  $DOF=2$

Analytical equations that explain the nonlinear dynamic model shown at the Fig.2(b) have the following form:

$$\begin{aligned} m_c \ddot{x}_c + d_b(t)(\dot{x}_c - \dot{x}_s) + c_b(t)(x_c - x_s) &= F(t) \\ m_s \ddot{x}_s - d_b(t)(\dot{x}_c - \dot{x}_s) - c_b(t)(x_c - x_s) &= -F(t) \end{aligned} \tag{2}$$

It is evidently that the calculation of periodic varying radial ball bearing stiffness  $c_b(t)$  has very important role in vibration analysis.

In next step of assumptions, the model of radial ball bearing vibration with two degrees of freedom, Fig.2 (b) could be reduced to the one degree of freedom model shown in Fig.3 and described with the following equation:

$$m_{red} \ddot{x} + d_b(t) \dot{x} + c_b(t)x = F(t) \tag{3}$$

where  $m_{red}$  is reduced mass of ball bearing system ( $m_{red}=m_s m_c / (m_s + m_c)$ ),  $c_b(t)$  is the periodic varying radial ball bearing stiffness,  $d_b(t)$  is the ball bearing damping function and  $F(t)$  is the time varying radial load applied to the shaft.

In another case, when the mechanical system shown in Fig.1 is consist of flexible shaft, radial ball bearing and rigid casing, system could be also reduced to the system with one degree of freedom, Fig.3 and equation (3). But, in this case, the reduced mass is equal to the mass of the casing and the radial ball bearing stiffness is characteristic of ball bearing assembly with shaft. This case is choose for consideration in this paper.

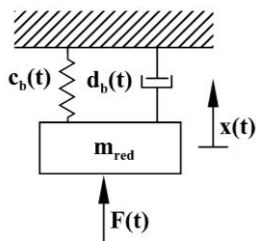


Figure 3. Dynamic model of radial ball bearing with one degree of freedom

### 3. NUMERICAL MODEL FOR CALCULATION OF RADIAL BALL BEARING STIFFNESS

The radial ball bearing deformation is function of the material characteristics of ball bearing elements, geometry and dimensions of contact elements (inner ring, outer ring and balls), intensity and characteristics of external load, variable number of balls in contact etc, [9-11]. The radial ball bearing stiffness is characteristic of the ball bearing assembly defines by the relation of external loads and deformation:

$$c_b(t) = F(t) / \delta(t) \tag{4}$$

In this equation the  $F(t)$  is the time varying radial load acts on the ball bearing and  $\delta(t)$  is the time varying elastic displacement of bearing axis that is equal to the total deformation of ball bearing in the radial direction, i.e. total radial displacement of axis of bearing in radial direction. The time varying radial stiffness can be calculated analytically, [9, 10] or by experimental measuring of ball bearing displacement in terms of predefined external loads, [4, 5]. The more comfortable but on same time equally accurate procedure for ball bearing stiffness calculation is by time dependent Finite Element Analysis for one time varying period of one ball passing along the contact period (period during one ball is continuously in contact). The definition and analytical procedure for calculation of one contact period angle is given in [12], and has a following form:

$$2\psi_0 = 2\arccos(1 - 2\varepsilon), \quad \varepsilon = \frac{1}{2} \left( \frac{\delta_0}{\delta_0 + \frac{e}{2}} \right) \tag{5}$$

where:  $2\psi$  is the angle that correspond to one contact period,  $\varepsilon$  is the load zone parameter,  $\delta_0$  is total contact deformation of bearing parts in start point of contact on the most loaded ball and  $e$  is radial clearance of radial ball bearing.

The Finite Element Analysis (FEA) is used for calculation of the radial ball bearing stiffness (4) by calculation of the total radial displacement of axis of bearing in radial direction and assumption that the external load has constant value. The FEA is performed and presented in this paper on a particular case of radial ball bearing with following main characteristics: diameter of outer ring - 110mm, diameter of inner ring - 50mm, number of balls - 8, radial clearance - 10 $\mu$ m (6310 by SKF).

The finite element model developed for calculation of the radial ball bearing stiffness is given in Fig. 4. The developing of this model is in accordance with following

assumptions: rotation speed has limited effect on the radial stiffness of ball bearings, the centrifugal and gyroscopic effects are ignored, the sliding friction force is negligible, bearing damping has mild effect on bearing dynamic because of elastohydrodynamic lubrication in ball bearings, [9].

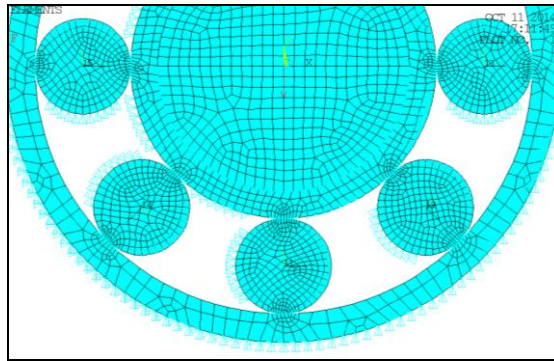


Figure 4. *Finite element model for radial ball bearing*

#### 4. RESULTS AND DISCUSSION

In order to model the radial ball bearing SKF 6310, the angle for a one contact period has been calculated in accordance with equation (5) and has a value of  $168^\circ$ . The end point positions of a ball contact for research radial ball bearing are presented in Fig.5 in the bearing two dimension solid model.

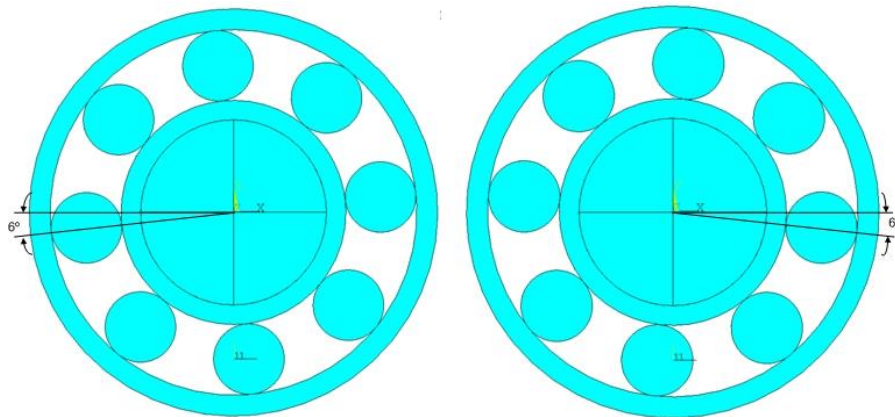


Figure 5. *The first and the last point of a contact period – one period in stiffness variation*

The Finite Element Analysis (FEA) is used for calculation of the total radial displacement of axis of bearing in radial direction. The node for displacement reading from the FEA results is chosen in accordance with the definition of ball bearing stiffness and is placed near the contact between the inner ball bearing ring and shaft. In Fig.6 the results for displacement in radial direction is shown in the position with maximum loading of a ball in center and with three balls in contact. In this case, the SKF 6310 radial ball bearing operate alternating with three balls in contact and four

balls in contact. Therefore, the similar finite element model is developed for the periods with four balls in contact (end positions with four balls in contact are shown in Fig.5). In this paper, the constant radial ball bearing stiffness in all points with the same number of balls in contact is assumed. So, the periodic variation of radial stiffness has a shape as is shown in Fig.7, calculated for SKF 6310.

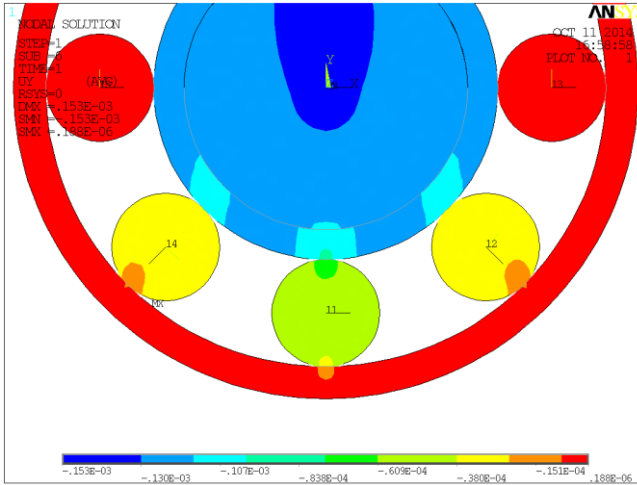


Figure 6. FEA results for displacement in radial direction for SKF 6310

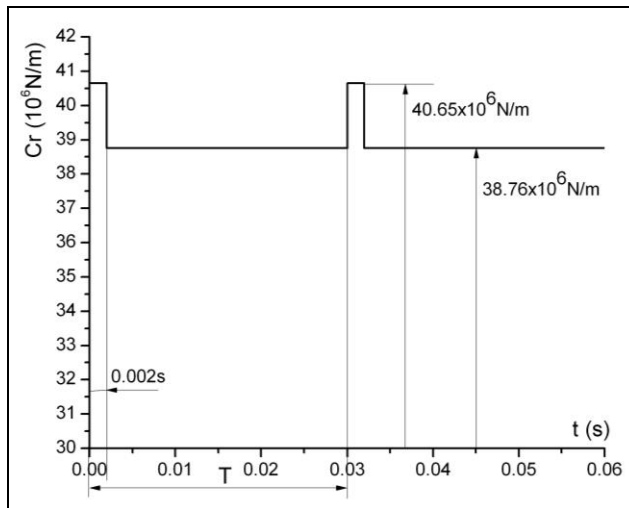


Figure 7. Periodic variable radial ball bearing stiffness for SKF 6310

Obtained results for radial ball bearing stiffness are put in nonlinear dynamic analytical model defined with equation (3). Damping is neglected and the constant external radial load is defined in accordance with above mentioned assumptions. The reduced mass of ball bearing system  $m_{red}$  of 0.5 kg and the external radial load of  $F = 5000$  N are choose. The Runge-Kutta numerical iterative methods and commercial software MATLAB are used for solving the differential equation of nonlinear dynamics of ball bearing assembly and the obtained results for few stiffness function period are



shown in Fig.8. The comparison with experimental results of other author, [3] verified the developed procedure and models.

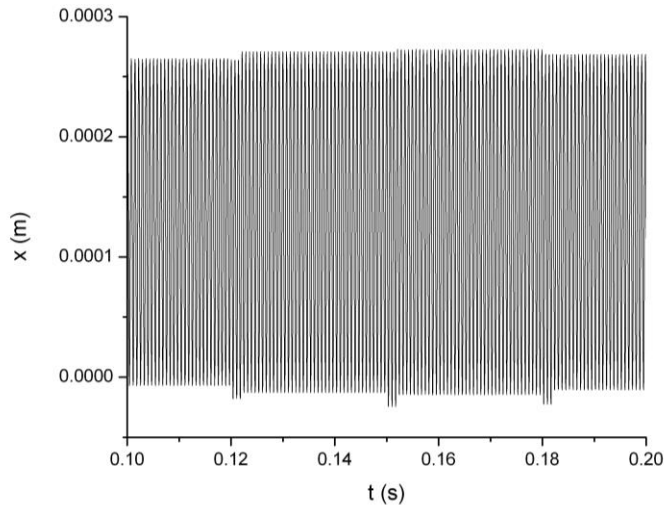


Figure 8. *Vibration displacement of radial ball bearing SKF 6310*

## 5. CONCLUSIONS

- The analysis of different authors procedures for solving the dynamic behavior of ball bearings shows that the developing and verified of unique procedure is very important.
- The dynamics of radial ball bearing is reduced to the dynamic model with one degree of freedom. All adopted assumptions are explained.
- The numerical Finite Element Method (FEM) is used for calculation of radial ball bearing stiffness. The FEM models are developed for one particular radial ball bearing type.
- The calculated radial stiffness is presented as two value variable function of time.
- The Runge-Kutta numerical iterative methods and commercial software MATLAB are used for solving the differential equation of ball bearing assembly dynamics.
- The experimental results of other author verified the developed procedure and models.

## ACKNOWLEDGMEN

Parts of this research were supported by the Ministry of Sciences and Technology of Republic of Serbia Grant OI 174001 Dynamics of hybrid systems with complex structures. Mechanics of materials. and Grant TR 35029 Development of the methodology for working capacity, reliability and energy efficiency improvement of energetic mechanical systems.

## REFERENCES

- [1] Giagopoulos, D. et al. (2006) Effect of non-linearities in the identification and fault detection of gear-pair systems, *International Journal of Non-Linear Mechanics*, vol. 41, p. 213–230, doi:10.1016/j.ijnonlinmec.2005.07.004
- [2] Zhang, X. et al. (2013) Stability analysis of a rotor–bearing system with time-varying bearing stiffness due to finite number of balls and unbalanced force, *Journal of Sound and Vibration*, vol. 332, p. 6768–6784, doi: 10.1016/j.jsv.2013.08.002
- [3] Tomović R., Research of rolling bearings construction parameters impact to the condition of their labouring correctness, Doctoral dissertation, Serbia, 2009.
- [4] Ali, N.J., García, J.M. (2010) Experimental studies on the dynamic characteristics of rolling element bearings, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, vol. 224, p. 659-698., doi:10.1243/13506501JET698
- [5] Behzad, M., Abbas, R.B., David, M. (2011) A New Model for Estimating Vibrations Generated in the Defective Rolling Element Bearings, *Journal of Vibration and Acoustics*, ASME, August 2011, vol. 133, p. 041011-1 – 041011-8
- [6] Changqing, B., Qingyu X. (2006) Dynamic model of ball bearings with internal clearance and waviness, *Journal of Sound and Vibration*, vol. 294, p. 23–48, doi:10.1016/j.jsv.2005.10.005
- [7] Kappaganthu, K., Nataraj, C. (2011) Nonlinear modeling and analysis of a rolling element bearing with a clearance, *Communication in Nonlinear Science and Numerical Simulatation*, vol. 16, p. 4134–4145., doi:10.1016/j.cnsns.2011.02.001
- [8] Lim T.C., Singh R. (1990) Vibration transmission through rolling element bearing, Part II: System studies, *Journal of Sound and Vibration*, vol.139, no.2, p. 201-225.
- [9] Guo, Y., Parker, R.G.(2012) Stiffness matrix calculation of rolling element bearings using a finite element/contact mechanics model, *Mechanism and Machine Theory*, vol. 51, p.32–45., doi:10.1016/j.mechmachtheory.2011.12.006
- [10] Kang et al, Y.et al. (2006) A modification of the Jones–Harris method for deep-groove ball bearings, *Tribology International*, vol. 39, p.1413–1420., doi:10.1016/j.triboint.2005.12.005
- [11] Atanasovska, I. et al. (2014) Calculation of radial stiffness for single-row ball bearing with Finite Element Analysis, *Machine Design (The 8<sup>th</sup> International Symposium KOD 2014, 12-15 June 2014, Balatonfured, Hungary)*, Vol.6, No.3, ISSN 1821-1259; p. 85-90.
- [12] Mitrović, R., Msc Thesis. (1988). Analysis of the influence of elastic deformation and internal radial clearance of ball bearing on the load distribution and stress capacity, Faculty of Mechanical Engineering, University in Belgrade (in Serbian)



## THE EFFECT OF RADIAL CLEARANCE ECCENTRICITY ON FLUID FLOW RATE

Darko Knežević<sup>1</sup>, Saša Laloš<sup>2</sup>

*Abstract: The fluid flow rate is influenced by geometry of the clearance, thermodynamic state of the fluid and type of the fluid. This paper shows an analysis of the fluid flow through symmetrical radial clearances at isothermal change of fluid state, and taking into account the change in viscosity with pressure (which is very important in the case of hydraulic fluid flow within the hydraulic components). Further is analysed the effect of radial clearance eccentricity on change of fluid flow rate.*

*Keywords: Eccentricity, flow rate, pressure, radial clearance, viscosity*

### 1. INTRODUCTION

Problems associated with radial clearances have great importance for hydraulic components and in lubrication theory. Mathematical description of fluid flow through radial clearances (coaxial cylinders) which could be found in literature is based mainly on simplified model which does not take into account the change of fluid viscosity with the change of thermodynamic state. It also neglects the fact that the same mathematical model could not be used for description of fluid flow through short clearances (the clearances with significant change of temperature along the leakage path) and long clearances (the clearances wherein the temperature of fluid can be considered approximately constant along the leakage path). [1]

This paper elucidates the mathematical model of fluid flow through “long” symmetrical radial clearance taking into account the change of fluid viscosity with pressure. Verification of the mathematical model is given by comparing the experimental results with the theoretical model.

### 2. SYMMETRICAL RADIAL CLEARANCE

The hydraulic fluid flow through radial clearances can be described with Navier–Stokes equations.

For stationary flow of incompressible fluid, taking into account the change in viscosity across the clearance, the vector form of these equations reads

---

<sup>1</sup> Prof. dr, Darko Knežević, Banja Luka, University of Banja Luka, Faculty of Mechanical Engineering, darko.knezevic@unibl.rs

<sup>2</sup> Dipl. ing., Saša Laloš, Banja Luka, University of Banja Luka, Faculty of Mechanical Engineering sasa.lalos@unibl.rs

$$\rho \frac{D\mathbf{v}}{Dt} = \rho \mathbf{f} - \mathbf{grad}p + \Delta(\mu \mathbf{v}) \quad (1)$$

where:

$\rho \frac{D\mathbf{v}}{Dt}$  – inertia force per unit of volume on an element of fluid,

$\mathbf{grad}p$  – pressure force per unit of volume on an element of fluid,

$\Delta(\mu \mathbf{v})$  – viscous force per unit of volume on an element of fluid.

The projection of this equation on  $x$ ,  $y$  and  $z$  axis of chosen Descartes coordinate system, reads

$$\begin{aligned} \rho \left( u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) &= \rho f_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \left( \frac{\partial^2(\mu u)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\mu u)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2(\mu u)}{\partial z^2} \right) \\ \rho \left( u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) &= \rho f_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \left( \frac{\partial^2(\mu v)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\mu v)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2(\mu v)}{\partial z^2} \right) \\ \rho \left( u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) &= \rho f_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \left( \frac{\partial^2(\mu w)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\mu w)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2(\mu w)}{\partial z^2} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

Cross sectional area through which fluid flows through the clearance is

$$A = \frac{(d_2^2 - d_1^2) \pi}{4} \quad (3)$$

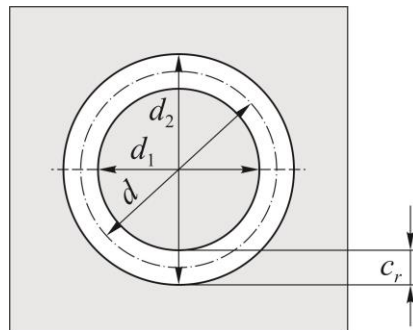


Figure 1. *The symmetrical clearance*

We are observing the axially symmetric flow. As trajectories of fluid particles are straight and parallel and  $\frac{c_r}{r_1} \ll 1$ , fluid flow through radial clearance can be seen as flow between flat parallel surfaces which width are  $d\pi$ , and the distance between them is  $c_r$ .

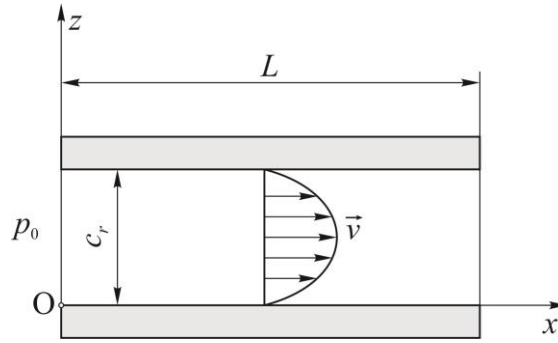


Figure 2. The flow of fluid between parallel plates

Can be written

$$d_1 = d - c_r \quad (4)$$

$$d_2 = d + c_r \quad (5)$$

Substituting equations (4) and (5) in equation (3), we get

$$A = d\pi c_r = wc_r \quad (6)$$

where  $w$  is defined as the width of rectangular opening.

During steady rectilinear parallel flow, there is only longitudinal component of velocity  $u$ , while components  $v$  and  $w$  are equal zero. Velocity profile for this case of flow does not change along clearance, which can be concluded from analysis of the continuity equation in differential form

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (7)$$

As  $v$  and  $w$  equal zero, from previous equation follows  $\frac{\partial u}{\partial x} = 0$ , why  $u = f(z)$ .

Since the influences of mass forces ( $\mathbf{f}$ ) are negligible, the Navier-Stokes equations are reduced to form

$$\frac{dp}{dx} = \frac{d^2(\mu u)}{dz^2} \quad (8)$$

Dynamic viscosity coefficient of fluid  $\mu$  flowing through the clearance, for the specific operating temperature  $T$ , is given by the Barus's equation [2]

$$\mu = \mu_0 e^{\alpha p} \quad (9)$$

It should be taken into account that the usage of equation (9) is limited to pressure up to 5000 bar. [3]

As pressure is function of longitudinal coordinate  $x$ , and the dynamic viscosity depends on pressure, then the dynamic viscosity is function of coordinates  $x$  too, so

we can write

$$e^{-\alpha p} \frac{dp}{dx} = \mu_0 \frac{d^2 u}{dz^2} \quad (10)$$

As the left side of equation (3.10) depends only of  $x$  and the right side depends only of  $z$ , it follows that both sides of this equation have to be equal to a constant  $C$ .

General solution of equation (10) is

$$u = \frac{C}{2\mu_0} z^2 + C_1 z + C_2 \quad (11)$$

The constant  $C$  can be determined from the boundary conditions for pressure:

$$\begin{aligned} x = 0, & \quad p = p_0 \\ x = L, & \quad p = 0 \end{aligned} \quad (12)$$

From the condition that the left side of equation (10) is equal to constant  $C$ , i.e.

$$e^{-\alpha p} \frac{dp}{dx} = C \quad (13)$$

putting

$$e^{-\alpha p} \frac{dp}{dx} = -\frac{1}{\alpha} \frac{d}{dx} e^{-\alpha p} \quad (14)$$

equation (13) can be directly integrated, and we get

$$e^{-\alpha p} = -\alpha C x - \alpha C_3 \quad (15)$$

Incorporating the boundary conditions (12) in equation (15), we get

$$C_3 = -\frac{1}{\alpha} e^{-\alpha p_0} \quad (16)$$

$$C = \frac{e^{-\alpha p_0} - 1}{\alpha L} \quad (17)$$

The boundary conditions for velocity are

$$\begin{aligned} z = 0, & \quad u = 0 \\ z = c_r, & \quad u = 0 \end{aligned} \quad (18)$$

Substituting conditions (18) in equation (11), we get

$$C_2 = 0 \quad (19)$$

$$C_1 = -\frac{C}{2\mu_0} c_r \quad (20)$$

Incorporating the constants  $C_1$  and  $C_2$  in equation (11), we get expression for the velocity profile in the cross section of clearance

$$u = \frac{1 - e^{-\alpha p_0}}{2\alpha\mu_0 L} (c_r z - z^2) \quad (21)$$

Volumetric flow rate through clearance is

$$Q = w \frac{1 - e^{-\alpha p_0}}{2\alpha\mu_0 L} \int_0^c (c_r z - z^2) dz \quad (22)$$

$$Q = \frac{1 - e^{-\alpha p_0}}{\alpha} \cdot \frac{d\pi c_r^3}{12\mu_0 L}$$

Pressure seeks to hold piston in concentric (coaxial) position in relation to the cylinder. However, in case of eccentricity of the piston relative to the cylinder fluid flow through the clearance can be significantly changed.

### 2.1 Verification of the mathematical model

A comparative review of experimental results and results obtained by applying the theoretical model (22) is given in the Fig. 3 and Table 1. The piston with diameter  $d_1 = 10$  mm and radial clearance size  $c_r = 17 \mu\text{m}$  was used for performing the experiment. [1]

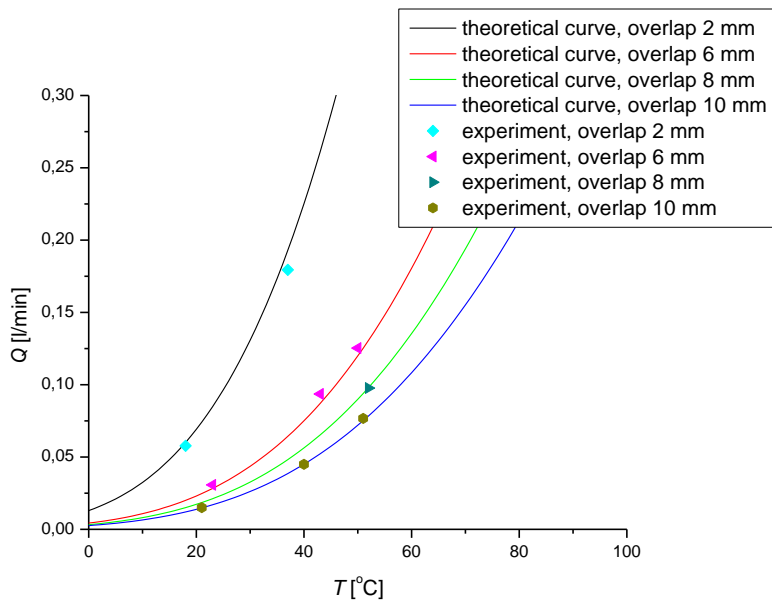


Figure 3. K10-17, oil HM 46, working pressure 350 bar

Table 1. Numerical values of experimental results in Fig. 3 and the corresponding values calculated by using the theoretical model (formula 22)

L [mm]	T [°C]	Flow rate	
		Experiment [l/min]	Theoretical model [l/min]
2	18	0.058	0.06
	37	0.18	0.19
6	23	0.031	0.028
	43	0.0936	0.087
	50	0.125	0.12
8	52	0.098	0.098
10	21	0.015	0.0148
	40	0.045	0.045
	51	0.0767	0.75

### 3. ECCENTRIC RADIAL CLEARANCE

Looking at the figure 4, next expressions, which describe relations between coordinates, can be written:

$$y = r_1 \sin \theta \quad (23)$$

$$r_1^2 = x^2 + y^2 \quad (24)$$

$$x^2 + (y - c_r)^2 = (r_2 - c_r)^2 \quad (25)$$

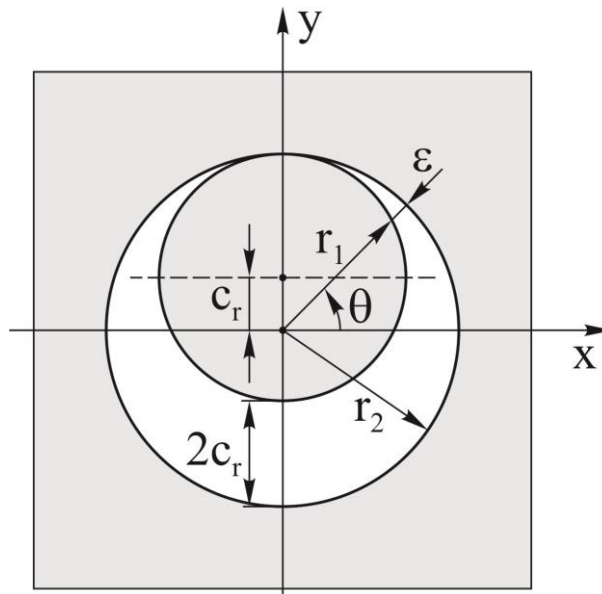


Figure 4. Eccentric radial clearance with maximal eccentricity ( $e_{\max} = c_r$ )



Incorporating equation (25) in equation (24), we get

$$r_1^2 = (r_2^2 - 2r_2c_r) + 2c_r y \quad (26)$$

Incorporating equation (23) in equation (26), we get

$$r_1^2 = (r_2^2 - 2r_2c_r) + 2c_r r_1 \sin \theta \quad (27)$$

By solving equation (27) for  $r_1$ , we get

$$r_1 = c_r \sin \theta \pm \sqrt{(c_r \sin \theta)^2 + (r_2^2 - 2r_2c_r)} \quad (28)$$

The clearance between piston and cylinder  $\varepsilon$ , for optional angle  $\theta$ , is given by next expression

$$\varepsilon = r_2 - r_1 = r_2 - c_r \sin \theta \pm \sqrt{(c_r \sin \theta)^2 + \left(1 - \frac{2c_r}{r_2}\right)} \quad (29)$$

As radial clearance size  $c_r$  is small value in comparison with radius  $r_2$ ,  $\left(\frac{c_r}{r_2}\right) \ll 1$ , equation (29) can be simplified

$$\varepsilon = r_2 - c_r \sin \theta \pm r_2 \sqrt{1 - \frac{2c_r}{r_2}} \quad (30)$$

Equation (30) can be written in expression

$$\varepsilon = r_2 \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{2 \cdot c_r}{r_2}}\right) - c_r \sin \theta \quad (31)$$

Using the fact that  $\left(\frac{c_r}{r_2} \ll 1\right)$ , the expression under square root (31) can be simplified with Taylor series.

Introducing substitution  $\varphi = \frac{2c_r}{r_2}$  can be written

$$\sqrt{1 - \varphi} = 1 - \frac{1}{2}\varphi - \frac{1}{8}\varphi^2 - \frac{1}{48}\varphi^3 - \dots \quad (32)$$

As  $\varphi$  is small value, all members of the Taylor series developed around the point  $\varphi_0 = 0$  are small values with higher order and can be neglected in comparison with first two members, so

$$\sqrt{1-\varphi} \approx 1 - \frac{1}{2}\varphi \quad (33)$$

Equation (31) now can be written in expression

$$\varepsilon = r_2 \left( 1 \pm \left( 1 - \frac{c_r}{r_2} \right) \right) - c_r \sin \theta \quad (34)$$

After arrangement of equation (34) we get

$$\varepsilon = c_r (1 - \sin \theta) \quad (35)$$

As hydraulic fluid flow through long clearances is a function of a radial clearance to the power of three, the ratio of the fluid flow through eccentric and cylindrical clearance can be calculated from expression

$$\frac{Q_\varepsilon}{Q_{c_r}} = \frac{c_r^3 \int_{-\pi/2}^{\pi/2} (1 - \sin \theta)^3 d\theta}{c_r^3 \int_{-\pi/2}^{\pi/2} d\theta} = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} (1 - 2\sin \theta + \sin^2 \theta)(1 - \sin \theta) d\theta \quad (36)$$

$$\frac{Q_\varepsilon}{Q_{c_r}} = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} (1 - 3\sin \theta + 3\sin^2 \theta - \sin^3 \theta) d\theta \quad (37)$$

By integrating equation (37), we get

$$\frac{Q_\varepsilon}{Q_{c_r}} = \frac{1}{\pi} \left( \pi + \frac{3\pi}{2} \right) \quad (38)$$

$$\frac{Q_\varepsilon}{Q_{c_r}} = 2.5 \quad (39)$$

From expression (39) can be seen that with maximal eccentricity ( $e_{\max} = c_r$ ), the flow through eccentric clearance is 2.5 times higher than through symmetrical clearance.

#### 4. CONCLUSION

Based on the given analysis of the fluid flow through the radial clearances, following conclusions can be made:

1. The application of simplified models from the literature, which assume a constant value of fluid viscosity coefficient bring us to the results, which significantly vary from experimentally measured flow values through radial clearances.

2. For clearances (coaxial cylinders) in which the working fluid insignificant changes its temperature during flow, the change of oil viscosity with pressure has to be taken into account. This is particularly important when working with fluids with a significant viscosity change like hydraulic fluids.
3. The fluid flow is significantly greater in eccentric radial clearances compared with the flow in the cylindrical radial clearances. To prevent negative effects of bringing the piston in an eccentric position to the body (in valves), working fluid needs to be released under pressure into the radial clearance through the entire piston circumference. This way losses are reduced and lubrication of the elements, which are relatively moving in relation to each other, is improved (piston and valve body).

## **NOMENCLATURE**

$c_r$  clearance size

$d_1$  diameter of piston

$d_2$  inner diameter of cylinder

$e_{mac}$  maximal eccentricity

$\mathbf{f}$  density of mass forces

$L$  width of parallel surfaces

$p$  pressure

$Q$  volumetric fluid flow

$Q_\varepsilon$  volumetric fluid flow through eccentric clearance

$Q_{c_r}$  volumetric fluid flow through cylindrical clearance

$r_1$  radius of piston

$r_2$  inner radius of cylinder

$\mathbf{v}$  velocity vector

$u, v, w$  components of velocity in  $x$ ,  $y$  and  $z$  direction

$\alpha$  pressure-viscosity coefficient. [4]

$\varepsilon$  eccentric radial clearance

$\mu$  dynamic viscosity coefficient of fluid

$\mu_0$  dynamic viscosity coefficient of fluid for temperature  $T_0$

$\rho$  density

## REFERENCES

- [1] Knežević D. (2007.), *INFLUENCE CLEARANCES GEOMETRY IN HYDRAULIC COMPONENTS OF AUTOMATION CONTROL ON EFFICIENCY OF HYDRAULIC SYSTEMS*, Doctoral Thesis, Faculty of Technical Science, Novi Sad
- [2] JUGOMA-Grupa autora, *Maziva i podmazivanje*, Savez Jugoslovenskih društava za primjenu goriva i maziva, Zagreb, 1986.
- [3] Stachowiak G. W., Batchelor A. W., *Engineering Tribology*, University of Western Australia, Australia, 2001.
- [4] Frauenstein M., *Uputstvo za tečnosti pod pritiskom za konstruktore*, Mobil Oil , 1979.



## MEASURING EQUIPMENT IN THE RESEARCH AND THE DEVELOPMENT OF HYDRAULIC ABOVE – KNEE PROSTHESIS

Miljan Rupar<sup>1</sup>, Remzo Dedić<sup>2</sup>, Adisa Vučina<sup>3</sup>, Haris Đindo<sup>4</sup>

*Abstract: Climbing the stairs in natural manner still presents a big problem for an amputee using commercial above-knee (AK) prosthesis. The main problem with common AK prostheses is the lack of knee and ankle joints, since climbing the stairs requires overcoming large forces and moments. The main aim of the project of developing the new hydraulic AK prosthesis is to find a way to enable unilateral transfemoral (TF) amputees to climb the stairs in as much as possible natural manner by developing prosthesis with externally powered knee and ankle joints. In order to test prosthesis functionality, various experiments need to be conducted, and for that purpose motion measuring equipment is needed. The equipment at disposal is TrakSTAR WIDE-RANGE. As this measuring equipment will be used for the first time for testing the prosthesis, it is necessary to test it prior to using it in final experiments. For that purpose preliminary test was done by simulating climbing the stairs of sound person.*

*Key words: experiments, Hydraulic AK Prosthesis, measuring equipment*

### 1. INTRODUCTION

The aim of the Hydraulic Above-Knee (AK) Prosthesis project is to develop an AK prosthesis that would enable unilateral above-knee leg amputees to perform various activities that are integral part of their everyday's lives. The main goal, and the hardest to achieve, is to enable amputees to climb the stairs using Hydraulic AK prosthesis and perform it with ease and as naturally as non-amputees.

Advanced microprocessor controlled AK prostheses that are available on the market enable amputees to walk on leveled and inclined ground, to descend the stairs and even to ride a bicycle and to do various other activities. In order for amputees to climb the stairs in a way that would be, by its kinematics and dynamics, approximate to natural climbing of non-amputees, external power is needed to substitute large number of muscles needed to perform such an activity [1]. However, climbing the stairs can now be achieved, but it is usually performed in an unnatural "step by step", where

<sup>1</sup>Miljan Rupar, dipl. ing, Faculty of Mechanical Engineering and Computing, Mostar, miljan\_deus@yahoo.com

<sup>2</sup>Prof. PhD. Remzo Dedić, Faculty of Mechanical Engineering and Computing, Mostar

<sup>3</sup>Prof. PhD. Adisa Vučina, Faculty of Mechanical Engineering and Computing, Mostar

<sup>4</sup>Prof. PhD. Haris Đindo, DICGIM, University of Palermo, Italy

amputees (unilateral) mostly progress to the next step with their sound leg, followed by pulling their prosthesis to the same step. This means that progressing to a next stair is always made with same leg.

The development of initial physical prototype of Hydraulic AK prosthesis with two hydraulic actuators, in the knee and in the ankle, is in a stage of testing in order to assess all assumptions from the research conducted up to now. Also, it needs to be determined if the chosen power unit has the appropriate to power to overcome forces while climbing the stairs and to determine if hydraulic actuators are adequately chosen and positioned within the prosthesis design. For that purpose, there is a need of conducting experiments of climbing the stairs in multiple phases, and adequate measuring equipment is needed in order to be able to measure achieved results.

## 2. PROJECT OF DEVELOPMENT OF HYDRAULIC AK PROSTHESIS

Initial research and development of Hydraulic AK prosthesis has lasted for long period of time, starting at Faculty of Mechanical Engineering and Computing, University of Mostar, Bosnia and Herzegovina. It was carried out in several phases and each of these phases represented a new progress which demanded proving the results trough the appropriate experimental testing. These phases were conducted mostly as a part of master or doctoral research under the mentorship of professor PhD Remzo Dedic, who was the initiator of the project of Hydraulic AK Prosthesis. Since all the research was conducted by different researchers, and on different locations, with certain time period passed between them, in all phases and experimental testing different measuring equipment was used. The reason for that is not only that different aspects were tested, but also because of the unavailability of attaining the same equipment in each time-separated phase.

### 2.1 Previous research and development of Hydraulic AK Prosthesis

The first experimental research of Hydraulic AK prosthesis with integrated hydraulic actuator in the knee was conducted at University of Glasgow, Scotland UK [2,3]. It was conducted in two phases. First phase was testing the prosthesis and kinematics of hydraulic actuator of the knee in laboratory conditions by simulating the mass of the rest of the human body by using an artificial weight. During the second phase, testing of the prosthesis and kinematics of hydraulic actuator was done in real operating conditions with an amputee, wearing this newly designed prosthesis and climbing onto a platform that simulated the stair.



(a)



(b)

Figure 1. *Experimental testing of prosthesis with hydraulic actuator integrated in the knee: in laboratory conditions (a) and in real operating conditions (b) [2,3]*

In the first phase of this research, the pressure was measured using pressure sensor TR—4002 which was connected to the MATLAB 5.3 software on a Pentium 3 computer via MRF INTERFACE.

For the second phase of testing, hydraulic measuring station with manometer and manual valve was used and pressure was measured. Knowing the characteristics of hydraulic actuator force that occurs in the hydraulic actuator was calculated.

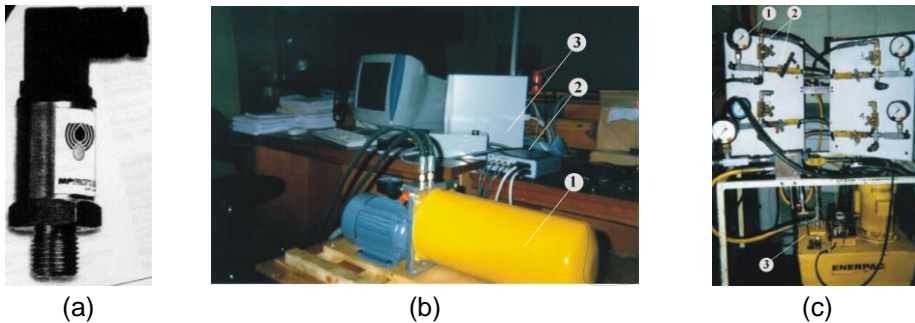


Figure 2. Pressure sensor TR—4002 (a); MRF INTERFACE with Hydraulic power unit and computer (b); Hydraulic measuring station (c) [2,3]

The experiments of the second research [4] were performed at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, Croatia. In this research, climbing the stairs of sound individuals was tested and measured in order to compare the obtained data with the previous research on prosthesis. Instead of using elevated platform to simulate the stair, real stairs were designed for this research. In order to get the precise data for comparison, with the same conditions used, climbing these stairs of amputee was also conducted.

In this research for measuring kinematic values BTS ELITE measuring system was used, and to measure reaction force of the ground KISTLER platform was used. BTS ELITE measuring system serves for motion analysis and uses video and software technique to detect and measure motion. It enables determining special coordinates for testing the points of interest on human body, or any other object, and for processing recorded signals in real time. Basic sensors for registering the scene and object in motion of BTS ELITE system are four video cameras, CCD 1/2" type, designed to be especially sensitive to infrared (IR) part of the spectrum and are equipped with special IR flashes. The points of interest, that need to be analysed, are marked with reflecting passive markers, 1 mm to 1 cm in size depending of analysed object and location of interest [4].

KISTLER 9281B type platform measures three components of the force that acts upon a platform and three components of the moment in regard to origin of the coordinate system of the platform [4].

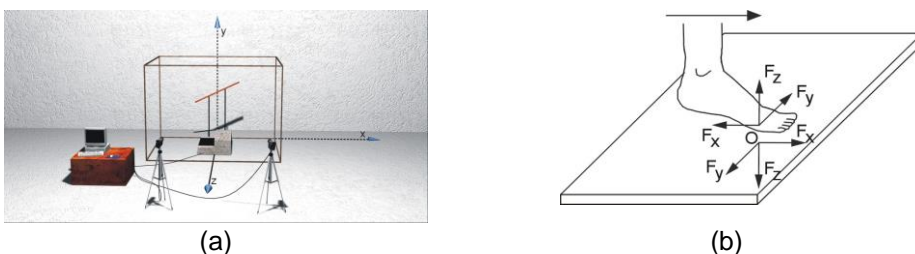


Figure 3. Depiction of equipment and working space used in second research [4]

In this research certain artificiality was noted in the process of climbing the stairs of an amputee, compared to the climbing of sound individual. It was discovered that besides the knee joint, the ankle joint is also the key factor in achieving more natural stair climbing.

The third research [3,5] was conducted at Carnegie Mellon University, Pittsburgh; Pennsylvania, USA. It was focused on testing the prosthesis with hydraulic actuator for the ankle joint integrated into a prosthesis design along with the actuator for the knee.

Hydraulic ankle actuator was positioned approximately in the place of biological ankle and testing in laboratory conditions was conducted by fixing the foot of the prosthesis to the ground and using weight to simulate the rest of the human body. Experimental testing was conducted both with and without hydraulic actuator of the ankle. Though the same experimental testing (without hydraulic ankle actuator) was conducted in the first research it had to be repeated since the different measuring equipment for the experiment was used. The equipment that was used was POLARIS, the passive system of optical measuring. It detects position of passive markers placed on the prosthesis by emitting IR light that reflects of markers and turns it back to its sensors. The experiment showed better results with hydraulic actuator integrated in the ankle.

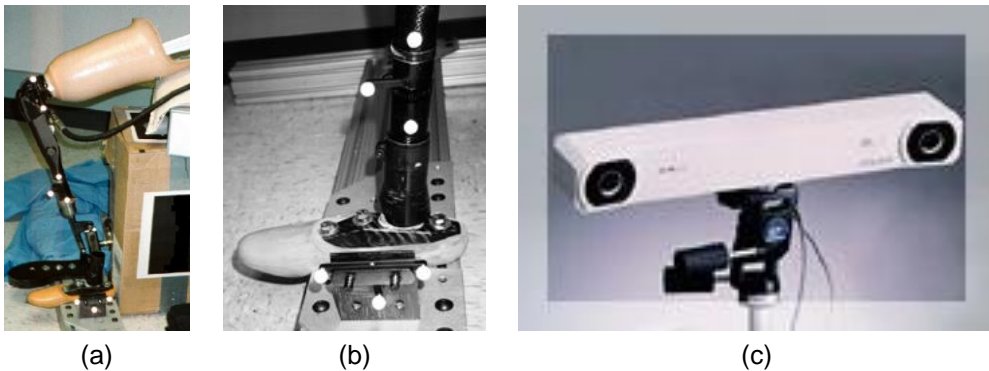


Figure 4. *Experimental testing of prosthesis with/without ankle joint actuator (a); Placing of passive markers on prosthesis (b); POLARIS measuring equipment (c) [3,5]*

Fourth research [6] was conducted in a way that kinematic data from second research and experiments on non-amputees [4] was transferred to CAD model of the prosthesis, with hydraulic actuators in the knee and the ankle integrated into a design, in order to mimic human gait while climbing the stairs. Using simulation testing, the position of hydraulic actuator of the ankle was optimized and detailed diagrams of dynamics and kinematics of both hydraulic actuators (knee and ankle) were obtained. In this research processing kinematic and dynamic data was done using Solid Works Cosmos Motion and MATLAB [6].

Additional to that, for measuring vertical component of reaction force of the ground and position of the centre of the pressure of the foot ZEBRIS FDM-S measuring platform was used. ZEBRIS is product of ZEBRIS Medical GmbH which enables static and dynamic analyses of the distribution of load underneath the feet during standing and walking. Results of the measuring are sent to computer and are processed using WinFDMS software [6].



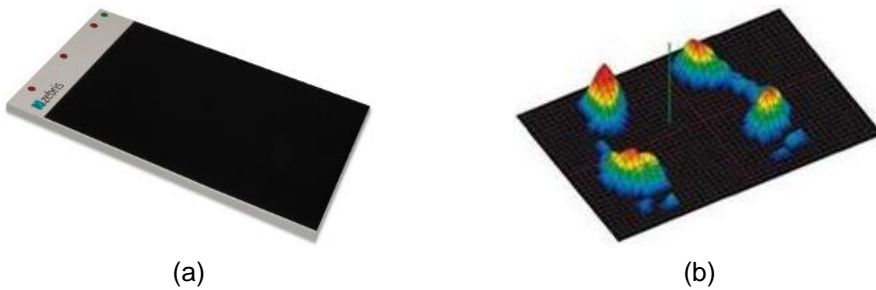


Figure 5. Measuring platform ZEBRIS FDM-S (a) [7]; distribution of load display (b) [8]

## 2.2 Current research and development of Hydraulic AK Prosthesis

The current research [1,9,10] is being focused on prosthetic foot development. This prosthetic foot has the ability of joint flexing of the frontal section of the foot (toes), mimicking dorsal hyperextension of the biological foot.

For that purpose prosthetic foot was 3D designed, and before producing physical prototype, the 3D model was tested using Solid Works Simulation in order determine if it can endure sufficient load.

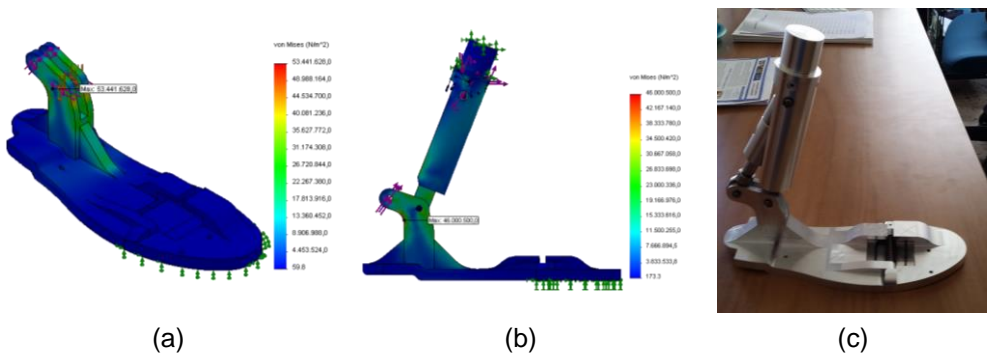


Figure 6. Load simulation of prosthetic foot in Solid Works Simulation [10] (a, b) and first physical prototype of prosthetic foot for Hydraulic AK prosthesis (c)

The ongoing research is concentrated on acquiring the suitable hydraulic system and actuators as well as on study of how to coordinate their movement according to knowledge obtained from the previous research. Hydraulic actuators are calculated and dimensioned, it is only necessary to find manufacturer with the ability to produce such small-sized cylinders.

## 3. MEASURING EQUIPMENT IN CURRENT RESEARCH AND DEVELOPMENT ON HYDRAULIC AK PROSTHESIS

For testing the prosthesis functionality, outside of laboratory conditions and simulation environment, the experiment of climbing the stairs of unilateral AK amputee using Hydraulic AK Prosthesis with two hydraulic actuators in the knee and in the ankle in real operating conditions needs to be conducted. Since in this research entirely new measuring equipment will be used, some of the previous experiments will need to be repeated in order to get more precise results by using the same measuring equipment in all tests.

In order to obtain and measure and finally compare the data from experiments, there needs to be high quality measuring equipment and software involved in the experiment. The equipment at disposal is TrakSTAR WIDE-RANGE motion measuring equipment (property of DICGIM, University of, Palermo, Italy) described in the next section

### 3.1 TrakSTAR WIDE-RANGE motion measuring equipment

The 3D Guidance trakSTAR (WIDE-RANGE model) equipment provides real-time measurements of an object's position and orientation in free space. It is composed of a transmitter that generates DC magnetic fields for wide-range tracking of miniaturized sensors, up to 16 in total.



Figure 7. *trakSTAR WIDE-RANGE measuring equipment with DC magnetic field transmitter [11] (a); remote sensor during measuring experiment (b)*

Each sensor provides full 6DOF position and orientation (Euler angles or quaternions) with respect to a reference coordinate system centered in the transmitter.

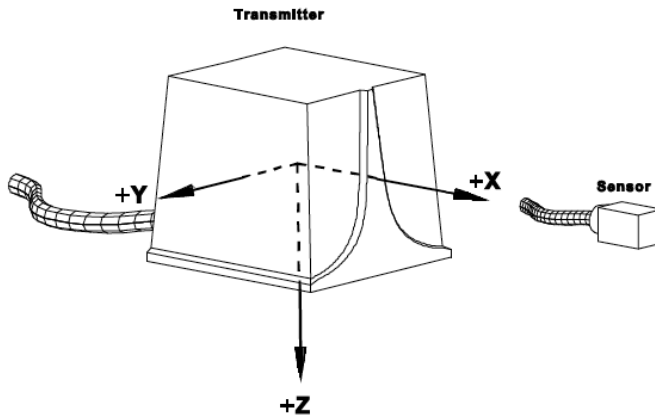


Figure 8. *trakSTAR WIDE-RANGE measurement reference frame [12]*

Each sensor operates over a 2 m range and is wired to a central hub directly connected to the transmitter. Acquisition rate is fully adjustable and the system is capable of up to 240 Hz operation with the static accuracy of 3.8mm RMS (root-mean-square) on position and 0.5 degree RMS on the orientation. Static resolution is 0.5mm on position and 0.1° on orientation. Accuracy is not uniform over the entire workspace

and is known to be optimal in the so-called performance motion box (from 90 cm to 140 cm in front of the transmitter, and up to 30 cm along other directions). Drivers and APIs are available for all major operating systems, as well as toolkits for Matlab and labVIEW.

### **3.2 Preliminary testing of trakSTAR WIDE RANGE motion measuring equipment**

As this measuring equipment is used for the first time it is necessary to test it prior to using it in final experiments. For that purpose preliminary test was done by simulating climbing the stairs of sound person. Experiment was conducted in a way that elevated platform was used in order to simulate the stair, and sensors were attached to the key points of the test subject's leg. There are only four outputs for four sensors on the equipment, and there needs to be at least five sensors to be put on the leg (hip, knee, ankle, heel, and toe) in order to fully test the legs motion. Because of that, there were two series experiments conducted. In the first series of tests one of the sensors was first put on the hip, and in the next series of tests it was moved to heel. Experiments were conducted with three sound male subjects belonging to different categories of male population divided by their height and weight.

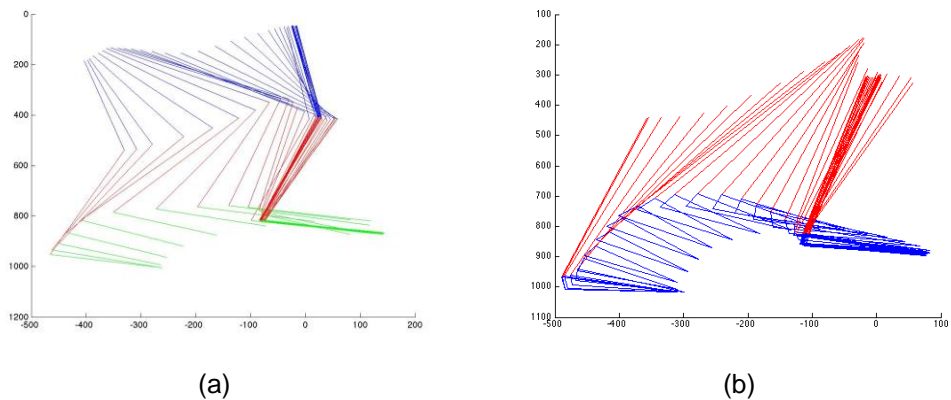


Figure 9. *Results of the TrakSTAR WIDE-RANGE equipment testing: Sensor placed on hip (a) and sensor moved to heel (b)*

## **4. CONCLUSION**

The results of the conducted preliminary experiment with TrakSTAR WIDE-RANGE measuring equipment gave quite rough diagrams which can not be considered as satisfactory to be used in the research of Hydraulic AK Prosthesis. However, it was not because of the measuring equipment used, but because of the conditions during the testing. Since this was only testing of the equipment, certain rules of conducting the experiments involving human kinematics were not followed.

Firstly, detecting equipment was not placed ideally parallel to the tested subject's motion and therefore could not give accurate results. Secondly, testing subjects were not properly prepared for the experiment and sensors were not properly fixed to the points of interest of subjects' leg.

However, measuring equipment showed quite precise results, with sensitivity of 1/1000 of millimeter and frequency of 240 Hz, which is more than enough precision for the experiments on Hydraulic AK Prosthesis.

Having in mind that further experiments will be conducted in proper way, it can

be concluded that TrakSTAR WIDE-RANGE measuring equipment can be used for measuring in future experiments on Hydraulic AK Prosthesis.

TrakSTAR WIDE-RANGE motion measuring equipment can also be upgraded to use four more sensors, which would be optimal for measuring motion of human leg and Hydraulic AK Prosthesis.

## **ACKNOWLEDGMENTS**

Authors of this paper would like to express gratitude to DICGIM, University of Palermo, Italy – for providing the TrakSTAR WIDE-RANGE measuring equipment and especially to Federal Ministry of Education and Science of Bosnia and Herzegovina for financially supporting this project.

## **REFERENCES**

- [1] Rupar, M., Vučina, A., Dedic, R. (2014). Prototypes classification in the project of Hydraulic Above the Knee Prosthesis design. Proceedings of The 8th International Symposium on Machine And Industrial Design In Mechanical Engineering KOD 2014, ISBN 978-86-7892-615-0, Balatonfüred, Hungary, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia p. 83-88.
- [2] Dedić, R. (2008). Robots, University of Mostar, Faculty of Mechanical Engineering and Information Technology, Mostar
- [3] Hudjec, M. (2001). Contribution to analysis of hydraulic components for above knee prostheses, Master thesis, University Demal Bijedic, Mostar
- [4] Vučina A. (2002). Appendix to the research of the kinematics of the forces in the above-the-knee prosthesis while climbing the stairs, Doctoral dissertation, Faculty of Mechanical Engineering, Mostar
- [5] Ziga, A. (2005). The design of foot for above knee prosthesis with built-in hydraulic starters in knee and ankle, Master thesis, Faculty of Mechanical Engineering in Zenica, Zenica
- [6] Raspudic, V. (2010). Biomechanical analysis of movement in order to develop powered above knee prosthesis, Doctoral dissertation, Faculty of Mechanical Engineering and Computing , Mostar
- [7] ZEBRIS measuring equipment: [http://www.zebris.de/news/english/2010-12\\_fdm\\_quality.php?navanchor=10000](http://www.zebris.de/news/english/2010-12_fdm_quality.php?navanchor=10000), accessed 01.09.2012.
- [8] ZEBRI Smeasuring equipment: [http://www.hospimedicaintl.com/index.php?cPath=11\\_78&crdID=7abf388780a4c4f4bae315241261770f](http://www.hospimedicaintl.com/index.php?cPath=11_78&crdID=7abf388780a4c4f4bae315241261770f), accessed 01.09.2012.
- [9] Rupar, M., Dedic, R. (2012). Design of prosthetic foot, Proceedings of Faculty of Mechanical Engineering and Computing, Mostar, ISSN 1986-5236, p. 93-98.
- [10] Rupar, M., Dedic, R. (in the process of publishing). Stress analysis of prosthetic foot and pylon, Proceedings of Faculty of Mechanical Engineering and Computing, Mostar
- [11] 3D Guidance trakSTAR™ WIDE-RANGE – brochure: <http://www.ascension-tech.com/medical/trakSTAR.php> , accessed 15.10.2014.
- [12] 3D Guidance trakSTAR™ WIDE-RANGE User Manual: [http://www.ascension-tech.com/medical/pdf/trakSTAR2\\_Installation\\_and\\_Operation\\_Guide.pdf](http://www.ascension-tech.com/medical/pdf/trakSTAR2_Installation_and_Operation_Guide.pdf), accessed 15.10.2014



## ANALIZA KINEMATIKE I OTPORA KRETANJA GUSENIČNIH MOBILNIH MAŠINA

Dragoslav Janošević<sup>1</sup>, Vesna Jovanović<sup>2</sup>, Jovan Pavlović<sup>3</sup>, Predrag Milić<sup>4</sup>

*Rezime:* U radu su razvijeni matematički modeli za analizu kinematike i otpora kretanja guseničnih mobilnih mašina pri njihovom krivolinijskom kretanju (zakretanju) bez proklizavanja i sa proklizavanjem gusenica.

*Ključne riječi:* mobilne mašine, kinematika i dinamika kretanja

### ANALYSIS OF A MOVEMENT RESISTANCE OF CRAWLER MOBILE MACHINES

*Abstract:* Paper shows developed mathematical models for analysis of kinematics and movement resistance of crawler mobile machines at curve movement path (rotate) without slipping and with slipping of caterpillars.

*Key words:* mobile machines, movement kinematics and dynamics

## 1. UVOD

Brojne mobilne mašine imaju oslono-kretne mahanizme sa jednim parom gusenica koji im omogućuju stabilno oslanjanje i pravolinijsko i krivolinijsko kretanje putanjama različitih konfiguracija. U ovom radu se razmatra kinematika i dinamika skretanja (okretanja) mašina u horizontalnoj ravni [1]:

Principijelno, skretanje (okretanje) mašine se postiže razlikom brzina kretanja gusenica. Pri tome se gusenica sa manjom brzinom  $v_1$  (sl.1) naziva *zaostajuća* gusenica i pripisuje joj indeks 1, a gusenica sa većom brzinom  $v_2$  se naziva *bežeća* gusenica i pripisuje joj se indeks 2 [1].

## 2. KINEMATIKA KRETANJA

Pri teorijskom razmatranju skretanja (okretanja) mašine na idealnoj podlozi bez proklizavanja gusenica, posmatraju se ustvari kretanja središta  $O_1$  i  $O_2$  (sl.1a) oslonih površina gusenica. Pri čemu, oslonu površinu gusenice ograđuje širina papuče  $b$  i dužina naleganja gusenice na podlogu  $L$ . Odnosno, može se uzeti da se mašina

<sup>1</sup> prof. dr Dragoslav Janošević, Niš, Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet, janos@masfak.ni.ac.rs

<sup>2</sup> Msc Vesna Jovanović, Niš, Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet, vesna.nikolic@masfak.ni.ac.rs

<sup>3</sup> Msc Jovan Pavlović, Niš, Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet, pavlovic.j@masfak.ni.ac.rs

<sup>4</sup> Msc Predrag Milić, Niš, Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet, pmilic@masfak.ni.ac.rs

okreće oko zamišljenog pola  $O$  pri čemu i jedna i druga gusenica imaju obrtno kretanje oko tog pola ugaonom brzinom  $\omega_o$ , tako da je radijus okretanja određen jednačinom:

$$R = \frac{(v_2 + v_1)0,5B}{v_2 - v_1} \quad (1)$$

gde je:  $v_2, v_1$  - brzine bežuće i zaostajuće gusenicom,  $R$  - radijus okretanja centra mašine  $O_c$ ,  $B$  - raspon (kolotrag) gusenica.

### 2.1. Zakretanje sa proklizavanjem

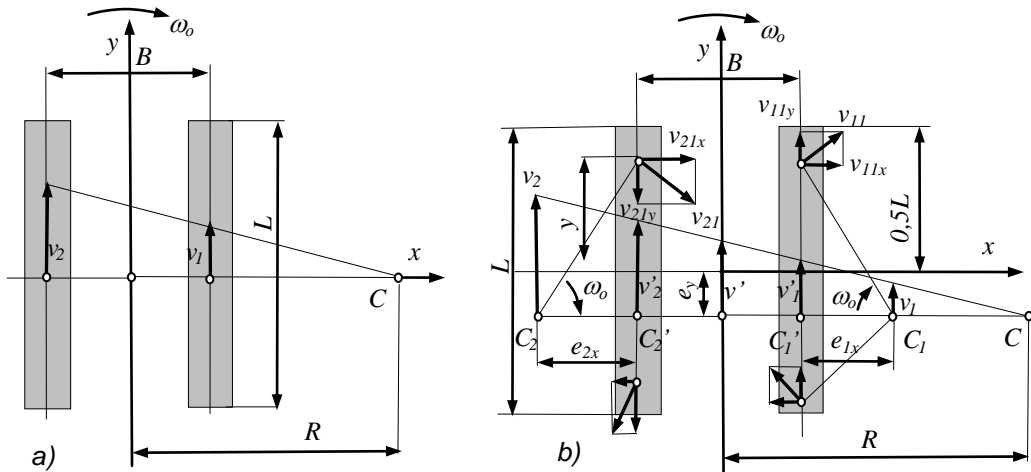
Pri stvarnom okretanju mašine, oslone površine gusenica sa podlogom obrazuju frikcioni par između kojih se javlja proklizavanje ili klizanje. Međutim, u frikcionim ravnim postoje jedinstvene tačke  $C_1$  i  $C_2$  (sl.1b) u kojima nema klizanja ni proklizavanja. Ove tačke se nazivaju polom okretanja gusenica i u slučaju proklizavanja i klizanja, ne poklapaju se sa geometrijskim centrima  $O_1$  i  $O_2$  oslonih površina gusenica. Zamišljeno, mašina se okreće oko tačke  $C$ , koja se naziva centrom okretanja ili trenutnim polom okretanja mašine. Tačke  $C$ ,  $C_1$  i  $C_2$  uvek leže na jednoj pravoj koja se naziva linija centra okretanja. Ova prava leži u vertikalnoj poprečnoj ravni mašine pomerena od  $x$  ose na rastojanje  $e_y$ . Koordinatne položaja polova okretanja gusenica u odnosu na ose  $x$  i  $y$  su:  $e_{1x}$ ,  $e_{1y}$  i  $e_{2x}$ ,  $e_{2y}$ , i nazivaju se ekcentriciteti polova okretanja, pri čemu je:  $e_{1y} = e_{2y} = e_y$ .

Iz odnosa brzina tačaka mašine koje se poklapaju sa polovima okretanja gusenica dobija se radijus okretanja  $R$  središta mašine u slučaju proklizavanja bežuće i klizanja zaostajuće gusenice kretnom mehanzma [1,2]:

$$R = \frac{v_1(e_{2x} + 0,5B) + v_2(e_{1x} + 0,5B)}{v_2 - v_1} \quad (2)$$

Ekcentriciteti pola  $C_1$  i  $C_2$  su određeni jednačinama:

$$e_{1x} = r \cdot \delta_1 \frac{\omega_1}{\omega_o} \quad e_{2x} = r \delta_2 \frac{\omega_2}{\omega_o} \quad (3)$$



Slika 1. Plan brzina kretanju gusenične mašine pri skretanju (okretanju):  
a) bez proklizavanja i b) sa proklizavanjem gusenica [1]

gde je:  $\delta_1, \delta_2$  - proklizavanje zaostajuće i bežuće gusenice,  $\omega_1, \omega_2$  - ugaone brzine pogonskog lančanika zaostajuće i bežuće gusenice,  $r$  - podeoni poluprečnik lančanika gusenica.

### 3. OTPORI KRETANJA

Kod definisanja parametara funkcija kretanja mobilnih mašina na gusenicama razmatraju se sledeći slučajevi kretanja: a) pravolinisko kretanje na usponu i b) zakretanje (okretanje) na ravnoj podlozi. Pri pravolinijskom kretanju mašine na usponu javljaju se sledeći otpori kretanja: otpor uspona, otpor kotrljanja, unutrašnji otpor (trenja) gusenica i otpor inercije. U ovom radu daje se analiza otpora kretanja pri zakretanju (okretanju) mašine za sledeće uslove kretanja: a) kada bežuća i zaostajuća gusenica nemaju proklizavanje i b) kada bežuća gusenica proklizava a zaostajuća gusenica kliza.

#### 3.1. Otpori pri zakretanju bez proklizavanja gusenica.

Pri analizi zakretanja (okretanja) bez proklizavanja gusenica uvode se sledeće pretpostavke: a) površinski pritisak na podlogu je podjednako raspoređen po oslonoj površini gusenica, b) otpor momenta zakretanja gusenica nastaje usled sila trenja koje stvara pritisak mašine na podlogu, v) elementarne sile trenja su normalne i podjednako raspodeljene u odnosu na podužne ose gusenica.

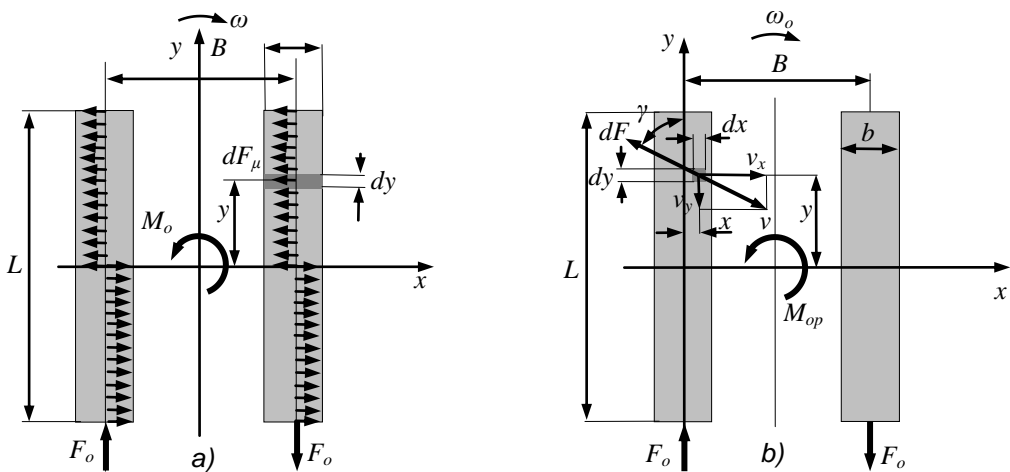
Elementarna sila trenja je jednaka (sl.2.a) :

$$dF_{\mu} = \mu_o \cdot p \cdot b \cdot dy = \mu_o \frac{g \cdot m}{2L \cdot b} b \cdot dy \quad (4)$$

tako da je ukupni moment otpora zakretanja na ravnoj podlozi:

$$M_o = 4 \int y \cdot dF_{\mu} = 4 \int_0^{L/2} y \cdot \mu_o \frac{g \cdot m}{2L \cdot b} b \cdot dy = \mu_o \frac{mg \cdot L}{4} \quad (5)$$

gde je:  $M_o$  - moment otpora zakretanja gusenica,  $\mu_o$  - koeficijent otpora pri zakretanju gusenica,  $L$  - dužina naleganja gusenica,  $m$  - masa mašine.



Slika 2. Otpori kretanju gusenične mašine pri skretanju (okretanju): a) bez proklizavanja i b) sa proklizavanjem gusenica [1]

### 3.2. Otpori pri zakretanju sa proklizavanjem gusenica

Za ovaj slučaj analize otpora kretanja posmatra se elementarna površina  $dx dy$  (sl.2.b) bežuće gusenice sa koordinatama položaja  $x$  i  $y$  u koordinatnom sistemu  $xOy$  sa koodinantnim početkom u središtu bežuće gusenice.

Uzima se da pri zakretanju gusenica u središtu elementarne površine deluje elementarna sila trenja (sl.2b):

$$dF_{\mu} = \mu_o \cdot p \cdot dx \cdot dy = \mu_o \frac{g \cdot m}{2L \cdot b} dx \cdot dy \quad (6)$$

Pri zakretanju gusenica javljaju se sledeći otpori kretanja: otpor trenja gusenica o podlogu, otpor klizanja podloge, otpor deformacije podloge, otpor nakupljenih slojeva podloge na bočne stranice gusenica. Svi navedeni otpori pri analzi se zamenjuju elementarnom silom trenja. Pravac elementarne sile trenja je suprotan brzini kretanja  $v$  središta elementarne površine gusenice, i određen je uglom  $\gamma$  u odnosu na  $Oy$  osu.

Moment otpora zakretanja elementarne površine u odnosu središte bežuće gusenice je jednak:

$$dM_{op} = \mu_o p \cdot \sin \gamma \cdot y \cdot dx \cdot dy + \mu_o p \cdot \cos \gamma \cdot x \cdot dx \cdot dy \quad (7)$$

Ugao delovanja elementarne sile trenja je definisan sledećim jednakostima:

$$\sin \gamma = \frac{v_x}{\sqrt{v_x^2 + v_y^2}} = \frac{I}{\sqrt{I + \left(\frac{v_y}{v_x}\right)^2}}, \quad \cos \gamma = \frac{v_y}{\sqrt{v_x^2 + v_y^2}} = \frac{I}{\sqrt{I + \left(\frac{v_x}{v_y}\right)^2}} \quad (8)$$

gde su:  $v_x, v_y$  - komponente brzine središta posmatrane elementarne površine gusenice.

Komponenta brzine središta elementarne površine gusenice u  $Ox$  pravcu je jednaka:

$$v_x = \omega_o \cdot y \quad (9)$$

gde je:  $\omega_o$  - ugaona brzina okretanja mašine sa proklizavanjem (klizanjem) gusenica.

Ugaona brzina okretanja mašine sa proklizavanjem (klizanjem) gusenice određena je jednačinom (sl.1b):

$$\omega_o = \frac{v'_2 - v'_1}{B} = \frac{(v_2 - v_{oy}) - (v_1 + v_{oy})}{B} = \frac{\Delta v - 2v_{oy}}{B} \quad (10)$$

gde je:  $v'_1, v'_2$  - brzina zaostajuće gusenice sa kilzanjem i brzina bežuće gusenice sa proklizavanjem,  $v_1, v_2$  - brzine zaostajuće gusenice bez kilzanja i brzina bežuće gusenice bez proklizavanja,  $v_{oy}$  - brzina klizanja odnosno proklizavanja duž podužne ose zaostajuće i bežuće gusenice.

Ugaona brzina okretanja mašine bez proklizavanja (klizanja) gusenica je jednaka:

$$\omega = \frac{v_2 - v_1}{B} = \frac{\Delta v}{B} \quad (11)$$



Na osnovu prethodno određenih ugaonih brzina definiše se koeficijent proklizavanja  $\delta_o$  pri okretanju guseničnih mašina, kao odnos:

$$\delta_o = \frac{\omega - \omega_o}{\omega} \quad (12)$$

Zbog uprošćavanja narednih izraza uvodi se koeficijent:

$$\lambda = \frac{\omega_o - \omega}{\omega} = \frac{\delta_o}{1 - \delta_o} \quad (13)$$

koji je po značenju sličan koeficijentu proklizavanja  $\delta_o$  pri čemu smenom vrednosti za  $\omega$  i  $\omega_o$  u prethodnu jednačinu i korišćenjem jednakosti 10 dobija se izraz:

$$\lambda = \frac{2 \cdot v_{oy}}{\Delta v - 2 \cdot v_{oy}} = \frac{2 \cdot v_{oy}}{B \cdot \omega_o} \quad (14)$$

odkde se nalazi brzina proklizavanja (klizanja) duž podužnih osa gusenica:

$$v_{oy} = \frac{B \cdot \omega_o \cdot \lambda}{2} \quad (15)$$

Komponenta brzine središta posmatrane elementarne površine gusenice u  $Oy$  pravcu je jednaka:

$$v_y = v_{oy} + \omega_o \cdot x = \omega_o \left( \frac{B\lambda}{2} + x \right) \quad (16)$$

Uvođenjem odnosa komponenata brzine kretanja središta elementarne površine gusenica:

$$\frac{v_x}{v_y} = \frac{y}{\frac{B\lambda}{2} + x} \quad (17)$$

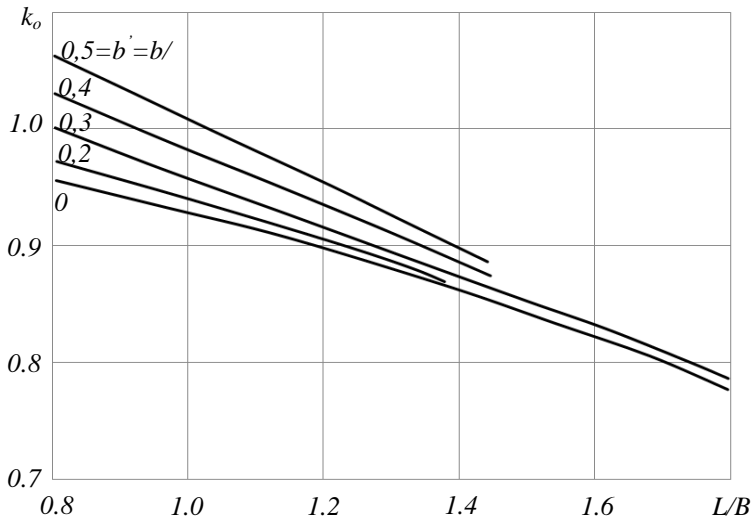
u jednačine 8, dobijaju se novi izrazi koji određuju pravac delovanja elementarnog otpora zakretanja:

$$\cos \gamma = \frac{\frac{B\lambda}{2} + x}{\sqrt{y^2 + \left(\frac{B\lambda}{2} + x\right)^2}}, \quad \sin \gamma = \frac{y}{\sqrt{y^2 + \left(\frac{B\lambda}{2} + x\right)^2}} \quad (18)$$

koji, kada se zamene u jednačinu 7, daju novi izraz za otpor zakretanja gusenica:

$$M_{op} = 2\mu_o \frac{gm}{2bL} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} \frac{y^2 + \left(\frac{B\lambda}{2} + x\right) \cdot x}{\sqrt{y^2 + \left(\frac{B\lambda}{2} + x\right)^2}} dx \cdot dy = \mu_o \frac{gm \cdot L}{4} k_o \quad (19)$$

gde je:  $k_o$  - faktor korekcije momenta otpora zakretanja mašine sa proklizavanjem (klizanjem) gusenica, čije vrednosti su date na dijagramu (sl.3), zavisno od odnosa:  $L/B$  i  $b'=b/L$ .



Slika 3. Vrednosti faktora korekcije momenta otpora zakretanja [3]

#### 4. ZAKLJUČAK

Kinematička analiza mobilnih mašina na gusenicama pokazuje da radijus zakretanja mašine bitno zavisi od transmisije (pogona) kretanja oslono-kretnog mehanizma mašine. Oslono-kretni mehanizmi sa transmisijama koje omogućuju suprotnosmerne brzine gusenica imaju bolje manevarske sposobnosti jer mogu ostvariti radijus okretanja mašine jednak nuli. Analiza otpora kretanja guseničnih mašina pri zakretanju, sa proklizavanjem gusenica, pokazuje da moment otpora zakretanja zavisi od odnosa geometrijskih parametara oslono-kretnog mehanizma: dužine naleganja gusenica, raspona (kolotruga) gusenica i širine papuča gusenica.

#### ZAHVALNOST

Rad je urađen u okviru projekta TP 35049 koji finansira Ministarstvo obrazovanja i nauke Republike Srbije.

#### LITERATURA

- [1] Janošević D. (2006), *Projektovanje mobilnih mašina*, Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet, Niš.
- [2] В.В.Гуськов (1977), *Тракторы*, часть II - теория, Высшая школа, Минск.
- [3] Н.Г.Домбронский, А.Г.Маевцкий, И.М.Гомозов, В.М.Гилис: (1970), *Теория и расчет гусеничного движителя землеройных машин*, Техника, Киев.
- [4] J.Y.Wong (2008), *Theory of Ground Vehicles*, John Wiley & Sons, Ottawa, Canada
- [5] J. L. Martínez, A. Mandow, J. Morales, S. Pedraza A. García-Cerezo (2005), *Approximating Kinematics for Tracked Mobile Robots*, The international journal of robotics research, pp. 867-878.



## NEKONVENCIONALNO UPRAVLJANJE NIVOOM I TEMPERATUROM U PROTOČNOM REZERVOARU

Saša Prodanović<sup>1</sup>, Novak Nedić<sup>2</sup>

*Rezime: Upravljanje multivarijabilnim procesima je u velikoj mjeri otežano usljed prisustva sprezanja (interakcije) između njihovih ulaznih i izlaznih veličina. Zbog toga je analiza sprezanja odnosno određivanje njegove mjere veoma važna za definisanje daljih aktivnosti ka postizanju zadovoljavajućeg ponašanja upravljanog objekta. U ovom radu je za protočni rezervoar kao multivarijabilni proces, izvršeno projektovanje rasprezivača u cilju ostvarivanja decentralizovanog upravljanja nivoom i temperaturom kao njegovim izlazima. Nakon toga su podešeni PI regulatori, a kvalitet ovog nekonvencionalnog upravljanja je potvrđen na osnovu razmatranja vremenskih odziva sistema. Istraživanje je podržano simulacijama, a dobijeni rezultati predstavljaju jedan od pristupa u formiranju koncepcije upravljanja multivarijabilnim procesima.*

*Ključne riječi: multivarijabilni proces, nekonvencionalno upravljanje, PI regulator, protočni rezervoar, rasprezivač.*

### NON-CONVENTIONAL CONTROL OF LEVEL AND TEMPERATURE IN THE FLOW TANK

*Abstract: Control of multivariable processes is greatly hampered due to the presence of mutual coupling (interaction) between their inputs and outputs. Therefore, the analysis of the mutual coupling, i.e. the determination of its measure, is very important for determining further activities towards the achievement of a satisfactory behavior of the controlled object. Present paper contains synthesis of decoupler for flow tank as a multivariable process in order to achieve decentralized control of level and temperature as its outputs. Afterward, PI regulators were tuned, and the quality of this non-conventional control was confirmed through the considerations of system time responses. The research was supported by simulations, and the results represent one of approaches in forming the concept for control of multivariable processes.*

*Key words: multivariable process, non-conventional control, PI controller, flow tank, decoupler.*

<sup>1</sup> Mr Saša Prodanović, Istočno Sarajevo, Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Mašinski fakultet, sasa.prodanovic77@gmail.com

<sup>2</sup> Prof. dr Novak Nedić, Kraljevo, Fakultet za mašinstvo i građevinarstvo u Kraljevu, nedic.n@mfkv.kg.ac.rs

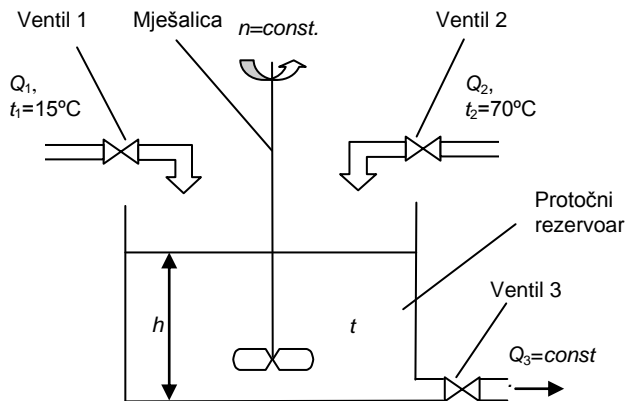
## 1. UVOD

Jedna od karakteritika realnih procesa je njihova multivarijabilnost. Pri analizi i sintezi upravljanja ovim procesima danas u izvjesnom obimu egzistira pristup u kome se njihovi upareni ulazi i izlazi posmatraju u odvojenim upravljačkim petljama, tj. kao više jednostrukoprenosnih (SISO - singl input singl output) sistema. Ovaj prilaz daje zadovoljavajuće rezultate kod procesa sa nižim stepanom interakcije (sprezanja) između ulaznih i izlaznih veličina. Razvoj industrije donosi usložnjavanje sistema što znači ekspanziju procesa sa više ulaza i više izlaza. Konvencionalni pristup ovdje ne daje zahtjevane performanse upravljanja. Ovi problemi se prevazilaze razmatranjem procesa kao multivarijabilnog (MIMO – multi input multi output) kakav on u stvarnosti i jeste.

U radu je provedena analiza sprezanja koristeći matamatičke postavke date u [1]. Nakon toga projektovan je raspredivač u cilju kompenzacije uticaja sprezanja na osnovu jednog od načina prikazanog u [2]. Na taj način je pokušano da se uvede decentralizovano (nekonvencionalno) upravljanje nivoom i temperaturom u 2x2 protočnom rezervoaru. Za razliku od [2], gdje je predviđeno svođenje matrice prenosnih funkcija procesa na dijagonalnu, u ovom istraživanju PI regulatori su podešeni na osnovu njenih elemenata na glavnoj dijagonali, a da ona pri tome nije dijagonalna, što skraćuje postupak podešavanja. Procedura podešavanja je jednostavnija za slučaj kada decentralizovano upravljanje obezbjeđuje zahtjevano ponašanje objekta, jer se tada može izbjeći višestruko provođenje relejnog testa [3,4] koje je jedan od načina projektovanja multivarijabilnog PI regulatora, tj. centralizovanog upravljanja.

## 2. MODEL OBJEKTA

U razmatranje je uzet protočni rezervoar sa dva ulaza i dva izlaza, prikazan na slici 1. Kao fluid je uzeta voda, koja se dovodi preko dva ventila, 1 i 2. Temperatura vode je različita na ova dva ulaza kao što se vidi sa slike 1.



Slika 1. Šema protočnog rezervoara 2x2 [5]

Upravljanje veličine (izlazi) procesa su nivo  $h$  i temperatura  $t$ . Multivarijabilnost se ogleda u tome što promjena protoka kroz bilo koji ventil ( $Q_1$  ili  $Q_2$ ) prouzrokuje promjene i nivoa i temperature u rezervoaru. Protočni rezervoari su veoma česti u industriji pri mješanju dvije tečnosti kada se na izlazu (kroz ventil 3) želi dobiti smješa odgovarajuće gustine, temperature, koncentracije, i sl. sa konstantnim protokom  $Q_3$ . Ventil 3 je on/off tipa i njime se tokom rada sistema ne upravlja. S obzirom na broj

obrtaja mješalice nivo se treba upravljati i održavati na zadatoj vrijednosti (u ovom primjeru 1 m) da bi se obezbjedilo zadovoljavajuće miješanje dvaju tečnosti. Zadana (željena) vrijednost temperature je 30°C. Matematički model za ovaj tip protočnog rezervoara je izveden u [5] na osnovu obrazaca iz [6] i slijedi:

$$G(s) = \begin{bmatrix} g_{11}(s) & g_{12}(s) \\ g_{21}(s) & g_{22}(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{K}{Ts+1} & \frac{K}{Ts+1} \\ \frac{K_1}{T_1s+1} e^{-L_1s} & \frac{K_2}{T_2s+1} e^{-L_2s} \end{bmatrix} \quad (1)$$

gdje su:  $g_{ij}(s)$  – članovi matrice prenosnih funkcija,  $K$ ,  $K_1$  i  $K_2$  – pojačanja,  $T$ ,  $T_1$  i  $T_2$  – vremenske konstante,  $L_1$  i  $L_2$  – vremena kašnjenja.

### 3. ANALIZA OBJEKTA

Sprezanje veličina u posmatranom procesu kao i identifikacija eventualnih drugih problema za njegovo upravljanje je provedena koristeći u literaturi poznat matematički aparat [1]. Pri analizi je varirano pojačanje  $K$  (0,01 ; 0,1 ; 1) u članovima  $g_{11}(s)$  i  $g_{12}(s)$ , tj. razmatrane su tri varijante protočnog rezervoara. Dakle matrica prenosnih funkcija izgleda [5]:

$$G(s) = \begin{bmatrix} \frac{K}{63s+1} & \frac{K}{63s+1} \\ -\frac{0,15}{10s+1} e^{-3s} & \frac{0,4}{10s+1} e^{-2s} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Proces nema nula, samim tim ni nula u desnoj poluravni kompleksne ravni, tako da sa tog stanovišta nema ograničenja za upravljanje.

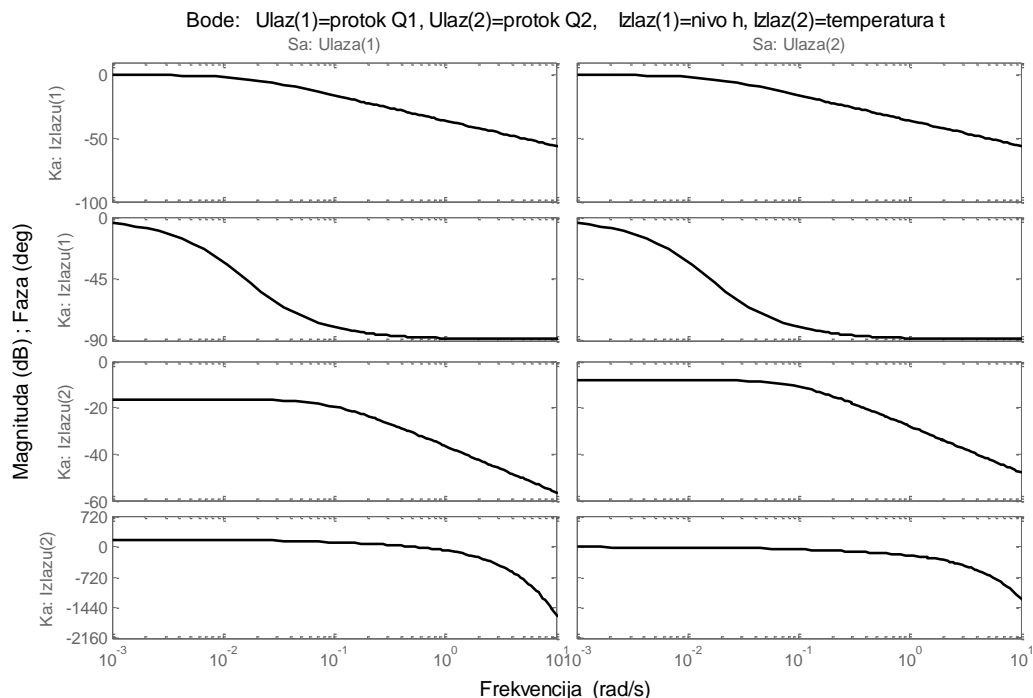
Negativne vrijednosti polova procesa  $p_1 = -0,0159$  i  $p_2 = -0,1$  su jedna od potvrda stabilnosti procesa. Da je proces stabilan vidi se i iz Bodeovih dijagrama datih na slici 2 za svaki par ulaz-izlaz. Ovi dijagrami su prikazani za vrijednost pojačanja  $K=1$ , jer u tom slučaju amplitudna frekventna karakteristika ima najveću vrijednost u poređenju sa varijantama procesa kod kojih je  $K=0,1$  i  $K=0,01$ . Tako da se zaključuje da je i u ostala dva slučaja proces stabilan, jer manje vrijednosti pojačanja  $K$  daju manju vrijednost amplitudno frekventne karakteristike i samim tim veći pretek pojačanja a time i veći pretek stabilnosti.

Kao mjera sprezanja u ovom procesu razmotren je Relativni niz pojačanja (Relative Gain Array – RGA) i dobijena je matrica relativnih pojačanja za stacionarno stanje, koja je ista za sve tri vrijednosti pojačanja  $K$  (0,01 ; 0,1 ; 1) i iznosi:

$$RGA[G(0)] = \begin{bmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,7273 & 0,2727 \\ 0,2727 & 0,7273 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Analiza sprezanja koristeći vrijednosti RGA za presječnu učestanost  $\omega_c$  nije provedena jer razmatrani proces nema istu, kao što se vidi sa dijagrama na slici 2. Iz jednačine (3) se vidi da nema negativnih članova RGA u stacionarnom stanju, što znači da ni u jednoj zatvorenoj petlji statičko pojačanje ne mijenja znak kada su ostale petlje zatvorene, tj. u funkcionisanju sistema. Ova činjenica olakšava upravljanje jer sa tog stanovišta nema ograničenja na uparivanje pojedinih ulaza i izlaza procesa.

Međutim, vrijednosti vandijagonalnih elemenata RGA su različite od nule, tako da je evidentno da u procesima ovog tipa postoji sprezanje u čijem prisustvu je veoma teško ili nemoguće na konvencionalan način ostvariti visoke performanse upravljanja, što dokazuju vremenski odzivi sistema koji će biti dati u sljedećem poglavlju. Dakle, očigladno je da matrica RGA iz jednačine (3) odstupa od jedinične matrice, kao njene najpovoljnije varijante sa stanovišta pogodnosti za upravljanje, tako da je za ovaj sistem projektovan raspresivač u cilju kompenzacije sprezanja koje je analizom uočeno.



Slika 2. Bodeovi dijagrami za 2x2 protočni rezervoar za vrijednost pojačanja  $K=1$

#### 4. NEKONVENCIONALNI PRISTUP UPRAVLJANJU

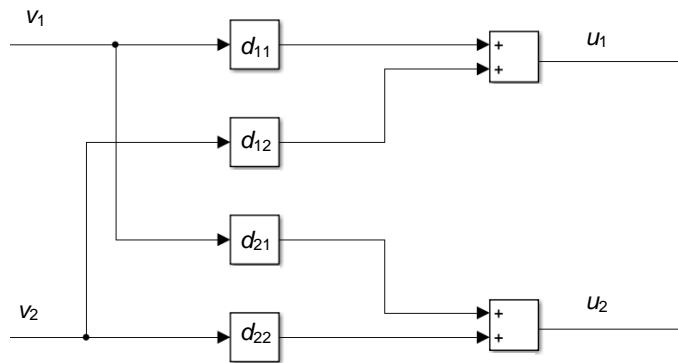
S obzirom na [5] ovakav protočni rezervoar može na konvencionalan način sa uspjehom biti upravljan jedino ako su pojačanja u vandijagonalnim članovima  $g_{12}(s)$  i  $g_{21}(s)$  matrice prenosnih funkcija dovoljno mala u odnosu na pojačanja u njenim dijagonalnim elementima  $g_{11}(s)$  i  $g_{22}(s)$ . Da ova činjenica ne bi ograničavala mogućnosti upravljanja razmatranim protočnim rezervoarom u pogledu dijapazona vrijednosti njegovih veličina (dimenzije komponenata, temperatura fluida) u nastavku je projektovano nekonvencionalno upravljanje u vidu decentralizovanog upravljanja.

##### 4.1 Projektovanje raspresivača

Za rješavanje ovog problema upotrijebljen je direktni respresivač [2]. Njegovo projektovanje se bazira na zahtjevu da proizvod matrice prenosnih funkcija i matrice raspresivača bude dijagonalna matrica, čime se postiže raspresanje kao što slijedi [2]:

$$\begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} \\ d_{21} & d_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11}d_{11} + g_{12}d_{21} & g_{11}d_{12} + g_{12}d_{22} \\ g_{21}d_{11} + g_{22}d_{21} & g_{21}d_{12} + g_{22}d_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_1 & 0 \\ 0 & q_2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Gdje su  $d_{ij}(s)$  članovi matrice raspredivača, čiji je blok dijagram prikazan na slici 3.



Slika 3. Direktni raspredivač za proces 2x2 [2]

Iz jednačine (4) se izvode matrica raspredivača  $D(s)$  i finalna dijagonalna matrica  $Q(s)$ , s tim da je u jednačini (5) data i forma raspredivača za konkretan slučaj protočnog rezervoara, dok se, u ovom istraživanju, dijagonalna matrica (6) neće izračunavati u pokušaju da se procedura podešavanja PI regulatora što više skрати.

$$D(s) = \begin{bmatrix} 1 & \frac{-g_{12}}{g_{11}} \\ \frac{-g_{21}}{g_{22}} & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 0,375 \cdot e^{-s} & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$Q(s) = \begin{bmatrix} g_{11} - \frac{g_{12}g_{21}}{g_{22}} & 0 \\ 0 & g_{22} - \frac{g_{12}g_{21}}{g_{11}} \end{bmatrix} \quad (6)$$

#### 4.2 Podešavanje PI regulatora

PI regulatori su podešeni na osnovu elemenata  $g_{11}(s)$  i  $g_{22}(s)$  na glavnoj dijagonalni matrice prenosnih funkcija procesa (protočnog rezervoara), dakle, kao što je rečeno, bez izračunavanja dijagonalne matrice iz jednačine (6). Naravno, u obzir su uzete i prenosne funkcije svih komponenata između regulatora i procesa koje će biti prikazane u narednom podpoglavlju na blok dijagramu čitavog sistema upravljanja. Za podešavanje je korišćena  $\lambda$ -metoda po Dalinu. Prema ovoj metodi parametri regulatora (proporcionalno pojačanje  $K_c$  i integralna vremenska konstanta  $T_i$ ) glase:

$$K_c = \frac{1}{K} \frac{T}{L + \lambda} \quad \text{i} \quad T_i = T \quad (7)$$

gdje je  $\lambda$  željena vremenska konstanta procesa, koja s obzirom da je pri podešavanju dat naglasak na brzini odziva iznosi  $\lambda=T$ . U Tabeli 1 su date vrijednosti izračunatih

parametara PI regulatora 1 (koji formira upravljanje na osnovu povratne sprege po nivou kao izlazu) za promjenu pojačanja  $K$  i vrijednosti parametara PI regulatora 2 (koji formira upravljanje na osnovu povratne sprege po temperaturi kao izlazu).

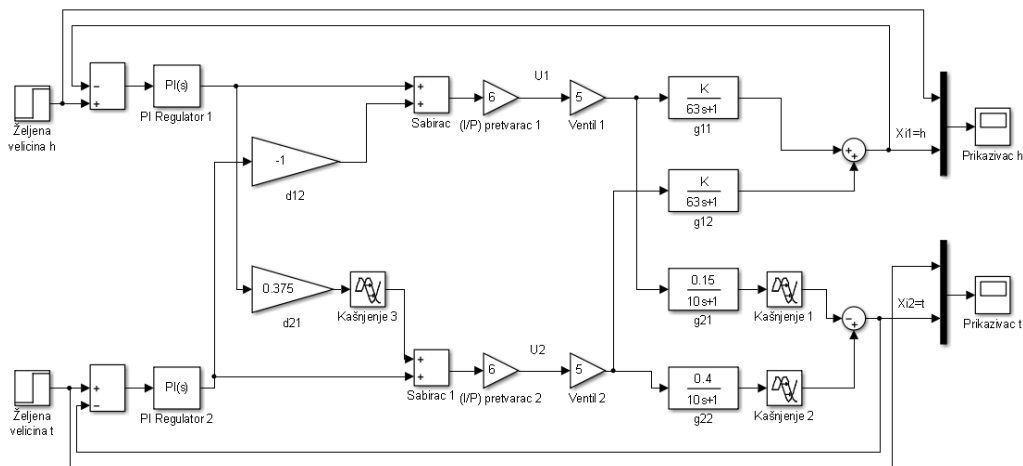
Tabela 1. Vrijednosti parametara PI regulatora za promjenu pojačanja  $K$

	PI regulator 1		PI regulator 2	
	$K_c$	$K_i$	$K_c$	$K_i$
$K=0,01$	3,33	0,0529	0,0694	0,0069
$K=0,1$	0,33	0,005		
$K=1$	0,03	0,0005		

Vrijednosti parametara PI regulatora 2 se ne mijenjaju jer se varijacija pojačanja  $K$  odnosi samo na element  $g_{11}(s)$ .

### 4.3 Evaluacija dobijenih rezultata

Dobar pokazatelj efekata uvedenih promjena su vremenski odzivi sistema. Težeći tome, na slici 4 je dat blok dijagram sistema upravljanja nivoom i temperaturom u protočnom rezervoaru sa primjenjenim rasprezivačem, koji je dat jednačinom (5).

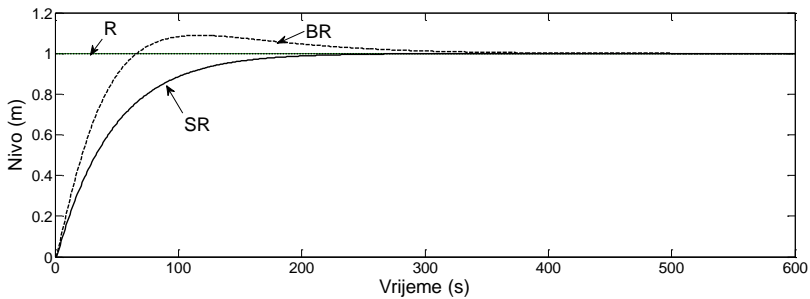


Slika 4. Blok dijagram sistema upravljanja nivoom i temperaturom u protočnom rezervoaru sa primjenjenim rasprezivačem

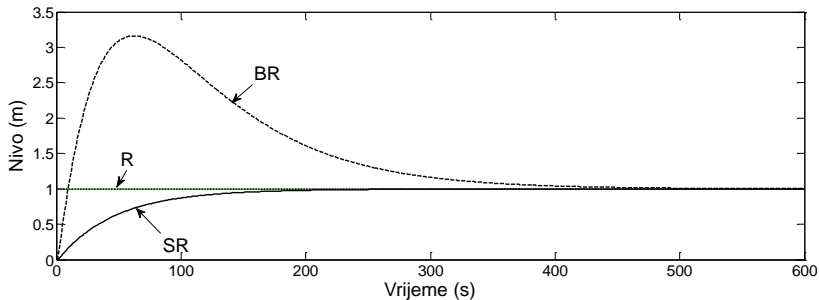
Prenosne funkcije komponenta (osim rasprezivača) za sistem na slici 4. su uzete iz [5], dok je sa *I/P pretvarač* označen strujno-pneumatski pretvarač. Sa  $U$  i  $X_i$  su označene upravljačka i upravljana veličina, respektivno.

Simulacije su izvršene za dva tipa upravljanja: prvi konvencionalni (bez rasprezivača, tj. elementa  $d_{12}$  i  $d_{21}$ ) i drugi nekonvencionalni (sa rasprezivačem). Uporedni prikazi odziva sistema (promjena nivoa u vremenu) u oba tipa upravljanja za tri razmatrane vrijednosti pojačanja  $K$  (0,01 ; 0,1 ; 1) su dati na slikama 5, 6 i 7, dok je na slici 8 ista procedura provedena za drugi izlaz, tj. temperaturu, ali samo za  $K=0,01$  jer se ona veoma malo mijenja sa promjenom pojačanja  $K$  u elementima  $g_{11}(s)$  i  $g_{12}(s)$ . I u konvencionalnom i u nekonvencionalnom tipu upravljanja uzeti su isti parametri PI regulatora prikazani u Tabeli 1. Na sljedećim slikama R predstavlja željenu veličinu.

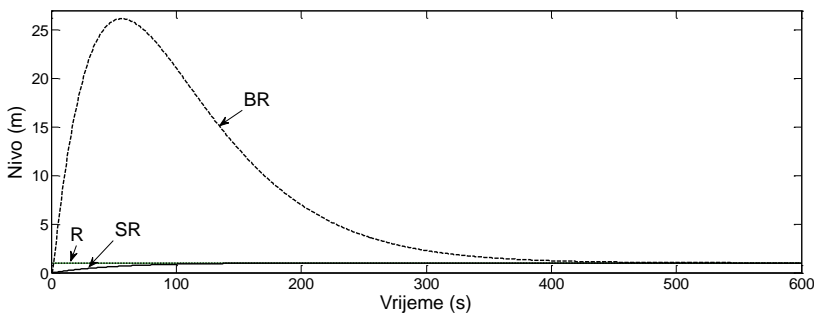




Slika 5. Nivo u rezervoaru pri upravljanju sa (SR) i bez (BR) rasprezivača pri  $K=0,01$



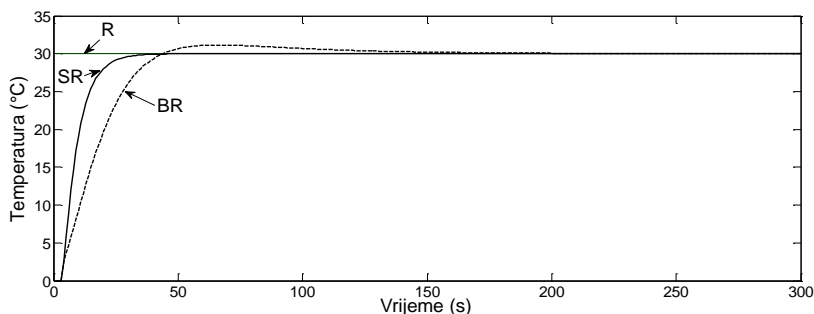
Slika 6. Nivo u rezervoaru pri upravljanju sa (SR) i bez (BR) rasprezivača pri  $K=0,1$



Slika 7. Nivo u rezervoaru pri upravljanju sa (SR) i bez (BR) rasprezivača pri  $K=1$

Sa slika 5, 6 i 7 se vidi da pri upravljanju bez rasprezivača nivo ima iole prihvatljivu promjenu samo za najmanju vrijednost pojačanja  $K=0,01$  (slika 5), mada se i za ovu vrijednost pojavljuje preskok koji je potrebno eliminisati. Procese čiji su odzivi prikazani na slikama 6 i 7 uopšte nije moguće upravljati na konvencionalan način bez rasprezivača, jer preskok nivoa prevazilazi dimenzije rezervoara, i zbog njegove ogromne vrijednosti. Iako sistem nije spor, vrijeme smirenja je preveliko.

Pomenute nedostatke uspješno kompenzuje rasprezivač, tako da on u stvari proširuje skup dimenziono različitih protočnih rezervoara ovog tipa koji može biti kvalitetno upravljan. Ovo se prvenstveno odnosi na eliminisanje preskoka i skraćivanje vremena smirenja. Pri poređenju odziva sistema za slučajeve sa i bez rasprezivača za pojedine vrijednosti pojačanja  $K$  nije vršena kvantifikacija pokazatelja kvaliteta prelaznog procesa, jer su poboljšanja pri primjeni rasprezivača očigledna. Konkretni zahtjevi po pitanju karakteristika odziva, se mogu ispuniti podešavanjem regulatora sa naglaskom na ciljane performanse.



Slika 8. Temperatura fluida pri upravljanju sa (SR) i bez (BR) rasprezivača pri  $K=0,01$

Zbog relativno malog pojačanja u elementu  $g_{21}(s)$  modela protočnog rezervoara (2) uvedene varijacije ne utiču značajno na promjenu temperature u vremenu. Međutim i u ovom slučaju je evidentno poboljšanje odziva sistema pri uvođenju rasprezivača, jer preskok isčezava, a sistem je brži.

## 5. ZAKLJUČCI

Na osnovu provedenog istraživanja može se zaključiti da se za protočne rezervoare ovog tipa može primijeniti decentralizovano upravljanje kao vid nekonvencionalnog upravljanja sa rasprezivačem koji obezbjeđuje zadovoljavajuće karakteristike oba izlaza procesa (nivoa i temperature).

Poboljšanja dobijena na ovaj način se ogledaju u pojednostavljenju i skraćenju procedure za projektovanje regulatora, jer nije potrebno izračunavati dijagonalnu matricu prenosnih funkcija (6). Takođe nije potrebno vršiti ni decentralizovani niti pojedinačni relejni test u cilju projektovanja multivarijabilnog PI regulatora tako da se izbjegava njegovo višestruko ponavljanje.

Dalji pravci istraživanja će se odnositi na ispitivanje mogućnosti decentralizovanih PI regulatora sa stanovišta kompenzacije dejstva poremećaja u 2x2 procesima.

## LITERATURA

- [1] Skogestad, S. and Postlethwaite, I. (2005). *Multivariable Feedback Control: Analysis and Design, 2nd ed.* John Wiley & Sons, Chichester.
- [2] Morilla, F., Garrido, J., Vázquez, F. (2013). Control Multivariable por Desacoplo. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, vol. 10, p. 3-17.
- [3] Wang, Q. G., Zou, B., Lee, T.H. and Bi, Q. (1997). Auto-tuning of Multivariable PID Controllers from Decentralized Relay Feedback. *Automatica*, vol. 33, no. 3, p. 319-330.
- [4] Menani, S. and Koivo, H. (2003). New approach on the automatic tuning of multivariable PI controllers using relay feedback. *International Journal of Systems Science*, vol. 34, no. 2, p. 93-110.
- [5] Prodanović, S. Lj., Nedić, N. N. and Brašić, V. S. (2014). Some Considerations of Mutual Coupling in Multivariable Processes, *XII International SAUM Conference on Systems, Automatic Control and Measurements*, Niš, Srbija, p. 257-260.
- [6] Debeljković, D. Lj., Sićović, A. M., Simeunović, G. V., Mulić, V. S. (2006). *Matematički modeli objekata i procesa u sistemima automatskog upravljanja, II dio*, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd.



## **SIMULACIJA MANEVARSKOG RADA LOKOMOTIVE TENT 443 PRIMENOM MATLAB - SIMULINKA**

**Branislav Gavrilović<sup>1</sup>, Zoran Bundalo<sup>2</sup>, Savo Gavrilović<sup>3</sup>**

*Rezime: Lokomotive serije TENT 443 u Termoelektrani „Nikola Tesla“ (R.Srbija) su osnovna vozna sredstva za manevarski rad na industrijskim kolosjecima ovog preduzeća. U cilju simulacije eksploatacionih karakteristika ovih lokomotiva u radu se pristupilo matematičkom modelovanju svih elemenata glavnog strujnog kola, a zatim se uz primenu Matlab - Simulink programskog paketa i analizi ponašanja same lokomotive u različitim pogonskim uslovima manevarskog rada. Rezultati različitih simulacija pokazuju korektno ponašanje modela, a u skladu sa očekivanim fizičkim procesima u elektro i mehaničkom delu lokomotive.*

*Ključne riječi: Lokomotiva, manevarski rad, Matlab-Simulink*

### **SIMULATION OF LOCOMOTIVE TENT 443 MANEUVER WORK USING MATLAB - SIMULINK**

*Abstract: Locomotives of the series TENT 443 in Thermal Power Plant "Nikola Tesla" (Republic of Serbia) are fundamental means of transport used for maneuver work at industrial tracks of this company. For the purpose of simulation exploitation characteristics of these locomotives this paper include mathematical modeling of all elements of the main circuit, and then with the use of MATLAB - Simulink software and analyzes the behavior of the locomotive in different operational conditions during maneuver work too. Results of different simulations show the correct behavior of the model, in accordance with the expected physical processes in the electrical and mechanical part of the locomotive.*

*Key words: Locomotive, maneuver work, Matlab-Simulink*

## **1. UVOD**

Termoelektrane „Nikola Tesla (TENT ) raplolužu sa 10 lokomotiva serije 443 koje je „Škoda“ (R. Češka) konstruisala i isporučila samo za TENT. Lokomotiva je konstruisana prvenstveno za manevarski rad na industrijskim kolosjecima ovog preduzeća. Lokomotiva je predviđena za rad u tri vučna režima:

<sup>1</sup> Branislav Gavrilović, Beograd, Visoka Železnička Škola Strukovnih Studija, Beograd, gavrilovicbranislav5@gmail.com

<sup>2</sup> Zoran Bundalo, Beograd, Visoka Železnička Škola Strukovnih Studija, Beograd, cheminot@eunet.rs

<sup>3</sup> Savo Gavrilović, Beograd, Visoka Železnička Škola Strukovnih Studija, Beograd, voosaai89@gmail.com

- Režim 5 km/h
- Režim 20 km/h
- Režim 80 km/h.

U tabeli 1 date su tehničke karakteristike, a na slici 1 prikazan je spoljašnji izgled lokomotive TENT 443.

Tabela 1. Tehničke karakteristike lokomotive TENT

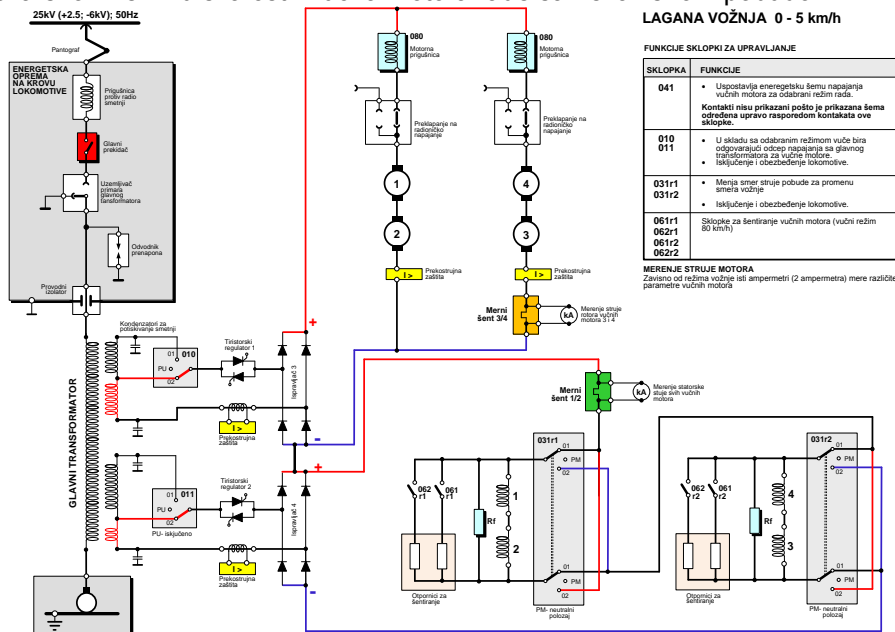
Tehnička karakteristika	Iznos	Jedinica
Širina koloseka	1435	mm
Konstruktivna karakteristika	Bo'- Bo'	-
Napon kontaktne mreže	25(+2,5; -6)	kV
Maksimalni napon kontaktne mreže (do 6 min)	29	kV
Minimalni napon kontakne mreže (do 6 min)	17.5	kV
Nazivna frekvencija	50	Hz
Minimalni prečnik krivine	120	m
Mimalni prečnik krivine pri brzini 10 km/h	90	m
Radna visina pantogafa	5050-6300	mm
Maksimalna visina lokomotive sa spuštenim patnografom	4650	mm
Prečnik novog točka	1050	mm
Snaga lokomotive sa novim točkovima	880	kW
Vučna sila na obodu točka pri srednje potrošenim točkovima	10.9	Mp
Maksimalna brzina lokomotive	80	km/h
Prenosni odnos prenosnika snage	73:18 (4.06)	-
Masa lokomotive	72(+3%; -1%)	t



Slika 1. Spoljašnji izgled lokomotive TENT 443

## 2. ŠEMA NAPAJANJA VUČNIH ELEKTROMOTORA ZA MANEVARSKI REŽIM RADA LOKOMOTIVE DO BRZINE 5 KM/H

Šema napajanja vučnih elektromotora za manevarski režim rada lokomotive do brzine 5 km/h (lagana vožnja) prikazana je na slici 2. Pri ovom manevarskom režimu rada, rotori dva vučna motora vezani su na red i napaju se u dve paralelne grane. Pobudni namotaji sva četiri elektromotora vezani su takođe na red, tako da u ovom manevarskom režimu sva četiri vučna motora rade sa nezavisnom pobudom.



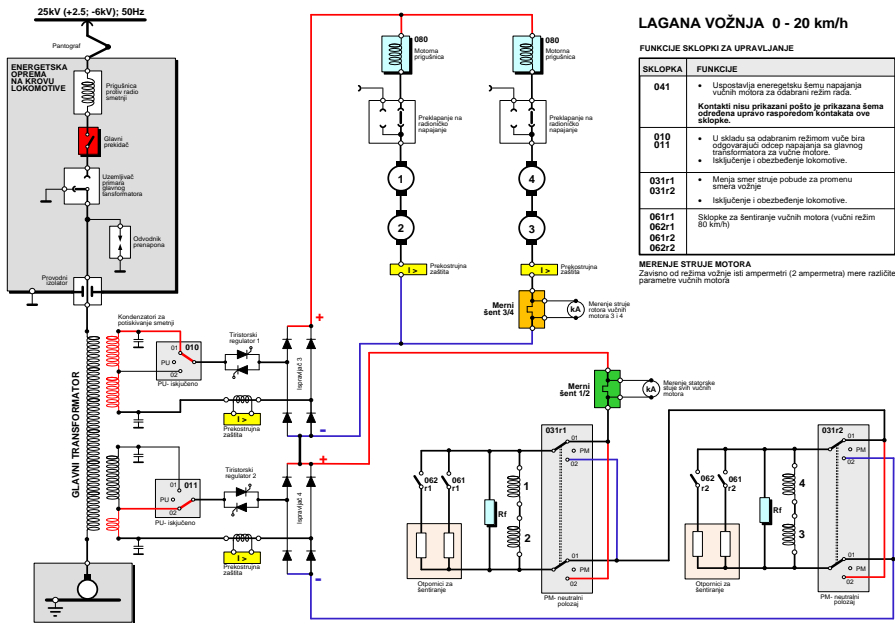
Slika 2. Šema napajanja vučnih elektromotora za režim brzine 5 km/h

Pobudni namotaji motora napajaju se sa jednog diodnog ispravljača i pritom se struja pobude reguliše na konstantnoj vrednosti od 670 A. Namotaji rotori se napajaju sa drugog ispravljača. Regulacija brzine vrši se kontinualnom regulacijom napona napajanja namotaja rotora vučnih motora. Struja ispravljačkih mostova i u ovom režimu ograničena je na 2200 A tako da je struja vučnih elektromotora ograničena na 1100 A.

Promena smer obrtanja elektromotora, odnosno smerla vožnje lokomotive, vrši se promenom smerla pobudne struje sklopkama (031). Promena režima rada i izbor smerla vožnje vrši se kad lokomotiva stoji. Jedan ampermetar meri struju kroz namotaje rotora vučnih elektromotora (053, 052), a drugi struju pobude kroz rednu vezu pobudnih namotaja sva četiri vučna elektromotora.

## 3. ŠEMA NAPAJANJA VUČNIH ELEKTROMOTORA ZA MANEVARSKI REŽIM RADA LOKOMOTIVE DO BRZINE 20 KM/H

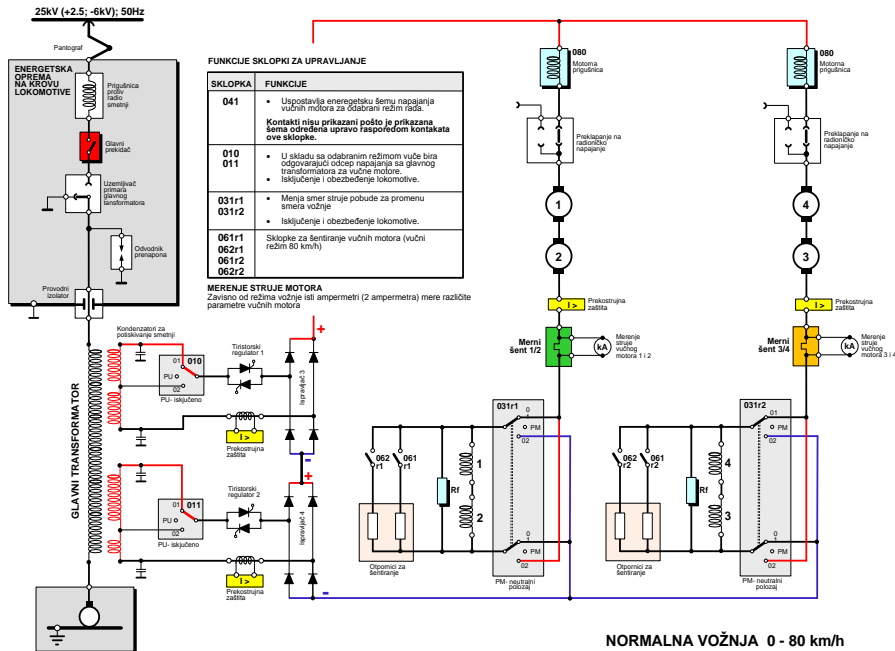
Šema napajanja vučnih elektromotora za manevarski režim rada lokomotive do brzine 20 km/h (lagana vožnja) prikazana je na slici 3. Ova šema napajanja razlikuje se u odnosu na manevarski režim rada lokomotive do brzine 5 km/h samo u tome što diodni ispravljački most napaja namotaje vučnih motora sa nešto višim naponima, ali i dalje ograničavajući struju kroz vučne elektromotore na 1100 A.



Slika 3. Šema napajanja vučnih elektromotora za režim brzine lokomotive od 20 km/h

#### 4. ŠEMA NAPAJANJA VUČNIH ELEKTROMOTORA ZA MANEVARSKI REŽIM RADA LOKOMOTIVE DO BRZINE 80 KM/H

Šema napajanja vučnih elektromotora za manevarski režim rada lokomotive TENT 443 do brzine 80 km/h (normalna vožnja) prikazana je na slici 4.



Slika 4. Šema napajanja vučnih elektromotora za brzine lokomotive od 80 km/h

U ovom režimu rada, u dve paralelne grane napajanja vezana su po 2 vučna motora u seriju. Ovakva veza omogućuje rad sa dvostruko većim jednosmernim naponom napajanja vučnih elektromotora, pošto se napon napajanja deli na redno vezane elektromotore. Korišćenje većeg napona napajanja elektromotora na jednosmernoj strani, smanjuje se struja na visokonaponskoj strani lokomotivskog transformatora, čime se smanjiju padovi napona duž kontaktne mreže.

Motri u ovom režimu rade kao jednosmerni elektromotri sa rednom pobudom. Regulacija pogonskog momenta (vučne sile) i brzine elektromotora vrši se kontinualnom regulacijom jednosmernog napona napajanja u opsegu od 0-750 V.

Diodni ispravljački mostovi u ovom režimu vezani su na red, tako da im se izlazni naponi sabiraju. Struja ispravljačkih mostova ograničena je na 2200 A tako da je struja vučnih elektromotora ograničena na 1100 A. Povećanje brzine vučnih motora iznad nominalne brzine moguće je šantiranjem pobude otpornicima (061, 062). Šantiranje pobude moguće je u dva stepena.

Ampermetri u ovom režimu mere struje elektomotora u paralelnim granama.

## 5. MATEMATIČKI MODEL DINAMIKE KRETANJA MANEVARSKOG SASTAVA SA LOKOMOTIVAMA TENT 443

U toku kretanja manevarskog sastava, vučna sila lokomotive  $F_v$  savladava različite otpore od kojih su neki stalno prisutni, a neki se javljaju povremeno. Da bi otpori kretanja bili savladani i voz se kretao zadatom brzinom ili kontrolisanim ubrzanjem, vučno vozilo mora u skladu sa otporima, na obodu pogonskih točkova ostvarivati odgovarajuću vučnu silu  $F_v$ . Prema tome u toku kretanja voza imamo: stalne, povremene otpore i otpore ubrzanja. Otpori vuče zavise od puno različitih faktora, od kojih je neke vrlo teško analitički utvrditi. Za simulaciju otpora kretanja voza odabrane su sledeće jednačine [1-3]:

- Za specifične stalne otpore vuče ( $f_{STALNI}$ ) koje stvaraju trenje u ležajevima, trenje usled kotrljanja pogonskog točkova i otpor vazduha korišćena je jednačina [1-3]:

$$f_{STALNI} = 2 + m \cdot \left( \frac{v_v}{10} \right)^2 \cdot \frac{1}{101.97} \left[ \frac{N}{kg} \right] \quad (1)$$

Koeficijent  $m$  u izrazu (1) kreće u granicama 0.02 – 0.1 u zavisnosti od toga da li se radi o putničkim ili teretnim vozovima. Brzina  $v_v$  je data u [km/h]. Za potrebe simulacija manevarskog sastava odabrano je da koeficijent  $m$  bude 0.05.

Od povremenih otpora vuče koji se mogu javiti uzeti su u obzir otpori zbog uspona ili pada industriskog koloseka, otpori krivine i otpori inercije masa kod ubrzavanja manevarskog sastava.

- Za specifični otpor usled nagiba, uspona ili pada industriskog koloseka ( $f_{USPON}$ ) korišćena je jednačina [1-3]:

$$f_{USPONI} = -g \cdot \sin(\alpha) \left[ \frac{N}{kg} \right] \quad (2)$$

Gde je  $g$  ubzanje sile zemljine teže, a  $\alpha$  ugao nagiba kosine.

- Za specifični otpor krivine ( $f_{KRIVINA}$ ) korišćena je jednačina [2]:

$$f_{KRIVINA} = \frac{800}{r} \cdot 10^{-3} \left[ \frac{N}{kg} \right] \quad (3)$$

Gde je  $R$  poluprečnik krivine u [m].

- Uticaj otpora inercije masa zbog promene brzine kretanja voza (akceleracija) sadržan je u diferencijalnoj jednačini kretanja manevarskog sastava:

$$m_{LV\_korig} \cdot \frac{dv_v}{dt} = F_V - F_{OTPORI} \quad (4)$$

U izrazu (4)  $F_V$  je vučna sila lokomotive, a  $F_{OTPORI}$  su ukupni otpori vuče koju su definisani jednačinom [1-3]:

$$F_{OTPORI} = (m_L + m_V) \cdot (f_{STALNI} + f_{USPON} + f_{KRIVINA}) [N] \quad (5)$$

Gde su:  $m_L$  - masa lokomotive [kg], a  $m_V$  - masa manevarskog sastava [kg]. Za potrebe simulacije masa lokomotive TENT 443 računalo se sa 72 t(+3%; -1%).

Korigovana masa lokomotive i manevarskog sastava data je i jednačinom [1]:

$$m_{LV\_korig} = (m_L + m_V) \cdot (1 + \varepsilon) \quad (6)$$

Gde je  $\varepsilon$  - koeficijent korekcije masa koji preko korekcije masa u diferencijalnoj jednačini translatorskog kretanja kvantifikuje uticaj akumulisane energije u rotacionim delovima lokomotive i manevarskog sastava. Isti govori o tome koliki je udeo energije u rotacionim delovima lokomotive i manevarskog sastava (motori, kolski slog) u ukupnoj energiji kretanja. Njegove vrednosti se kreću od 0.01 do 0,08 zavisno od manevarskog sastava. Za potrebe simulacije manevarskog rada uzeta je vrednost 0,03.

Da bi olakšali crtanje blok šeme dinamike kretanja manevarskog sastava u Matlab-Simulinku, diferencijalnu jednačinu kretanja datu izrazom (4) iz vremenskog domena prebačena je u kompleksno područje Laplasovim transformacijama i rešena je po brzini voza  $v_v$ , tako da se ima:

$$v_v = \frac{1}{m_{LV\_korig}} \cdot \frac{1}{s} \cdot (F_V - F_{OTPORI}) \left[ \frac{m}{s} \right] \quad (7)$$

## 6. SIMULACIJA MANEVARSKOG RADA LOKOMOTIVE TENT 443 U MATLAB - SIMULINKU

Na osnovu opisanog matematičkog modela iz tačke 5 pristupilo se najpre saglasno slici 4 formiranju nelinearnog dinamičkog modela jednosmernog vučnog elektromotora sa rednom pobudom pri manevarskom režimu rada lokomotive za brzine 80 km/h u Matlab-Simulinku (kao na slici 5), a zatim formiranju kompletnog nelinearnog dinamičkog modela manevarskog sastava kao celine (kao na slici 6).

Na sličan način mogu se obrazovati i nelinearni dinamički modeli pri manevarskom režimu rada lokomotive za brzine 5 i 20 km/h u Matlab-Simulinku.

## 7. DOBIJENI REZULTATI

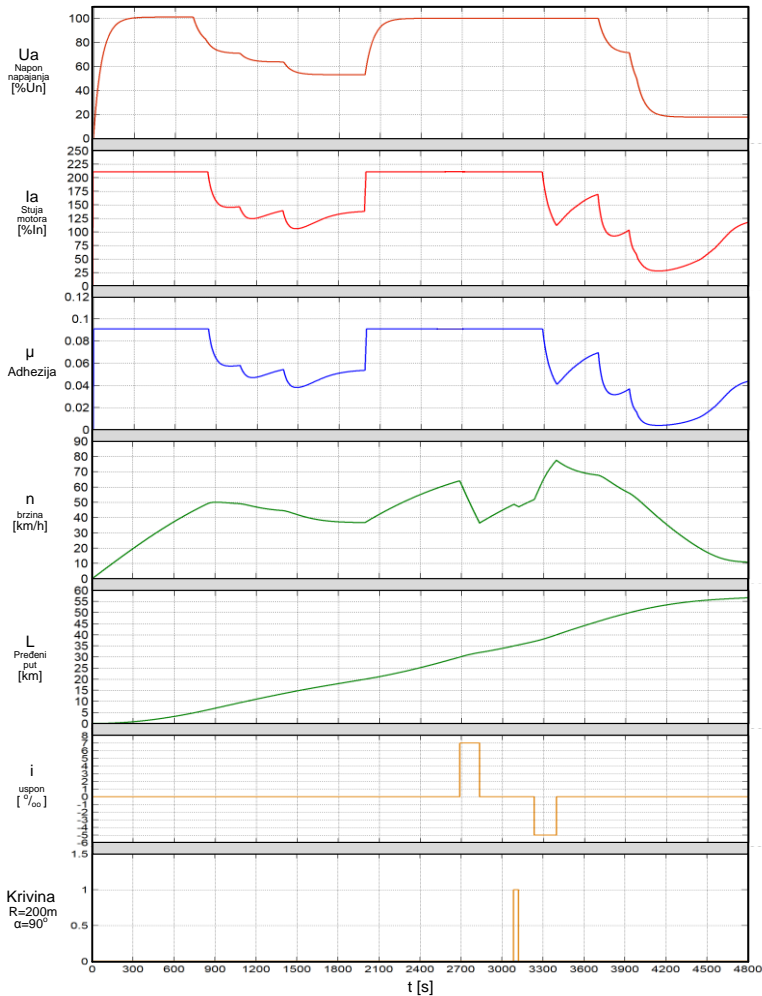
Simulacioni model na slici 6 obezbeđuje analizu manevarskog rada lokomotive za brzine 80 km/h u svim operativnim uslovima, sa različitim parametrima sistema.





rada lokomotive u svim operativnim uslovima, sa različitim parametrima sistema. Na ovaj način se mogu simulirati različiti operativni uslovi pa oni u kojima se svi uređaji i oprema glavnog strujnog kola lokomotive mogu preopteretiti i ugroziti njihov pravilan rad. Ova mogućnost je od velikog praktičnog značaja.

Rezultati simulacija ukazuju na korektnu usaglašenost uspostavljenog modela sa fizičkim procesima u elektro i mehaničkom delu sistema pri manevarskim vožnjama.



Slika 7: Simulacija eksploatacionih karakteristika pri teretu od 1500 t

## LITERATURA

- [1] Doru Adrian N. (2010). *Modelling of Electromechanical Converters of Traction Used on Electric Locomotive*, University of Craiova,
- [2] Fu Zhang (2010). *A Simulation- Based Design Study for a Locomotive Electric Power System*,
- [3] Malvezzi M. (2007). *Simulation of degraded adhesion conditions on a full scale locomotive roller rig*, 12th IFToMM World Congress, Besancon Library, Multilanguage edition, 2005.

# COMET<sub>a</sub> 2014

2nd INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

2nd - 5th December 2014  
Jahorina, B&H, Republic of Srpska



University of East Sarajevo  
Faculty of Mechanical Engineering  
Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications

---

## ***DEVELOPMENT OF PRODUCTS AND MECHANICAL SYSTEMS***





## ANALIZA DINAMIČKE STABILNOSTI VRATILA

Zorica Djordjević<sup>1</sup>, Miloš Zuvic<sup>2</sup>, Mirko Blagojević<sup>3</sup>,  
Saša Jovanović<sup>4</sup>, Miloš Matejić<sup>5</sup>

*Rezime: Vratilo, zajedno sa obrtnim mašinskim delovima koji se na njemu nalaze, čini jedan oscilatorni sistem. Poznato je da, u slučaju vratila koja rade pri velikom broju obrtaja, može doći do pojave dinamičke nestabilnosti. Otuda je u tehničkoj praksi od posebnog značaja određivanje kritičnog broja obrtaja, tj. broja obrtaja vratila pri kome dolazi do pojave rezonance.*

*Cilj ovog rada je razmatranje uticaja vrste materijala, dužine vratila, oblika i dimenzija poprečnog preseka vratila na vrednost sopstvenih frekvencija i kritični broj obrtaja vratila. Analiza je sprovedena numeričkim putem, korišćenjem programskog paketa Autodesk Inventor Profesional.*

*Rezultati analize su prikazani u obliku tabelarnih i grafičkih prikaza.*

*Ključne riječi: kritični broj obrtaja, sopstvene frekvencije, vratila*

## ANALYSIS OF THE VEHICLE DYNAMIC STABILITY

*Abstract: Shaft, along with rotary mechanical parts on it makes one oscillating system. It is known that, in case of the shaft rotation, large number of rotations per minute can cause dynamic instability. That is the cause of determination shaft critical number of rotations per minute. Critical number of rotations per minute causes appearance of resonance.*

*Aim of this paper is determination how choosing of material, shaft length, shape and dimensions of the shaft section have influence on the value of natural frequencies and critical number of rotations per minute. This analysis is conducted numerically using the Autodesk Inventor Professional. Results are shown in graphic and table forms.*

*Key words: critical number of rotations per minute, natural frequencies, shafts*

---

<sup>1</sup> Dr Zorica Djordjević, vanr.prof, Kragujevac, Fakultet inženjerskih nauka, zoricadj@kg.ac.rs

<sup>2</sup> Miloš Zuvic, master inženjer mašinstva, Kragujevac, milos\_zuvic\_90@hotmail.com

<sup>3</sup> Dr Mirko Blagojević, vanr.prof, Kragujevac, Fakultet inženjerskih nauka, mirkob@kg.ac.rs

<sup>4</sup> Mr Saša Jovanović, Kragujevac, Fakultet inženjerskih nauka, dviks@kg.ac.rs

<sup>5</sup> Miloš Matejić, student dokt. studija, Kragujevac, Fakultet inženjerskih nauka, mmatejic@kg.ac.rs

## 1. UVOD

Jedno od najzastupljenijih kretanja kod svih vrsta mašina je obrtno: sva transportna sredstva se zasnivaju na obrtnom kretanju, osnovno kretanje kod svih pogonskih mašina je obrtno i td. Mašinski elementi koji najčešće obavljaju ovu vrstu kretanja su vratila.

Vratila predstavljaju nosače obrtnih mašinskih delova (zupčanika, lančanika, kaišnika, spojnika i sl.) i služe za prenošenje obrtnih momenata i snage duž ose obrtanja. Usled uzajamnog dejstva spregnutih obrtnih delova, kao i njihove težine, javljaju se uzdužne i poprečne sile kao i obrtni momenti koji opterećuju vratila na savijanje, uvijanje, istezanje i pritisak [1, 2].

Kritično stanje vratila, praćeno izrazitim povećanjem amplitude oscilovanja, nastaje u slučaju kada je vratilo izloženo periodično promenljivim radijalnim i aksijalnim silama i obrtnim momentima. Ova opterećenja izazivaju periodično promenljive deformacije, odnosno oscilacije celog sistema, koje dovode do stanja u kome se učestanost promene pobudnih opterećenja poklopi sa učestanošću slobodnih (sopstvenih) oscilacija vratila. Tada amplitude postaju beskonačno velike. U tom slučaju i relativno mala sila može proizvesti velike amplitude. Ova pojava se naziva rezonanca, a odgovarajuća učestanost rezonantna učestanost.

Zato se, pogotovo u slučaju brzohodnih vratila, vrši provera odnosa kritične ugaone brzine ili učestanosti obrtanja, pri kojima nastaje rezonanca, sa radnom ugaonom brzinom odnosno učestanošću obrtanja.

## 2. PRORAČUN DINAMIČKE STABILNOSTI VRATILA

Težnja savremenih mehanizama je postizanje što veće brzine rada. Otuda je i precizna dinamička analiza stabilnosti vratila veoma bitna. Problemom nestabilnosti dugog čeličnog vratila su se bavili istraživači još od davne 1883.god. Razmatranja koja se odnose na izotropne, ali i na materijale drugačijih karakteristika, su dali Timoshenko, Flugge, Batdorf i mnogi drugi autori.

### 2.1 Određivanje sopstvenih frekvencija vratila analitičkim putem

U radu je analizirano kardansko vratilo automobila sa zadnjom vučom čije su dimenzije:  $l=1,5$  m,  $d=91$  mm.

Izraz za proračun kritičnog broja obrtaja ima oblik [3]:

$$n_{kr} = \frac{30\pi}{l^2} \cdot r \cdot \sqrt{\frac{E}{2\rho}} \quad (1)$$

gde je: E- modul elastičnosti, MPa,  $\rho$  - gustina materijala,  $\text{kg/m}^3$  **Error! Bookmark not defined..**

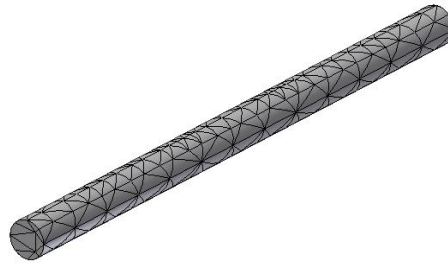
U slučaju čeličnog vratila vrednosti modula elastičnosti i gustine su:  $E=2,1 \cdot 10^{11}$   $\text{N/m}^2$  i  $\rho=7850$   $\text{kg/m}^3$ . Zamenom polaznih podataka i karakteristika materijala u jednačinu (1), dobija se kritični broj obrtaja, odnosno frekvencija čeličnog vratila:

$$n_{kr} = \frac{30\pi}{1,5^2} \cdot 0,0455 \cdot \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^{11}}{2 \cdot 7850}} = 7109,57 \text{ min}^{-1} \quad (2)$$

odnosno frekvencija je:  $f=118,5$  Hz.

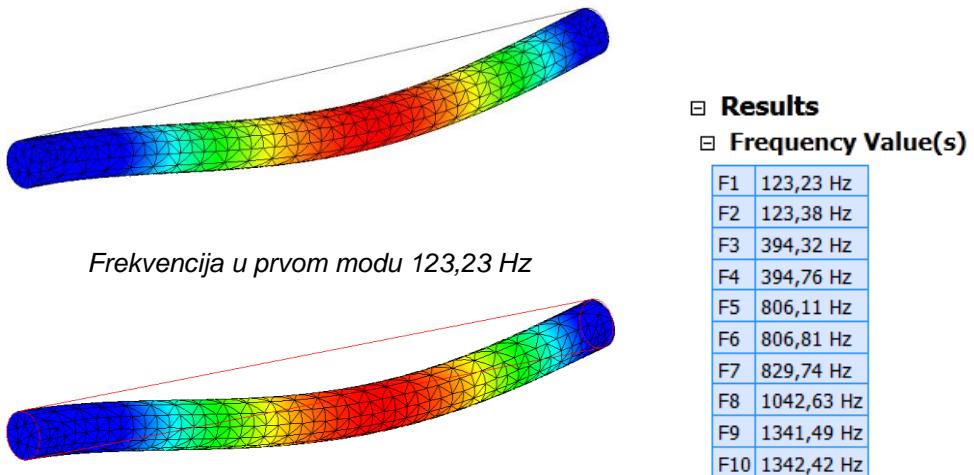
## 2.2 Određivanje sopstvenih frekvencija vratila numeričkim putem

Numeričkim putem, primenom odgovarajućih softverskih paketa, umnogome je olakšan postupak analize dinamičke stabilnosti vratila. Za potrebe proračuna modelirano je pravo vratilo konstantnog poprečnog preseka, istih dimenzija kao i pri analitičkom proračunu, u programskom paketu Autodesk INVENTOR. Kako izgleda generisana mreža konačnih elemenata analiziranog vratila može se videti na slici 1.



Slika 1. Vratilo sa generisanom mrežom konačnih elemenata

Pri frekventnoj analizi korišćeno je 10 modova. Kao najmerodavnije koriste se vrednosti iz prvih dva moda. Na slici 2. je prikazana simulacija vratila u prvih dva moda.



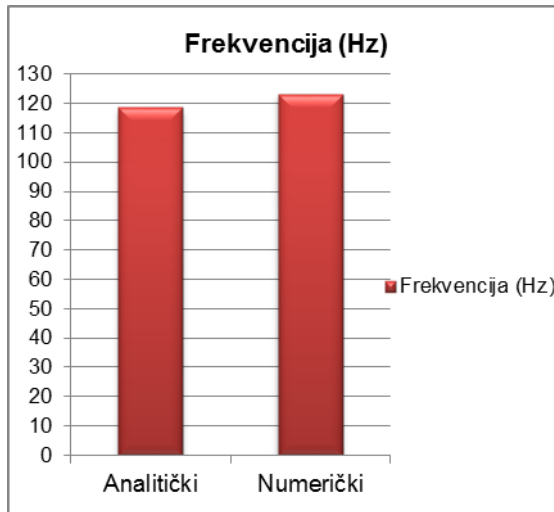
Frekvencija u prvom modu 123,23 Hz

Frekvencija u drugom modu 123,38 Hz

Slika 2. Sopstvene frekvencije vratila

## 2.3 Analiza rezultata

Da bi se proverila tačnost dobijenih rezultata izvršeno je poređenje vrednosti sopstvenih frekvencija određenih analitičkim i numeričkim putem. Posmatrajući sliku 3. uočava se da odstupanje iznosi 3,91%. Ovako dobra saglasnost rezultata je bila potvrda ispravnosti razvijenog modela za numeričku analizu.



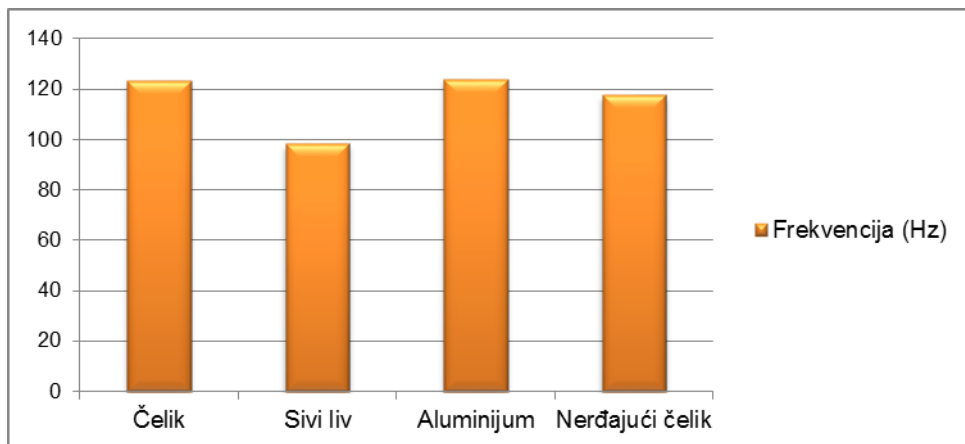
Slika 3. Grafički prikaz odstupanja vrednosti sopstvenih frekvencija

### 3. ANALIZA UTICAJNIH FAKTORA NA DINAMIČKU STABILNOST VRATILA

Vrednost sopstvenih frekvencija vratila zavisi od više parametara kao što su: vrsta materijala, dimenzije vratila (dužina i prečnik), oblik vratila i sl. [4,5].

#### 3.1 Uticaj vrste materijala na vrednost sopstvenih frekvencija vratila

Vrednosti sopstvenih frekvencija zavise od vrste materijala vratila tj. od odnosa modula elastičnosti i gustine materijala. Numeričkom analizom su dobijene vrednosti sopstvenih frekvencija za različite materijale vratila (slika 4.). Može se zapaziti da najveće vrednosti sopstvenih frekvencija ima vratilo od aluminijuma, zatim sledi čelično vratilo, čije se vrednosti frekvencija vrlo malo razlikuju od aluminijumskog, dok vratilo od sivog liva ima najniže frekvencije.



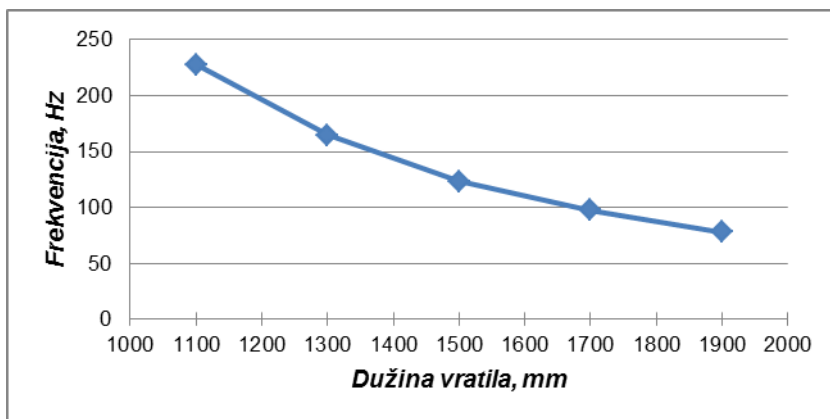
Slika 4. Uticaj materijala na vrednost sopstvenih frekvencija



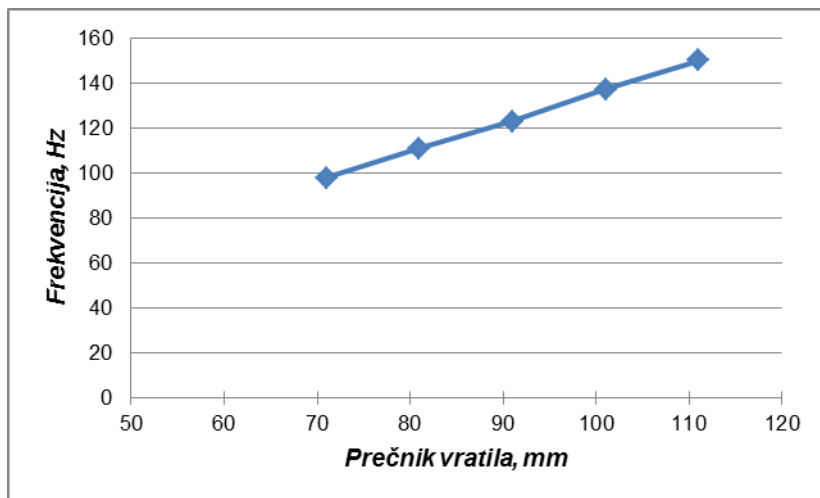
### 3.2 Uticaj dimenzija vratila na vrednost sopstvenih frekvencija

Dužina vratila direktno utiče na sopstvene frekvencije. Sa dijagrama (slika 5.) se uočava da je zavisnost skoro linearno opadajuća, odnosno sa povećanjem dužine vratila znatno opadaju vrednosti sopstvenih frekvencija.

Osim dužine na vrednost sopstvenih frekvencija utiče i promena prečnika vratila (slika 6.). Zavisnost prečnika i frekvencije je proporcionalna, odnosno sa povećanjem prečnika rastu i frekvencije.

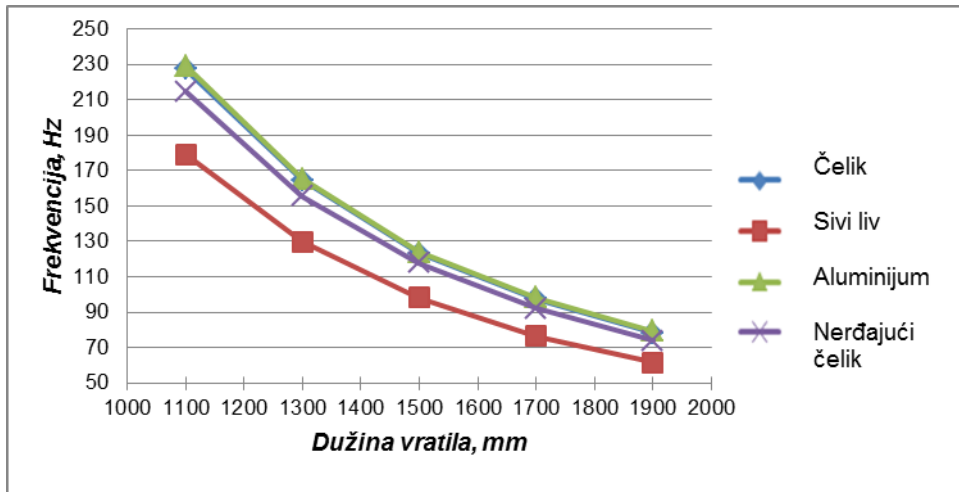


Slika 5. Zavisnost frekvencija od dužine čeličnog vratila



Slika 6. Zavisnost frekvencija od prečnika čeličnog vratila

Na slici 7. prikazan je zajednički uticaj materijala i dužine vratila na vrednost sopstvenih frekvencija. Sa dijagrama se uočava da aluminijum i čelik imaju skoro iste vrednosti sopstvenih frekvencija, koje su znatno veće u poređenju sa ostalim materijalima. Odatle se zaključuje da su, sa aspekta kritičnog broja obrtaja, čelik i aluminijum najpogodniji za izradu vratila. Takođe se zapaža da sivi liv ima najmanje vrednosti sopstvenih frekvencija.



Slika 7. Zavisnost frekvencija vratila od dužine za različite materijale

#### 4. ZAKLJUČCI

Provera dinamičke stabilnosti vratila se, uglavnom, vrši kod vratila koja rade sa velikim učestanostima obrtanja. Pojedini parametri kao što su: dužina, prečnik, vrsta materijala, oblik vratila i sl. od velikog su uticaja na vrednost sopstvenih frekvencija vratila. Zaključak je da povećanje dužine vratila dovodi do pada sopstvenih frekvencija vratila dok sa povećanjem prečnika rastu vrednosti sopstvenih frekvencija i ta zavisnost je gotovo linearna. Analizom uticaja materijala na vrednost sopstvenih frekvencija zaključuje se da najveće vrednosti sopstvenih frekvencija ima vratilo od aluminijuma, slične vrednosti ima i čelično vratilo dok vratilo od sivog liva ima najniže vrednosti i ne preporučuje se njegova primena u praksi kada se radi o vratilima većih dužina.

#### LITERATURA

- [1] Nikolić, V. (2004). *Mašinski elementi - teorija, proračun, primeri*, Mašinski fakultet, Kragujevac.
- [2] Miltenović, V. (2002). *Mašinski elementi, oblici, proračun, primena*, Mašinski fakultet, Niš.
- [3] Rastogi, N. (2004). *Design of composite driveshafts for automotive applications*, SAE World Congress Detroit, Michigan.
- [4] Zuvić, M. (2014). *Analiza dinamičke stabilnosti vratila*, Master rad, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, Kragujevac.
- [5] Djordjević, Z. (2008). *Dinamičko ponašanje vratila od kompozitnih materijala*, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Kragujevac.



## OSNOVNE ODLIKE SAVREMENIH BEZAZORNIH PRENOSNIKA

Siniša Kuzmanović<sup>1</sup>, Milan Rackov<sup>2</sup>, Miroslav Vereš<sup>3</sup>

*Rezime: Neosporno je da bezazorni prenosnici, kao prenosnioci kretanja, danas imaju veliku primenu u mašinstvu. Osnovni razlog njihove primene je potreba za sve većom tačnošću pozicioniranja, pre svega kod raznih robota i manipulatora, zatim, obradnih centara i raznih drugih alatnih mašina, a posebno je značajna njihova primena u vojnom mašinstvu. Imajući u vidu opšti značaj bezazornih prenosnika na ovom mestu će se razmotriti uobičajena rešenja ovih prenosnika i načini obezbeđenja njihove bezazornosti.*

*Cljučne reči: bezazorni, prenosnik, karakteristike, lučni zazor.*

### THE BASIC CHARACTERISTICS OF MODERN BACKLASH GEAR REDUCERS

*Abstract: Backlash gear reducers as motion mechanisms are now increasingly used in mechanical engineering. The basic reason of their application is requisite for increasing accuracy of positioning of, at the first place, robots and manipulators, different manufacturing systems and tools, and their application in military engineering is very important. Having in minds their importance, this paper deals with basic solutions of backlash gear reducers and the ways how to achieve the backlash.*

*Key words: arc gap, backlash gear reducers, characteristics.*

## 1. UVOD

Bezazornost, odnosno mali lučni zazor, je potreban da bi se obezbedila velika tačnost pozicioniranja. Lučni zazor ( $\Delta\varphi_0$ ) predstavlja ugao zaokretanja izlaznog vratila bez opterećenja (ili sa veoma malim opterećenjem, obično samo 2 % od nominalne vrednosti) u slučaju da je ulazno vratilo nepokretno i njegova vrednost se izražava u ugaonim minutama. U slučaju da je vrednost tog ugla manja od 10 ugaonih minuta smatra se da je reduktor bezazoran. Lučni zazor zavisi od zazora u međuzublju koji je potreban da bi se mogao formirati uljni film, da bi se kompenzovale greške u izradi i da bi se mogli obrtati zupčanici. Kod bezazornih reduktora se ide na minimalnu vrednost tog zazora.

<sup>1</sup>Prof. Dr Siniša Kuzmanović, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, kuzman@uns.ac.rs

<sup>2</sup>Mr Milan Rackov, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, racmil@uns.ac.rs

<sup>3</sup>Prof. Dr Miroslav Vereš, Bratislava, Slovak University of Technology, miroslav.veres@stuba.sk

Kod punog opterećenja bezazornog reduktora javlja se tzv. prazan hod ( $\Delta\varphi$ ) koji, pored lučnog zazora (sl.1), u najvećoj meri zavisi od krutosti vratila i krutosti zubaca. Da bi se povećala krutost vratila usvajaju se što kraća vratila i što veći prečnici vratila. Ugao uvijanja vratila se proračunava po obrascu

$$\Delta\varphi = \frac{TL}{GI} \quad (1)$$

gde je:

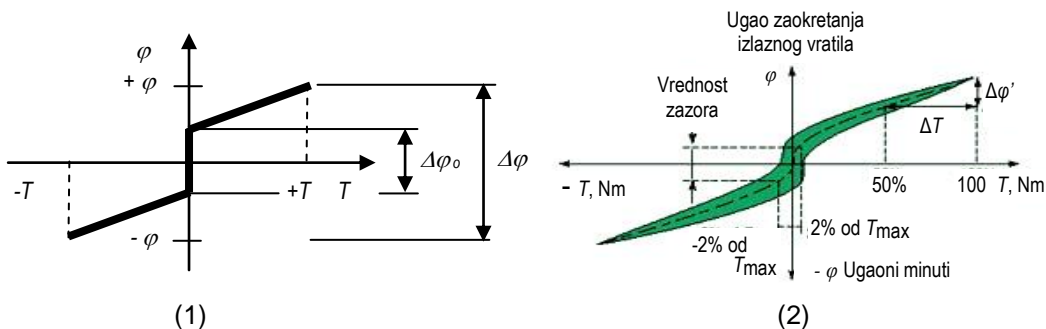
$T$  - obrtni moment na vratilu,

$L$  - dužina vratila,

$G$  - modul klizanja  $I$

$I$  - polarni moment inercije poprečnog preseka vratila.

Pošto veličina praznog hoda zavisi od opterećenja reduktora, on se ne prikazuje kao karakteristika reduktora, već se njegova vrednost izračunava za svaki konkretan slučaj, dok je lučni zazor konstantna veličina i on se prikazuje u katalogima proizvođača reduktora. U stvarnosti, promena praznog hoda izgleda nešto malo drugačija. Naime, zbog elastičnosti vratila i zubaca zupčanika, kao i zbog postojanja zazora u ležajevima, lučni zazor u reduktoru nije u obliku prave linije, već je u obliku krive (sl.1), a početne vrednosti lučnog zazora se prikazuju pri opterećenju momentom čija vrednost obično iznosi 2% od nazivne vrednosti obrtnog momenta.



Slika 1. Grafički prikaz teoretske (1) i stvarne (2) promene lučnog zazora sa promenom opterećenja

Bezazornost reduktora se postiže:

- tačnom izradom i selekcijom,
- preopterećenjem,
- radijalnim pomeranjem ili
- aksijalnim pomeranjem zupčanika.

Bezazornost, postignuta tačnom izradom i selekcijom, je relativno lako ostvariva, ali je pri prenošenju velikog opterećenja kratkotrajna, jer se habanjem bočnih površina zubaca relativno brzo narušava bezazornost. Zbog toga se takav način ostvarivanja zazora koristi samo kod prenosnika kretanja, kao i u slučajevima kada je ograničen vremenski period (broj hodova) takvih reduktora i u slučajevima kada je pri sprezanju velik broj zubaca u zahvatu. U slučaju porasta lučnog zazora, kod ovako izrađenih reduktora, potrebno je ponovo izvršiti selekciju i zamenu zupčanika.

Predopterećenjem se relativno lako održava bezazornost, ali su gubici u takvim prenosnicima nešto veći a dolazi i do intenzivnijeg habanja bočnih površina. Ovakav način obezbeđenja bezazornosti se koristi samo kod prenosnika kretanja. Predopterećenje se ostvaruje tako što se jedan zupčanik izrađuje iz dve ploče, zatim se jedna ploča zaokreće za par stepeni i u telu takvog zupčanika se urezuju žlebovi u koje se ubacuju opruge da bi se zadržao taj položaj zupčanika. Prilikom ugradnje zupčanika, opruge se sabijaju i teže da ploče (delove zupčanika) vrate u prvobitni položaj, čime se obezbeđuje bezazornost.

Radijalnim primicanjem se relativno lako postiže i održava bezazornost, ali je nju nemoguće ostvariti kod planetarnih reduktora, koji se danas najčešće koriste kao bezazorni reduktori, već samo kod klasičnih zupčastih i pužnih reduktora. Naime, kod ovih reduktora jedno vratilo je uležišteno posredstvom čaura, u kojima je ekscentrično izrađen otvor za ležajeve u odnosu na cilindrične površine tih čaura, posredstvom kojih se vrši njihovo oslanjanje u osloncima kućišta. Istovremenim zakretanjem čaura pomera se (podiže) osa ekscentričnog otvora za ležajeve, a time i sami ležajevi, vratilo i zupčanik koji se nalazi na njemu, čime se smanjuje međuosno rastojanje zupčanika, na osnovu čega se postiže bezazornost. Ovakvim načinom se relativno lako podešava i održava mali lučni zazor.

Aksijalnim primicanjem "cilindričnih" zupčanika, koji se rade sa blagim konusom, relativno se lako postiže i održava bezazornost, mada se javlja mali problem kod izrade tih zupčanika.

## 2. OSNOVNA PODELA BEZAZORNIH REDUKTORA

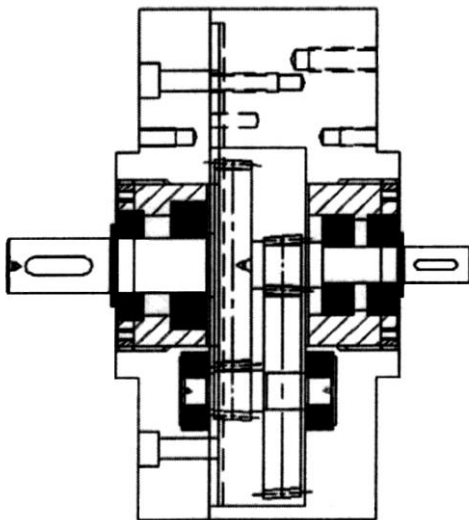
Bezazorni reduktori predstavljaju jednu posebnu grupu univerzalnih reduktora kod kojih se jednim od navedenih konstrukcionih zahvata obezbeđuje mali lučni zazor. Bezazorni reduktori se izrađuju kao:

- klasični reduktori sa cilindričnim zupčanicima sa paralelnim ili saosnim vratilima,
- kao planetarni reduktori (sa cilindričnim zupčanicima sa pravim ili kosim zupcima),
- sa konusnim zupčanicima,
- pužnim zupčanicima,
- specijalnim pužnim zupčanicima,
- cikloidnim zupčanicima sa jednim ili tri ekscentrična vratila i sa tzv.
- talasnim (harmonijskim) zupčanicima.

### 2.1 Klasični bezazorni reduktori sa cilindričnim zupčanicima

Klasični bezazorni reduktori, sa cilindričnim zupčanicima, obično se izrađuju sa blago konusnim "cilindričnim" zupčanicima, kod kojih je veličina ugla konusa obično  $3^\circ$ , a aksijalnim primicanjem zupčanika postiže se željena bezazornost reduktora. Karakteristično rešenje ima proizvođač **Ondrives** čiji dvostepeni zupčasti bezazorni reduktori ima lučni zazor manji od 8 ugaonih minuta, što za dvostepene reduktore, sasvim zadovoljavajuće. Naravno, vrednost lučnog zazora u mnogome zavisi od broja stepeni kao i od proizvođača reduktora, odnosno, tehnologije sa kojom on raspolaže. Ovakvi zupčasti reduktori su relativno jednostavani za izradu i održavanje, imaju prihvatljivu cenu, ali i pored toga, zbog većih gabaritnih dimenzija, imaju nešto manju primenu. Ovaj proizvođač ih izrađuje sa prenosnim odnos od 2 do 16 i veoma malom nosivošću (reč je o malom prenosniku kretanja), sa stepenom iskorišćenja oko 0,92%. Način ostvarivanja bezazornosti vrši se aksijalnim pomeranjem ulaznog i izlaznog

zupčanika (sl. 2). Ovo pomeranje se vrši pritezanjem ploča sa navojem koji se, nakon dostizanja predviđene bezazornosti, fiksiraju običnim uvrtnim zavrtnjevima kojima se sprečava samoodvrtnje i narušavanje bezazornosti. Ukoliko vremenom dođe do narušavanja bezazornosti ona se, na isti ovaj način, lako ponovo uspostavlja.



Slika 2. Klasični dvostepeni zupčasti bezazorni reduktor (Ondrives)

## 2.2 Planetarni bezazorni reduktori sa cilindričnim zupčanicima sa pravim zupcima

Planetarni bezazorni reduktori se najčešće izrađuju sa cilindričnim zupčanicima sa pravim zupcima mada mogu i sa kosim. Oni danas imaju najveću primenu jer su veoma kompaktni, relativno jednostavni i jeftini, a imaju i malu vrednost lučnog zazor. Kompanija Neugart ih izrađuje sa prenosnim odnosima od 3 do 512, lučnim zazorom manjim od 3 ugaona minuta, po stepenu (opciono može i manje od 1 ugaonog minuta), sa veoma niskim nivoom buke (manje od 58 dB (A)) i visokim stepenom iskorišćenja, 98% po stepenu. Projektovani radni vek njihovih reduktora je 30000 sati. Reduktori su predviđeni da rade u intervalu od  $-25$  do  $+90$  °C. Planetarni reduktori se po pravilu izrađuju kao jednostepeni a kod velikih prenosnih odnosa kao dvostepeni.

## 2.3 Bezazorni reduktori sa konusnim zupčanicima

Bezazorni reduktori sa konusnim zupčanicima se ređe koriste, zbog ređih zahteva za ovakvom vrstom pogona, mada ima proizvođača koji ih imaju u svom proizvodnom programu. Stepenn iskorišćenja ovih reduktora je oko 88% a lučni zazor oko 1 ugaoni minut (Ondrives). Bezazornost se obezbeđuje na taj način što se ležajevi vratila nalaze u čaurama koje se posredstvom navoja mogu pomerati u kućištu reduktora, a nakon podešavanja zazor, uvrtnim zavrtnjevima se fiksiraju čaure, da ne bi došlo do njihovog samoodvrtnja.

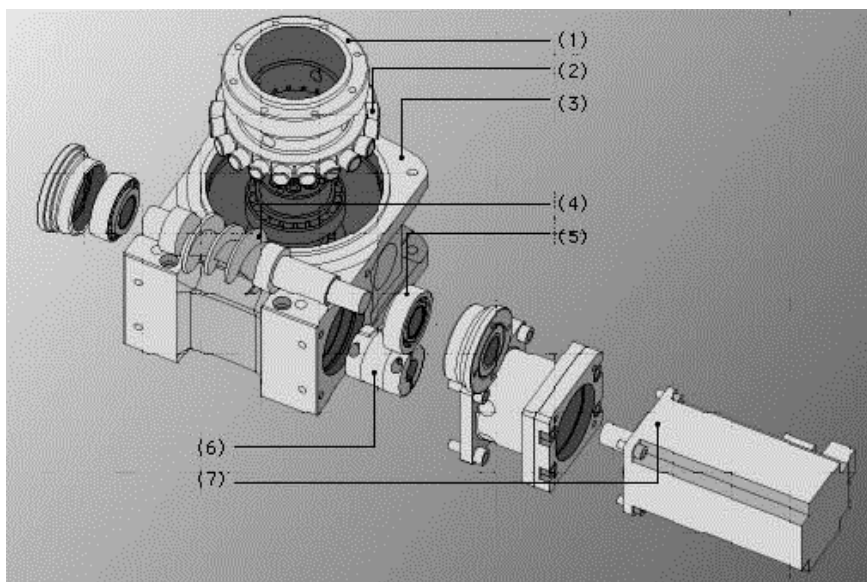
## 2.4 Bezazorni pužni reduktori

Bezazorni pužni reduktori imaju veliku primenu zbog mirnog i tihog rada i, pri pojedinim prenosnim odnosima, mogućnosti samokočenja. Bezazorni pužni reduktori

ostvaruju veliku tačnost pozicioniranja, lučni zazor je manji od 3 ugaona minuta, robusni su, mogu da prihvatiti udare i do 300 % veće od nominalnog opterećenja. Bezazornost se postiže promenom međuosnog rastojanja.

## 2.5 Bezazorni pužni reduktori sa specijalnim pužnim parom

Univerzalni pužni bezazorni reduktori sa specijalnim ozubljenjem (sl. 10) imaju relativno malu primenu i to na mestima gde se traži velika tačnost pozicioniranja a mala nosivost. Prema podacima Sankyo America, inc. (sl. 3) lučni zazor se kreće oko 30 ugaonih sekundi.



Slika 3. Karakteristično rešenje jednostepenog pužnog bezazornog reduktora sa specijalnim ozubljenjem (Sankyo America, inc.), gde je (1) šuplje izlazno vratilo sa vencem valjičića, (2) valjičići, (3) kućište, (4) pužno vratilo, (5) kotrljajni ležaj, (6) kruta spojnica i (7) elektromotor (Sankyo America, inc.)

## 2.6 Bezazorni zupčasti reduktori sa hiperboličnim zupčanicima

Bezazorni reduktori s hiperboličnim zupčanicima imaju relativno malu primenu jer se sa bezazornim pužnim reduktorima ostvaruje veća tačnost zbog veće kontaktne površine. Međutim, ovi reduktori rade sa manjim gubicima pa se zbog toga koriste na mestima dugotrajnijeg rada.

## 2.7 Cikloidni reduktori sa jednim ekscentičnim vratilom

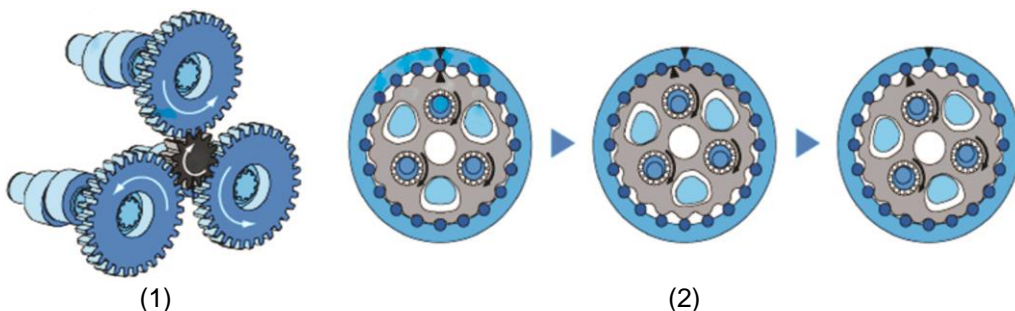
Cikloidni reduktori i pored visoke cene nailaze na sve veću primenu u mašinstvu zbog izuzetno malog zazora, dugog perioda zadržavanja tako malog zazora (zbog velikog broja zubaca u zahvatu), zbog mogućnosti prenošenja velikih obrtnih momenata i velikih prenosnih odnosa. Oni se za izrađuju u tri osnovne varijante sa jednim, dva i tri ekscentična vratila. Cikloidni reduktori sa jednim ekscentičnim vratilom i pored visoke tačnosti, imaju nešto nižu tačnost od reduktora sa tri ekscentična vratila. Princip rada ovih reduktora je prilično jednostavan. Na ulaznom vratilu se obično nalaze dva ekscentra, na kojima se nalazi po jedna bregasta ploča,





## 2.10 Cikloidni reduktori sa tri ekscentrična vratila

Cikloidni reduktori sa tri ekscentrična vratila (sl. 5) postižu najveću bezazornost. Cikloidni reduktori sa tri ekscentra rade na sličnom principu kao i cikloidni reduktori sa dva ekscentrična vratila. Sa ulaznog vratila se posredstvom bezazornog planetarnog reduktora (sl. 5-1) istovremeno pogone sva tri ekscentrična vratila.



Slika 5. Šematski prikaz principa pogona ekscentričnih vratila kod cikloidnog bezazornog reduktora sa tri ekscentra (Nabtesco)

Ekscentrična vratila, pomeraju bregaste ploče (sl. 5-2) i kotrljaju ih po valjčićima koji su postavljeni po obodu kućišta. To složeno kretanje, koje je sada znatno preciznije, zbog postojanja tri oslonca (ekscentrična vratila) prenosi se posredstvom posebno oblikovanih oslonaca, u obliku trapeza, na unutrašnji rotirajući deo reduktora tj. na izlazno vratilo (sl. 5-2). Ekscentrična vratila su uležištena u dve posebne ploče, koje, u suštini, predstavljaju izlazno vratilo, tako da se bregasta vratila obrću zajedno sa izlaznim vratilom. Ovakvim reduktorima se pored velike preciznosti postižu i veliki prenosni odnosi. Jedina mana su im ulazni cilindrični zupčanici, jer od njihove tačnosti zavisi i tačnost (bezazornost) celog reduktora.

## 2.11 Talasni bezazorni reduktori

Talasni reduktori (Harmonic Drive) imaju veliku primenu u mašinstvu zbog kompaktne konstrukcije, velikog prenosnog odnosa i velike tačnosti pozicioniranja (malog lučnog zazora). Zbog velikog stepena sprezanja pojedinačno opterećenje zubaca je relativno malo tako da nije izloženo intenzivnom habanju i oni dugo zadržavaju bezazornost a mogu se opteretiti i sa relativno velikim obrtnim momentom. Kod industrijskih reduktora postiže se tačnost od 6 ( $\pm 3$ ) ugaonih minuta a kod reduktora namenjenih za robote od 3 ( $\pm 1.5$ ) ugaonih minuta do 1 ( $\pm 0.5$ ) ugaonih minuta.

## 3. ZAKLJUČCI

Zbog sve strožih zahteva za tačnim pozicioniranjem bezazorni reduktori danas imaju sve veću primenu u mašinstvu. Pri čemu oni predstavljaju samo jednu od komponenata u pogoskom sistemu, koji se sastoji od elektromotora sa kočnicom, brojača broja obrtaja i procesora. Zahtev za što kompaktnijom konstrukcijom, kako bi se što racionalnije iskoristio raspoloživi prostor, uslovio je da se danas najčešće koriste, planetarni, harmonijski i cikloidni prenosnici. Na mestima gde se zahteva velika krutost sistema, a pogotovo na mestima gde se javlja problem pokretanja delova sa velikim masama (momentom inercije) koriste se pužni, cikloidni i harmonijski prenosnici. Posebno veliku primenu imaju cikloidni reduktori jer, kako navode njihovi

proizvođači, mogu da izdrže veliko kontra opterećenje, čak tri puta veće od nominalne vrednosti momenta. Osnovna odlika ovih reduktora je dug radni vek, odnosno, dugačak period zadržavanja bezazornosti, koji je posledica velikog broja zubaca u zahvatu i velikog broja bregastih ploča (danas obično tri). Cikloidni reduktori i pored izuzetno visoke cene, pogotovo onih sa tri ekscentrična vratila, imaju veliku primenu kod najodgovornijih sistema, gde se pored velike preciznosti zauzimanja položaja zahteva i veliki stepen ponovljivosti. Na manje odgovornim mestima koriste se ostale vrste bezazornih reduktora.

## **LITERATURA**

- [1] Kuzmanović, S., Rackov, M.: BEZAZORNI REDUKTORI U VOJNOM MAŠINSTVU, časopis Naučnotrhničke informacije – Vol. XLVII No.1-2012, Vojnotehnički institut Beograd, ISSN 1820-3418
- [2] Kuzmanović, S.: UNIVERZALNI ZUPČASTI REDUKTORI SA CILINDRIČNIM ZUPČANICIMA. Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2009. ISBN 978-86-7892-202-2
- [3] ONDRIVES Products Manufacturing, Gear Products 2011
- [4] Getriebebau NORD, Drivesystems, Feste Drehzahlen, G 1000
- [5] Catalog NEUGART, Standard Planetary Gearbox – Precision Gearboxes
- [6] [www.fullmelon.com](http://www.fullmelon.com)
- [7] [www.conedrive.com](http://www.conedrive.com)
- [8] [www.ssdrives.fr](http://www.ssdrives.fr)
- [9] [www.acpd.co.uk](http://www.acpd.co.uk)
- [10] [www.candycontrols.com](http://www.candycontrols.com)
- [11] [www.sumitomodriveeurope.com](http://www.sumitomodriveeurope.com)
- [12] [www accuraterebalancing.com](http://www accuraterebalancing.com)
- [13] [www.maintenanceresources.com](http://www.maintenanceresources.com)
- [14] [www.motec.co.uk](http://www.motec.co.uk)
- [15] [www.rinomechanical.com](http://www.rinomechanical.com)
- [16] [www.sankyoamerica.com](http://www.sankyoamerica.com)
- [17] [www.heason.com](http://www.heason.com)
- [18] [www.nabtescomotioncontrol.com](http://www.nabtescomotioncontrol.com)
- [19] [www.harmonicdrive.de](http://www.harmonicdrive.de)



## OBLICI I UZROCI ZAMORNOG OŠTEĆENJA BOKOVA ZUBACA ZUPČANIKA I NJIHOVA PREPOZNAVANJA

Predrag Živković<sup>1</sup>

**Rezime:** Zupci zučanika su oštećeni, kada zupčanici ne mogu da budu u daljoj upotrebi i da efektivno izvršavaju funkciju za koju su namenjeni. Izazivači oštećenja su u rangu: od inicijalnog i progresivnog trošenja do potpunog loma zubaca. Oštećenja zupčanika se u mnogim slučajevima mogu preventivnim delovanjem sprečiti ili umanjiti. Kada se oštećenja ne javljaju tada je omogućeno ispravno funkcionisanje. Bez obzira na to, kada oštećenja nastaju, mogu se izbeći u početnoj fazi konstruisanja ili kod novih konstrukcija zupčanika. Za izbegavanje pojave oštećenja, najvažnija je pomoć konstruktoru da prepozna početak, i oblik početnih oštećenja, stadijum, napredovanje, i uzrok nastajanja.

U radu su navedeni neki oblici oštećenja. A rad se bazira na oštećenja od pitinga i glavne faze oštećenja zubaca zupčanika, uključujući i uzroke, pojave i efektivne postupke primene u cilju izbegavanja oštećenja.

**Ključne riječi:** bok zupca, habanje zubaca, zupčanik

### FORMS AND CAUSES OF FATIGUE GEARS TOOTH FLANK FAILURE AND THEIR IDENTIFICATION

**Abstract:** Gear tooth are worn out when gears can no longer be used to effectively do the functions they were intended for. Wear causes are in range of initial and progressive wear to complete fracture of tooth. In many cases, gear wear can be prevented or reduced with preventive actions. Proper functioning is possible when gear wear does not occur. Regardless, when wear does occur it can be avoided in the initial phase of construction or in new constructions of gears. To avoid wear, the most important help for the constructor is to recognize the start and shape of initial wear, stage, progression, cause and procedure of avoid them. Following work lists forms of wear. It is based on pitting wear and main phase wear of gear tooth flanks, including causes, phenomena and effective procedures prevention of wear expansion.

**Key words:** teeth flank, teeth wear, gear

---

<sup>1</sup> Dr Predrag Živković, Univerzitet u Prištini, Fakultet tehničkih nauka, Kosovska Mitrovica, jomine@sbb.rs

## 1. UVOD

Zupčanici su vitalni delova prenosnika snage, pa se od njih zahteva pouzdan i siguran rad, da ne dodje do pojave oštećenja zubaca. I pored toga, u radu dolazi do pojave oštećenja samih zubaca, time i promena radnih karakteristika prenosnika, čiju su sastavni delovi, i mogu da izazovu oštećenja celog sklopa delova, pa čak i da izazovu katastrofalne posledice na prenosnicima snage.

U toku rada zupci zupčanika preko svojih bokova prenose opterećenje, uz međusobno relativno kotrljanje bokova zubaca praćeno klizanjem i kotrljanjem. Usled ovih opterećenja na bokovima zubaca javljaju se naprezanja površinskih slojeva izazvana kontaktnim – *Hertz*-ovim pritiscima uz istovremeno relativno klizanje bokova zubaca. A u podnožu zubaca javljaju se naprezanja na savijanje. Zupci zupčanika u toku svog radnog veka, kao vitalni delovi u prenosnicima snage, su izloženi opterećenjima sa cikličnim stohastičnim promenama visokih vrednosti. Pa su i oštećenja bokova zubaca pa i lomovi, česta pojava, na koju se po nekada čak i ne može preventivno delovati. Što dovodi do katastrofalnih oštećenja i lomova svih delova prenosnika snage. Na pojavu razaranja i lomove zubaca se može preventivno delovati, ako se obrati pažnja u početnoj fazi projektovanja. Uzimajući u obzir sve oblike i pojave oštećenja koje se mogu javiti u radu. I da se utiče, u samoj fazi projektovanja ili praćenjem ponašanja u toku rada. Prepoznavanjem preko indikatora u radu, kao što je povišena temperatura prenosnika, povećani nivo vibracija i buke, kontrola sredstva za podmazivanje i dr.

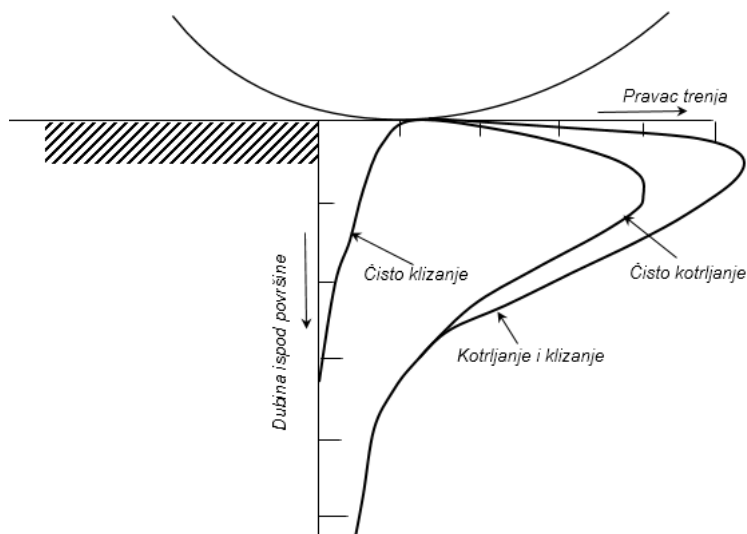
Tabela 1. *Oblici razaranja zubaca zupčanika [1]*

Oblici razaranja zubaca zupčanika	Scoring-zarezivanje	inicijalno zarezivanje	
		umereno zarezivanje	
		razorno zarezivanje glačanjem	
	habanje	adhezivno	glačanje glađenjem
			umereno habanje
			prekomerno habanje
		abrazivo	
		korozivno	
	Piting	Inicijalni piting	
		destruktivni piting	
		spalling-otcepljenje	
		slučaj drobljenja	
	Plastične deformacije	hladno tečenje od kotljanja	
		nastale grebanjem	
		pojava žlebova od grbanja	
Lom zubaca	zamorni lom		
	lom izazvan propterećenjem		
	slučajni nastanak loma zupca		
	lom venca i tela zupčanika		

Oštećenja i razaranja zubaca zupčanika mogu se javiti u različitim režimima rada. U zavisnosti od vrste opterećenja i radnih uslova na zupcima spregnutih zupčanika se javlja više od 20 različitih vidova oštećenja, prema ISO 10825 [1]. U radu će biti obuhvaćeni oblici oštećenja od pitinga, koji se mogu indicirati u početnoj fazi i na kojima se preventivno može delovati u cilju reparacije. Oblici oštećenja zubaca zupčanika, dati su u tabeli 1.

## 2. NASTAJANJE POVRŠINSKOG ZAMORA OD KLIZANJA I KOTRLJANJA

Čisto kotrljanje, uslovno postoji, ako su relativne brzine kotrljanja iste, kod dve kontaktne površine iste zakrivljenosti. Međutim, zbog pojave klizanja, brzine kotrljanja su različite, pa se time menja i raspodela opterećenja na kontaktnim površinama. U zavisnosti od relativnih brzina, na kontaktnim površinama, pravci kotrljanja i klizanja se mogu javiti u istom smeru – **pozitivno klizanje**, ili u suprotnim pravcima – **negativno klizanje**. Efekat druge pojave je, da se na dodirnim površinama materijal sabija u jednom smeru, i gura (klizi) u drugom, pa su kontaktni naponi na tim mestima veći od napona koji se javljaju od pozitivnog klizanja [3,4]. Raspodela kontaktnih napona, nastalih od kotrljanja i klizanja, prikazana je na slici 1. Maksimalni napon smicnja je bliži površinama kontakta, pa se stoga i prslina javlja na površina kontakta.



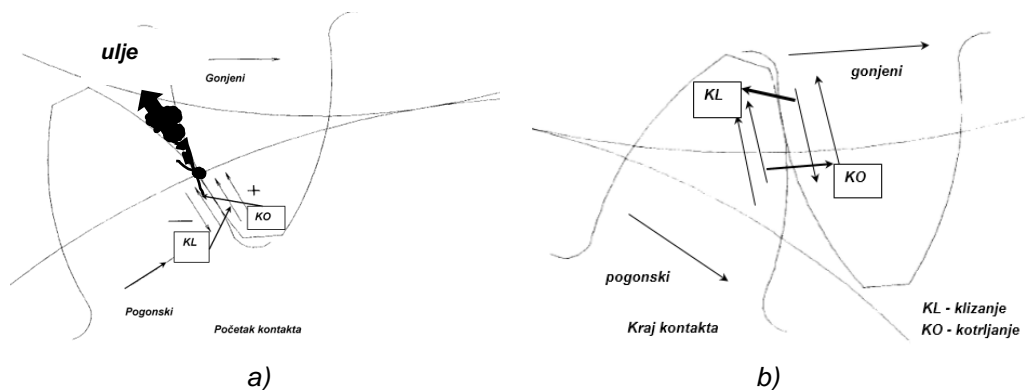
Slika 1. Raspodela kontaktnog napona dve kontaktne površine u uslovima klizanja i kotrljanja[1]

Zubci zupčanika su izloženi kompleksnoj kombinaciji od klizanja i kotrljanja, zbog svojih specifičnih oblika bočnih površina, koji variraju duž profila svakog zubca, što je ilustrovano prikazano na slici 2.

Kod gonjenog zupčanika, smer klizanja i kotrljanja je isti, pa tu vladaju pozitivni ulovi klizanja. Kod pogonskog, u podnožju zubaca, pravac kotrljanja i klizanja je suprotan, pa se tu javljaju negativni uslovi klizanja. Zbog toga je više izražen kontaktni zamor u podnožju zubca, sa kontaktnim naponom visokih vrednosti, pa se kao rezultat toga javlja zamorno savijanje podnožja[1].

U praksi, je uobičajeno da se oštećenje od kontaktnog zamora javlja u podnožju zubca manjeg zupčanika (sto je obično pogonski), nego kod gonjenog. To se objašnjava činjenicom, da se manji zupčanik obrće sa većim brojem obrtaja, ima veći broj sprežavanja bokova, te su zupci izloženi većim brojem ciklusa promene napona. U cilju sprečavanja prevremenog zamornog oštećenja, u takvim slučajevima, to je uobičajeno, da se mali zupčanik izrađuje sa većom tvrdoćom od ostalih zupčanika u setu. Uočen je još jedan region u kome se javlja oštećenje zubaca od zamornog kontakta, a to je poslednja tačka, kada zubac izlazi iz sprege. To je glava zubca, kada je dodirna površina kontakta sa podnožjem gonjenog mala, pa se javljaju enormno

visoki kontaktni naponi. Tada se na glavi pogonskog, javlja pozitivno klizanje, a u podnožju gonjenog, negativno klizanje. Sto je ilustrovano prikazano na slici 2.



Slika 2. Kombinacija od klizanja i kotrljanja na bokovima zubaca zupčanika[1]

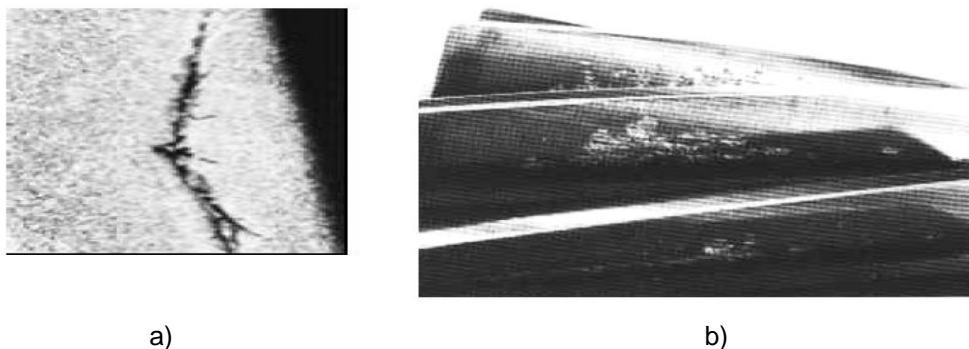
Zupci zupčanika preko svojih bokova prenose opterećenja uz međusobno relativno kretanje bokova zubaca praćeno kotrljanjem i klizanjem. Usled ovih opterećenja na bokovima zubaca javljau se naprezanja površinskih slojeva izazvana kontaktnim (*Hertz – ovim*) pritiscima uz istovremeno relativno klizanje bokova zubaca. Oštećenja bokova zubaca se javljaju posle određenog perioda rada. U tom perioda rada bokovi zubaca zupčanika izloženi su naponima visokih vrednosti, i posle određenog broja promena opterećenja, odnosono broja spreznjanja bokova od  $10^5$  do  $10^7$  dolazi do pojave površinskog oštećenja. A kao jedan od oblika tih razaranja bokova, javlja se oblik oštećenja pojavama malih jamica i rupica - pitinga.

### 3. MEHANIZAM NASTAJANJA PITINGA

Piting predstavlja razaranje bokova zubaca i opisuje se pojavom malih jamica i rupica, veličine od nekoliko desetina  $\mu\text{m}$  pa sve do 0,3 mm [3]. Razaranja bokova zubaca nastaju kao posledica površinskih pritisaka, visokih vrednosti koji se javljaju na bokovima zubaca. Što dovodi do zamora materijala i do pojave mikropukotina ispod bočne površine zupca.

Nastajanje pitinga se odvija po određenom mehanizmu, ilustrovano prikazano na sl. 2.a i sl.2.b. Koji se objašnjava time, da su površine bokova zubaca u toku svog spreznjanja izloženi *Hertz*-ovom pritisku i smicanju zbog međusobnog klizanja bokova zubaca. Naponi koji se pri tome javljaju, normalni i tangencijalni, mogu biti veći od granice izdržljivosti materijala, a to dovodi do pojave mikropukotina najčešće ispod površine bokova zupca. Tako nastale mikropukotine imaju tendenciju širenja prema površini boka zupca pod uglom od  $5^\circ$  do  $20^\circ$ , posmatrano u smeru klizanja bokova. Kao uzrok pojave mikropukotina mogu biti i zarezi kao posledica hrapavosti, koji se javljaju izradom zupčanika, i predstavljaju izvor koncentracije napona. U nastale pukotine, ulazi ulje koje se u toku spreznjanja potiskuje i biva zatvoreno i pritisnuto bočnom površinom zupca spregnutih zupčanika, pri čemu pritisak ulja, od takvog pritisivanja, raste. Tokom procesa spreznjanja, pukotine se stalnim zatvaranjem i otvaranjem i dalje povećavaju, pri čemu se javlja pojava lomljenja delića materija po njihovim ivicama, i ispadanje odlomljenih čestica materijala. Pukotine izazvane naizmeničnim ulaskom i izlaskom ulja, se povećavaju, sve dok ne postanu dovoljno velike da dođe do isticanja ulja iz zone pritiska bokova zubaca. Otkinuti delovi

materijala imaju trouglasti oblik a početne pukotine prelaze u jamice. Pri čemu se javlja dalje širenje jamica, izazvano kontaktnim naprezanjima i tangencijalnim naponima u smeru klizanja. Tendencija otvaranja i povećanja pukotina, zavisi od smera klizanja u odnosu na smer pukotine. Ako se nagib pukotine poklapa sa smerom klizanja, zbog poršinskog opterećenja doći će najpre do otvaranja pukotina i njenog punjenja uljem, pa tada bok zupca spregnutog zupčanika zatvara pukotinu i povećava pritisak ulja (sl.2.a, i sl.3.a). Pritisak ulja, na ovaj način i sam širi pukotinu.

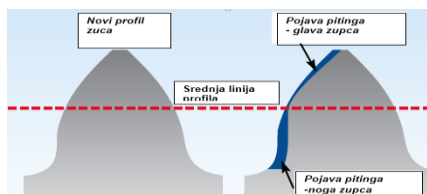


Slika 3. *Pojava prslina ispod površine boka zupca i početak nastanka pitinga od ispadanja polomljenih čestica materijala [4]*

Na slici 3.a, ilustrovano je prikazan, jedan od oblika nastanka prslina, pre pojave jamica, ispod površine boka zupca. A na slici 3.b, nastanak početka pitinga, nakon ispadanja polomljenog materijala.

U slučaju suprotnog nagiba u odnosu na smer klizanja, prvo dolazi do istiskivanja ulja, pa tek onda dolazi do opterećenja između same pukotine. Na ovaj način, u ovom slučaju, pritisak ulja ne utiče na tendenciju širenja pukotina, a time je i proces oštećenja sporiji.

Na smer pukotina i skidanja materija sa bokova zubaca, utiče smer sile trenja na boku zupca (sl.2). Razaranja od pitinga se najpre javlja na pogonskom zupčaniku, zbog toga što sila trenja deluje od kinematske kružnice ka temenu i ka podnožju zupca. U istom smeru i postoji tendencija pomeranja površinskih slojeva materijala boka zupca. Kod gonjenog je obrnuto. Na kinematskoj kružnici brzina klizanja je nula, pa u toj zoni nema tendencije pomeranja površinskih slojeva. Pa pošto je kod pogonskog zupčanika sila trenja usmerena od kinematske kružnice ka temenom delu zupca, postoji tendencija razvlačenja gornjeg sloja materijala. A izgled profila zupca manjeg zupčanika sa potencijalnim zonama pojave pitinga, ilustrovano je prikazano na slici 4.



Slika 4. *Zone pojave pitinga duž profila zupca manjeg zupčanika*

Kod gonjenog zupčanika je obrnuto. Postoji tendencija sabijanja gornjeg sloja materijala ka kinematskom cilindru. To znači, pukotine na bokovima zubaca kod pogonskog zupčanika, biće suprotno usmerene u blizini kinematske kružnice, a to dovodi do većih površinskih pukotina i jamica. Kod velikog gonjenog zupčanika takve opasnosti ne postoje. A i mali zupčanik ima veći broj promena opterećenja u odnosu na veliki, pa je i zbog toga ugroženiji od njega.

Kao poseban vid pitinga, kod otvrdnutih površina bokova zubaca, može se javiti cepljenje i ljuštenje delova bokova zubaca sa krtime oblikom preloma (sl. 5). Pa se ovakav vid oštećenja naziva otcepljenje ili spalling.



Slika 5. Ljuštenje, otcepljenje – spalling [4]

#### 4. OŠTEĆENJA BOKOVA ZUBACA ZUPČANIKA I NJIHOVA PREPOZNAVANJA

Piting kao površinsko oštećenje bokova zubaca nastaje, kada se prekorači granica izdržljivosti materijala, a oblik i vid ovakvog razaranja zavisi od veličine kontaktnih napona i broja ciklusa promena opterećenja. Po ISO 10825, razlikuje se:

- početni, inicijalni piting,
- destruktivni piting,
- ocepljenje – spalling i
- slučaj pojave drobljenja.

- *Inicijalni piting*: opisuje se pojavom malih jamica, i javlja na početku rada novog zupčanika. Tada dolazi do izravnjavanja površina, koje su posledica hrapavosti, i stvaranje dovoljne površine nošenja, koja može da prenese celokupno opterećenje bez oštećenja. A može se javiti i kao posledica visokih vrednosti površinskog pritiska, koji se javlja i posle izravnjavanj neravnina.

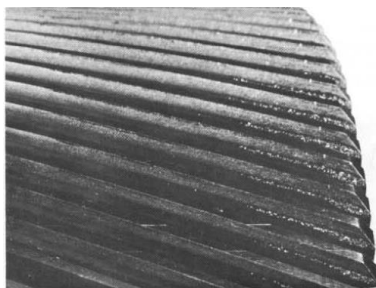
- *Uzrok pojave*: obično je uzrok pojave inicijanog početnog pitinga, u početku rada zupčanika, zbog ne prilagođenog ispravnog dodira bočnih površina bokova. Uzrokovano, zbog hrapavosti bokova zubaca i netačnosti izrade zupčanika ili nepravilnog prenošenja opterećenja duž linije dodira spregnutih zupčanika izazvani nepravilnom montažom (sl.6).

- *Preporuka za otklanjanje pojave*: Ovaj vid oštećenja se može izbeći finom obradom bokova zubaca spregnutih zupčanika – brušenjem bočnih površina. I korekcijom bočnih površina dodira, u cilju prilagođavanja, spregnutih bokova zubaca zupčanika da bi se postigla što veća ravnomernost raspodele opterećenja duž bočne linije spregnutih zubaca u sprezi. Ili po mogućnosti, smanjiti opterećenje da ne dođe do prekoračenja granice izdržljivosti, od kontaktnih naprezanja materijala zučanika.

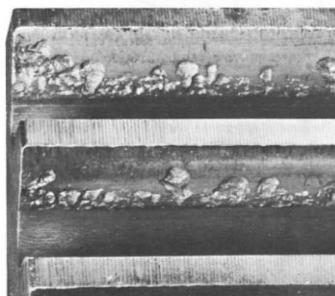
- *Destruktivni piting*: se javlja i posle izravnjavanja početnih neravnina bokova zubaca i nastavi dalje oštećenje, zbog površinskog pritiska visokih vrednosti ili mogućeg preopterećenja. Karakteriše ga pojava jamica većih dimenzija, nego kod početnog, i ispadanje veće količine materijala sa bokova spregnutih zubaca. Uobičajeno se javlja u području od kinematske kružnice ka podnožju. Što slabi koren



zupca (sl.4), pa time i povećava mogućnost pojave zamornih napona podnožja, na savijanje do loma.



Slika 6. Inicijalni-početni piting [3,4]



Slika 7. Destruktivni piting[4]

- *Uzrok pojave:* Destruktivni piting, se javlja kao rezultat mogućih preopterećenja, koja nisu mogla biti izbegnuta u radu zubaca zupčanika, u periodu rada sa pojavom inicijalnog pitinga. Pa je tako nastala mogućnost ubrzanog oštećenja bokova zubaca. Za ovakvu pojavu, potrebna je samo jedana dovoljno visoka promena preopterećenja da se rapidno poveća ubrzano razaranje pa i da dođe do pojave loma zupca (sl.7).

- *Preporuka za otklanjanje pojave:* Destruktivni piting se može izbeći da se strogo vodi briga da ne dođe do pojave mogućih preopterećenja i njihovo izbegavanje, da se nebi prekoračile granice izdržljivosti materijala od površinskog razaranja. Takođe, se može izbeći pojava ovog pitinga, pravilnim izborom materijala i povećanjem tvrdoće bokova zubaca. Da se na taj način poveća granica izdržljivosti od kontaktnih naprezanja. Ili se čak može izbeći, samo otvrdnjavanjem površinskog sloja bokova zubaca malog zupčanika.

- *Otcepljenje – spalling:* je slično površinsko razaranje kao destruktivni piting, s tom razlikom, što su jamice veće i dublje, a otcepljeni material sa bokova zubaca karakteriše se oblikom krtoq preloma (sl.8). A otcepljeni material i nastale jamice su neujednačenih veličina. I nastaje prvenstveno zbog neujednačene strukture materijala, koja je posledica termičke obrade, kao i prednapona usled zagrevanja pri završnoj obradi brušenjem.

- *Uzrok pojave:* otcepljenje – spalling, se javlja kod nepredvidjenih pojava prekomernog preopterećenja, a time i kontaktnih napona. Manifestuje se pojavom otcepljenja materijala sa bokova zubaca spregnutih zupčanika. I ljuštenjem delova materijala sa bokova zubaca sa krtoq oblikom preloma.

- *Preporuka za otklanjanje pojave:* Kontaktni naponi kod ovakvih pojava razaranja bokova zubaca, mogu se izbeći primenom materijala sa visokim vrednostima površinke čvrstoće. Kod ovakvih slučajeva, treba preventivno delovati u početnoj fazi pojave početnog pitinga, smanjenjem opterećenja, da se ne dese katastrofalna razaranja bokova spregnutih zubaca.

- *Slučaj drobljenja:* je pojava oštećenja bokova zubaca zupčanika, koja nastaje slučajnim lomom dela zupca. Kada taj deo upadne u međuzublja u procesu spreznja izaziva oštećenja bokova zubaca. Takvo odvajanje delova zubaca se može javiti upadanjem stranog tela u međuzublja, prekomernim i/ili nepredvidivim opterećenjem ili zbog nehomogene strukture materijala, koja je posledica termičke obrade i/ili prednapona usled zagrevanja pri završnoj obradi brušenjem. Javlja se i u vidu naprslina po bočnoj površini zupca (sl.9b)

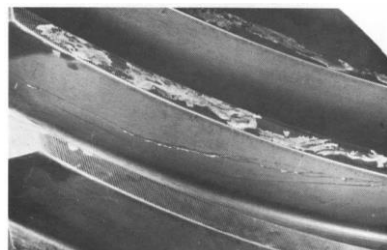
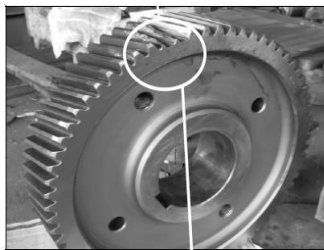
- *Uzrok pojave:* otpadanje delova zupca od nasilnog loma (sl.9), izazvano preopterećenjem, zbog nehomogenosti materijala i/ili greške nastale termičkom

obradom. Kao posledica toga, javljaju se veoma složena razaranja bokova zubaca i to od početnog pitinga pa do katastrofalnih lomova.

- *Prepruka za otklanjanje*: pravilnim izborom materijala moguće je izbeći ovu pojavu i osigurati prenosnik od slučajnih preopterećenja. Da bi se izbegla ovakva pojava razaranja, treba izabrati material za pogonski i gonjeni zupčanik tako da se kod pogonskog ojača površinski sloj do tvrdoće od 45HRC a kod gonjenog 30-32 HRC.



Slika 8. Oštećenje otvrdnutog boka zupca[4]



Slika 9. Lomovi zubaca po temenu zupca i nasilni lom po bočnoj površini zupca[4]

## 5. ZAKLJUČAK

Broj mogućih oštećenja zubaca zupčanika veći je od 20, u radu je dato samo nekoliko od njih. Sagledavanjem rada može se doći do sledećih zaključaka:

- oštećenja zubaca zupčanika u prenosnicima, predstavljaju veliku opasnost u pogledu bezbednosti osoblja, i mogu biti uzrok velikih materijalnih šteta,
- dat je pregled oblika razaranja nastalih od pitinga,
- opisan je mehanizam nastanka pitinga, radi lakšeg razumevanja nastanka zamornih oštećenja,
- opisani su u kratkim navodima uzroci nastanka mogućih oštećenja,
- dat je predlog prepoznavanja-ilustrativno i postupak izbegavanja, navedenih oštećenja bokova zubaca zupčanika.

**ZAHVALNOST** : Rad je podržan projektom, TR35006, od strane: Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, R.Srbije

## LITERATURA

- [1] ISO 10825:1995 -08-01 – Gears – Wear and damage to gear teeth – Terminology
- [2] T. A. Stolarski. Tribology in Machine Design, Technology&Engineering, 1990-298. ISBN 0 75063623 8.
- [3] P.J.L. Fernandes, C. McDuling. Surface contact Fatigue Failures in Gears, *Journal of Engineering Failure Analysis*, Vol.4, N.2, Elsevier Science, 1997.
- [4] Arvind Yadav, Diferent types Failure in gears-A Review, *Internal Journal of Science, Engineering and Technology Reasrch (IJSETR)*, Vol.1, Issu 5, November 2012.
- [5] Heinz P.Bloch, Fred K. Geinter, *Machinery Failure Analysis and Troubleshooting: Practical Mashinery*. Fourth Edition published by Butterworth – Heinemann
- [6] Alban, L. E., *Systematic Analysis of Gear Failures*. American Society for Metals, Metals Park, OH, 1985, pp. 94-106.
- [7] Samroeng Netpu1, Panya Srichandr, *Failure Analysis of a Helical Gear*, The First TSME International Conference on Mechanical Engineering 20-22 October, 2010, Ubon Ratchathani



## ANALYSIS OF PRE-STRESSES CAUSED BY WIRE TENSION OF STONE CUTTING MACHINE

Dragan Čukanović<sup>1</sup>, Milan Blagojević<sup>2</sup>, Snežana Vulović<sup>3</sup>, Miroslav Živković<sup>4</sup>

*Abstract: In this paper finite element model of machine for stone cutting is created. In accordance with the real working environment appropriate boundary conditions are applied. Pre-stress static analysis is performed. Results of analysis and field of von Mises equivalent pre-stress are shown. Based on the results of analysis appropriate conclusions are presented.*

*Key words: Pre-stress, Static analysis, Stone cutting machine, FEM*

### 1. INTRODUCTION

In the modern age of technology, sophisticated devices and structures, software for the calculation and simulation behavior are widely used. Based on different theoretical methods these programs are effectively used in different areas of industry. The main task is to create 2D or 3D models as well as to do static and dynamic linear and nonlinear analysis in order to predict the behavior of structures in a real working environment. Today, software based on finite element method (FEM) has become one of the most frequently used method for solving such problems.

Pre-stress static analysis provides an opportunity to simulate how a prestiffened or prestressed structure affects your model's deformations, stresses and strains. This type of analysis determines the strengthening or weakening of the part due to the applied loads. Results of a previously run pre-stress static analysis can be the starting point for some other type of analysis. Pre-stress static analysis can be run for the different problem and situations. For example, if the specified loads in the static analysis are close in magnitude to a corresponding buckling load. In this case, the prestiffening effects are negligible from a static analysis. Also, if applied loads affect the stiffness of the model. For example, if there is a model with an existing load that projects an existing force. Beside above mentioned, pre-stress static analysis can be run in order to get more specific information about the model.

In this paper the analysis goal is the pre-stresses analysis of the machine for stone cutting. The analysis is performed using finite elements model generated by software Femap. Calculations are performed by software NX Nastran [1].

<sup>1</sup>Dragan Čukanović, Assistant, University of Kosovska Mitrovica, Faculty of Technical Sciences, dragan.cukanovic@pr.ac.rs

<sup>2</sup>Milan Blagojević, PhD student, University of Kragujevac, Faculty of Engineering, blagoje@kg.ac.rs

<sup>3</sup>Snežana Vulović, Scientific associate, University of Kragujevac, Faculty of Engineering, vsneza@kg.ac.rs

<sup>4</sup>Dr Miroslav Živković, Full professor, University of Kragujevac, Faculty of Engineering, zile@kg.ac.rs

## 2. MODEL

Machine is modeled using software Femap with NX Nastran solver. According to the construction type, shell elements of the appropriate thickness, 3D elements (for modeling some part of rollers), beam element and rod elements (for modeling wires) are used for creating the finite element mesh. Structure is modeled in details with 151527 elements and 167273 nodes. Figure 1 shows the FE model of the machine with 40 wires.

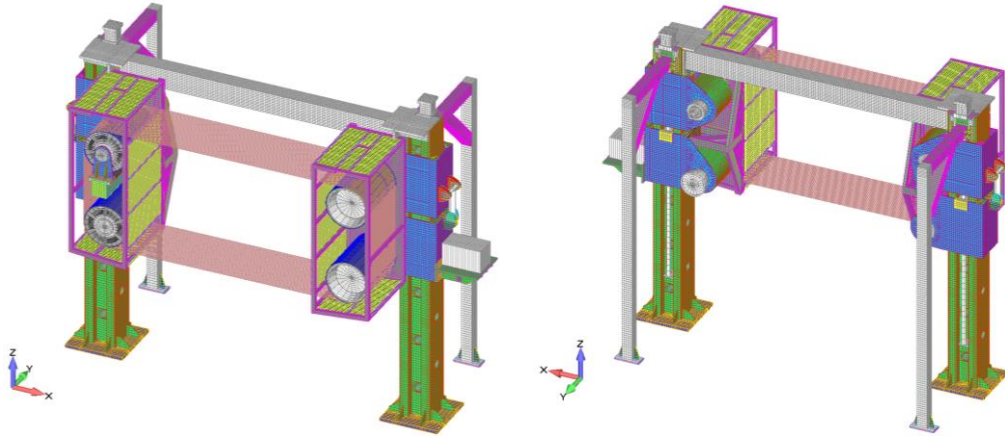


Figure 1. *Finite element model*

### 2.1 Material characteristics

Structural components are made of steel except small rollers, that are made of aluminum. Over the rollers there is a polyurethane strip with 90 Sh [2]. Table 1 shows physical characteristics of materials.

Table 1. *Material properties*

Materials	$E$ [ $N/mm^2$ ]	$\rho$ [ $kg/mm^3$ ]	$\nu$
Steel	$2.1 \cdot 10^5$	$7.8 \cdot 10^{-6}$	0.3
Aluminum	$70 \cdot 10^5$	$2.7 \cdot 10^{-6}$	0.34
Polyurethane	$0.025 \cdot 10^5$	$1.2 \cdot 10^{-6}$	0.49

### 2.2 Loads

The goal of this analysis is to determine the pre-stresses caused by wire tension before cutting. The tension force in the wire before cutting process is  $F_w=2500$  N. Wire tension is simulated by thermo-mechanical analysis. On the nodes that belong to elements that represent wire, force of tension corresponding to the given temperature is applied. On the driving roller friction force is acting during the cutting. Friction force in the wire is  $F_f=M/R_w=370N$ , where  $M=150Nm$  is the drive torque, and  $R_w=0.406$  m is diameter of drive roller. Friction forces are given as a concentrated force on the drive roller, see figure 2.

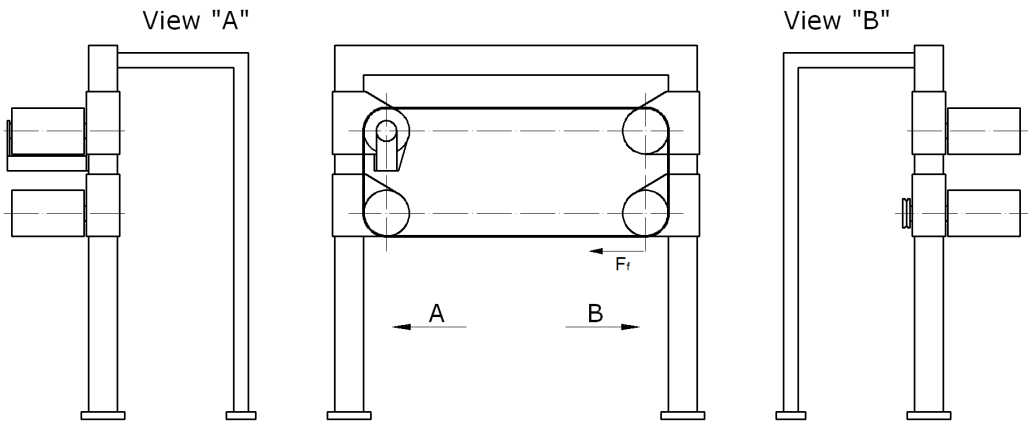


Figure 2. Friction force

### 2.3 Boundary conditions

Boundary conditions are given in accordance with the requirements of the real construction of machine. All nodes at the contact surface between machine and base are fixed, figure 3. Colors in figure 3. match the various thickness of shell elements. At the locations of small wheels, which provide vertical guidance of moving parts, constraint equations are given, see figure 3.

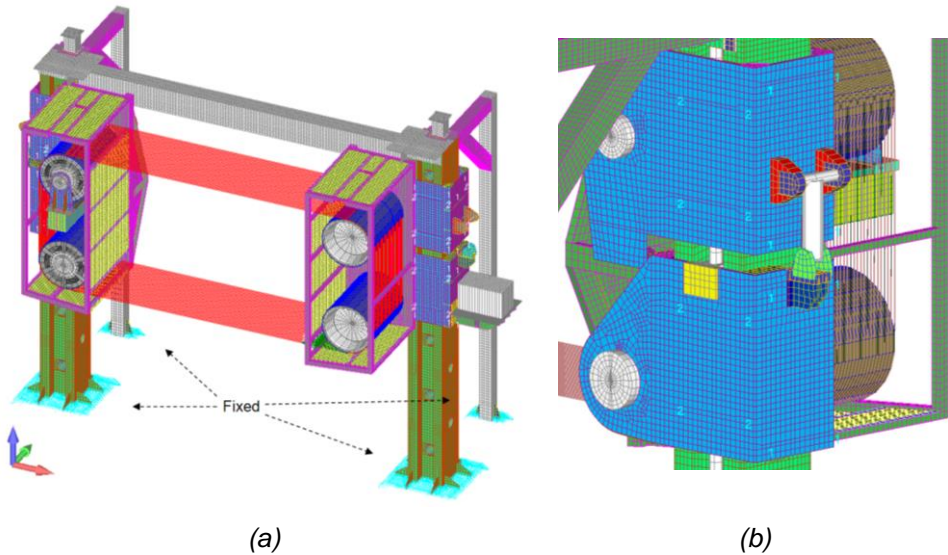


Figure 3. Boundary conditions

### 3. RESULTS

Figure 4 shows field of von Mises equivalent pre-stress in structure before the cutting process. Maximal value of the equivalent stress is 85.8 MPa [3].

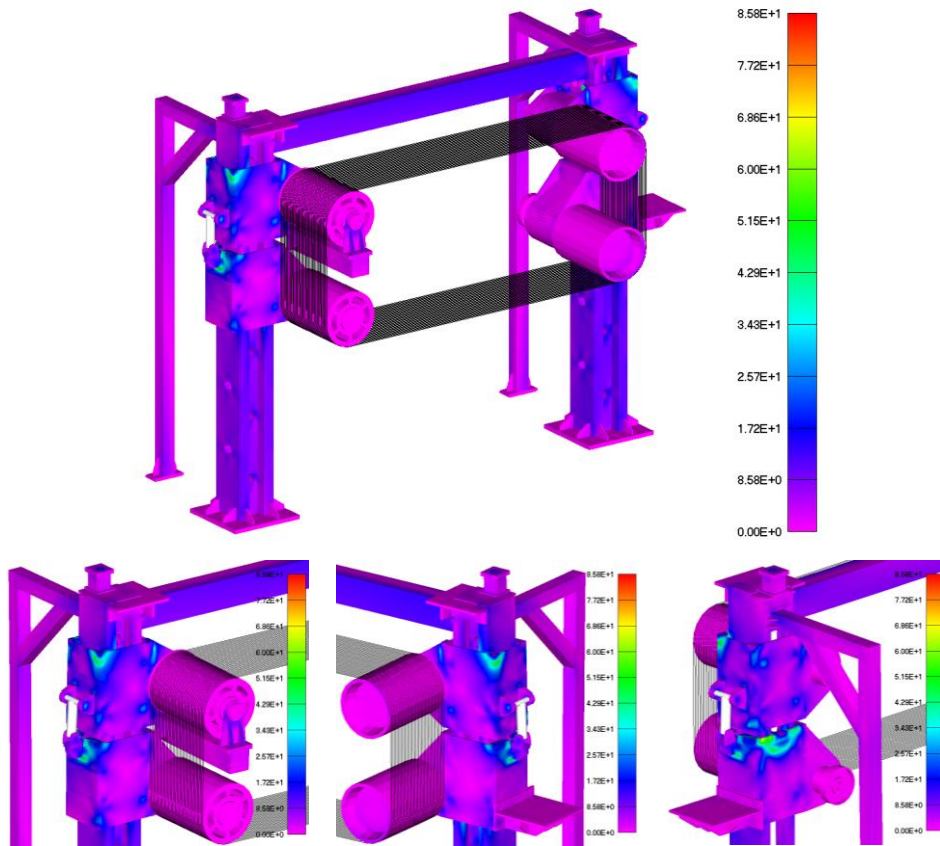


Figure 4. Field of von Mises stress

#### 4. CONCLUSION

The finite element model of the machine for stone cutting is presented. Loads and constraints are modeled very realistically.

Stresses occurring in the structure due to the wire tension is relatively low. They are far below the yield stress for the material of which the machine is made.

In the future work, this model will be used for modal and dynamic analysis. Particularly it is interesting effect of prestressing on own frequencies of machine.

#### ACKNOWLEDGMENT

The part of this research is supported by Ministry of Education, Science and Tehnological Development, Republic of Serbia, Grant TR32036.

#### LITERATURA

- [1] Femap with NX Nastran V.10
- [2] EN 10025 - European structural steel standard – Grade designations, properties and nearest equivalents.
- [3] Eurocode 3: Design of Steel Structures 1.





## UTICAJ GEOMETRIJE NA RASPODELU OPTEREĆENJA KOD KARDANOVIH SPOJNICA

Zoran Stamenić<sup>1</sup>, Mileta Ristivojević<sup>2</sup>, Marko Tasić<sup>3</sup>.

*Rezime: Sve veća složenost mašinskih sistema uslovljava i sve veće troškove razvoja, proizvodnje i eksploatacije. Istovremeno zahtevi u pogledu energetske i ekološke efikasnosti, pouzdanosti, radnog veka i nosivosti su sve veći. Kardanove spojnice su posebna vrsta mehanizama za prenošenje obrtnog momenta, odnosno snage, koji spajaju vratila čije se ose nalaze prostorno pod izvesnim stalnim ili u toku rada promenljivim uglom, dozvoljavajući, pri tome, u toku vremena relativno pomeranje. Glavni pokazatelji radne sposobnosti kardanovih spojnica je njihov radni vek i stepen pouzdanosti. Najveći uticaj na ove pokazatelje radne sposobnosti ima karakter raspodele linijskog opterećenja kod spregnutih delova Kardanove spojnice. U cilju rasvetljavanja fenomena raspodele linijskog opterećenja i sagledavanja stepena kompatibilnosti između geometrijskih karakteristika spregnutih delova i raspodela linijskih opterećenja, u radu su prikazani analitički modeli pod odgovarajućim pretpostavkama.*

*Ključne reči: analitički model, geometrija kardanovog krsta, radijalni zazor, raspodela linijskog opterećenja*

### INFLUENCE OF GEOMETRY ON CARDAN JOINT LOAD DISTRIBUTION

*Abstract: The increasing complexity of the mechanical systems, causes the increasing costs of development, production and exploitation. At the same time the requirements in terms of energy and environmental efficiency, reliability, service life and load capacity are increasing too. Cardan joints have a large range of applications in mechanical engineering because of the capability of transferring the load and motion from one shaft to another with different joint angle allowing, thereby, over time relative movement. This movement can be angular and translational. The main indicators of functional ability of cardan coupling are their service life and reliability. The greatest influence on these indicators of functional ability has the character of the linear load distribution on cardan joints rolling parts. In order to shed some more light to the phenomena of linear load distribution and correlation between the geometric characteristics of rolling elements and the distribution of the linear load, analytical models under appropriate assumptions are established in this paper.*

<sup>1</sup> Doc. dr Zoran Stamenić, Univerzitet u Beogradu-Mašinski fakultet (CA), zstamenic@mas.bg.ac.rs

<sup>2</sup> Prof. dr Mileta Ristivojević, Univerzitet u Beogradu-Mašinski fakultet, mristivojevic@mas.bg.ac.rs

<sup>3</sup> Marko Tasić, Tehnikum Taurunum, College of Applied Sciences Belgrade, mristivojevic@mas.bg.ac.rs

*Keywords: Analytical model, Geometry of cardan cross, Radial clearance, Linear load distribution*

## 1. UVOD

Generalno posmatrano, svi mašinski sistemi se sastoje od pogonske i radne grupe, odnosno pogonske i radne mašine. Spoj ovih mašina se ostvaruje posebnim sklopovima, mašinskim elementima – spojnicama. Njihova osnovna funkcija je prenošenje opterećenja i kretanja sa pogonske na radnu mašinu. Poznato je da su spojevi najčešće najslabija karika u svakom mašinskom sistemu. Oni značajno utiču na kvalitet mašinskih konstrukcija, ne samo sa aspekta radne sposobnosti i pouzdanosti, već i sa aspekta radnih performansi u pogledu nosivosti, energetske i ekološke efikasnosti [1,2].

Saglasno velikom skupu različitih radnih i pogonskih mašina sa aspekta radnih performansi, razvijen je veliki broj različitih spojnica [3]. Najveći broj ovih spojnica je razvijen za spajanje pogonskih i radnih mašina čiji se položaj međusobno ne menja u toku eksploatacije. Međutim, kod poljoprivrednih i drugih transportnih sredstava, industriji, uslovi rada nalažu različite međusobne položaje pogonske i radne mašine. Zbog specifičnosti uslova rada, razvijen je znatno manji broj spojnica koje spajaju ove vrste pogonskih i radnih mašina. Pioniri u konstrukciji ovih spojnica su Đerolamo Kardan (*Gerolamo Cardano* 1501-1576), i Robert Huk (*Robert Hooke* 1635-1703). Termini za identični mehanizam, *Kardanova spojnica* u kontinentalnoj Evropi i *Hukov zglob* u anglosaksonskom govornom području nas podsećaju na ova dva pionira.

Zbog specifičnih uslova rada, vitalni delovi Kardanovih spojnica imaju ograničeni radni vek. Istovremeno, složena geometrija, kinematika i dinamika ovih spojnica, doprineli su ograničenom broju istraživačkih rezultata, koji su obično „poslovna tajna” njihovih proizvođača. Radni vek Kardanovih spojnica, primarno zavisi od površinske čvrstoće kontaktnih površina spregnutih delova, tj, od njihove sposobnosti da se suprostave različitim vidovima razaranja.

Skoro isti vidovi razaranja su prisutni na kontaktnim površinama kotrljajnih ležaja, Kardanovih spojnica i zupčastih parova kod kojih je prema ISO standardu registrovano preko 20 različitih vidova razaranja i oštećenja [4]. Ovako veliki broj vidova razaranja i oštećenja kontaktnih površina spregnutih delova je rezultat velikog broja uticajnih faktora na njihovu površinsku čvrstoću: uslovi formiranja kontaktnih površina; tolerancije oblika i položaja spregnutih delova; hrapavost, odnosno visina i oblik neravnina; raspodela opterećenja na istovremene spregnute delove; raspodela opterećenja duž kontaktne linije; površinska tvrdoća; uslovi podmazivanja; uslovi razrađivanja.

Najveći uticaj na čvrstoću kontaktnih površina ima raspodela opterećenja duž linije kontakta i raspodela opterećenja na istovremeno spregnute delove. Ravnomernoj raspodeli linijskog opterećenja odgovara najveći radni vek spregnutih delova. Sa povećanjem stepena neravnomernosti raspodele linijskog opterećenja ubrzava se proces razaranja u zonama povećanog opterećenja. Treba imati u vidu, da jedan vid razaranja i njegovi produkti ubrzavaju razvoj drugih vidova razaranja na kontaktnim površinama. U poređenju sa drugim mašinskim elementima, kotrljajnim ležajima i zupčastim parovima [5], spregnuti delovi Kardanovih spojnica imaju najnepovoljnije geometrijske i kinematske uslove sa aspekta neravnomernosti raspodele opterećenja duž linije kontakta. Čak i u uslovima idealne geometrijske tačnosti spregnutih delova Kardanove spojnice, na kontaktnim površinama se ne može ostvariti ravnomerna raspodela opterećenja. Osnovni razlog je izrazito nepovoljan položaj kontaktne linije spregnutih delova u odnosu na pravac vektora ugaone brzine. Naime, tačke kontaktne



linije koje su najudaljenije od ose obrtanja spregnutih delova prve stupaju u kontakt. To su tačke na vrhu rukavca Kardanovog krsta. Stepenn angažovanja drugih tačaka kontaktne linije zavisi od geometrijskih karakteristika spregnutih delova, kontaktnih deformacija i intenziteta radnog opterećenja, odnosno opterećenje u svakoj tački dodira je proporcionalno krutosti u odgovarajućoj tački dodira.

Prema tome, centralni problem kod Kardanovih spojnica je kako smanjiti neravnomernost raspodele opterećenja duž linije kontakta spregnutih delova, odnosno kako rasteretiti delove vrha rukavca. U tom cilju, na osnovu dosadašnjih istraživanja formirana su dva konstrukciona rešenja. Prvo rešenje bazirano je na korekciji kontaktne linije dodira kotrljajnog tela – iglice. Ova korekcija podrazumeva korekciju geometrije iglice na njenim krajevima. Sličan postupak se primenjuje i kod bokova zubaca zupčanika. Drugo rešenje zasnovano je na primeni dva kotrljajna tela – iglice manje dužine umesto jedne iglice veće dužine.

U cilju praćenja raspodele opterećenja kod spregnutih delova Kardanove spojnice, u ovom radu je formiran odgovarajući geometrijski model. Na osnovu razvijenog modela analiziran je uticaj geometrijskih veličina spregnutih delova na raspodelu linijskog opterećenja. Analizom dobijenih rezultata, treba da se indentifikuje optimalna geometrija spregnutih delova sa aspekta ravnomernosti raspodele linijskog opterećenja.

## **2. RASPODELA OPTEREĆENJA**

Sprovedena su analitička i eksperimentalna istraživanja u cilju određivanja radnog opterećenja mašinskih delova, elemenata i sklopova. Ona su baza za procenu njihove radne sposobnosti. Kod Kardanovih spojnica, zbog jakog uticaja kinematskih i geometrijskih uslova i tačnosti izrade stanje je složeno. Osnovne karakteristike radnog opterećenja su: smer, pravac, intenzitet, karakter promene i broj promena (ciklusa). Radno opterećenje određeno na osnovu snage, ugaone brzine, odnosno brzine kretanja jeste *nominalno opterećenje*.

Tačno određivanje karakteristika radnog opterećenja - *stvarnog radnog opterećenja* u većini slučajeva je veoma složeno. Ekonomski je često neopravdano, jer su pored teorijskih, neophodna i složena eksperimentalna istraživanja. Zato se najčešće analiza radne sposobnosti mašinskih delova i sklopova sprovodi na osnovu *merodavnog opterećenja*. Nominalno opterećenje se prevodi u merodavno, na osnovu *faktora radnih uslova*, odnosno *faktora merodavnog opterećenja*  $K$  [5].

$$F_{\text{mer}} = F_{\text{nom}} \cdot K; \quad K \geq 1. \quad (1)$$

Ovim faktorom se ne obuhvata ceo spektar radnih uslova, nego se za određenu klasu radnih uslova, sprovode detaljna teorijska i eksperimentalna istraživanja. Rezultati se prezentiraju u vidu tabela i/ili dijagrama. Karakteristični primeri ove procedure su faktori radnih uslova kod zupčastih, remenih i lančanih parova i kotrljajnih ležaja [5-8]. Faktor radnih uslova za zupčaste parove određen je proizvodom sledećih faktora:

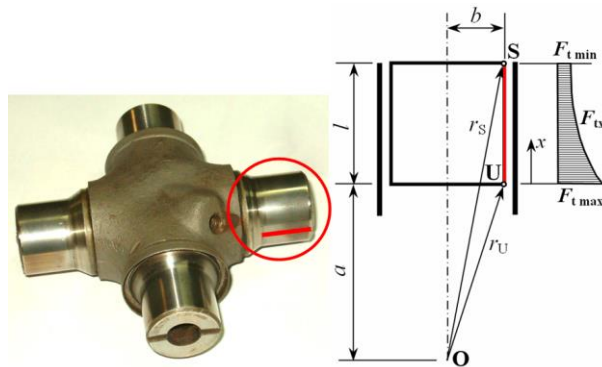
$$K = K_A \cdot K_v \cdot K_\beta \cdot K_\alpha \quad (2)$$

gde su:  $K_A$  - faktor uticaja pogonske i radne mašine na opterećenje prenosnika,  
 $K_v$  - faktor dinamičkih sila,  
 $K_\beta$  - faktor raspodele opterećenja duž trenutne linije dodira,

$K_{\alpha}$  - faktor raspodele opterećenja na istovremeno spregnute parove zubaca.

Isti faktori utiču i na rad Kardanovih spojnika, kao i činjenica da se opterećenja u sklopovima neravnomerno raspoređuju na paralelno spregnute mašinske delove i neravnomerno po dužini ili zapremini svakog od delova. U naučnoj i stručnoj literaturi ovi faktori nisu dovoljno obrađeni, tako da ne postoji dovoljno pouzdanih kvantitativnih i kvalitativnih informacija za Kardanove spojnice. Složenost ovog problema je i što se raspodela opterećenja sprovodi na četiri rukavca Kardanovog krsta. U cilju sagledavanja problema, potrebno je uprostiti model. Prvo uprošćenje se odnosi na analizu raspodele opterećenja na samo jednom rukavcu Kardanovog krsta. U ovom radu analiziraće se uticaj geometrijskih karakteristika spregnutih delova Kardanove spojnice na raspodelu opterećenja, odnosno na faktor  $K_{\beta}$ .

Nominalno opterećenje u vidu tangencijalne sile prouzrokovano obrtnim momentom nije ravnomerno raspoređeno duž linije kontakta spregnutih delova Kardanove spojnice. Najveći intenzitet nominalnog opterećenja je u tačkama koje pripadaju korenu rukavca, dijagram na Slici 1, [9].



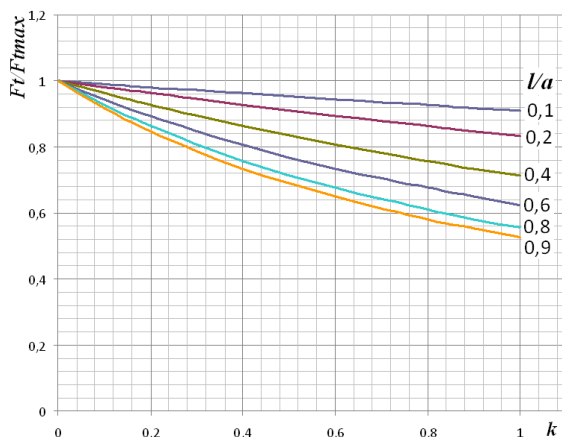
Slika 1. Raspodela opterećenja duž bočne linije rukavca Kardanovog krsta

Najmanji intenzitet nominalnog opterećenja je u tačkama koje pripadaju vrhu rukavca krstaste osovine. Razlika ovih graničnih vrednosti nominalnih opterećenja zavisi od geometrijskih veličina rukavca Kardanovog krsta. Da bi se sagledao uticaj geometrijskih veličina rukavca na stepen ravnomernosti raspodele nominalnog opterećenja duž izvodnice rukavca, formiran je odgovarajući analitički izraz. Posmatran je odnos nominalnog opterećenja u vidu tangencijalne sile u nekoj proizvoljnoj tački ( $X$ ) duž izvodnice rukavca  $\overline{US}$  (Slika 1, osa  $x$ ), prema njegovoj maksimalnoj vrednosti:

$$\frac{F_{tx}}{F_{tx\max}} = \frac{1}{1 + k \cdot \frac{l}{a}} \quad (3)$$

Gde je:  $k = x/l$

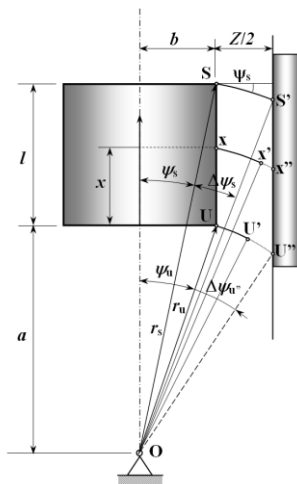
Korelacija između nominalnog opterećenja i geometrijskih karakteristika rukavca, prikazana je dijagramom na Slici 2, gde su posmatrane geometrijske veličine šest Kardanovih krsteva različitih dimenzija, različitih proizvođača.



Slika 2. Uticaj geometrije na raspodelu nominalnog opterećenja duž izvodnice rukavca kardanovog krsta

Većim vrednostima parametra  $k$  i odnosa  $l/a$  odgovara veći stepen neravnomernosti raspodele nominalnog opterećenja. Malim vrednostima odnosa  $l/a$  odgovara manji gradijent promene nominalnog opterećenja od korena ka vrhu rukavca krstaste osovine. To znači, da će stepen neravnomernosti raspodele nominalnog opterećenja na rukavcu biti manji, ako je rukavac više udaljen od ose obrtanja.

Kod spregnutih delova Kardanove spojnice, dužina linije kontakta i stepen angažovanosti pojedinih njenih tačaka su izrazita funkcija geometrijskih veličina rukavca tj. rastojanja tačaka kontaktne linije od ose obrtanjarukavca. Pri prenošenju opterećenja u kontakt stupaju prvo tačke koje se nalaze na vrhu rukavca. Stepenn angažovanosti drugih tačaka rukavca zavisi od geometrijskih karakteristika spregnutih delova, njihove krutosti i veličine opterećenja. Pri tome, tačke u korenu rukavca skoro redovno ostaju neopterećene [10].



Slika 3. Geometrijski model sprežanja delova kardanove spojnice

U cilju iznalaženja geometrijskih karakteristika spregnutih delova koje će

omogućiti generisanje što duže linije kontakta, formiran je odgovarajući geometrijski model. Uspostavljena je korelacija između pomeranja tačaka izvodnice rukavca i geometrijskih karakteristika rukavca, prečnika ( $2b = d$ ), dužine rukavca ( $l$ ) i rastojanja rukavca od njegove ose obrtanja, Slika 3. Ovde je uvedeno drugo uprošćenje modela, gde je posmatran kontakt između rukavca Kardanovog krsta i šoljice ležaja bez kotrljajnih tela, odnosno kotrljajnog tela bez šoljice.

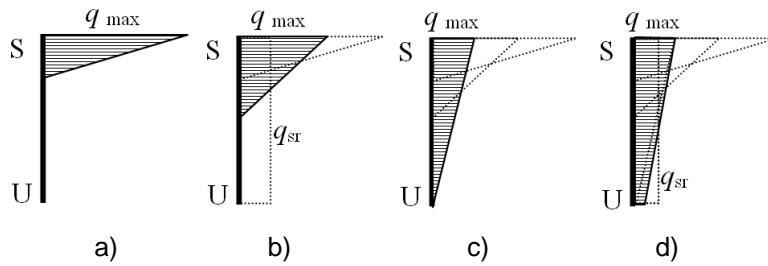
Pri postojanju radijalnog zazora  $Z$ , tačka  $S$  na vrhu rukavca, da bi uspostavila kontakt sa odgovarajućom tačkom na spregnutom delu – čauri (kotrljajnom telu), mora se zaokrenuti oko ose  $O$  za elementarni ugao  $\Delta\psi_s$ . Ovom uglu zaokretanja Kardanovog krsta odgovara elementarni put – elementarno lučno pomeranje tačke  $S$  za veličinu  $SS'$ . Stupanje odgovarajućih tačaka u kontakt duž izvodnice je u funkciji elastičnih deformacija. Veličina ovih deformacija je mala i istovremeno ograničena elastičnim karakteristikama materijala spregnutih delova, njihovom geometrijom i intenzitetom opterećenja. Saglasno tome i većine lučnih pomeranja  $U'U''$  i  $X'X''$  treba da su što manja. Veličinu ovih pomeranja diktira geometrija spregnutih delova. Prema tome, uključivanje pojedinih tačaka rukavca u prenošenje opterećenja i njihov stepen angažovanosti primarno zavise od geometrijskih karakteristika spregnutih delova. Za analizu uticaja geometrijskih veličina spregnutih delova na raspodelu linijskog opterećenja posmatrana su lučna pomeranja tačaka na izvodnici rukavca, pomoću kojih je definisan opšti izraz za analizu uticaja geometrijskih veličina spregnutih delova na raspodelu opterećenja spregnutih delova, definisan je - *geometrijski faktor raspodele linijskog opterećenja*  $G_r$ :

$$G_r = \frac{XX_1}{SS_1} = \sqrt{\frac{1 + 2k\left(\frac{l}{a}\right) + k^2\left(\frac{l}{a}\right)^2 + \left(\frac{b}{a}\right)^2}{1 + 2\cdot\left(\frac{l}{a}\right) + \left(\frac{l}{a}\right)^2 + \left(\frac{b}{a}\right)^2}} \quad (4)$$

Gde su:  $d$  – prečnik rukavca  
 $l$  – dužina rukavca

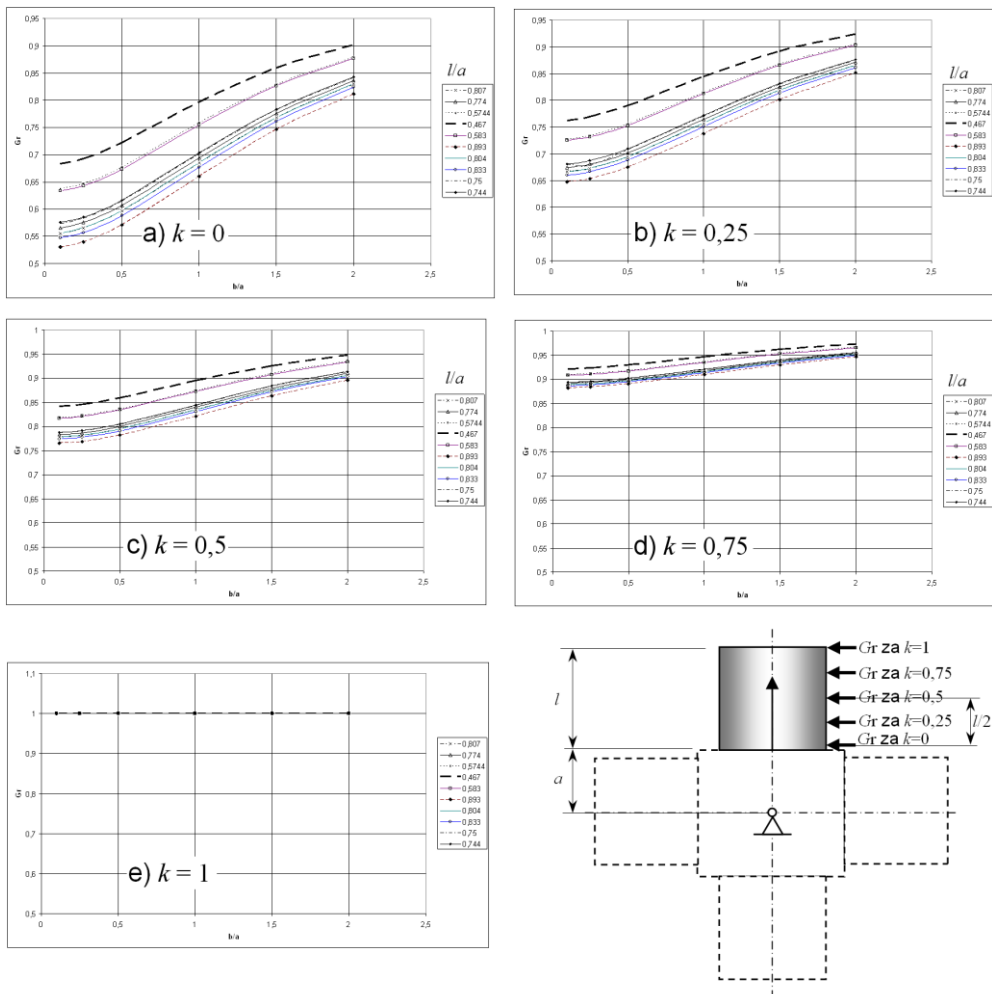
$$b = \frac{d}{2}, \quad \overline{OA} = a, \quad k = \frac{x}{l}$$

Na osnovu geometrijskog faktora raspodele linijskog opterećenja može se izvršiti kvalitativna analiza raspodele opterećenja duž linije kontakta spregnutih delova. Ovaj faktor pokazuje geometrijski potencijal spregnutih delova za formiranje odgovarajuće raspodele opterećenja duž linije kontakta. Saglasno definiciji faktora  $G_r$ , njegove vrednosti su manje ili u graničnom slučaju jednake broju 1 ( $G_r \leq 1$ ). Male vrednosti faktora  $G_r$ , generišu velike lučne dužine  $U'U''$  koje nalažu veliko dopunsko zaokretanje rukavca, koje se obezbeđuje elastičnim deformacijama spregnutih delova (slika 4a). Kada geometrijski faktor raspodele opterećenja dostigne vrednost 1 ( $G_r = 1$ ), tada teorijska dužina linije kontakta dostiže maksimalnu vrednost, koja odgovara dužini izvodnice rukavca. Raspodela linijskog – kontinualnog opterećenja ima izgled trougla, predstavljena je na Slikama 4a-c. Sa povećanjem opterećenja, usled kontaktnih deformacija, trouglasta raspodela opterećenja se transformiše u trapeznu (slika 4d). Za dobijanje još bolje raspodele opterećenja duž linije kontakta, potrebno je obezbediti odgovarajuću kompatibilnost između geometrijskih vrednosti spregnutih delova i kontaktnih deformacija.



Slika 4. Teorijska raspodela linijskog opterećenja kada su vrednosti faktora  $G_r \leq 1$

U nastavku ovih istraživanja sagledane su realne vrednosti faktora  $G_r$ , koje se mogu ostvariti na osnovu geometrijskih karakteristika spregnutih delova ( $l, b, a$ ) familije od 10 uzoraka Kardanovih vratila, različitih dimenzija. U tom cilju, variranjem odnosa geometrijskih veličina spregnutih delova ( $l/a, b/a$ ) analizirane su vrednosti faktora  $G_r$ . Rezultati ovih istraživanja prikazani su dijagramom na Slikama 5 a-e.



Slika 5. Zavisnost faktora  $G_r$  od geometrijskih veličina spregnutih delova

### 3. ZAKLJUČAK

Glavni pokazatelji radne sposobnosti Kardanovih spojnica je njihov radni vek i stepen pouzdanosti. Najveći uticaj na ove pokazatelje radne sposobnosti ima karakter raspodele linijskog opterećenja kod spregnutih delova Kardanove spojnice. U cilju rasvetljavanja fenomena raspodele linijskog opterećenja i sagledavanja stepena kompatibilnosti između geometrijskih karakteristika spregnutih delova i raspodeli linijskih opterećenja, uradu je formiran geometrijski i analitički model pod odgovarajućim pretpostavkama.

Na osnovu dobijenih rezultata je pokazano, da je standardnom – postojećom geometrijom spregnutih delova, angažovanje tačaka u korenu rukavca u prenošenju opterećenja zanemarljivo malo zbog izrazito neravnomerne raspodele linijskog opterećenja. Ova nepovoljna raspodela linijskog opterećenja se može u određenoj meri ublažiti (amortizovati) odgovarajućom kombinacijom geometrijskih veličina spregnutih delova. Veće poboljšanje raspodele linijskog opterećenja nalaže odgovarajuću rekonstrukciju oblika spregnutih delova. Kako se navodi u [10], može se zaključiti citatom: *...shodno tome, mišljenje, da je teorija kardanskog vratila potpuno definisana, tako da joj se više ne može ništa dodati, je nedosledno...*

### ZAHVALNOST

Ovaj rad je proistakao iz aktivnosti projekta TR 35029, finansiranog od strane Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

### LITERATURA

- [1] Biancolini, M.E, Brutti, C., Pennestr`i, E., Valentini, P.P., Dynamic, Mechanical Efficiency and Fatigue Analysis of the Double Cardan Homokinetic Joint, International Journal of Vehicle Design, vol.32, n.3/4, September 2003, pp.231-249
- [2] Cavacece, M., Pennestr`i, E., Valentini, P.P., Vita, L., Mechanical Efficiency of a Cardan Joint, Proc. of ASME DETC'04, Salt Lake City (USA), 2004, Paper DETC2004/MECH-57317
- [3] Mitrović, R., Spojnice, oblast Mašinstvo, Zavod za udžbenike Beograd, ISBN 86-17-10756-1, 2005
- [4] ISO – 10825 – 1995, Wear and damage to gear teeth
- [5] Ristivojević, M., Mitrović, R., Raspodela opterećenja – zupčasti parovi i kotrljajni ležaji, Monografija, Univerzitet u Beogradu - Mašinski fakultet, 2002.
- [6] Mitrović, R., Istraživanja uticaja konstruktivnih i triboloških parametara kugličnog kotrljajnog ležaja na radnu sposobnost pri velikim učestanostima obrtanja, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 1992.
- [7] Lazović, T., Ristivojević, M., Mitrović, R.: Mathematical model of load distribution in rolling bearing, FME Transactions 36, Mašinski fakultet u Beogradu, 2008, 189-196
- [8] Radoslav Tomović, R., Calculation of the boundary values of rolling bearing deflection in relation to the number of active rolling elements Mechanism and Machine Theory, Volume 25, Issue 5, 1990, pp 479-486, Mechanism and Machine Theory, Volume 47, 2012, pp 74-88
- [9] Stamenić, Z., Istraživanje uticaja geometrije i raspodele opterećenja na radnu sposobnost kardanovih vratila, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu Mašinski fakultet, 2012.
- [10] Daskalov, A.Y.: Kinematic analysis of cardan drives, Mechanism and Machine Theory, Volume 25, Issue 5, 1990, pp 479-486



## MJERENJE OBRITNOG MOMENTA NA KARDANOVOM VRATILU UGRAĐENOM U TERETNO MOTORNO VOZILO

Miroslav Milutinović<sup>1</sup>, Aleksija Đurić<sup>2</sup>, Spasoje Trifković<sup>3</sup>, Nikola Vučetić<sup>4</sup>

*Sažetak: Za analize, razvoj ili usavršavanje postojeće konstrukcije pogonskog agregata ili mjenjačkog prenosnika potrebno je prije svega poznavanje opterećenja koje nastaju u toku eksploatacije. U radu je predstavljen način mjerenja opterećenja (obrotnog momenta), na kardanovom vratilu ugrađenom u teretno motorno vozilo, primjenom mjernih traka. Cilj rada je utvrđivanje varijacija obrtnog momenta zavisno od uslova eksploatacije (podloge puta, stepeni prenosa, opterećenja vozila, i dr.). Mjerenje je izvršeno za različite putne karakterisitke (kretanje vozila po ravnom terenu, uz i niz nagib). Rezultati su predstavljeni tabelarno i pomoću dijagrama, a na osnovu dobijenih vrijednosti obrtnog momenta izračunato je procentualno iskorišćenje snage pogonskog agregata ugrađenog u predmetno vozilo. Dobijeni rezultati imaju značajnu ulogu za konstruktore jer daje sveobuhvatnost opterećenja na kardanovom vratilu, a koji predstavljaju podlogu za budući razvoj ili rekonstrukciju pogonskog agregata ili mjenjačkog prenosnika, te osnovu za formiranje spektara opterećenja zupčanika i ležaja ugrađenih u mjenjački prenosnik.*

*Ključne riječi: obrtni moment, kardanovo vratilo, mjerne trake, teretno vozilo*

## MEASUREMENT OF TORQUE ON THE CARDAN SHAFT EMBEDDED IN THE FREIGHT VEHICLE

*Abstract: Before analysis, development or improvement of existing structure of drive unit or gearboxes, the load that appearing in exploitation must be known. This paper presents a method of load (torque) measurement, on the cardan shaft embedded in the freight vehicle, using strain gauges. The aim of the study is to determine torque variation depending on the exploitation conditions (road surface, speed transmission, vehicle load, etc). The measurement was performed for different road characteristics (vehicle movement on flat terrain, up and down the slope). Results are presented using tables and diagrams, and percentage utilization of the power drive unit, embedded into freight vehicle, was calculated based on obtained values of torque. Obtained results have an important role for designers because they give a general insight in the load on the cardan shaft, which represent the basis for future development or redesign of*

<sup>1</sup> Dr Miroslav Milutinović, Istočno Sarajevo, Mašinski fakultet Istočno Sarajevo, m.milutinovic82@gmail.com

<sup>2</sup> Aleksija Đurić, Istočno Sarajevo, Mašinski fakultet Istočno Sarajevo, aleksijadjuric@gmail.com

<sup>3</sup> Spasoje Trifković, Istočno Sarajevo, Mašinski fakultet Istočno Sarajevo, trifkovic\_s@yahoo.com

<sup>4</sup> Nikola Vučetić, Istočno Sarajevo, Mašinski fakultet Istočno Sarajevo, vuceticnikola@yahoo.com

*power unit or gearboxes and basis for forming of specter of gear load and bearing embedded into gearbox.*

*Key words: torque, cardan shaft, strain gauges, freight vehicle*

## 1. UVOD

Eksperimentalna i naučna istraživanja koja prethode razvoju ili rekonstruisanju prenosnika veoma su značajna sa aspekta unapređenja i upotpunjavanja postojećih rezultata, sa ciljem postizanja robustnosti konstrukcije. Istraživanja se mogu sprovoditi neposredno prije samog procesa razvoja odnosno rekonstruisanja proizvoda, a mogu biti izvršena nezavisno pa kasnije po potrebi iskorišćena za rekonstruisanje. Jedno takvo istraživanje eksperimentalnog karaktera, obrađeno je u ovom radu, a odnosi se na mjerenje obrtnog momenta na kardanovom vratilu teretnog vozila pomoću mjernih traka.

Mjerenje obrtnog momenta eksperimentalnim metodama kod vozila može se vršiti na bazi mjerenja brzine kretanje samog vozila [1], te pomoću senzora ugrađenog u motor bez promjene strukture prilikom montaže [2]. U cilju definisanja načina mjerenja obrtnog momenta koji ostvaruju sinhroni motori, ističu se dvije različite metode [3].

Pored ispitivanja na motorima, mjerenja obrtnih momenata se obavljaju i na manuelnim mjenjačkim prenosnicima [4] i samim vratilima vozila [5, 6]. Mjerne trake se vrlo često primjenjuju za mjerenje obrtnog momenta na vratilima i veoma su pogodne za tu upotrebu. One se lijepe na odgovarajuća mjesta na vratilu tako da se može izmjeriti odgovarajući napon. Izmjerena veličina se prenosi do senzorskog kola gdje se upoređuje sa podacima kalibracije i na osnovu čega se proračunavaju vrijednosti obrtnih momenata. Mjerne trake su povezane u Vitstonov most u cilju dobijanja tačnih rezultata obrtnih momenata [6]. Rad je i nastavak istraživanja započetog u radovima [7] i [8], kroz koje je razvijan model, a koji su temelj za analizu i mjenjača prenosnika.

Teretna vozila su neizbježna za primjenu u gotovo svim krajevima svijeta. Ovaj transport decenijama je na usluzi brojnim preduzećima, a pogotovo onim u brdsko-planinskim i šumom bogatim krajevima. Prilikom vožnje teretnog motornog vozila pri različitim uslovima, vozač motornog vozila ima veoma važnu ulogu u čitavom tom procesu. Od njegovih sposobnosti zavisi i način na koji će on vršiti upravljanje motornim vozilom, a samim tim i korišćenje određenih stepeni prenosa. Treba napomenuti da pri istim putnim karakteristikama vožnja motornim vozilom ne mora biti ista.

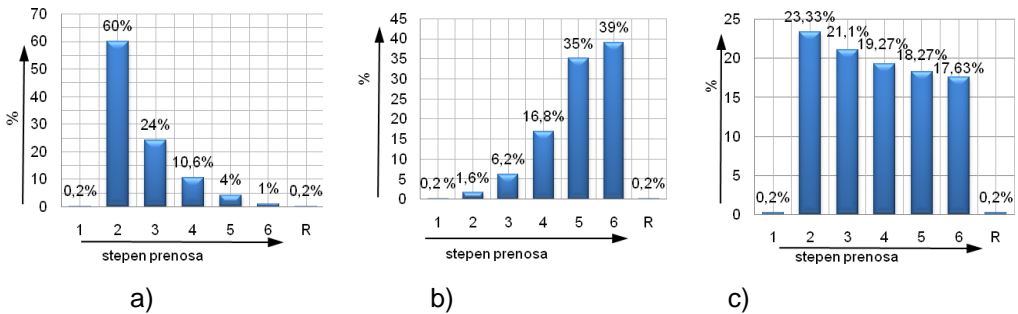
## 2. ANALIZA USLOVA RADA I NAČINA MJERENJA OBRJNIH MOMENATA

Eksploatacia teretnih motornih vozila ostvaruje se pri različitim uslovima rada. Tokom eksploatacije variraju putne karakteristike, varira opterećenje, a veliku ulogu imaju i korisnici teretnih motornih vozila. Da bih se ustanovilo kolike se promjene obrtnog momenta javljaju pri različitim uslovima vožnje i pri različitim stepenima prenosa, izvršeno je mjerenje obrtnog momenta na kardanovom vratilu koje je ugrađeno u teretno motorno vozilo marke FAP 1620.

Kako se teretna motorna vozila eksploatišu pri različitim putnim karakteristikama, to je ispitivanje izvršeno pri vožnji vozila po ravnom terenu kao reprezentu ravničarskih terena, uz i niz nagib kao reprezentu planinskih uslova sa



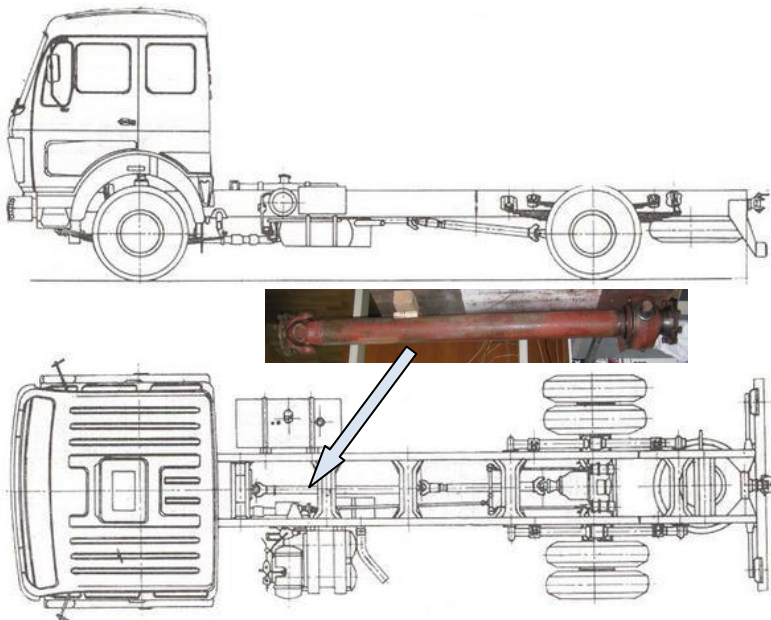
nagibom, pri korišćenju odgovarajućih stepeni prenosa. Za data ispitivanja metodom intervjua dobijena su procentualna učešća stepeni prenosa (slika 1).



Slika 1. Učešće stepeni prenosa za:  
a) za planinske uslove vožnje  
b) za ravničarske uslove vožnje  
c) za kombinovane uslove vožnje

Analizirajući dijagrame procentualnog učešća stepeni prenosa za teretna vozila, može se potvrditi pretpostavka da se pri vožnji planinskim terenima više koriste niži stepeni prenosa, dok se pri vožnji ravničarskim terenima više koriste viši stepeni prenosa.

U predmetno vozilo (Slika 2) ugrađen je šestostepeni mjenajčki prenosnik 6MS-80 i FAMOS-ov motor. Vozilo ima na sebi nadogradnju za prevoz šumske građe, kao i dizalicu za utovar.



Slika 2. Vozilo za mjerenje obrtnog momenta marke FAP 1620 [9]

Osnovne karakteristike motora i mjenjačkog prenosiča ugrađenih u predmetno teretno motorno vozilo su:

motor:

- Tip: FAMOS 2F 131 B,
- Snaga:  $147 \text{ kW}/2200 \text{ min}^{-1}$
- Moment:  $668 \text{ Nm}/1400\text{-}1600 \text{ min}^{-1}$

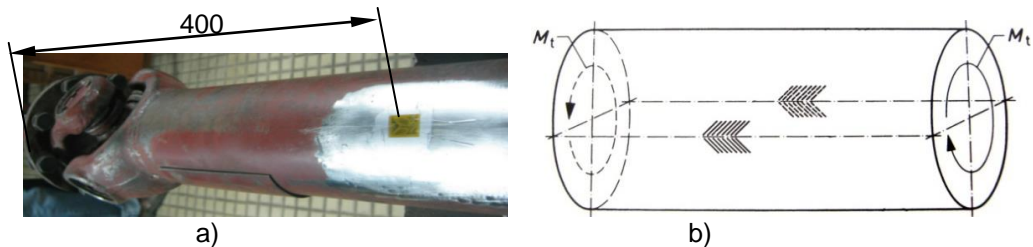
mjenjački prenosnik:

- Tip: FAMOS 6MS-80,
- Konstrukcija: *sinhronizovani sa 6 stepeni prenosa*,
- Prenosni odnos: 6,7; 3,86; 2,34; 1,44; 1,00; 0,73 hod unazad 6,31.

Na osnovu detaljne analize i sagledavanja mogućnosti realizaciji mjerenja obrtnog momenta za sve stepene prenosa za reprezentativne uslove vožnje, utvrđeno je najpogodnije mjesto na kardanovom vratilu. Imajući u vidu da se od mjenjačkog prenosiča do pogonske osovine obrtni moment prenosi preko dva kardanova vratila, od kojih je jedno direktno vezano na izlaz mjenjačkog prenosiča dok je na drugoj strani oslonjeno na ležaj, čija je dužina fiksna, a drugo vratilo je teleskopsko i ono se povezuje na prvi kardan a drugim krajem za diferencijalni prenosnik. Iz razloga jednostavnijeg i lakšeg postavljanje mjernih uređaja na prvo vratilo, to je i mjerenje vršeno na njemu. Mjerenje je izvršeno na taj način što su na pomenuto vratilo zalijepljene mjerne trake na rastojanju od 400 mm od početka kardanovog vratila, odnosno od strane mjenjačkog prenosiča (Slika 3.a).

Tenzometri (mjerne trake) su najpogodniji za ovu svrhu, tako da su na kardanovo vratilo zalijepljene dvije mjerne trake u obliku riblje kosti pod uglom od  $180^\circ$  (Slika 3.b). Karakteristike korišćenih mjernih traka su:

- kompenzacija  $\alpha = 11 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{K}$ ,
- otpornost  $120,0 \pm 0,2\%$ ,
- k-faktor  $2,05 \pm 1,0\%$ ,
- temperaturni koeficijent trake  $95 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{K}$ .



Slika 3. Mjesto lijepljenja mjernih traka: a) zalijepljena traka na vratilo; b) šematski prikaz lijepljenja traka

Zalijepljene mjerne trake su povezane u Vitstonov most i odgovarajuće konektore na koje se nadovezuje uređaj za beskontaktni prenos podataka.

Na slici 4 dat je šematski prikaz načina povezivanja mjernih traka sa konektorima.



Slika 4. Šematski prikaz povezivanja traka

Kao podrška pri mjerenju obrtnih momenata korišćen je komunikacioni modul RN41 (bluetooth). Veza između komunikacionog modula RN41 i mjernih traka izvršena je pomoću PIC 16 F 887 koji vrši transformaciju mjernih veličina sa mjernih traka u signal pogodan za beskontaktni prenos do prijemnika. Odašiljani signali pomoću odgovarajućeg uređaja (bluetooth za računar) snimani su na računaru, a zatim u odgovarajućem obliku prikazivani i snimani. Pomoću računara vršeno je praćenje određenih promjena koje se dešavaju na vratilu, a kao osnova za vizuelni prikaz i snimanje podataka poslužila je softverska forma DataLogger II v7.0 na kojoj je izvršeno reprogramiranje i prilagođavanje za mjerenja obrtnih momenata. Prije početka svakog mjerenja vršeno je unošenje vrijednosti kompenzacije kako bi se izbjegle moguće temperaturne promjene.

Maksimalni teorijski izlazni obrtni moment iz mjenjačkog prenosnika je manji od 6000 Nm, pa je izvršena kalibracija tako da su maksimalne vrijednosti koje bi se mogle pojaviti na izlazu iz mjenjačkog prenosnika postavljene na datu vrijednost. Pored toga skala na kojoj je podešen opseg pokazivanja je podijeljena na dva dijela, tako da jedan dio skale pokazuje pozitivne vrijednosti za kretanje teretnog motornog vozila naprijed, dok je drugi dio skale podešen na taj način da se prikazuju i zapisuju negativne vrijednosti za kretanje vozila unazad.

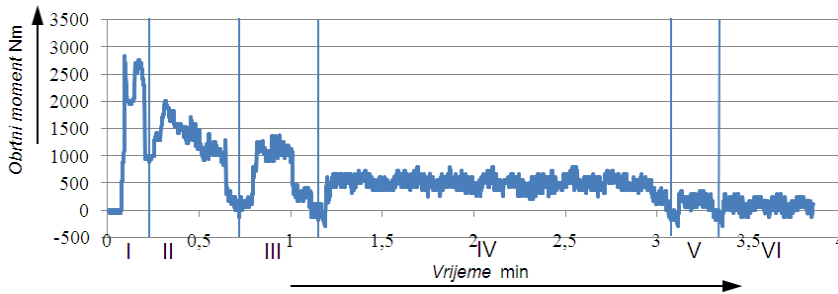
### 3. MJERENJE OBRTRNOG MOMENTA

Na osnovu dobijenog procentualnog učešća stepeni prenosa i postavljenih mjernih uređaja na kardanovo vratilo, izvršena su mjerenja obrtnih momenata za neopterećeno i opterećeno vozilo za odgovajuće reprezente.

#### Kretanje neopterećenog vozila po ravnom terenu

Prilikom ispitivanja teretnog motornog vozila po ravnom terenu, kao reprezentu za ravničarske uslove vožnje, korišćeni su svi stepeni prenosa. Iz stanja mirovanja pokrenuto je vozilo prvim stepenom prenosa pri čemu je izmjerena vrijednost maksimalnog obrtnog momenta u iznosu od 2820 Nm (slika 5). Na dijagramu izmjenjenog obrtnog momenta, nagle promjene intenziteta izmjenjenih vrijednosti pokazuju trenutke prebacivanja iz jednog stepena prenosa u drugi. Dijagram, takođe, pokazuje da se sa povećanjem stepena prenosa smanjuje vrijednost izmjenjenog obrtnog momenta. Vrijednosti obrtnog momenta na kardanovom vratilu izmjerene su u uslovima vožnje neopterećenog teretnog motornog vozila pri normalnim uslovima vožnje (bez preopterećenja). Sa dijagrama (slika 5) može se vidjeti da se pri dužoj

vožnji jednim stepenom prenosa mogu pojavljivati više puta maksimalni obrtni momenti, što pokazuje stohastičnost uslova vožnje.



Slika 5. Dijagram izmjerenih obrtnih momenata pri vožnji neopterećenog teretnog motornog vozila korišćenjem svih stepeni prenosa po ravnom terenu

Na osnovu izmjerenih rezultata može se vidjeti da se najveća snaga motora koristi u pri vožnji četvrtim stepenom prenosa oko 83%, dok je najmanje iskorišćenje snage motora pri korišćenju šestog stepena prenosa (tabela 1). Vrijednosti maksimalnog obrtnog momenta za sve stepene prenosa kao i procenatualno iskorišćenje snage motora pri vožnji neopterećenog teretnog motornog vozila korišćenjem svih stepeni prenosa po ravnom terenu date su u tabeli 1.

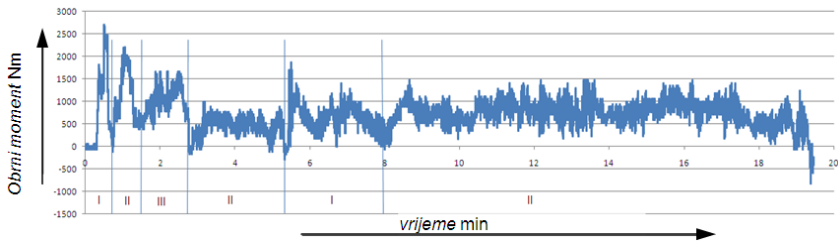
Tabela 1. Vrijednosti maksimalnih obrtnih momenata i procenat iskorišćenja snage pri korišćenju svih stepeni prenosa za vožnju neopterećenog teretnog motornog vozila po ravnom terenu

Stepen prenosa	Maksimalni obrtni moment na Kardanovom vratilu u Nm	Iskorišćenje snage motora u %
Prvi stepen prenosa	2820	62,93
Drugi stepen prenosa	1940	75,15
Treći stepen prenosa	1250	82,95
Četvrti stepen prenosa	770	83,08
Peti stepen prenosa	351	54,83
Šesti stepen prenosa	292	53,25

Pri prebacivanju iz jednog u drugi stepen prenosa vidi se jasan pad obrtnog momenta iz razloga što u tom trenutku zbog inercije vozila više se ne javlja obrtni moment od strane mjenjača nego od strane pogonske osovine.

### Kretanje neopterećenog vozila uz nagib

Pri kretanju vozila uz nagib treba napomenuti da se koriste samo tri stepena prenosa, za koje su rezultati mjerenja prikazani na slici 6. Pri korišćenju drugog stepena prenosa izmjerene su različite veličine obrtnog momenta. Varijacije momenta u drugom dijelu na dijagramu (slika 6) su reprezentni vožnje uz nagib po neravnim terenima. Maksimalna vrijednost izmjenjenog obrtnog momenta iznosi 2800Nm, a dobijena je pri korišćenju prvog stepena prenosa.



Slika 6. Dijagram izmjerenih obrtnih momenata pri vožnji neopterećenog teretnog motornog vozila uz nagib

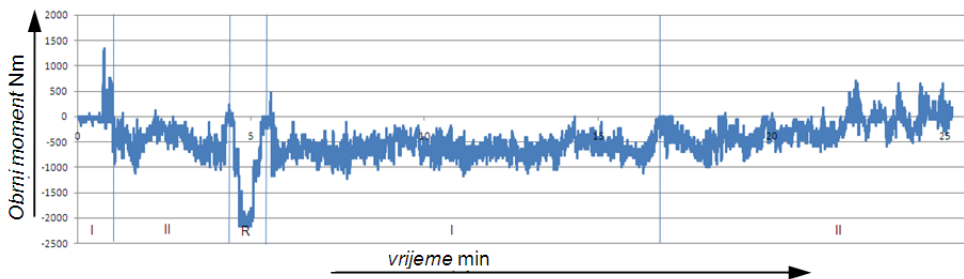
Tabela 2. Vrijednosti maksimalnih obrtnih momenata i procenat iskorišćenja snage pri vožnji neopterećenog teretnog motornog vozila uz nagib

Stepen prenosa	Maksimalni obrtni moment na Kardanovom vratilu u Nm	Iskorišćenje snage motora u %
Prvi stepen prenosa	2800	63,56
Drugi stepen prenosa	2200	85,22
Treći stepen prenosa	1609	87,33
Drugi stepen prenosa	995	38,54
Prvi stepen prenosa	1870	42,45
Drugi stepen prenosa	1450	56,17

Na osnovu rezultata može se vidjeti da se koristi najveća snaga motora u pri korišćenju trećeg stepena prenosa oko 87,33%, dok je najmanje iskorišćenje snage motora pri korišćenju drugog stepena prenosa (tabela 2). Vrijednosti maksimalnog obrtnog momenta za prva tri stepena prenosa, kao i procenatualno iskorišćenje snage motora pri vožnji neopterećenog teretnog motornog vozila uz nagib date su u tabeli 2.

### Kretanje neopterećenog vozila niz nagib

Kada se vozilo kreće niz nagib inercijalne sile od tereta kamiona pokušavaju ubrzati vozilo, pa iz tih razloga kardanovo vratilo trpi opterećenja suprotna od onih kada je pogon od strane motora, odnosno od onih kada se vozilo kreće uz nagib. U ovom slučaju se javljaju opterećenja slična onim kada je u funkciji stepen prenosa za vožnju unazad. Na slici 7 prikazani je dijagram rezultata mjerenja obrtnog momenta za dva stepena prenosa i stepen prenosa za kretanje unazad.



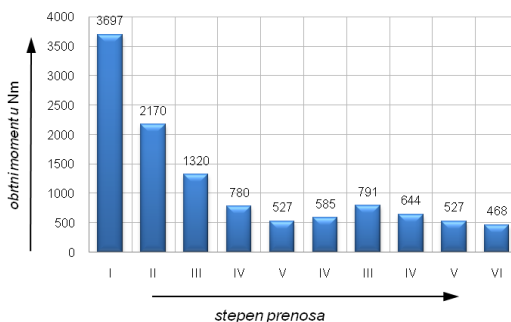
Slika 7. Dijagram izmjerenih obrtnih momenata pri vožnji neopterećenog teretnog motornog vozila niz nagib

Na dionici puta na kojoj je izmjeren obrtni moment pri kretanju vozila niz nagib drugim stepenom prenosa izmjeren je i obrtni moment pri vožnji unazad. Pri korišćenju stepena prenosa za vožnju unazad izmjeren je maksimalni obrtni moment na Kardanovom vratilu od 2170 Nm, tako da je u tom trenutku bilo i najveće iskorišćenje snage motora (tabela 3).

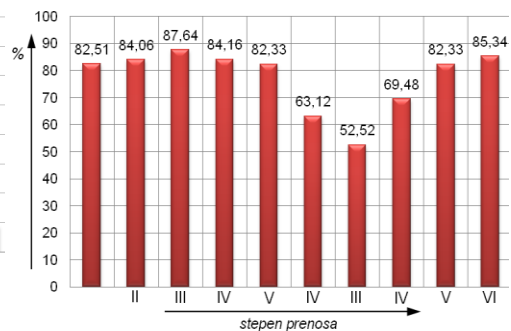
Tabela 3. Vrijednosti maksimalnih obrtnih momenta i procenat iskorišćenja snage pri vožnji neopterećenog teretnog motornog vozila niz nagib

Stepen prenosa	Maksimalni obrtni moment na Kardanovom vratilu u Nm	Iskorišćenje snage motora u %
Prvi stepen prenosa	1346	30,55
Drugi stepen prenosa	-1053	41,50
Stepen prenosa za vožnju unazad	-2170	47,99
Prvi stepen prenosa	-1170	26,33
Drugi stepen prenosa	-995	38,54

Na identičan način i pri istim putnim karakteristikama izvršeno je mjerenje obrtnog momenta za opterećeno teretno motorno vozilo čija je masa iznosila 15980 kg. Pri kretanju opterećenog teretnog motornog vozila po ravnom terenu dobijen je dijagram maksimalnih izmjerenih obrtnih momenata (slika 8) sa procentualnim iskorišćenjem snage motora (slika 9) za odgovarajuće stepene prenosa. Osim toga izmjerene vrijednosti nisu uvek iste i variraju u zavisnosti od uslova vožnje. Pri ponavljanju mjerenja (promjeni stepena prenosa) dobijane su drugačije vrijednosti pri korišćenju određenog stepena prenosa što ukazuje na stohastičnost veličine obrtnog momenta. Izmjerene vrijednosti su samo pokazatelj stanja za reprezentativne radne uslove. Prilikom kretanja opterećenog teretnog motornog vozila prvim stepenom prenosa po ravnom terenu izmjeren je veći obrtni moment za preko 870 Nm, odnosno za preko 23% veće iskorišćenje snage u odnosu na kretanje neopterećenog vozila. Pri korišćenju trećeg stepena prenosa, kao stepena prenosa sa najvećim iskorišćenjem pri vožnji neopterećenog vozila, veće je iskorišćenje snage za preko 5%.

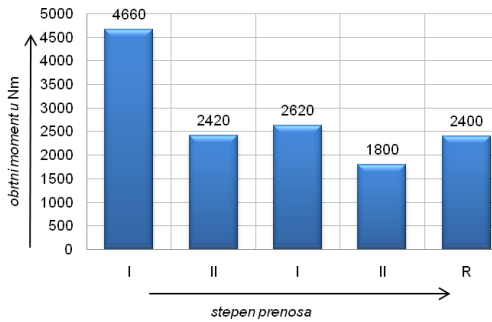


Slika 8. Dijagram maksimalnih izmjerenih obrtnih momenata pri vožnji opterećenog vozila po ravnom terenu

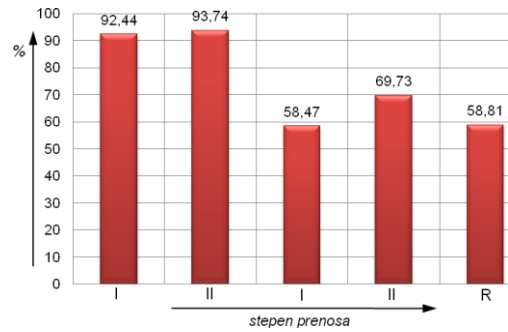


Slika 9. Procentualno iskorišćenje snage pri vožnji opterećenog vozila po ravnom terenu

Prilikom kretanja opterećenog teretnog motornog vozila prvim stepenom prenosa uz nagib izmjeren je obrtni moment od 4660 Nm, odnosno za 1860 Nm više nego pri vožnji neopterećenog vozila (slika 10). Iskorišćenje snage prilikom kretanja vozila uz nagib prvim stepenom prenosa iznosi preko 92% (slika 11), a samim tim i iskorišćenje snage je za preko 30% veće u odnosu na kretanje neopterećenog vozila. Pri korišćenju drugog stepena prenosa veće je iskorišćenje snage za preko 9%, odnosno obrtni moment je za preko 200 Nm veći u drugom slučaju.

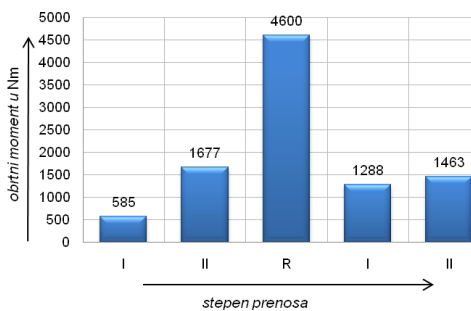


Slika 10. Dijagram maksimalnih izmjerenih obrtnih momenata pri vožnji opterećenog vozila uz nagib

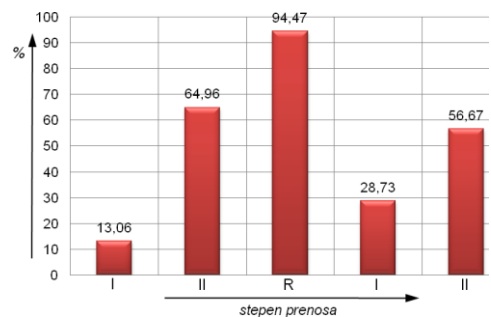


Slika 11. Procentualno iskorišćenje snage pri vožnji opterećenog vozila uz nagib

U slučaju kretanja teretnog motornog vozila niz nagib najveći obrtni moment se javlja pri kretanju vozila unazad. Najveća vrijednost izmjerenog obrtnog momenta pri korišćenju stepena prenosa za vožnju unazad jeste 4600 Nm (slika 12), što je za 2430 Nm više nego pri vožnji neopterećenog vozila. Takvo povećanje obrtnog momenta rezultira i povećanjem iskorišćenja snage pogonskog agregata za preko 49%. Naime, za kretanje opterećenog teretnog motornog vozila uz nagib u odnosu na neopterećeno pri korišćenju stepena prenosa za vožnju unazad potrebna je skoro duplo veća snaga. Makimalno iskorišćenje snage postignuto je pri korišćenju stepena prenosa unazad sa preko 94% (slika 13).



Slika 12. Dijagram maksimalnih izmjerenih obrtnih momenata pri vožnji opterećenog vozila niz nagib



Slika 13. Procentualno iskorišćenje snage pri vožnji opterećenog vozila niz nagib

#### 4. ZAKLJUČAK

Za analize, razvoj ili usavršavanje postojeće konstrukcije pogonskog agregata ili mjenjačkog prenosioca potrebno je prije svega poznavanje opterećenja koje nastaju u toku eksploatacije. U radu je predstavljen jedan od načina mjerenja obrtnih momenata koji se javljaju na kardanovom vratilu u toku eksploatacije, kao i način postavljanja mjernih traka na vratilo. Takođe, dat je i jedan od načina mogućih beskontaktnih prenosa izmjerenih vrijednosti. Izmjerene su vrijednosti obrtnih momenata za različite reprezentе, odnosno za reprezentе planinskih i ravničarskih uslova vožnje, kao i kombinovane uslove vožnje na osnovu kojih se mogu vidjeti i različite vrijednosti opterećenja za iste stepene prenosa. Male razlike koje se javljaju posljedica su promjene putnih karakteristika (podloge, itd). Opšti zaključak da će obrtni moment biti veći za opterećeno vozilo, za iste putne karakteristike, bio je očekivan, ali kolika je njegova vrijednost i u kojim slučajevima će doći do povećanja, kako se mijenja procenat iskorištenja snage motora nije se moglo stvarno znati. U radu su data i procentualna iskorišćenja snage motora pri vožnji određenim stepenom prenosa za opterećeno i neopterećeno vozilo za iste putne karakteristike. Takođe su izračunati procenti iskorišćenja snage opterećenog u odnosu na neopterećeno vozilo. Moguće je očekivati slično ponašanje obrtnog momenta na kardanovom vratilu i za druga teretna vozila slične namjene. Shodno prethodno navedenom može se reći, da su rezultati iz ovog rada značajni za konstruktore i inženjere koji se bave razvojem, analizom i rekonstruisanjem pogonskih agregata, mjenjačkih prenosioca, kardanovih vratila, itd. za teretna motorna vozila. Takođe, rezultati su podloga za formiranje spektara opterećenja zupčanika i ležaja mjenjačkog prenosioca, kao i mogućnosti simulacije realnih uslova rada u laboratorijskim uslovima za odgovarajuća ispitivanja.

#### LITERATURA

- [1] Hong M, Ouyang M., Shen (2011): Torque-based optimal vehicle speed control, International Journal of Automotive Technology 12(1), pp. 45-49
- [2] Minehane S, Duane R, O'Sullivan P et al (2000): Design for reliability. Microelectron Reliab 40, pp. 1285–1294
- [3] Pfister P. D., Perriard Y. (2008): Torque Measurement Methods for Very High Speed Synchronous Motors, International Conference on Electrical Machines, 978-1-4244-1736-0/08, pp.1-5
- [4] Irimescu A, Mihon L, Pădure G, (2011): Automotive transmission efficiency measurement using a chassis dynamometer, International Journal of Automotive Technology 12(4), 555-559
- [5] White R., Kilworth T.: Torque measurement method and apparatus, 2012-08-23, Patent application number: 20120210767
- [6] Vernon A.: Method and apparatus for measuring torque, 11.05.2000, publication number WO/2000/026625
- [7] Milutinović, M., Ognjanović, M. (2009): Failure probability of gear drives components and reliable fatigue life estimation, - Proceedings of the 3rd International Conference on Power Transmission '09, Kallithea, Greece, 1-2 October 2009, pp 285-290.
- [8] Ognjanovic M., Milutinovic M. (2010): Careing capacity model of automative gearboxes based on reliability as design constraint, International Conference on Gears, October 2010, Munich, Germany, 1377-1380
- [9] FAP- Fabrika Automobila Priboj, tehničko prodajna knjiga, V izdanje, Priboj, Mart 1996.





## PRIMJENA METODOLOŠKOG POSTUPKA U RAZVOJU MEHATRONIČKIH KONSTRUKCIJA

Rade Grujičić<sup>1</sup>, Dejan Bratić<sup>2</sup>, Luka Grubiša<sup>3</sup>, Ognjen Mijanović<sup>4</sup>, Marina Mijanović Markuš<sup>5</sup>, Radoslav Tomović<sup>6</sup>, Zoran Mijanović<sup>7</sup>

*Rezime: Metodološkim postupkom konstruisanja razvijena je konstrukcija autonomnog mobilnog robota za sakupljanje pakova različite boje. U radu su opisani koraci realizovani pri razvoju konstruktivnog rješenja i dat finalni izgled konstrukcije.*

*Ključne riječi: konstruisanje, mehatronika, metodološki postupak, robot*

### **APPLICATION OF METHODOLOGICAL PROCEDURE OF CONSTRUCTING IN DEVELOPING MECHATRONIC CONSTRUCTIONS**

*Abstract: Construction of an autonomic mobile robot for collecting pucks of different color is developed using the methodological procedure of constructing. This article describes steps used in developing construction and shows the final design solution.*

*Key words: Constructing, Mechatronics, Methodological procedure, Robot*

## 1. UVOD

S obzirom na činjenicu da su mehatronički uređaji u svakodnevnoj upotrebi i da se na momente život bez njih čini nezamislivim, javlja se potreba praćenja svjetskih trendova u toj oblasti. Zbog toga je na Mašinskom fakultetu Univerziteta Crne Gore u Podgorici 2012. godine akreditovan akademski studijski program Mehatronika i ove godine je upisana druga generacija studenata osnovnih studija.

Na Mašinskom fakultetu u Podgorici formiran je tim koji je imao zadatak da razvije sopstveno rješenje mobilnog robota i sa njim se predstavi na nekom od svjetskih takmičenja. Kako je robot tipični predstavnik mehatroničkih uređaja, to je za njegovu realizaciju neophodno bilo posjedovati odgovarajuća znanja iz mehanike, elektronike, programiranja, te je upravo to bio povod da članovi tima budu sa studija mašinstva, elektrotehnike i mehatronike. Tim je uzeo učešće na *RobotChallenge*

<sup>1</sup> Rade Grujičić, Univerzitet Crne Gore, Mašinski fakultet Podgorica, rade.grujicic@yahoo.com

<sup>2</sup> Dejan Bratić, Univerzitet Crne Gore, Mašinski fakultet Podgorica, dejanans91@gmail.com

<sup>3</sup> Luka Grubiša, Univerzitet Crne Gore, Mašinski fakultet Podgorica, luka.grubisa@yahoo.com

<sup>4</sup> Ognjen Mijanović, Univerzitet Crne Gore, Mašinski fakultet Podgorica, ogi90.mn@gmail.com

<sup>5</sup> Prof. dr Marina Mijanović Markuš, Univerzitet Crne Gore, Mašinski fakultet Podgorica, marinami@ac.me

<sup>6</sup> Doc. dr Radoslav Tomović, Univerzitet Crne Gore, Mašinski fakultet Podgorica, radoslav@ac.me

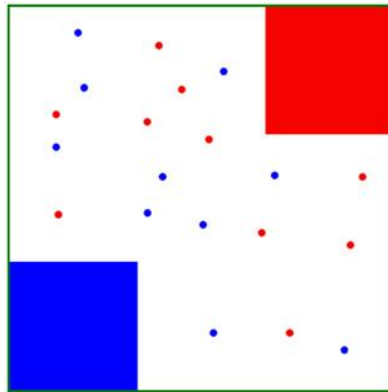
<sup>7</sup> Prof. dr Zoran Mijanović, Univerzitet Crne Gore, Elektrotehnički fakultet Podgorica, zoranm@ac.me

takmičenju u Beču u disciplini *Puck Collect*, koje je održano 29. i 30. marta 2014. god.

## 2. PUCK COLLECT DISCIPLINA

*RobotChallenge* je takmičenje koje se organizuje od 2004. godine i na njemu je do sada predstavljeno preko 1500 različitih autonomnih robota. Između niza disciplina koje se organizuju u okviru pomenutog takmičenja je i *Puck Collect* disciplina. Zadatak robota, u okviru ove discipline, je da se kreće po terenu, sakuplja pakove (diskove) odgovarajuće boje i odlaže ih u sopstvenu bazu. U jednoj takmičarskoj rundi se istovremeno nadmeću dva robota od kojih jedan u svoju bazu treba da odloži plave, a drugi crvene pakove za period od 3 minuta. Svaki pravilno isporučeni pak nosi jedan pozitivan bod, a ukoliko robot isporuči u bazu pak neodgovarajuće boje tim dobija negativan bod. Pobjednik runde je robot sa više osvojenih bodova.

Dimenzije terena su 2500x2500 [mm]. Baze (od kojih je jedna plave, a druga crvene boje) su postavljene dijagonalno i dimenzija su 700x700 [mm], dok je po deset plavih i crvenih pakova (prečnika 40 mm i visine 20 mm) nasumično raspoređeno po terenu (slika 1).



Slika 1. Izgled terena sa nasumično raspoređenim pakovima

## 3. METODOLOŠKI POSTUPAK KONSTRUISANJA

Za razvoj konstrukcije mobilnog robota za sakupljanje pakova primijenjen je tzv. metodološki postupak konstruisanja. Dok je u konvencionalnim metodama konstruisanja dominantnu ulogu imalo iskustvo i intuicija konstruktora, usljed čega je konstruktor često bivao u situaciji da odabere rješenje koje mu se u momentu učinilo kao najpogodnije, ne sprovodeći sveobuhvatnu analizu svih mogućih rješenja i faktora koji opredjeljuju tehničko–ekonomsku opravdanost proizvoda, metodološki postupak konstruisanja teži da se proces konstruisanja razvije kao uopštena metoda koja se ne bi koristila samo za pojedine slučajeve, već bi nudila mogućnost realizacije bilo kog konstruktorskog problema. On ima zadatak da u proces konstruisanja u većoj mjeri uključi logično razmišljanje, potiskujući intuiciju, subjektivno opredjeljivanje za pojedina rješenja i „slijepo“ vođenje jednom naizgled dobrom idejom. Cilj metodološkog postupka nije da se nadarenost i intuicija konstruktora zanemare, već da doprinesu njegovoj kreativnosti i usmjere ga na razvoj novih, kvalitetnijih i optimalnijih rješenja, uz

istovremeno pojednostavljivanje procesa konstruisanja i postizanje uštede, kako vremena, tako i sredstava.

Razvoj nauke o konstruisanju uslovio je nastanak više metoda metodološkog postupka konstruisanja. Razlike među njima ogledaju se u komplikovanosti i različitim pristupima pri rješavanju problema. Na Mašinskom fakultetu u Podgorici se već petnaestak godina razvija tzv. „*Praktična metoda konstruisanja proizvoda*“. Može se koristiti za razvoj novih ili modifikaciju postojećih konstrukcija. Njom se težiste stavlja na pronalazak što kvalitetnijih i kreativnijih rješenja kroz realizaciju odgovarajućih fizičkih događaja. Postupak se sprovodi kroz sedam logično povezanih i međusobno uslovljenih koraka:

- postavka zadatka i promjena osobina,
- funkcionalna struktura (logički model konstrukcije),
- principi rješenja (fizički model konstrukcije),
- konstruktivno oblikovanje (predmetni model konstrukcije),
- poboljšanje rješenja (analiza smetnji),
- izbor najpovoljnije varijante i
- konstrukciona razrada.

### **3.1 Postavka zadatka i promjena osobina**

U ovoj se fazi pristupa sveobuhvatnoj analizi kojom se, između ostalog, razmatraju mogućnosti realizacije i plasiranja proizvoda na tržište, zahtjevi investitora i sl. Iznalaze se prethodna slična rješenja, pronalaze njihove dobre strane, prikuplja adekvatna literatura i sve informacije koje mogu biti od značaja. Prvenstveno je potrebno postaviti pred konstrukciju sve zahtjeve koji proizilaze iz sveobuhvatne analize i unijeti ih u listu zahtjeva koju čine tri kategorije: fiksni zahtjevi, tolerisani zahtjevi i želje.

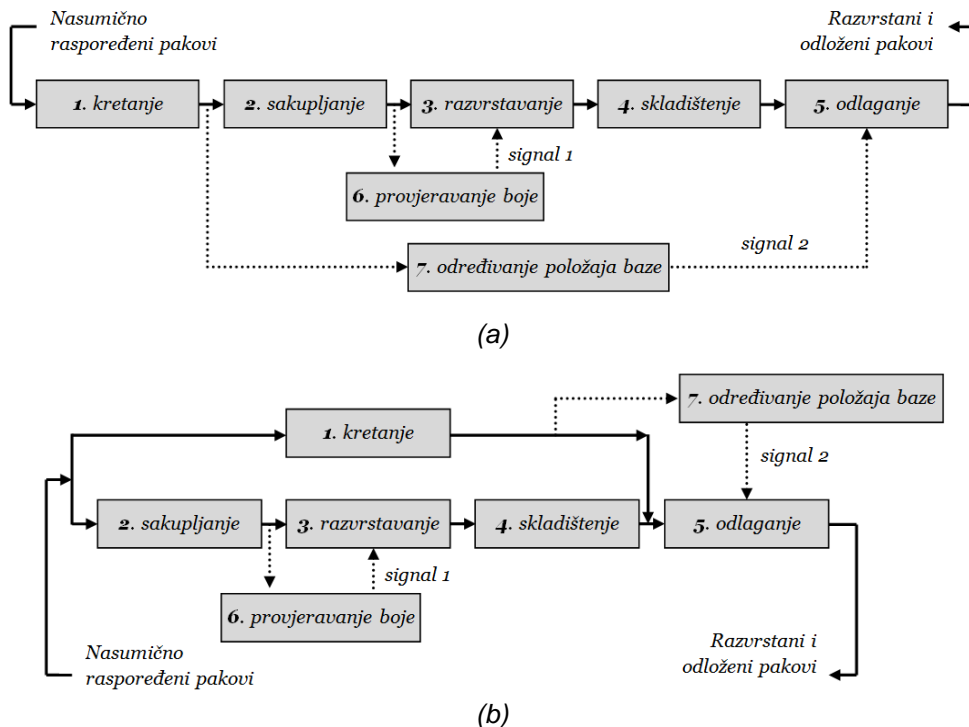
Svi ovi zahtjevi proizilaze iz potražnje investitora, analize tržišta, potreba naručioca... u zavisnosti od toga ko traži razvoj konstruktivnog rješenja i koji je planirani obim proizvodnje. Fiksni zahtjevi su oni koje je neophodno bezuslovno ispuniti. Dakle, sva ona rješenja koja ne ispunjavaju ove zahtjeve, u startu se eliminišu kao nepogodna. Tolerisani zahtjevi su oni za koje se propisuje interval u kome je neophodno da se nađe rješenje. Želje bi bilo pogodno ispuniti, ali nije obavezno i upravo su želje osnovni kriterijumi na osnovu kojih se pravi selekcija usvojenih rješenja koja zadovoljavaju prethodne dvije grupe zahtjeva. U tabeli 1 prikazana je lista zahtjeva robota za sakupljanje pakova.

Tabela 1. *Lista zahtjeva robota za sakupljanje pakova*

<i>LISTA ZAHTJEVA</i>		
<i>FIKSNI</i>	<i>TOLERISANI</i>	<i>ŽELJE</i>
<i>Autonoman rad robota</i>	<i>Dimenzije robota: do 500x500 [mm]</i>	<i>Minimalni troškovi izrade</i>
		<i>Minimalni troškovi materijala</i>
	<i>Vrijeme realizacije zadatka: do 3 minuta</i>	<i>Jednostavna konstrukcija</i>
		<i>Dobra pokretljivost</i>
		<i>Veća brzina robota</i>

### 3.2 Funkcionalna struktura (logički model konstrukcije)

Potrebno je u jednoj rečenici definisati ukupnu funkciju konstrukcije. U konkretnom slučaju ona glasi: „Potrebno je kreirati autonomni mobilni robot koji će se kretati po terenu, sakupljati pakove odgovarajuće boje i isporučiti ih na određenu lokaciju“. Ukupnu funkciju je potrebno rastaviti na što veći broj parcijalnih i elementarnih funkcija. Parcijane funkcije sadrže gotove elemente rješenja (npr. prenosici snage, izmjenjivači toplote i sl.), dok se elementarne funkcije realizuju primjenom odgovarajućih fizičkih efekata. U konkretnom slučaju je ukupna funkcija podijeljena na sljedeće parcijalne i elementarne funkcije: kretanje, sakupljanje, provjeravanje boje, razvrstavanje, skladištenje, određivanje položaja baze, odlaganje. Međusobnim povezivanjem funkcija formiraju se raznovrsne funkcionalne strukture. Neke od mogućih strukturnih varijanti prikazane su na slici 2.



Slika 2. Strukturne varijante mobilnog robota za sakupljanje pakova različite boje

Sljedeći korak je formiranje liste izbora strukturnih varijanti, kojom se biraju samo najpogodnije. Za svaku od varijanti sa ocjenama „+“ ili „-“ daje se odgovor na pitanja koja proizilaze iz liste zahtjeva:

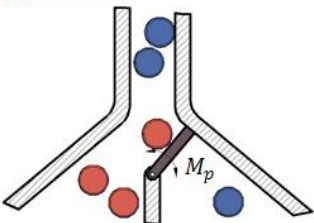
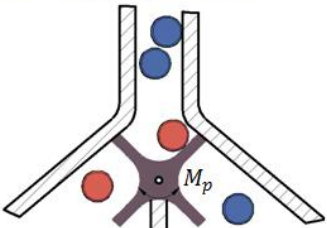
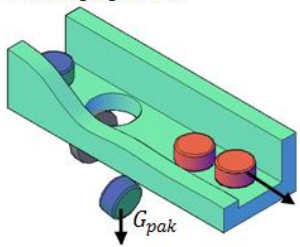
- da li struktura odgovara tehničkom zadatku,
- da li su ispunjeni traženi zahtjevi,
- postoji li mogućnost realizacije,
- je li jednostavan razvoj konstruktivnog rješenja,
- da li su troškovi materijala, izrade i održavanja u optimalnim granicama i sl.

U narednu fazu procesa konstruisanja idu samo ona rješenja koja su nakon vredovanja dobila „+“ na svako postavljeno pitanje.

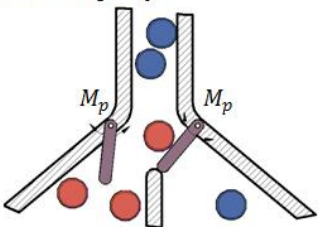
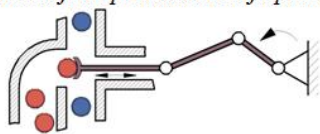
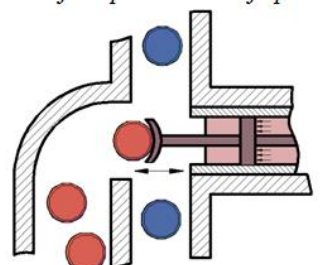
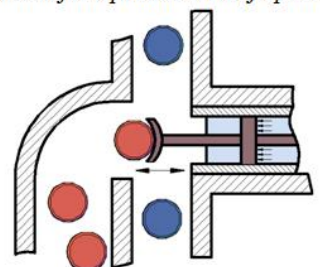
### 3.3 Principi rješenja (fizički model konstrukcije)

Kako je ukupna funkcija prethodno rastavljena na odgovarajući broj parcijalnih i elementarnih, sada je potrebno naći sve moguće fizikalne efekte koji su potencijalna rješenja pojedinih funkcija. Poželjno je da se u ovoj fazi polje mogućih rješenja što više raširi i da se popišu čak i ona rješenja za koja se smatra da i nisu baš najbolja. Svako rješenje treba numerisati, skicirati i (po mogućnosti) opisati odgovarajućom matematičkom jednačinom.

Na slici 3 prikazani su predloženi principi rješenja za parcijalnu funkciju „razvrstavanje“, a analogan postupak razrade principa rješenja potrebno je sprovesti za preostale parcijalne i elementarne funkcije.

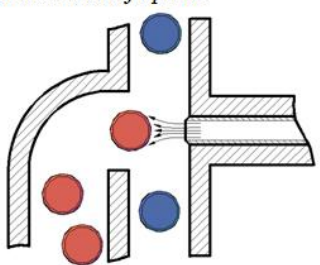
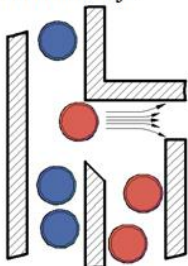
3. PARCIJALNA FUNKCIJA: RAZVRSTAVANJE			
Fizikalno područje	Fizički efekat	Princip rješenja	Oznaka rješenja
Mehanika	Obrtno kretanje klapne $M_p \geq M_i = J \cdot \varepsilon$	Razvrstavanje pomoću klapne koja bi zauzimala lijevi ili desni položaj u zavisnosti od boje paka koji je naišao 	3.1
Mehanika	Obrtno kretanje rotirajućeg elementa $M_p \geq M_i + F_{tr} \cdot h$ $M_p \geq J \cdot \varepsilon + G_{pak} \cdot \mu \cdot h$	Razvrstavanje rotirajućim elementom sa pregradama 	3.2
Mehanika	Efekat propadanja (slobodni pad paka kroz otvor) $G_{pak} = m \cdot g$ $v_{pak} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$ Obrtno kretanje vrata od otvora $M_p = M_i = J \cdot \varepsilon$	Razvrstavanje kanalom sa otvorom na dnu, koji bi se otvarao i zatvarao po potrebi 	3.3

Slika 3. Principi rješenja za parcijalnu funkciju „razvrstavanje“

3. PARCIJALNA FUNKCIJA: RAZVRSTAVANJE			
Fizikalno područje	Fizički efekat	Princip rješenja	Oznaka rješenja
Mehanika	<p>Obrtno kretanje vrata</p> $M_p = M_i = J \cdot \varepsilon$	<p>Razvrstavanje pomoću dvoje vrata, od kojih se jedna otvaraju za pakove jedne, a druga za pakove druge boje</p> 	3.4
Mehanika (mehanizmi)	<p>Sila udara elementa (klizača) o pak – sila akcije</p> $F = m \cdot a$	<p>Razvrstavanje elementom koji bi preusmjerio pravac kretanja paka</p> 	3.5
Hidraulika	<p>Sila udara elementa (klipa) o pak – sila akcije</p> $F = m \cdot a$	<p>Razvrstavanje elementom koji bi preusmjerio pravac kretanja paka</p> 	3.6
Pneumatika	<p>Sila udara elementa (klipa) o pak – sila akcije</p> $F = m \cdot a$	<p>Razvrstavanje elementom koji bi preusmjerio pravac kretanja paka</p> 	3.7

Slika 3. Principi rješenja za parcijalnu funkciju „razvrstavanje“ (nastavak)







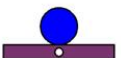







3. PARCIJALNA FUNKCIJA: RAZVRSTAVANJE			
Fizikalno područje	Fizički efekt	Princip rješenja	Oznaka rješenja
Mehanika fluida	Strujanje vazduha	Razvrstavanje strujanjem vazduha koje bi promijenilo pravac kretanja pakova 	3.8
Mehanika fluida	Sile usisavanja	Razvrstavanje pakova određene boje usisavanjem 	3.9

Slika 3. Principi rješenja za parcijalnu funkciju „razvrstavanje“ (nastavak)

Svi predloženi principi rješenja vrednuju se na isti način kao i strukturne varijante u prethodnoj fazi. Usvojena rješenja za svaku parcijalnu funkciju unose se u tzv. morfološku kutiju. Potom se međusobno povezuju pojedina rješenja po sistemu snošljivosti i na taj način formiraju raznovrsne konceptijske varijante. Konceptijske varijante potrebno je vrednovati na osnovu kriterijuma formiranih u skladu sa listom zahtjeva. Svakom kriterijumu se, u zavisnosti od njegovog značaja, dodjeljuje težinski faktor, a stepen njegovog ispunjenja za pojedine konceptijske varijante vrednuje ocjenom od 0 do 4. Zbirna vrijednost proizvoda težinskog faktora i stepena ispunjenja za svaki predloženi kriterijum daje vrijednost na osnovu koje se na dalje razmatranje uzimaju samo najpogodnija rješenja.

### 3.4 Konstruktivno oblikovanje (predmetni model konstrukcije)

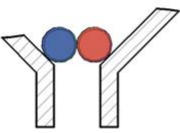
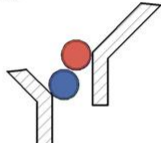
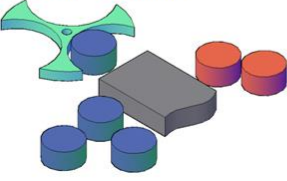
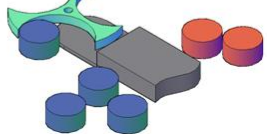
Na osnovu konceptijske varijante odabrane u prethodnoj fazi, potrebno je formirati trodimenzionalni oblik konstrukcije kojom će se realizovati predviđeni fizički događaji. U ovoj fazi se vrše odgovarajući proračuni koji će omogućiti kvalitetnu sintezu pojedinih elemenata konstrukcije. Prvi korak je crtanje osnovne dispozicione skice principijelnog rješenja, na osnovu kog se vrši obrazovanje konstrukcionih varijanti koje se realizuju istim fizičkim efektima, ali se međusobno razlikuju u obliku, broju, dimenzijama ili položaju radnih površina. Na slici 4 prikazana je varijacija konstruktivnih varijanti usvojenog principijelnog rješenja za parcijalnu funkciju „razvrstavanje“, a analognim postupkom vrši se varijacija ostalih konstruktivnih varijanti.

OSNOVNA DISPOZICIJA	3.2.1 			
VARIJACIJA OBLIKA RADNIH POVRŠINA	3.2.2 	3.2.3 	3.2.4 	
VARIJACIJA BROJA I OBLIKA RADNIH POVRŠINA	3.2.5 	3.2.6 	3.2.7 	3.2.8 
	3.2.9 	3.2.10 	3.2.11 	3.2.12 

Slika 4. Matrica varijacije konstruktivnih varijanti za principijelno rješenje 3.2

### 3.5 Poboljšanje rješenja (analiza smetnji)

Svaka pojedinačna konstruktivna varijanta se razmatra zasebno i provjerava da li bez smetnji može obavljati funkciju. Ukoliko se utvrdi da postoji smetnja koja bitno može uticati na funkcionalnost konstrukcije, potrebno je predložiti mjere za njeno otklanjanje ili smanjenje. Na slici 5 prikazana je analiza smetnji pojedinih konstruktivnih varijanti.

Pareijalna rješenja	SMETNJE	MJERE
1.8.1 do 1.8.6	Nedovoljna snaga motora za pokretanje robota	Izvršiti proračun potrebnih karakteristika motora na osnovu kojih bi se odredio broj, tip i raspored pogonskih elemenata robota
2.6.1 do 2.6.5	Mogućnost zaglavljivanja pakova na grlu konusnog elementa 	Desnu stranu konusnog elementa pomjeriti naprijed u odnosu na lijevu (ili obratno) 
3.2.1 do 3.2.12	Mogućnost odlaganja pakova u pogrešan dio rezervoara 	Postaviti dodatni pregradni element, koji će pak usmjeriti u svoj dio rezervoara ne dozvoljavajući mu da ode u pogrešan 

Slika 5. Analiza smetnji konstruktivnih varijanti robota za sakupljanje pakova



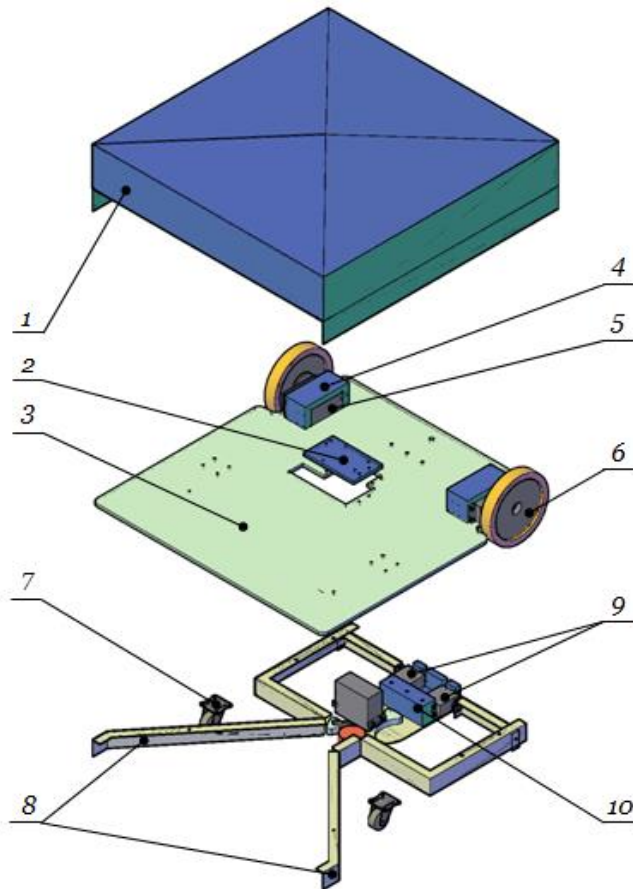
### **3.6 Izbor najpovoljnije varijante**

Vrednovanje konstruktivnih varijanti ima za cilj izbor samo po jedne varijante za svaku parcijalnu funkciju, koje će objedinjene dati najoptimalnije rješenje. Zbog velikog broja mogućih rješenja, postupak vrednovanja se vrši u dva koraka.

U prvom koraku je, analogno izboru najpovoljnije konceptijske varijante, potrebno je izvršiti izbor najpovoljnijih konstruktivnih varijanti dobijenih nakon analize smetnji.

U drugom koraku se preostale konceptijske varijante unose u morfološku kutiju i njihovim međusobnim povezivanjem formiraju najpovoljnije finalne varijante, od kojih se sličnim sistemom procjene bira samo jedna.

Produkt svih dosadašnjih faza procesa konstruisanja je prvi sklopni crtež dat na slici 6.



Slika 6. Finalni model konstrukcije robota u rasklopljenom obliku

- 1) oklop, 2) držač elektronskih komponenti, 3) osnovna ploča od pleksiglasa, 4) držač pogonskog motora, 5) pogonski motor, 6) pogonski točak, 7) osloni točak, 8) konusni element, 9) motori za vrata od rezervoara, 10) držač motora za vrata od rezervoara

### 3.7 Konstrukciona razrada

Ova faza posvećena je doradi finisa na konstrukciji. U dosadašnjem toku procesa konstruisanja dobijen je sklopni crtež konstrukcije i prvi trodimenzionalni model u AutoCAD-u. Na osnovu njih se pažljivo razmatraju jedan po jedan konstruktivni element, finalno definišu njihove dimenzije i oblik, a zatim crta radionički crtež na osnovu koga će dati element biti izrađen. Vrše se, prema potrebi, i završni proračuni kojima se definišu tolerancije nalijeganja i sl. Rezultat ove faze je kompletiranje tehničke dokumentacije.

## 4. ZAKLJUČCI

1. Prvobitno je bilo zamišljeno da robot usisava pakove i sortira ih u usisnom kanalu. Primjena metodološkog postupka konstruisanja ukazala je na znatno realnije i jednostavnije rješenje.
2. Sveobuhvatnom analizom utvrđene su slabe strane konstrukcije i dati prijedlozi za poboljšanje.
3. Dobijena je vrlo jednostavna konstrukcija koja se u narednom periodu, takođe primjenom metodološkog postupka, može lako poboljšati. Učešće na takmičenju nam je pokazalo dobre i loše strane konstruktivnih rješenja drugih robota, što se može iskoristiti pri adaptaciji našeg.

## NAPOMENA

Ovaj rad je podržan kroz *Projekat višefunkcionalnog servisnog robota „MNE-ROBECO“* (2012-2015) koji finansira Ministarstvo nauke Crne Gore, a čiji je nosilac Mašinski fakultet Univerziteta Crne Gore.

## LITERATURA

- [1] Tomović, R. (2000). *Primjena savremenih metoda konstruisanja u razvoju proizvoda mašinske industrije*, Magistarski rad, Univerzitet Crne Gore, Mašinski fakultet, Podgorica.
- [2] Tomović, R. (2014). *Osnovi konstruisanja*, Univerzitet Crne Gore, Mašinski fakultet, Podgorica.
- [3] RobotChallenge - Puck Collect Rules, [http://www.robotchallenge.org/fileadmin/user\\_upload/\\_temp\\_/RobotChallenge/Reglement/RC-PuckCollect.pdf](http://www.robotchallenge.org/fileadmin/user_upload/_temp_/RobotChallenge/Reglement/RC-PuckCollect.pdf), pristupljeno 25.03.2014.
- [4] Jovanović, J. (2013). *Konstruisanje podržano računarom*, Univerzitet Crne Gore, Mašinski fakultet, Podgorica.
- [5] Bulatović, R. (2011). *Mašinski elementi I*, Univerzitet Crne Gore, Mašinski fakultet, Podgorica.



## MEHANIČKA ISPITIVANJA GRAĐEVINSKIH METALNIH KONSTRUKCIJA U USLOVIMA ZEMLJOTRESA

Žarko Mišković<sup>1</sup>, Zoran Stamenić<sup>2</sup>, Jefko Terzović<sup>3</sup>, Radivoje Mitrović<sup>4</sup>

*Rezime: Istorijska, kulturna, građevinska baština čine identitet jednog naroda. Zato je imperativ, zaštititi ih i sačuvati za naredna pokoljenja. Kod restauracije, konzervacije i rekonstrukcije Zakonom zaštićenih građevinskih objekata, posebnu pažnju treba obratiti na stabilnost, a pri tome ne remetiti ni spoljašnji ni unutrašnji izgled. U ovom radu je prikazano mehaničko ispitivanje dinamičkim dejstvom sile, alternativne konstrukcije prozorskih panela na zaštićenom istorijskom objektu u uslovima zemljotresa. Izmenom konstrukcije prozorskih panela povećana je krutost i izdržljivost na seizmička pomeranja. Ovaj multidisciplinarni problem realizovan je saradnjom Arhitektonskog, Građevinskog i Mašinskog, fakulteta Univerziteta u Beogradu.*

*Ključne reči: Dinamička ispitivanja, Metalna građevinska konstrukcija, Prozorski paneli*

### MECHANICAL TESTING OF METAL BUILDING CONSTRUCTION IN EARTHQUAKE CONDITIONS

*Abstract: Historical, cultural, architectural heritage make up the identity of a nation. Therefore, it is imperative to protect them and preserve for future generations. In the restoration, conservation and reconstruction of the Act protected buildings, special attention should be paid to stability, in a way it does not interfere with either the external nor internal appearance. This paper presents a dynamic mechanical testing of window alternative construction panel in a protected historic building in earthquake condition. By changing the design of window panel the rigidity and resistance to seismic shifts has been increased. This multidisciplinary problem was realized by cooperation of faculties of Architecture, Civil and Mechanical Engineering, University of Belgrade.*

*Keywords: Dynamic testing, Metal building construction, window panel*

#### 1. UVODNA RAZMATRANJA

Balkansko poluostrvo ima najkomplikovanije tektonske osobine u Evropi.

<sup>1</sup> Asistent Žarko Mišković, dipl.inž.maš., Univerzitet u Beogradu-Mašinski fakultet, zmiskovic@mas.bg.ac.rs

<sup>2</sup> Doc. dr Zoran Stamenić, Univerzitet u Beogradu-Mašinski fakultet (CA), zstamenic@mas.bg.ac.rs

<sup>3</sup> Asistent Jefko Terzović, Arhitektonski fakultet Univerziteta u Beogradu, terzovic@gmail

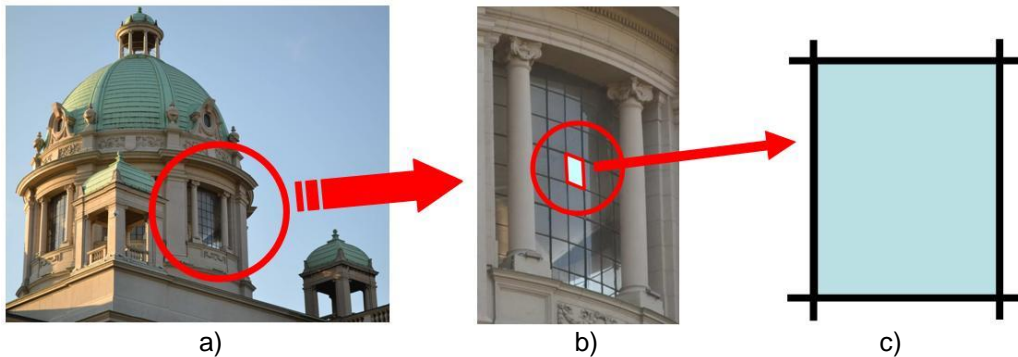
<sup>4</sup> Prof. dr Radivoje Mitrović, Univerzitet u Beogradu-Mašinski fakultet, rmitrovic@mas.bg.ac.rs

Seizmička aktivnost dovodi do uzastopnih razornih zemljotresa u ovom regionu, koji zbog tradicionalne gradnje uništavaju čitava sela i dovode do gubitka mnogih života. U regionu se u proseku desi 6,3 potresa svake godine [1]. Samo tokom prošlog veka zabeleženo je preko 80 razornih zemljotresa. Seizmički najaktivnije oblasti su bile na području Jadranskog primorja, zapadne i severne Makedonije, Šumadije u predelu Rudnika i Pomoravlja. Najmirnija oblast je bila Karpatsko - Balkanska u kojoj su se javljali samo manji potresi [2]. Prema podacima Seizmološkog zavoda Srbije, navodi se, da se naš region nalazi u zoni umerene seizmičke aktivnosti - najjači zemljotresi mogu biti *magnitude* 5,7 do 5,9 jedinica *Rihterove skale* (prilog A), odnosno jačine na površini do 8 stepeni *Merkalijeve skale* (prilog A). Ovo nisu razorno – rušilački zemljotresi što ne umanjuje njihove katastrofalne posledice (prisetimo se zemljotresa u Makedoniji, Banja Luci, Kopaoniku, Crnoj Gori, Kraljevu...). Sagledavajući zahvaćeno područje generalno, oni ne mogu da izazovu totalno rušenje zgrada već da ih, eventualno, učine neupotrebljivom za život. Od njih se štiti dobrom gradnjom objekata.

Imajući ovo u vidu, kao i činjenicu da su skoro svi Zakonom zaštićeni građevinski objekti od istorijske važnosti zidani starom tehnikom gradnje, često ne uzimajući u obzir integritet konstrukcija u uslovima zemljotresa, prilikom njihove sanacije konstrukcije je potrebno posvetiti posebnu pažnju. Proces sanacije konstrukcije i ojačavanja ovakvih objekata je često otežan, jer takvi objekti podležu Zakonu za čije je sprovođenje nadležan lokalni Zavod za zaštitu spomenika kulture, prema kojem nije dozvoljeno menjati ni spoljašnji niti unutrašnji izgled, odnosno, njihova arhitektonska i kulturnoistorijska vrednost. U ovom radu je prikazan deo istraživanja idejnog rešenja povećanja krutosti objekta, modifikacijom metalne konstrukcije prozorskih okana velike površine, kao i njeno mehaničko ispitivanje u uslovima zemljotresa.

## 2. UVOD U ISPITIVANJA

Za rešavanje ovog multidisciplinarnog problema oformljen je tim stručnjaka sa Građevinskog, Arhitektonskog i Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Ciljevi ispitivanja su bili da se utvrdi da li pojednostavljeni segment panela može da izdrži predviđena opterećenja i naprezanja u granicama dozvoljenih deformacija, i da li je ovakvim konstrukcionim rešenjem moguće povećati krutost, a samim tim i izdržljivost građevinskog objekta na seizmička pomeranja uzrokovana zemljotresom, uzimajući u obzir parametre mogućih zemljotresa za područje na kojem se objekat nalazi, dobijene od Republičkog seizmološkog zavoda, Slika 1.



Slika 1. Objekt ispitivanja i pozicija opitnih panela

Projektanti konstrukcije su došli do inovativnog pionirskog rešenja, proverenog računarskim analizama, da umesto običnog stakla u okvirima postojeće bravarije tambura objekta (Slika 1) u istom vizuelnom ritmu primene u čeličnom ramu ispunu od panela stakla, utisnutom u gumeni muf, po sistemu vetrobranskog stakla na automobilu. Ova ispuna može biti alternativno od lameliranog stakla ili od lameliranog polikarbonata - klirita. Do sada, ni staklo ni klirit se, kao konstrukcioni materijali, ni kod nas ni u svetu, još nisu koristili za prijem i amortizaciju seizmičkih sila, u cilju željenog povećanja krutosti konstrukcionog sistema.

Na osnovu rezultata ovog naučnoistraživačkog projekta, upoređenjem performansi oba materijala, projektanti konstrukcije će izabrati optimalni materijal i primeniti ga na objektu, u cilju povećanja njihove krutosti.

### 3. DINAMIČKA I STATIČKA ISPITIVANJA PROZORSKIH PANELA

Dinamičko i statičko ispitivanja panela od oba materijala ispune alternativno, su obavljena na servo hidrauličnoj mašini za dinamičko i statičko ispitivanje materijala ZWICK Roell HB – 250 (pulzatoru) poslednje generacije, Slika 2, na Katedri za opšte mašinske konstrukcije Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, u akreditovanoj Laboratoriji za Ispitivanje Mašinskih Elemenata i Sistema – LIMES (ATS 31-304 SRPS ISO/IEC 17025:2006).

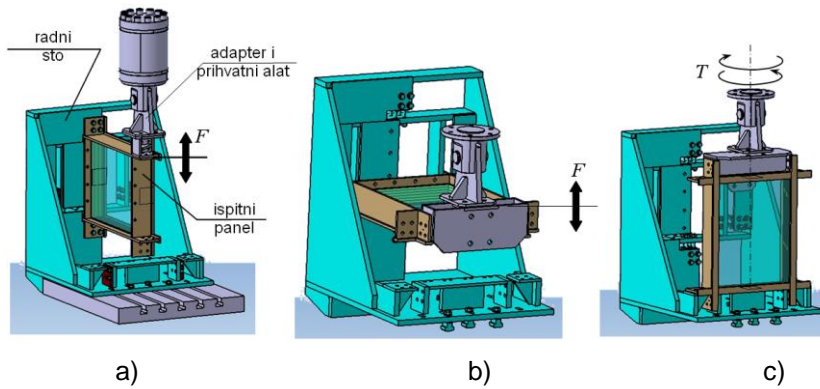


Slika 2. Servo hidraulična mašina za dinamičko i statičko ispitivanje materijala ZWICK Roell HB – 250

Ekspерimenti su izvedeni na realnom modelu osnovnog pojedinačnog elementa konstrukcije, Slika 1c. Realni model (ispitni panel) osnovnog pojedinačnog elementa konstrukcije je panel 40×50cm, materijalizovan od višeslojnog laminantnog stakla/klirita ukupne debljine 60mm, uokvirenog čeličnim ramom, sa slojem tvrde gume (kedera) na kontaktu stakla/klirita i čelika. Predviđena su sledeća statička i dinamička ispitivanja opitnih panela:

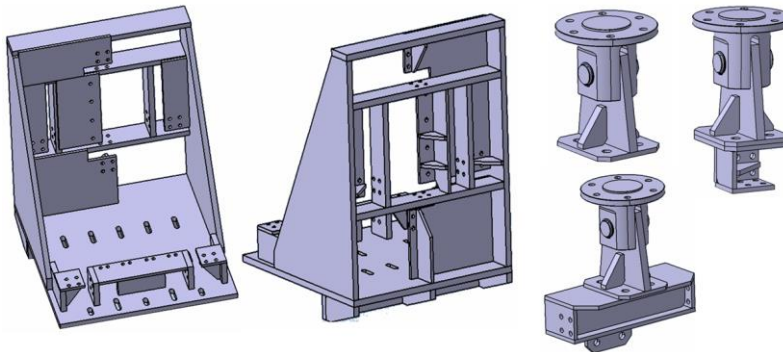
- Slučaj 1. – ispitivanja delovanjem opterećenja bočno u ravni panela, Slika 3a;
- Slučaj 2. – Ispitivanja savijanjem normalno na ravan panela, Slika 3b;
- Slučaj 3. – Ispitivanja uvijanjem oko ose panela, Slika 3c;





Slika 3. Položaj prozorskog panela i alata na mašini za ispitivanje i pravci delovanja opterećenja

Za potrebe ispitivanja, velika pažnja je posvećena konstruisanju niza posebnih alata, velikih krutosti čime je sprečeno da njihove mikro elastične deformacije utiču na rezultate ispitivanja, slika 4.

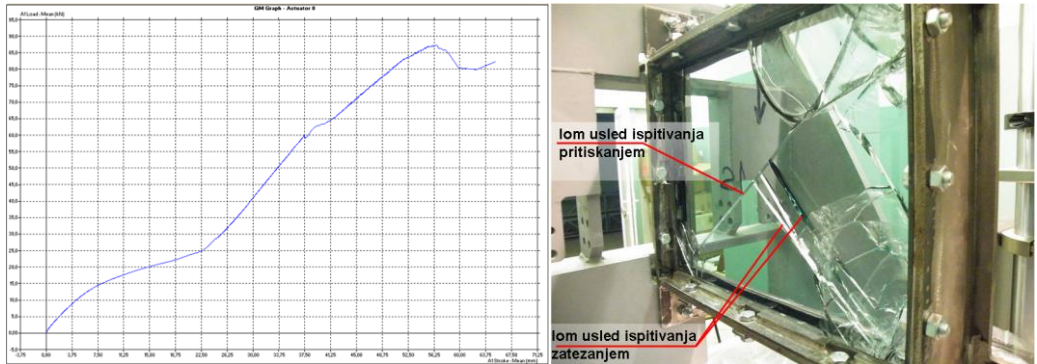


Slika 4. Izgled glavnog alata – stola i niza alata sa zglobom za uvođenje opterećenja

Kao ulazni parametri za ova ispitivanja korišćeni su podaci dobijeni proračunom, a koji su u saglasnosti sa podacima dobijenim od Republičkog Seizmološkog Zavoda i odgovaraju parametrima očekivanih zemljotresa, kao i vrednostima sila koje deluju na panel usled uticaja ostatka konstrukcije. Shodno rezultatima proračuna, odlučeno je da puni intenzitet radne dinamičke sile (amplitude) bude jednak nominalnom opterećenju ( $F_a = P_r = P_n = 33,0 \text{ kN}$ ). Na osnovu podataka, formirani su adekvatni spektri opterećenja za svako ispitivanje. Varirani parametri su: vrednosti dinamičkih sila, broj ciklusa, vreme delovanja opterećenja i vrsta naprezanja.

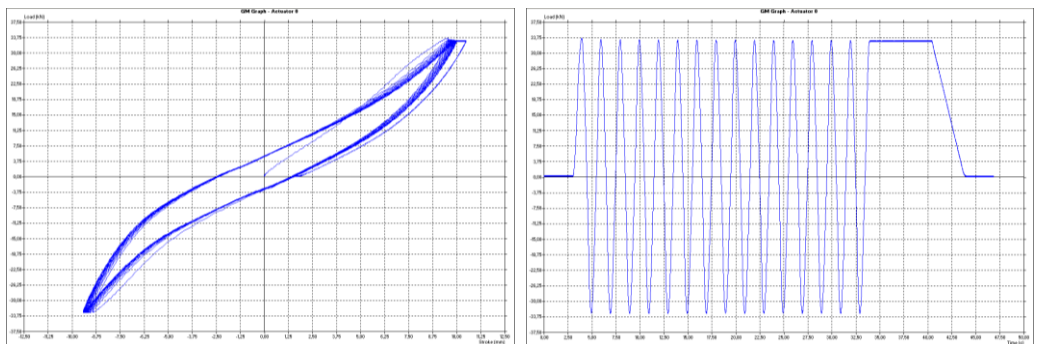
Prvo su sprovedena statička ispitivanja ispitnog panela zatezanjem i pritiskivanjem, postepenim uvođenjem opterećenja u bočnoj ravni panela (Slika 3a) do vrednosti, koja odgovara proračunatoj granici izdržljivosti ispitivane komponente. Eksperimentalni rezultati su pokazali veliko poklapanje sa analitičkim vrednostima. Imajući u vidu činjenicu da se radi o komplikovanoj konstrukciji kompleksne geometrije, sa tri različita materijala u kontaktu i zavarenim spojevima, podudaranje rezultata ukazuje da su svi parametri i ograničenja komplikovanog proračuna odabrani korektno. Jedan od dijagrama statičkih ispitivanja i fotografija panela nakon ispitivanja do loma

prikazani su na Slici 5.

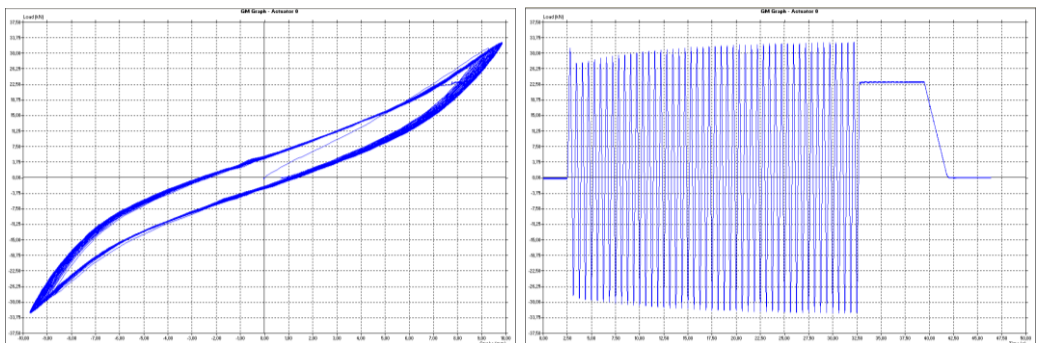


Slika 5. Dijagram ispitivanja zatezanjem i fotografija panela nakon ispitivanja

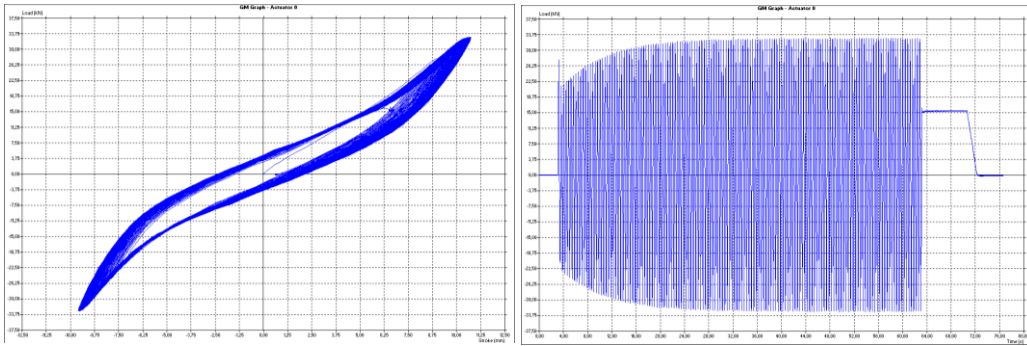
Kako je pri dinamičkom proračunu korišćen isti matematički model konstrukcije ispitnog panela, koji je kroz statička ispitivanja pokazao visok stepen poklapanja sa eksperimentalnim rezultatima, nastavljeno je sa dinamičkim ispitivanjima bez korigovanja parametara. Simulirana su opterećenja više karakterističnih očekivanih zemljotresa, sa variranjima amplituda, vremena trajanja i brojem ciklusa. Neki od mnogobrojnih rezultata predstavljeni su dijagramski na slikama 6 - 8.



Slika 6. Dinamičko ispitivanje:  $v_1=0,5$  Hz,  $F_D=33$  kN, 15 ciklusa, vreme trajanja 30 sec



Slika 7. Dinamičko ispitivanje:  $v_1=1,6$  Hz,  $F_D=33$  kN, 48 ciklusa, vreme trajanja 30 sec



Slika 8. Dinamičko ispitivanje:  $\nu_1=2,5$  Hz,  $F_D=33$  kN, 150 ciklusa, vreme trajanja 60 sec

#### 4. ZAKLJUČAK

Rezultati proračuna i rezultati veoma obimnih eksperimentalnih ispitivanja dali su temelj daljim istraživanjima da se ovakvim rekonstrukcijama mogu sanirati zaštićeni građevinski objekti od istorijske važnosti. Ovakvi i niz drugih eksperimenata je pokazao da se i ovakva kompleksna ispitivanja mogu raditi u našoj zemlji.

#### PRILOG A

*Magnituda* je relativna mera oslobođene energije u zemljotresu. To je neimenovan broj, a uobičajene vrednosti se nalaze u granicama 1 - 9. Veoma slabi zemljotresi mogu imati i negativnu magnitudu. U čast seizmologa Rihtera, koji je 1935. godine matematički definisao magnitudu kao energetska meru dogođenog zemljotresa, ovaj parametar zemljotresa se naziva i *Rihterova magnituda*.

Intezitet zemljotresa izaziva stepen površinskih efekata zemljotresa – na građevinskim objektima, tlu, ljudima. Izražava se celobrojnim skalama od I do XII stepeni za tzv. *Merkalijevu skalu* ili kratko *MCS*, kao i ekvivalentne, ali znatno detaljnije skale EMS-98 (Evropska Makroseizmička Skala iz 1998. godine). Intezitet zemljotresa znatno zavisi od dubine žarišta zemljotresa (dublji hipocentar sa istom magnitudom znači manji intezitet na površini tla i obrnuto), ali i od rastojanja tačke posmatranja do epicentra. Površine koje u široj oblasti epicentra obuhvataju zone sa istim stepenom dogođenog inteziteta nazivaju se izoseistama zemljotresa.

#### LITERATURA

- [1] Marković J.: Geografske posledice seizmičke aktivnosti Jugoslavije, Beograd, 1980.
- [2] Petrović D, Manojlović P.: Geomorfologija, Beograd, 2003.
- [3] Prof. dr Branislav Čorić, prof. dr Grada Srećković, Jefto Terzović, dipl.inž.arh. : *Idejni projekat sanacije krovne konstrukcije doma Narodne Skupštine u Beogradu*, Građevinski i arhitektonski fakultet, Beograd, 2013.
- [4] Prof. dr Radivoje Mitrović, doc. dr Zoran Stamenić, Žarko Mišković, dipl.inž.maš.: *Izveštaj o laboratorijskom ispitivanju eksperimentalnog modela sa ispunom od lameliranog stakla/polikarbonata na dejstvo statičkog i dinamičkog opterećenja*, Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, 2014.





## RAZVOJ EKSPERIMENTALNE METODOLOGIJE ZA ISPITIVANJE ZAPTIVNIH GRUPE TRANSPORTNIH VALJAKA

Radivoje Mitrović<sup>1</sup>, Žarko Mišković<sup>2</sup>, Gradimir Ivanović<sup>3</sup>,  
Milan Tasić<sup>4</sup>, Zoran Stamenić<sup>5</sup>

*Rezime: Analiza dostupne literature je pokazala da su u oblasti zaptivnih grupa već sprovedena brojna i sveobuhvatna istraživanja. Međutim, specifična problematika zaptivanja transportnih valjaka nije dovoljno istražena. Kvalitet zaptivne grupe značajno utiče na radni vek ležaja transportnih valjaka, pa je potreba za ovim istraživanjima još izraženija. U cilju doprinosna rešavanju takve potrebe, na Univerzitetu u Beogradu - Mašinskom fakultetu je razvijena nova eksperimentalna metodologija za ispitivanje zaptivnih grupa transportnih valjaka. Ona je zasnovana na prinudnom ubacivanju čestica nečistoća kroz zaptivnu grupu ispitivanog valjka i merenju mase čestica, koje su prošle kroz zaptivač. Takođe, za implementaciju opisane metodologije je namenski razvijena i ispitna instalacija, odnosno, odgovarajući probni sto. U preliminarnim ispitivanjima su kao reprezentativni uzorci, korišćeni transportni valjci sa površinskih kopova uglja, a rezultati su u potpunosti ispunili očekivanja.*

*Ključne riječi: eksperimentalna metodologija, površinski kopovi, transportni valjci, zaptivne grupe*

### DEVELOPMENT OF EXPERIMENTAL METHODOLOGY FOR CONVEYOR IDLER'S SEALING GROUP TESTING

*Abstract: Analysis of the available relevant literature has shown that there are many researches performed in the area of the sealing groups. However, among them there are very few dealing with specific problems of conveyor idler's sealings. Taking into account that quality of the sealing significantly affects idler's bearings service life, the need for appropriate research is undeniable. In order to resolve the described problem, a new experimental methodology for conveyor idler's sealing group testing was developed at the University of Belgrade – Faculty of Mechanical Engineering. Basic principle of abovementioned methodology is to artificially enforce contamination particles through conveyor idler's sealing group and after that to measure the weight of particles which have passed through the sealing.*

<sup>1</sup> dr Radivoje Mitrović, Beograd, Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, rmitrovic@mas.bg.ac.rs

<sup>2</sup> dipl.inž. Žarko Mišković, Beograd, Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, CA, zmiskovic@mas.bg.ac.rs

<sup>3</sup> dr Gradimir Ivanović, Beograd, Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, givanovic@mas.bg.ac.rs

<sup>4</sup> dr Milan Tasić, Beograd, Visoka škola strukovnih studija – Tehnikum Taurinum, tasam@sezampro.rs

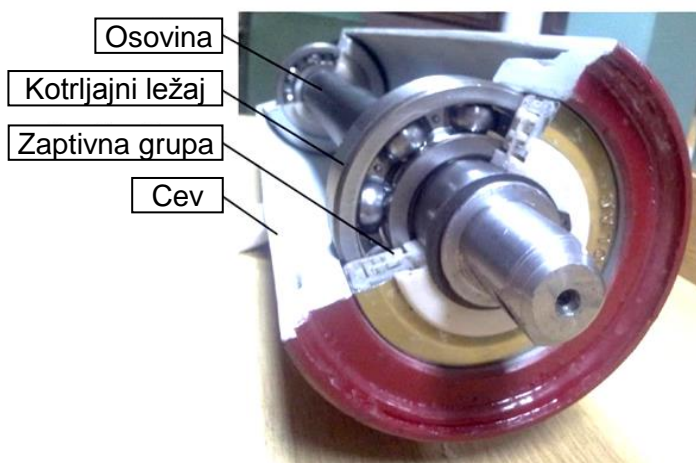
<sup>5</sup> dr Zoran Stamenić, Beograd, Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, zstamenic@mas.bg.ac.rs

*For practical implementation of described methodology adequate testing machine was developed. As representative test samples, sealing groups from open pit coal mine conveyor idlers were tested and gained experimental results fully confirmed the expectations – developed methodology can be successfully used to increase efficiency and reliability of open pit coal mines conveyor idlers, thus increasing overall quality of the power production systems.*

*Key words: conveyor idlers, experimental methodology, open pit mines, sealing groups*

## 1. UVOD – RAZLOG ISTRAŽIVANJA

Transportni valjci su delovi sistema trakastog transportera. Njihova uloga je da prenesu opterećenje sa transportne trake i tereta koji se transportuje na noseću konstrukciju (ram). Najčešće se sastoje od osovine i cevi; oni su povezani parom ležaja (uglavnom kugličnih), zaštićenih parom zaptivnih grupa (Slika 1). Tokom rada, transportni valjak je u neposrednom kontaktu sa transportnom trakom; to uzrokuje njegovo intenzivno grejanje i habanje.



Slika 1. Sastavni delovi tipičnog sklopa transportnog valjka

U sklopu transportnog valjka najčešće strada uležištenje. To je prvenstveno zbog izuzetno nepogodnih radnih uslova u kojima transportni valjci funkcionišu. To su: prisustvo velike koncentracije čestica prašine i rastresitog materijala; zaprljana voda; atmosferski uslovi itd. Element koji treba da spreči prodiranje ovih kontaminanata u uležištenje transportnog valjka je zaptivač, odnosno, zaptivna grupa transportnog valjka. Brojnim istraživanjima je potvrđeno da otkazu uležištenja transportnog valjka prethodi otkaz njegove zaptivne grupe (primer prikazan na Slici 2).

Značaj zaptivne grupe za performanse celokupnog sklopa transportnog valjka je prepoznat i na nacionalnom i internacionalnom nivou. Zato se više međunarodnih udruženja bavi njenim usavršavanjem, standardizacijom i tipizacijom (npr., SAIMH - The South African Institute of Materials Handling, CKIT - The Bulk Materials Handling Knowledge Base, CEMA - Conveyor Equipment Manufacturers Association itd.).



Slika 2. Primer otkaza zaptivne grupe transportnog valjka

## 2. STANDARDIZOVANE METODOLOGIJE ISPITIVANJA ZAPTIVNIH GRUPA TRANSPORTNIH VALJAKA

Masovna primena transportnih valjaka u sistemima kontinualnog transporta je uslovila uvođenje standardizacije i u ovoj oblasti. Cilj je da se uticajem na projektante, proizvođače i korisnike stvori što je moguće bolji proizvod. On mora da zadovolji mnogo zahteva u eksploataciji. Takođe i u pogodnosti za proizvodnju i održavanje. Istovremeni imperativi su smanjenje proizvodne cene i povećanje radne pouzdanosti.

Mnogi od navednih zahteva su međusobno suprotstavljeni. Zato je neophodno definisanje procedura merenja i/ili ispitivanja koje bi omogućile proveru zahtevanih svojstava proizvoda.

Metodologiju ispitivanja zaptivnih grupa transportnih valjaka propisuje više međunarodnih standarda (uz specifične razlike). Postoje i brojne metodologije i ispitne instalacije, koje su nezavisni istraživači samostalno razvili.

Za potrebe takve provere najdetaljnije smernice omogućava odgovarajući DIN (Deutsche Industrie Normen) standard.

### 2.1 Nemački standard DIN 22112-3:1996-03 [1]

Ovo je najčešće korišćeni standard za ispitivanje kvaliteta zaptivenosti transportnih valjaka – iako ima neka odstupanja i varijacije u konstrukciji probnih stolova.

DIN 22112-3:1996-03 propisuje dva tipa ispitivanja otpornosti: na prodiranje vode i na prodiranje čvrstih čestica.

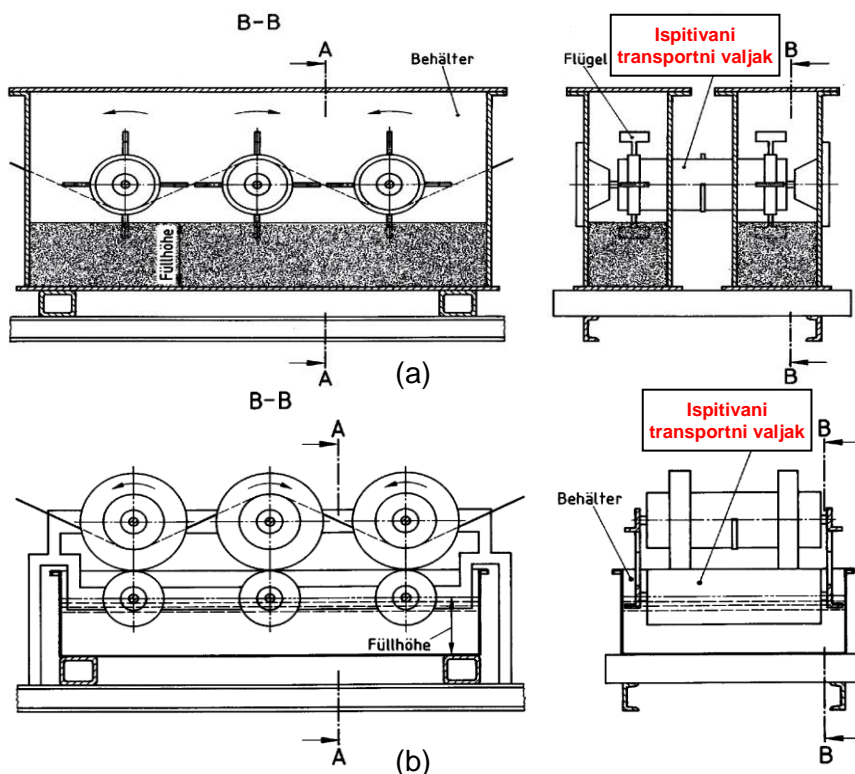
#### 2.1.1 Ispitivanje otpornosti transportnih valjaka na prodiranje čvrstih čestica

Prvi korak eksperimentalnog ispitivanja je učvršćivanje ispitivanih valjaka (u horizontalnom položaju) u odgovarajuće oslonce probnog stola (Slika 3a). Krajevi ispitivanih valjaka (sa zaptivačima) su u komorama sa prašinom standardizovanog sastava. Pri krajevima cevi ispitivanih valjaka su tokom ispitivanja montirani elementi sa lopaticama. Njihova funkcija je da vrtlože prašinu unutar komore.

Tokom ispitivanja, obimna brzina tela valjka treba da iznosi 1 m/s, a ispitivanje jedne serije od tri uzorka traje ukupno 96 sati.

Posle ispitivanja se razara sklop zaptivača. Vizuelno se utvrđuje da li je i koliko prašina prošla kroz zaptivnu grupu u uležištenje ispitivanih valjaka.

DIN standard ne definiše kriterijum za ocenu nivoa kvaliteta zaptivne grupe preko dubine prodiranja nečistoća.



Slika 3. Probni stolovi prema DIN 22112-3:1996-03  
 a) za ispitivanje otpornosti na prodiranje čvrstih čestica  
 b) za ispitivanje otpornosti na prodiranje vode

### 2.1.2 Ispitivanje otpornosti transportnih valjaka na prodiranje vode

Ispitivani transportni valjci se krajevima učvršćuju u kućište probnog stola (Slika 3b). Kućište je ispunjeno vodom kvaliteta vode za piće. Položaj podužne osovine valjka se poklapa sa vodenim ogledalom kupatila.

Transportni valjci se zatim 96 sati okreću pri obimnoj brzini tela valjka od 1 m/s. Za vreme ispitivanja, ispitivani valjci se svakih 24 sata vade iz vode. Meri im se masa, u cilju određivanja količine vode, koja je prošla kroz njihove zaptivne grupe.

Po završetku opisanih aktivnosti, valjci se obavezno na određeno vreme odlažu u klima komoru; nakon čega se rasklapaju i vizuelno proveravaju. Pregledavaju se svi delovi u blizini zaptivača, a naročito čelični delovi ležaja. Cilj je konstatovanje eventualne korozije. Na kraju se određuju količina i raspodela preostale masti unutar zaptivača i ležaja.

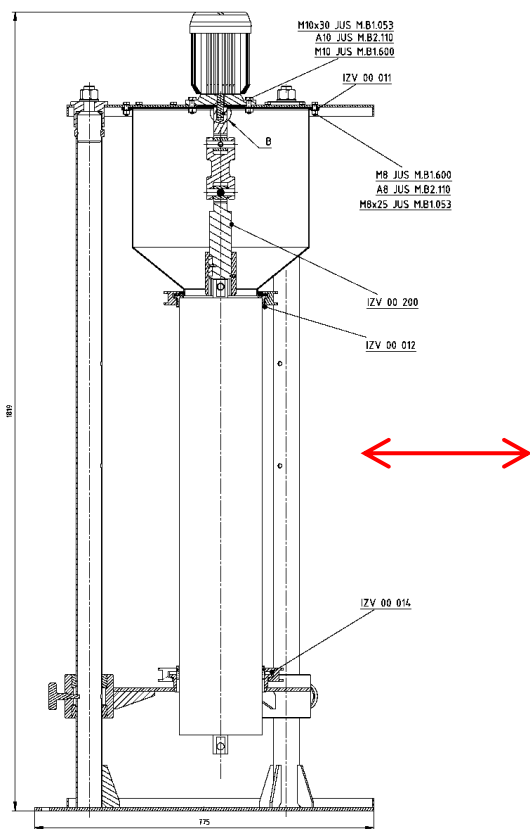
DIN standard ne definiše kriterijum za ocenu količine i raspodele preostale masti za podmazivanje unutar zaptivača i ležaja. Jedina je preporuka da antikoroziona stabilnost masti bude u skladu sa standardom DIN 51802.

### 3. METODOLOGIJA ISPITIVANJA ZAPTIVNIH GRUPE TRANSPORTNIH VALJAKA RAZVIJENA NA UNIVERZITETU U BEOGRADU – MAŠINSKOM FAKULTETU

U periodu 2012-2014. godine, na Univerzitetu u Beogradu - Mašinskom fakultetu je razvijen i izrađen prototip probnog stola za ispitivanje otpornosti zaptivne grupe transportnih valjaka koji omogućava ispitivanje otpornosti i na prodiranje čvrstih čestica, i na prodiranje vode *na istom uređaju* variranjem pomoćnih alata. Kao uzor je poslužilo rešenje probnog stola MJ Urquhard-a sa Central Queensland University [2]. Konačni izgled razvijene ispitne instalacije je prikazan na Slici 4.

Osnovna osobina razvijenog probnog stola je da je tokom ispitivanja transportni valjak u vertikalnom položaju. Učvršćen je stegama koje se mogu pomerati u vertikalnom pravcu – u cilju prilagođavanja instalacije različitim dužinama valjaka. Ovakvo rešenje je izabrano s ciljem da uslovi ispitivanja budu teži nego u relevantnom DIN standardu (horizontalni položaj valjaka).

Navedena činjenica je osnova za postavljenu hipotezu da bi svaki ispitani uzorak koji je izdržao određen broj sati ispitivanja na instalaciji Mašinskog fakulteta, sigurno izdržao i uslove ispitivanja opisane u DIN 22112-3:1996-03. Time se stvara uslov za eventualnu akreditaciju razvijene metodologije ispitivanja zaptivnih grupa transportnih valjaka – i sa aspekata otpornosti na prodiranje vode i čvrstih čestica.



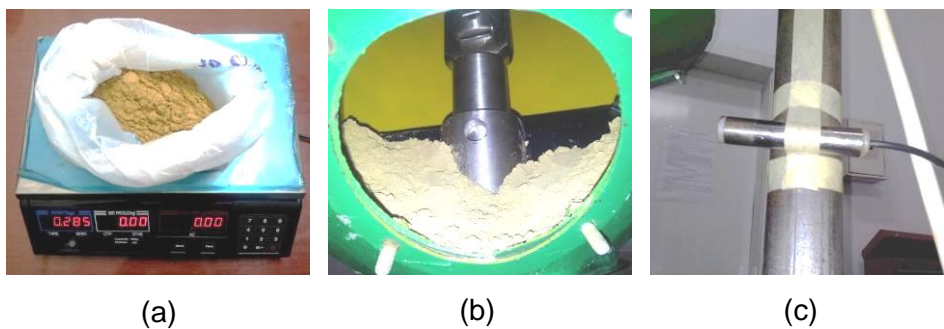
Slika 4. Probni sto za ispitivanje zaptivne grupe transportnih valjaka razvijen na Univerzitetu u Beogradu – Mašinskom fakultetu



### 3.1 Ispitivanje otpornosti transportnih valjaka na prodiranje čvrstih čestica

Procedura ispitivanja otpornosti zaptivnih grupa transportnih valjaka na prodiranje čvrstih čestica, prema razvijenoj metodologiji MF, su:

- 1) Uzorak (transportni valjak) se montira u odgovarajući nosač; podiže na odgovarajuću visinu i fiksira pomoću stega;
- 2) osovina ispitivanog valjka se čivijom povezuje sa nosačem lopatica u posudi;
- 3) priključuje se frekventni regulator;
- 4) odvaja se 2,15 kg (Slika 5a) čestica nečistoća - prikupljenih prema proceduri opisanoj u [3];
- 5) nečistoće se dodaju u odgovarajuću posudu za mešanje, kroz otvor na prednjoj strani probnog stola (Slika 5b);
- 6) lepljivim trakama se fiksira davač nivoa buke – što bliže gornjoj površini ispitivanog transportnog valjka (Slika 5c); uključuje se odgovarajući sistem za akviziciju podataka (takođe razvijen na Mašinskom fakultetu u Beogradu);
- 7) frekventni regulator se podešava na vrednost 10 Hz (motor uređaja počinje da se okreće učestanošću  $\sim 135 \text{ min}^{-1}$ );
- 8) zaptivna grupa ispitivanog transportnog valjka se izlaže prinudnom zaprljanju 30 sati (u 3 serije od po 10 sati);

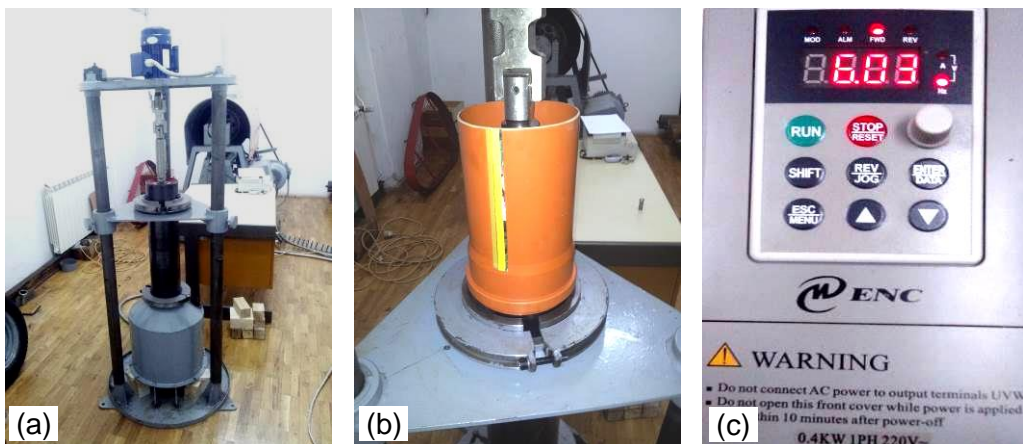


Slika 5. Procedura ispitivanja otpornosti zaptivnih grupa transportnih valjaka na prodiranje čvrstih čestica: a) merenje mase čestica b) dodavanje čestica u posudu za mešanje c) fiksiranje davača nivoa buke

- 9) isključuju se probni sto, frekventni regulator i sistem za akviziciju;
- 10) prilikom skidanja ispitivanog transportnog valjka se pažljivo sakupljaju preostale čestice iz posude za mešanje;
- 11) meri se masa prikupljenih čestica; analitički se određuje razlika masa čestica pre i posle ispitivanja (odgovara količini nečistoća dospelih u ispitivani uzorak);
- 12) uzorak se demontira; vizuelnom kontrolom se utvrđuje da li su i u kojoj meri čestice nečistoća popunile komore zaptivača ili prodrle do uležištenja.

### 3.2 Ispitivanje otpornosti transportnih valjaka na prodiranje vode

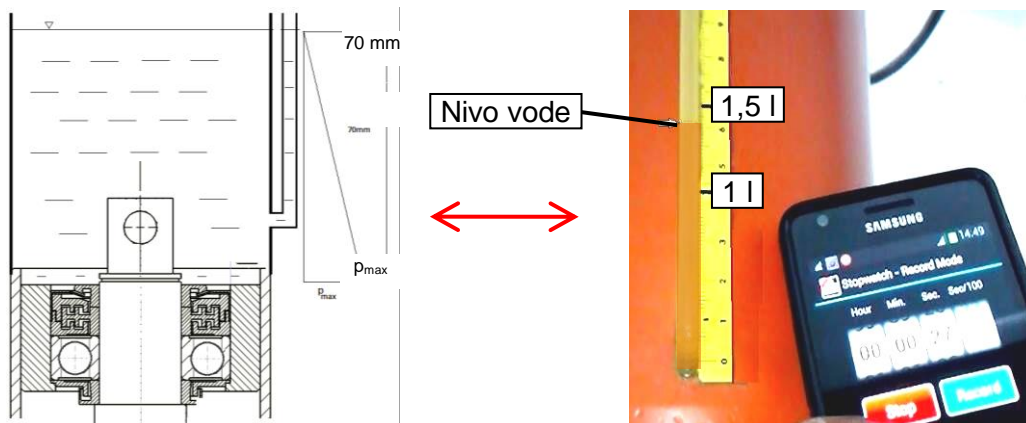
Da bi se na probnom stolu (opisanom u prethodnim poglavljima) ispitivala i otpornost zaptivne grupe transportnih valjaka na prodiranje vode – neophodno je, posle montaže ispitivanog transportnog valjka (Slika 6a), ugraditi mernu posudu za prihvatanje tečnosti (Slika 6b), umesto posude za mešanje čvrstih nečistoća.



Slika 6. Ispitivanje otpornosti zaptivnih grupa transportnih valjaka na prodiranje vode a) montaža uzorka b) montaža merne posude za prihvatanje tečnosti c) frekventni regulator

Uporedna ispitivanja otpornosti transportnih valjaka na prodiranje vode ne zahtevaju razaranje sklopa valjka i zaptivača, pa se za sve ispitane tipove valjaka na osnovu sprovedenih ispitivanja mogu doneti određeni zaključci o kvalitetu njihovih zaptivača. Prilikom ispitivanja je moguće menjati učestanost obrtanja pogonskog motora, a time i osovine ispitivanog transportnog valjka. To se postiže pomoću frekventnog regulatora (Slika 6c).

Prikazan je princip proticanja vode kroz zaptivnu grupu i uležištenje ispitivanog transportnog valjka (Slika 7). Hidrostatički pritisak je srazmeran visini vodenog stuba u posudi ( $1,5 \text{ l} = 70 \text{ mm}$ ); za takve uslove je  $700 \text{ Pa}$ . Voda iz posude se probija kroz kanale gornjeg zaptivača; prolazi kroz ležaj; izlazi kroz donji ležaj i zaptivač ispitivanog valjka. Mera kvaliteta zaptivne grupe je upravo vreme isticanja vode – mereno digitalnim hronometrom.

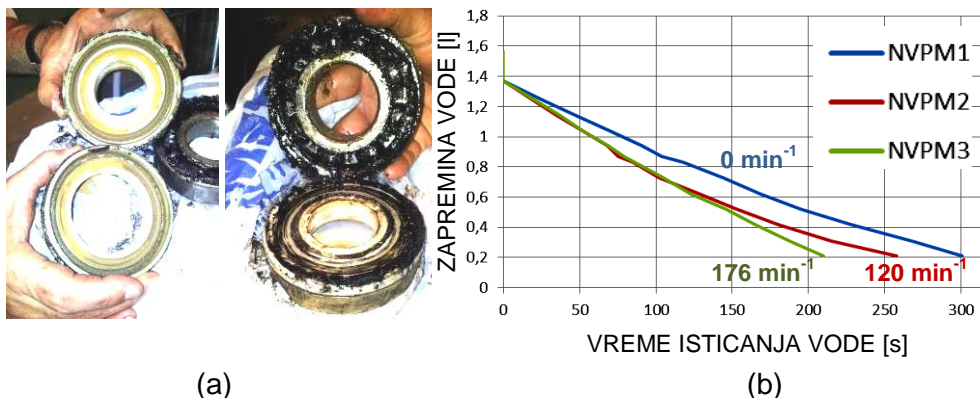


Slika 7. Ispitivanje otpornosti zaptivnih grupa transportnih valjaka na prodiranje vode

#### 4. PREGLED REZULTATA PRELIMINARNIH ISPITIVANJA

U okviru preliminarnih ispitivanja otpornosti zaptivne grupe transportnih valjaka na prodiranje čvrstih čestica, prema razvijenoj metodologiji je ispitano ukupno 6 uzoraka domaćeg proizvođača.

Srednja masa čestica koje su prodrle u ispitivane transportne valjke je iznosila ~35 g. Tom prilikom je utvrđeno i da nečistoće ipak nisu dospevale do njihovih uležištenja (Slika 8a). Takođe, isti tip uzoraka (3 kom.) je bio ispitan i na prodiranje vode (rezultati su prikazani na Slici 8b), na tri nivoa učestanosti obrtanja osovine ( $120 \text{ min}^{-1}$  – u skladu sa preporukama DIN 22112-3:1996-03,  $176 \text{ min}^{-1}$  i osovinom u mirovanju, odnosno,  $0 \text{ min}^{-1}$ ). Pri tome su dobijeni usaglašeni rezultati kod svih uzoraka. To dodatno dokazuje pouzdanost razvijene metodologije.



Slika 8. Rezultati preliminarnih ispitivanja zaptivnih grupa transportnih valjaka  
 a) defektaža elemenata zaptivne grupe po obavljenom ispitivanju  
 b) rezultati ispitivanja otpornosti transportnih valjaka na prodiranje vode

## 5. ZAKLJUČAK – PRELIMINARNI REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Rezultati preliminarnih istraživanja su ohrabrujući. Zato je razvijenu metodologiju neophodno dodatno statistički verifikovati – prvenstveno ispitivanjem većeg broja uzoraka. Takođe, u nastavku istraživanja je planirano da budu ispitani i različiti tipovi uzoraka, različitog porekla i istrošenosti. To će ostaviti prostor za dodatno unapređenje razvijene metodologije.

## ZAHVALNOST

Predstavljena istraživanja su realizovana u okviru Projekata TR35029 i TR14033, pa autori koriste priliku da iskreno zahvale na podršci Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, kao i preduzeću Termoelektrane i Kopovi Kostolac d.o.o.

## LITERATURA

- [1] Standard DIN 22112-3:1996-03, Belt conveyors for underground coal mining - Idlers - Part 3: Testing, 1996.
- [2] Urquhart, M. (2007). *Evaluating the effectiveness of seals in conveyor idler rolls*, Central Queensland University, Queensland.
- [3] Mitrović, R., Mišković Ž., Maksimović V., Jovanović D., Ivanović G., Stamenić Z., Tasić M. (2014). Analysis and characterization of coal mine conveyor idlers contamination particles, YUCOMAT 2014 Conference – Herceg Novi, Montenegro, Book of abstracts, Materials Research Society of Serbia, p. 96.





## ADOPTION OF OPTIMAL TEETH PARAMETERS OF GEROTOR PUMP

Miloš Matejić<sup>1</sup>, Lozica Ivanović<sup>2</sup>, Nenad Petrović<sup>3</sup>

*Abstract: Adoption of optimal teeth parameters for gerotor pumps is of great importance and it has a large influence on their operational characteristics. This is the reason why a lot of attention is directed towards their optimization.*

*The working flow of a gerotor pump has been chosen as the topic of optimization in this paper. Taguchi method for ranking gearing parameters related to pump flow has been presented here. Based on teeth parameters influence rank, an optimization is performed by method of linear programming. As a result of optimization optimal teeth parameters are chosen.*

*Key words: gerotor pump, Taguchi method, optimization, linear programming*

### 1. INTRODUCTION

One of the new types of teeth, which could largely replace the involute profile is the trochoid tooth. The introduction of this type of gearing would greatly enhance functional features such as needed efficiency and service life with minimal weight and overall dimensions. This type of tooth may lead to a reduction in material consumption that would lead to big savings. Another big advantage is the simultaneous trochoidal tooth gear contact resulting in better carrying capacity compared to the gear pairs with involute gears.

Lately, due to the advantages of trochoidal teeth a greater interest of mechanical engineers for their implementation in mechanical systems has appeared. Applications of trochoidal teeth are present in a large number of rotating machines, which are used in a variety of applications: rotary pumps, rotary motors, rotary compressors etc. An excellent application of trochoidal gear teeth has been found in cycloid drives, which belong to a special group of gearing in planetary gears. Considering the characteristics of trochoidal teeth, their development is cost effective [1].

<sup>1</sup> MSc Miloš Matejić, Sestre Janjić 6, Kragujevac, Faculty of Engineering University of Kragujevac, mmatejic@kg.ac.rs

<sup>2</sup> PhD Lozica Ivanović, Sestre Janjić 6, Kragujevac, Faculty of Engineering University of Kragujevac, lozica@kg.ac.rs

<sup>3</sup> MSc Nenad Petrović, Sestre Janjić 6, Kragujevac, Faculty of Engineering University of Kragujevac, npetrovic@kg.ac.rs

This paper will present the choice of optimal gearing parameters for gerotor pumps. The optimization criteria is the operational displacement of the gerotor pump. Optimal choice of parameters is performed by using the hybrid optimization method on two levels. The first level of optimization is performed by using the Taguchi method, which is determined by the most influential parameter for the teeth on the working displacement of the gerotor pump. The second level is derived by the method of linear programming, where the optimal gear parameters have been derived. At the end of this paper, conclusions and directions of possible research have been made. Both directions of research have been given, to improve the construction of the pump, and to develop a hybrid optimization method.

## **2. LITERATURE OVERVIEW**

The optimization process is a way to obtain the best solution to the stated problem [2]. Selection of an optimization method for a specific problem involves a solid knowledge of optimization and its methods [3]. Through deliberation of specific methods on the problem of the operational displacement of a gerotor pump, it can be concluded that for the solution of this problem it is necessary to conduct optimization in two iterations.

In order to determine which parameters have the most influence on the operational displacement of the pump the Taguchi method is chosen. The wide spectrum of the Taguchi method's application on optimization problems are given in detail in [4] and [5]. By selecting the Taguchi method it has become possible to attain a hybrid method. In [6-7], the Taguchi method and the evolutionary optimization algorithm have been used on the problem of an automobile door bracket. In this paper, optimization is performed by the criterion of minimum displacement, in order to save on material. Paper [8] presents a procedure for the use of the optimization method that is based on a combination of Taguchi method and an evolutionary algorithm. This paper gives an explanation of why the hybrid method gives better results than the conventional optimization methods.

Hybrid optimization methods are one of the youngest optimization methods. In order to implement hybrid methods, a solid knowledge of the methods themselves as well as the possibilities of their efficient computerized utilization is paramount. Using the Taguchi method, these papers determined the influence of parameters on the objective function. Determining the influence of parameters significantly reduces the spectrum of solutions. By reducing the field of solutions and using another optimization method, the most correct solutions for a given problem can be obtained.

To solve the problem of maximizing the operational displacement of a gerotor pumps, unlike the aforementioned hybrid methods, in addition to the Taguchi method, a method of linear programming has been added [9]. In order to confirm the results of the applied hybridization an experimental comparison with existing data was performed [1].

## **3. IDENTIFICATION OF THE MOST INFLUENTIAL TOOTH PARAMETER**

Identification of the most influential tooth parameter for gerotor pumps is very important. The reason is the ranking of parameters from the most to least influential on the operational displacement, for choosing a parameter variation degree from which a choice of optimal parameter values can be chosen by further optimization.

### 3.1 Setting the objective function for maximizing displacement

The objective function in finding the most influential tooth parameter of a gerotor pump is the formula for determining operational displacement:

$$q = be^2 \frac{z-1}{z} [s^2 - (\lambda z - c)^2] \quad (1)$$

Distances from the centers of circular profiles of the center of the trochoidal gears, are calculated using the ratio:

$$s = \frac{r_s}{e} \quad (2)$$

With all the figuring variables explained in the function for determining pump displacement, the next step is determining functional parameters from which the maximal operational displacement of the gerotor pump will be determined.

### 3.2 Determination of functional parameters

Determination of functional parameters that will be subjected to optimization depends on the parameters that will be chosen to be unchallengeable and predetermined before optimization. For fixed-parameter optimization selected values are given in the table 1.

These measures were selected as fixed input parameters because they define the dimensions of trochoidal gears. By defining them at the start the required gross measurements of the pump housing can be obtained. Other dimensions define the operational displacement of the pump, work-life, reliability and other pump parameters. Optimizing the other three parameters leads to a maximization of the operational displacement of the gerotor pump.

Table 1. *Fixed parameters*

Trochoidal gear width, <i>b</i>	16,46 [mm]
Pump eccentricity, <i>e</i>	3,56 [mm]
Distance of the center of the circular profile to from the center of the trochoidal gear, <i>s</i>	7,57 [mm]
The radius of the root of the external gear, <i>r<sub>s</sub></i>	26,94 [mm]

The table show parameters which will be optimized, are number of teeth and profile coefficient of the trochoid gear:

*z* – number of teeth of the external gear,

*λ* – trochoid radius coefficient

*c* – equidistant radius ratio.

The variation of the number of teeth *z*, trochoid radius coefficient *λ*, and equidistant radius coefficient depend on the limit function.

The methodology developed here can be carried out for optimization of the displacement of any gerotor pump. For the gerotor pump from the paper [1], with which our results will be compared, the restricting functions are as follows:

1. Number of gear teeth will be included in the set of integers *z* = {4, 5, 6, 7}. Number of gear teeth is a discrete variable.

2. The trochoid radius coefficient, *λ*, will be in the interval 1 < *λ* < 2, and will be divided into five parts,

3. The equidistant radius coefficient, *c*, will also be placed at the interval of 2 < *c* < 6, and it's limit will be discussed later in this paper.

After defining all the parameters that affect the gearing gerotor pumps, access to determining the type of orthogonal matrices.

### 3.3 Selection of an orthogonal matrix to maximize operational displacement

Selection of an orthogonal matrix for the Taguchi method is based on the number of effective parameters of the objective function. Since the objective function is affected by six parameters matrix selection is restricted to a choice between matrices L8, L18, L32 and L25. Because of the six influential parameters on the gerotor pump displacement a matrix of six parameters with five levels is chosen. This is the L25 matrix. By selecting these orthogonal matrix greater variations in relation to the matrix of lower rank is enabled, between trochoid radius coefficients,  $\lambda$ , and equidistant radius,  $c$ , and the number of teeth that was previously defined.

### 3.4 Application of Taguchi method to maximize the displacement

After determining all functional parameters and their limits, they form an orthogonal matrix L25. In an extreme case, a small variation of fixed parameters value can be performed within acceptable tolerances of trochoid. However, due to the nature of the objective function this would not have a significant impact on the result. In the case that the first three columns are not considered in the orthogonal matrix, due to the methods functioning reliable results would not be possible.

After the formation of the basic L25 orthogonal matrix, it is necessary to determine the value of the objective function to five levels of the Taguchi method. Once the objective function S/N ratio is calculated according to the formula that is used to maximize the objective function:

$$S / N_i = -10 \log \left( \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} \frac{1}{T_j^2} \right) \quad (3)$$

### 3.5 Parameter ranking according to influence

The final operation before finding the influence of variables on the objective function is completing the matrix for ranking parameters. Calculating the matrix elements for ranking parameters is done by calculating average values of elements compared to the position variation of matrix elements [4].

Since only three variables are included in, ranking the objective function of the matrix will be 3x5. The matrix with ranked elements is given in Table 2.

Table 2. Parameter ranking by the impact of gerotor pump operational displacement

Level	$\lambda$	$c$	$z$
1	45.95	42.61	65.28
2	51.98	48.58	56.27
3	46.21	51.28	47.99
4	55.40	53.55	36.56
5	52.21	55.74	45.66
$\Delta$	9.46	13.13	28.72
	3	2	1

Table 3 shows that the greatest impact on the change in displacement, when choosing gearing parameters of gerotor pumps, has the number of teeth of the trochoid gear,  $z$ . The following parameter, according to impact, is the equidistant radius coefficient,  $c$ , while the smallest impact is from the trochoid radius coefficient,  $\lambda$ . Parameter,  $z$ , is a discrete value and is located in the set of previous values  $\{4, 5, \dots, 13\}$ , while for this particular problem it is in the subset of the set of values  $\{4, 5, 6, 7\}$ , as was noted in the beginning of this chapter. These kind of variables greatly facilitates further optimization, because the objective function can be viewed as independent of each value of the parameter  $z$ .

#### 4. IDENTIFICATION OF THE MOST INFLUENTIAL TOOTH PARAMETER

Optimization according to its general definition pertains to the best and most acceptable solution to a defined problem. Mathematically speaking optimization implies finding a maximum or minimum of a function  $f(x)$ , which depends on the vector parameters  $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$  while satisfying the constraint function  $g(x)$ . Many methods have been developed for solving optimization problems. Depending on the type of problem a method for solving this problem is chosen or a new method is developed. For the task of optimizing the gerotor pump, operational displacement linear programming has been applied.

##### 4.1 Optimization of pump gearing using linear programming method

Equation (1) could be subjected to optimization methods using quadratic programming, however in order to simplify the problem only part of the equation will be used (1), depending on which the objective function has a minimum or maximum. Therefore, the new objective function will have the following form:

$$f(x)_{min} = \lambda z - c \tag{4}$$

In this function, the parameter  $z$  will belong to a set of values  $z = \{4, 5, 6, 7\}$ . After this declaration, it can be seen that the linear programming optimization process has four iterations. In addition to the objective function for optimization process function limitations must also be defined [1]:

$$c > 2 \tag{5}$$

$$c \leq z\lambda \sin \frac{\pi}{z} \tag{6}$$

$$c = z\lambda + 2 - S_{fa} \tag{7}$$

$$c \leq z \sqrt{\left(\frac{3}{z+1}\right)^3 (\lambda^2 - 1)(z-1)} \tag{8}$$

To perform linear programming functions suiting labels must be adapted to symbols which are used in linear programming. The way this is done is described in the following chapter.

##### 4.2 Linear programing for z=6

Before the start of linear programming, all functions must be translated into a form that corresponds to the used method. Translating the objective function and the

limitation to perform linear programming, for  $z = 6$ , is given by expressions:

$$f(x)_{min} = 6x_1 - x \tag{9}$$

$$g(x)_1 \Rightarrow 1 < x_1 < 2 \tag{10}$$

$$g(x)_2 \Rightarrow x_2 > 2 \tag{11}$$

$$g(x)_{1,2,6} \Rightarrow x_2 \leq 6x_1 \sin \frac{\pi}{6} \tag{12}$$

$$g(x)_{1,2,6} \Rightarrow x_2 = 6x_1 - 5,5 \tag{13}$$

$$g(x)_{1,2,6} \Rightarrow x_2 \leq 6\sqrt{\left(\frac{3}{6+1}\right)^3 (x_1^2 - 1)(6-1)} \tag{14}$$

After transforming to the form which is suitable for the linear programming approach, linear programming diagrams are drawn. The diagram of linear programming for  $z=6$ , is shown in Figure 1.

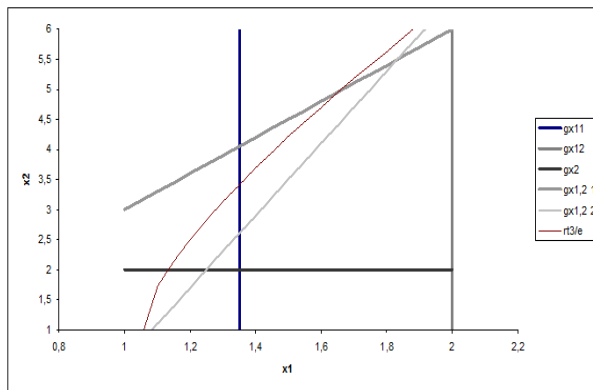


Figure 1. Diagram of linear programming for  $z=6$

From figure 1 the middle of the line which is limited by the function (7) is found. Since the value,  $S_{fa}$  ( $S_{fa}=7,5$ ), is also a constant for gear dimensions which are optimized, the function is as shown in (13). By calculating the line the midpoint, obtained optimal values are given in Table 3:

Table 3. Optimal parameters for  $z=6$

$z$	$\lambda$	$c$
6	1.591	4.049

### 4.3 Optimal solution choice

The last step in the whole process, after four iterations of linear programming, is the choice of an optimal solution according to operational displacement criteria. Based on certain optimal values a table for comparison of working displacement has been formed according to the numbers of teeth (Table 4):

Table 4. Optimal solution choice

No. teeth	$\lambda$	$c$	$q$ [mm <sup>3</sup> ]
z=4	1,937	2,250	13290
z=5	1,749	3,247	14181
z=6	1,591	4,049	14772
z=7	No solution		

Table 4 shows that according to the criterion of maximum displacement the optimal solution is the combination of teeth number parameters for  $z = 6$  teeth.

## 5. CONCLUSION

In this study, the two known are methods presented as new hybrid optimization method. The obtained results are compared with the results from paper [1]. By applying, the methods presented here a significant improvement, in terms of increasing displacement has been achieved. The methodology after determining the most influential parameter of the process the Taguchi method can be changed in various directions, that is, choosing other optimization methods for continuing the research.

Further research could include determining, using flow measuring methods, and the operational displacement of a gerotor pump with the newly attained gearing parameters. Experimental verification would confirm these methods.

## ACKNOWLEDGMENT

This paper is a result of two investigations: (1) project TR35037 and (2) project TR35033 of Technological Development of Republic of Serbia. We would like to thank the Ministry of Education, Science and Technological Development of Republic of Serbia for their financial support during these investigations.

## NOMENCLATURE

### Letter symbols:

$b$  Width of trochoidal gear, mm

$c$  equidistant radius ratio

$e$  pump eccentricity, mm

$N$  number of calculated objective functions

$q$  operational displacement of gerotor pump mm<sup>3</sup>

$r$  invert of the outer radius of the circle gear, mm

$s$  distance from the center of the circular profile to the center of trochoidal gear, mm

$S/N$  signal to noise ratio

$T$  value of the objective function

$z$  number of external gear teeth

## Greek symbols

$\lambda$  trochoid radius coefficient

## Subscripts and superscripts

i trial number

j number of calculated objective function

o outer

## REFERENCES

- [1] L. IVANOVIĆ, (2006) *Identification of optimal shape of trochoid gearing in rotary pumps*, PhD dissertation, Faculty of mechanical engineering University of Kragujevac, Kragujevac
- [2] MARJANOVIĆ, N. (2004) *Optimization of gear train*, Monograph, Faculty of mechanical engineering University of Kragujevac, Kragujevac
- [3] D. VUČINA, (2005) *Methods of engineering optimization*, University textbook, Faculty of electro, mechanical and nautical engineering University of Split, Split
- [4] S. MAGHSOODLOO, (2004) *Strengths and Limitations of Taguchi's Contributions to Quality, Manufacturing, and Process Engineering*, Journal of Manufacturing Systems, Vol. 23/No. 2, pp 73-126
- [5] B. M. GOPALSAMY, B. MONDAL, S. GOSH, (2009) *Taguchi method and ANOVA: An approach for process parameter optimization of hard machining while machining hardened steel*, Journal of scientific and industrial research, Vol. 68, pp 686-695
- [6] A. R. YILDIZ, (2009) *A new design optimization framework based on immune algorithm and Taguchi's method*, Computers in industry, Vol. 60, pp 613-620, 2009
- [7] A. R. YILDIZ, (2013) *Hybrid Taguchi-differential evolution algorithm for optimization of multi-pass turning operations*, Applied soft computing, Vol. 13, pp 1433-14398
- [8] W. M. LIN, H.J. GOW, M. T. TSAI, (2011) *An efficient hybrid Taguchi-immune algorithm for the unit commitment problem*, Expert Systems with Applications, Vol. 38, pp 13662-136699.
- [9] E. STIPANIĆ, (1978) *Higher mathematics*, University textbook, Faculty of civil engineering University of Belgrade, Beograd.
- [10] L. IVANOVIĆ, D. JOSIFOVIĆ, M. BLAGOJEVIĆ, B. STOJANOVIĆ, A. ILIĆ, (2012) *DETERMINATION OF GEROTOR PUMP THEORETICAL FLOW*, Conference proceedings, 1st Cometa conference, pp 211-243.





## PARAMETRIC MODELING OF GEAR TRANSMISSIONS IN CAD SOFTWARE WITH DEFINABLE SHAFT AXIS POSITIONS

Nenad Kostić<sup>1</sup>, Nenad Petrović<sup>2</sup>, Nenad Marjanović<sup>3</sup>,  
Mirko Blagojević<sup>4</sup>, Miloš Matejić<sup>5</sup>

*Abstract: This paper presents a practical example of using current CAD software solutions for improved modeling of geared power transmissions. The parameterization process used is for creating individual models, elements and assembly models of transmissions. The assembly model parametrically defines the correlation between elements of the assembly and defines the position of the shaft axis. This approach presents an automation of the modeling process, a quick and effective approach to forming and changing technical documentation. The suggested approach forms a basis for automation of the complete design process for geared power transmissions. This paper also presents models of practically applicable geared transmissions which verifies the quality and efficiency of the development process, compared to a conventional approach. Practical examples also show ways of creating models and use of development processes. Models are developed for two-stage and three-stage geared power transmissions.*

*Key words: Parametric modeling, CAD, geared transmission, shaft axis*

### 1. INTRODUCTION

The use of CAD software is quite wide spread today and is practically unavoidable in engineering practice. A very attractive and frequent use of CAD software is for the automation or the design process. Automation in CAD software implies automated modeling of families of similar components of a certain product and even whole products. Automated modeling is based on modeling parts, subassemblies and assemblies of complete structures automatically by defining parameters, which are previously determined. Defining parameters and their relations is done mathematically

<sup>1</sup>MSc Nenad Kostić, Sestre Janjić 6, Kragujevac, Faculty of Engineering University of Kragujevac, nkosti@kg.ac.rs,

<sup>2</sup>MSc Nenad Petrović, Sestre Janjić 6, Kragujevac, Faculty of Engineering University of Kragujevac, npetrovic@kg.ac.rs,

<sup>3</sup>PhD Nenad Marjanović, Sestre Janjić 6, Kragujevac, Faculty of Engineering University of Kragujevac, nesam@kg.ac.rs,

<sup>4</sup>PhD Mirko Blagojević, Sestre Janjić 6, Kragujevac, Faculty of Engineering University of Kragujevac, mirkob@kg.ac.rs,

<sup>5</sup>MSc Miloš Matejić, Sestre Janjić 6, Kragujevac, Faculty of Engineering University of Kragujevac, mmatejic@kg.ac.rs.

before the development of an automated model in CAD software.

Parameterization and automation of the design process represents an active theme, which it is possible to prove with a review of literature. In paper [1], the methodology of attaining a parametric model is shown. In this paper a parameterization and optimization of one type of transmission has been given. Parameterization in paper [2] was done using the criteria of bearing size and their deformation. The derived parameterization and automation of helicopter transmission [3], represents a very good optimization solution for a decrease in the transmission mass. Wind-generators [4], have been analyzed based on the criteria of structural optimization. In paper [5], a parameterization of a transmission with a large number of components has been shown. Paper [6], shows the parameterization of a turbine, which has been developed using artificial intelligence. In paper [7], a multistage parameterization of modeling parts has been presented.

The motivation behind this research comes from the need for a more efficient modeling process for geared speed reducers with parallel shaft axes. Putting into action the automation of modeling these drives will be done according to input geometry parameters. This type of modeling automation, to a great extent, increases design process efficiency compared to the conventional methods in CAD software design. For the purposes of this research, a parameterization of a geared speed reducer has been made in CATIA V5 R20.

## **2. PROBLEM DESCRIPTION**

Challenges in modern design and engineering imply a need for an increase in efficiency of all development processes and the improvement of operational characteristics of the designs and production processes themselves. In an attempt to increase efficiency, CAD software is used more and more, however due to a large number of possibilities which the development process has to offer the process itself becomes exhaustive and time consuming. Aside from this, similar processes, which are repetitive, but have a lot of similarities are done separately, therefore providing room for speeding up development and production processes.

Through the automation by parameterization of modeling, efficiency is increased to a great extent as well as achieving an improvement in performance by decreasing the possibility of human error.

Parametrically solving problems in CAD software implies generating models from a family of parts, assemblies and entire products by inputting parameters. This paper shows a parameterization of a dual-stage and a three-stage conventional geared speed reducer with parallel shaft axes. The parameterization given covers the following four cases:

1. Dual-stage conventional geared speed reducer with shaft axes in the same plane;
2. Dual-stage conventional geared speed reducer with shaft axes in different planes;
3. Three-stage conventional geared speed reducer with shaft axes in the same plane.
4. Three-stage conventional geared speed reducer with shaft axes in different planes.

Input parameters for the first and third case are: number of teeth, gear module, and gear widths. For the second and fourth case, aside from these three parameters, more are added. Those parameters are the angles between axes in relation to the

horizontal plane. These angles define in which position the shaft axes will be placed in the transmission housing.

The second and fourth cases are derived for the following benefits:

- Smaller overall dimensions of the transmission housing,
- Decrease in the mass of the transmission (by decreasing the mass of the housing),
- Material savings,
- Less oil needed to lubricate gears.

In all four cases gears, shafts and transmission housings have been parametrically defined. The values which have been used as examples for all four cases have been taken from real existing examples.

### 3. PARAMETERS

For parameterization of all four cases it is necessary to understand basic gear parameters and their relations. Basic parameters of all gears are module  $m$ , number of teeth  $z$ , and gear width  $b$ . These two parameters define the gear diameter  $d$ . Their relation is given by the following formula:

$$d = m \cdot z \quad (1)$$

Defining the gear diameters defines the distance between axes. It is constant and is calculated as a half sum of diameters:

$$a = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (2)$$

The value of the distance between axes plays a role in the parametric restrictions of the geared transmission model assembly. Depending on the power it transmits and working conditions, gear width is variable. Gear width influences the change of the axel length. Gear width is adopted using the  $\psi_{bd}$  coefficient. This coefficient represents the ratio of the gear width and diameter.  $U_t$  is adopted for the driving gear from suggested values in literature depending working conditions and input power. For the purposes of this research, a parameterization of a geared speed reducer has been made in CATIA V5 R20.

In this CAD software Part Design and Assembly design have been used in the parameterization process. In the Part design environment parameters of individual shaft and gear parts have been created and their dependencies have been set. There, based on three input parameters a gear's complete solid geometry is created.

In assembly design, parameters for managing the assembly and housing have been created. In this environment parameters for defining the angle between shaft axes relative to the horizontal plane have been defined. Aside from that a relation between all elements of the assembly has been created so as to have further parameter changes influence the change of the entire assembly. This way the automation of the design process has been achieved and the possibility for creating a family of transmissions with various parameters and technical specifications within the provided set.

For further increase of efficiency a table of part families has been created which can be used to directly influence on creating a model. All parameters can be changed from an MS Excel table. This table is directly linked to the CAD software. All

changes to the parameters in the table can be seen in the CAD software upon refreshing the model.

#### 4. RESULTS

When all the connections between the parameters are defined parameterization can commence. Parameterization of the first case is solved in one of the papers of author [8], for the case when shafts are located in one plane. In the first case the drive has paralleled shaft axes which lie in one plane.

The second case has a parameterized shaft position. Parameterization of the shaft axes is done by angle parameters which define the position of the shafts relative to the horizontal plane. Angle change is done so as to achieve a minimal housing volume.

The third case a three-stage reducer with parallel shaft axis which lies in the same plane has been modeled. This case differs from the first in that it has an additional transmission set, and therefore an additional shaft. This model is created so that all shaft axis of the drive lie in the same plane, actually parameters which define angles in relation to the horizontal plane have a value of zero.

The fourth case has the most similarities with the second model. Shaft axes form an angle relative to the horizontal plane. The complexity of this case is in the requirements for a larger number of parameters, defining one more angle value and a larger number of constraints.

The values used for the created examples covering the four cases this paper covers are given in table 1.

These example values have been previously calculated to suite the requirements of set transmission ratios and input power.

Table 1. Editorial instructions

No	Trans.	Parameter values			
		Stage 1	Stage 2	Angles	
1.	P1	m1=2 mm, z1=20 mm, z2=83 mm, b1=35.6 mm	m2=3 mm, z3=23 mm, z4=67 mm, b2=30 mm	angle1=0 deg, angle2=0 deg	
2.	P2	m1=2 mm, z1=20 mm, z2=83 mm, b1=35.6 mm	m2=3 mm, z3=23 mm, z4=67 mm, b2=30 mm	angle1=30 deg, angle2=-60 deg	
		Stage 1	Stage 2	Stage 3	Angles
3.	P3	m1=2 mm, z1=24 mm, z2=110 mm, b1=76.4 mm	m2=3 mm, z3=24 mm, z4=84 mm, b2=116 mm	m3=4.5 mm, z5=23 mm, z6=56 mm, b3=140 mm	angle1=0 deg, angle2=0 deg, angle3=0 deg
4.	P4	m1=2 mm, z1=24 mm, z2=110 mm, b1=76.4 mm	m2=3 mm, z3=24 mm, z4=84 mm, b2=116 mm	m3=4.5 mm, z5=23 mm, z6=56 mm, b3=140 mm	angle1=30 deg, angle2=-60 deg, angle3=30 deg

For the first case, transmission P1, by entering the values from table 1 into the file, the program automatically creates the model, shown in three views in figure 1.

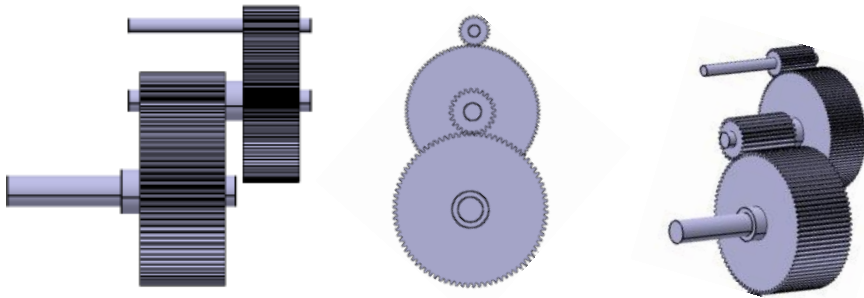


Figure 1. *Dual-stage conventional geared speed reducer with shaft axes in the same plane.*

For the second case, transmission P2, by entering the values from table 1 into the file, the program automatically creates the model shown in three views in figure 2. The angle parameters visibly change the size of the necessary housing in this case.

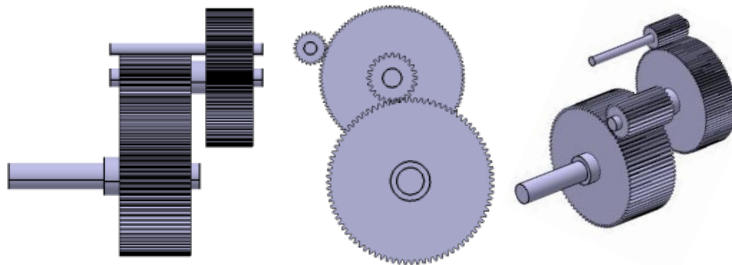


Figure 2. *Dual-stage conventional geared speed reducer with shaft axes in various planes*

For the third case, transmission P3, by entering the values from table 1 into the file, the program automatically creates the model of a three-stage transmission shown in three views in figure 3.

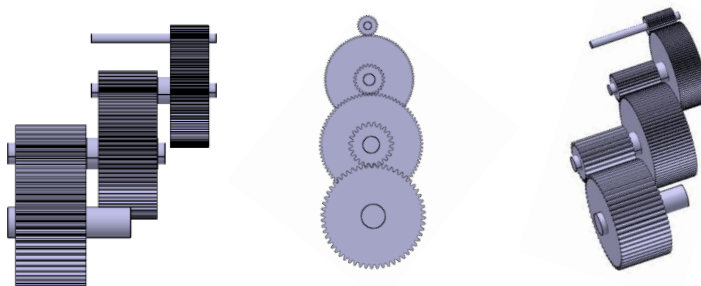


Figure 3. *Three-stage conventional geared speed reducer with shaft axes in the same plane*

The fourth transmission case, P4, is shown in figure 4. Compared to the positioning of axes in P3, a substantial difference can be seen in necessary housing size.

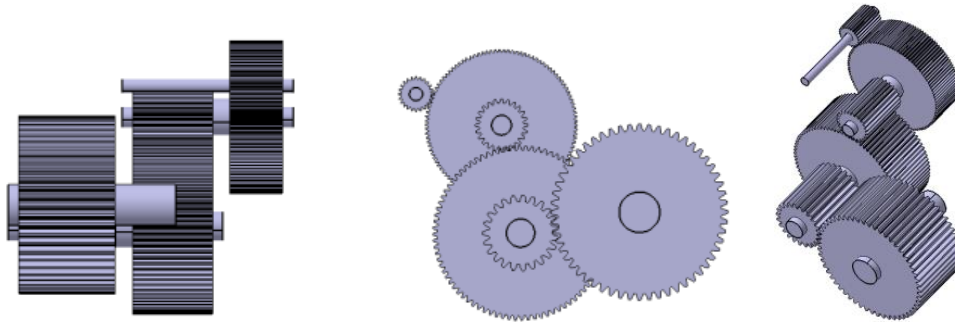


Figure 4. *Three-stage conventional geared speed reducer with shaft axes in various planes*

By changing the values of the parameters it is possible to directly, in the specification tree, create each model individually. To achieve additional efficiency a parts family table has been created in the Design Table command from the Knowledge tool palette. This way a table is created which enables the input of desired values and automated activation of parameter groups which result in model changes. The parameter group choice for creating models is presented in figure 5.

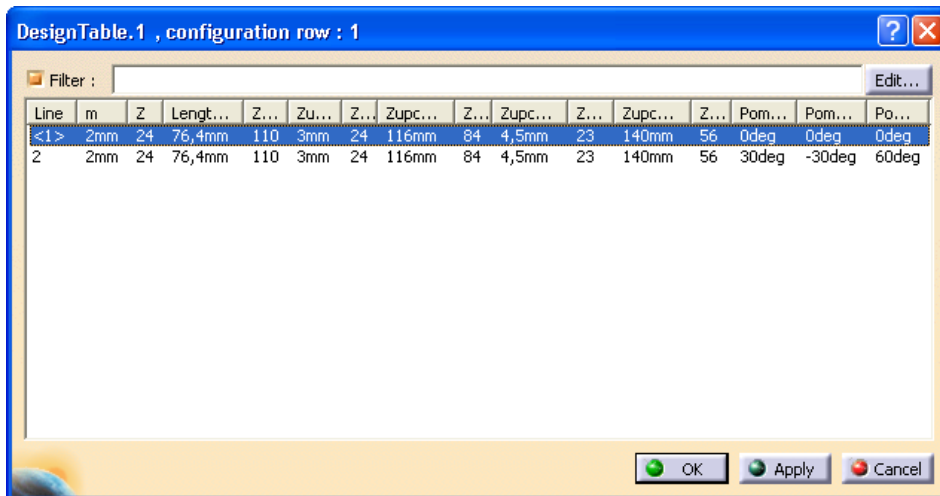


Figure 5. *Parameter group choice for automatically creating models*

The need for creating a transmission with a changeable value of angles between axes and the horizontal plane is reflected in the adaptability to working conditions, decreasing housing volume, thereby substantially decreasing the overall mass of the drive by saving on material.

## **5. CONCLUSUION**

In this paper a parameterization of geared power transmissions has been achieved. A modern approach to CAD software has been presented and its possibilities to automate similar jobs. In other words an automation of the design process so that same type jobs can be automated for parts, assemblies, and various products. This achieves time savings, improves quality, lowers costs and decreases the possibility of human error to a minimum through the reduction of the number of necessary inputs.

This paper has shown the creation of four modeled drive assemblies. Dual and three-stage drives were created using specific parameter values as examples. Both models have been shown in two versions each, first with the axes angles being zero relative to the horizontal plane, and the other case being with various angle parameters. The three-stage model has an increased complexity due to the addition of another set of gears and an additional shaft which needs to be parameterized and constrained.

The next step in parameterization of conventional geared speed reducers could be an increase in the gear ratio, more precisely a parametric definition of the number of transmission stages and combining design and automation with optimization.

## **ACKNOWLEDGEMENT**

This paper is a result of two investigations: (1) project TR33015 of Technological Development of Republic of Serbia, and (2) project III 42006 of Integral and Interdisciplinary investigations of Republic of Serbia. The first project is titled "Investigation and development of Serbian zero-net energy house", and the second project is titled "Investigation and development of energy and ecological highly effective systems of poly-generation based on renewable energy sources. We would like to thank to the Ministry of Education, Science and Technological Development of Republic of Serbia for their financial support during these investigations

## **NOMENCLATURE**

### **Letter symbols**

- $a$  distance between axes, mm
- $d$  gear diameter, mm
- $m$  module, mm
- $z$  number of teeth,

### **Greek symbols**

- $\psi$  bear width coefficient

### **Subscripts and superscripts**

- 1 gear ordinal number, module ordinal number
- 2 gear ordinal number, module ordinal number
- 3 gear ordinal number, module ordinal number

## REFERENCES

- [1] G. YIN, S. MA, (2012). Parametric feature constraint modelling and mapping in product development, *Advanced Engineering Informatics*, Volume 26, Issue 3, Pages 539-552, ISSN 1474-0346
- [2] J. YANG, C. ZHANG, (2005). Elasto-dynamics of internal gear planetary transmissions, *Mechanism and Machine Theory*, Volume 40, Issue 10, Pages 1107-1125, ISSN 0094-114X
- [3] E. MERMOZ, J.M. LINARES, A. BERNARD, (2011). Benefits and limitations of parametric design implementation in helicopter gearbox design phase, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Volume 60, Pages 199-202, ISSN 0007-8506
- [4] J. HELSEN, F. VANHOLLEBEKE, B. MARRANT, D. VANDEPITTE, W. DESMET, (2011) Multibody modelling of varying complexity for modal behavior analysis of wind turbine gearboxes, *Renewable Energy*, Volume 36, Issue 11, Pages 3098-3113, ISSN 0960-1481
- [5] N. ALEIXOS, P. COMPANY, M. CONTERO, (2004). Integrated modelling with top-down approach in subsidiary industries, *Computers in Industry*, Volume 53, Issue 1, Pages 97-116, ISSN 0166-3615
- [6] W.L.D WONG, J ATKINSON, (2000). A knowledge cell approach to processing design information, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 107, Issues 1–3, 22, Pages 44-52, ISSN 0924-0136
- [7] P. ROLLER, I. KREUZ, (2003). Selecting and parameterising components using knowledge based configuration and a heuristic that learns and forgets, *Computer-Aided Design*, Volume 35, Issue 12, Pages 1085-1098, ISSN 0010-4485
- [8] N. MARJANOVIĆ, N. KOSTIĆ, M. BLAGOJEVIĆ, V. MARJANOVIĆ, B. ISAILOVIĆ, (2013). Automated gear train modeling in cad environment, 11th International conference on accomplishments in Electrical and Mechanical Engineering, and Information Technology, DEMI, Conference proceedings, Banja Luka.





## ANALIZA I SINTEZA POGONA KRETANJA HIDRAULIČKIH BAGERA

Vesna Jovanović<sup>1</sup>, Dragoslav Janošević<sup>2</sup>, Jovan Pavlović<sup>3</sup>

*Rezime: Rad sadrži u prvom delu analizu izvedenih rešenja pogona kretanja hidrauličkih bagera. Upporedno su analizirana tri najzastupljenija varijantna rešenja pogona: hidrostatički pogon sa sporohodim klipno radijalnim hidromotorima; razdvojena varijanta sa klipno aksijalnim motorima i reduktorom; i integralna varijanta sa klipno aksijalnim hidromotorom i planetarnim reduktorom. Razvijen je matematički model i program za definisanje pogona kretanja hidrauličkih bagera. Na kraju rada dati su rezultati eksperimentalnih ispitivanja pogona kretanja hidrauličkog bagera guseničara mase 25000 kg i zapremine dubinske kašike 1m<sup>3</sup>.*

*Ključne riječi: pogon kretanja, hidraulički bageri*

### ANALYSIS AND SYNTHESIS DRIVE MOVEMENT OF HYDRAULIC EXCAVATORS

*Rezime: The paper contains in the the first part of analysis of the presented solutions travel drive hydraulic excavators. A comparative analysis of the three most common alternative solutions drive: Hydrostatic drive with slow-piston radial hydraulic motors; separate version with axial piston motors and reducer; and integrated version with axial piston and the planetary reducer hydromotor. A mathematical model and program for determine drives the movement of hydraulic excavators is developed. At the end of the paper presents the results of experimental tests drives the movement of hydraulic crawler excavators mass 25000 kg capacity and shovel 1m<sup>3</sup>.*

*Keywords: drive movement, hydraulic excavators*

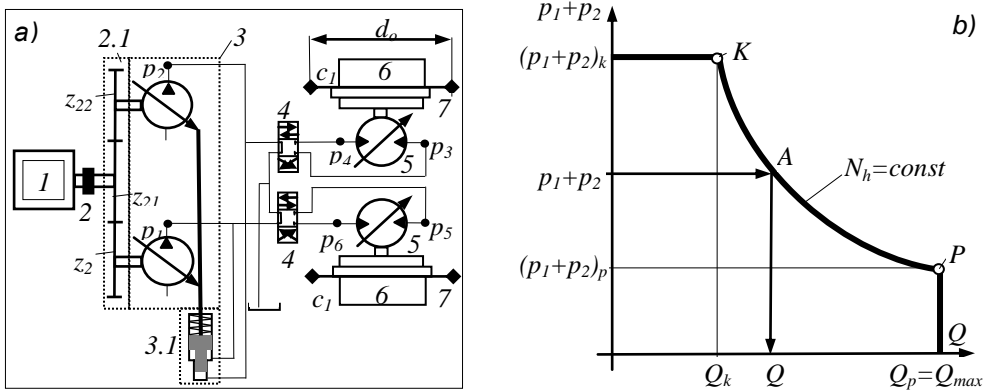
### 1. UVOD

Kao opšte konceptijsko modularno rešenje javljaju se i transmisije kretanja guseničnih hidrauličnih bagera sa dva otvorena hidrostatička kola koju čine sledeće komponente: dizel motor 1, Slika1a, elastična spojnica 2, zupčasti razdelnik snage 2.1, hidropumpe 3, razvodnici 4, modularni prenosnik  $c_1$  pogona kretanja sa hidromotorom 5 i reduktorom 6 za koji se vezuje pogonski lančanick 7 gusenice. Hidropumpe 3 su jednosmerne sa zbirnim regulatorom 3.1 zasnovanom na kriterijumu konstantne hidrauličke snage (Slika1b).

<sup>1</sup> Dipl. maš. inž., Vesna Jovanović, Niš, Mašinski fakultet, vesna.nikolic@masfak.ni.ac.rs

<sup>2</sup> Redovni profesor, Dragoslav Janošević, Niš, Mašinski fakultet, janos@masfak.ni.ac.rs

<sup>3</sup> Dipl. maš. inž., Jovan Pavlović, Niš, Mašinski fakultet, janos@masfak.ni.ac.rs



Slika 1. Transmisija kretanja guseničnih mašina: a) šema, b) regulacija hidropumpe

Ulazni parametri pogona su pritisak  $p$  i protok  $Q$  hidromotora, a izlazni broj obrtaja  $n_i$  i moment  $M_i$  izlaznog vratila reduktora, povezani sledećim prenosnim funkcijama:

$$n_i = \frac{n_m}{i_r} = \frac{1000 \cdot Q}{q_m} \eta_{mv} \frac{1}{i_r} \quad (1)$$

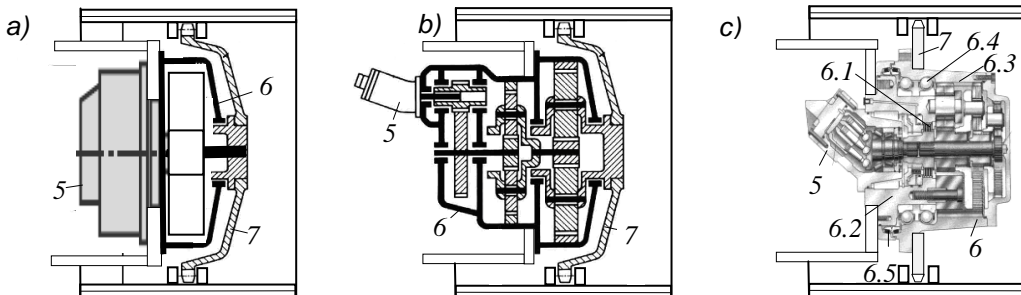
$$M_i = M_m \cdot i_r \cdot \eta_r = \frac{(p - p_o) q_m}{2\pi} \eta_{mm} \cdot i_r \cdot \eta_r \quad (2)$$

gde je :  $n_m, M_m$  - broj obrtaja i moment hidromotora ,  $q_m$  - specifični protok hidromotora ,  $i_r, \eta_r$  - prenosni odnos i stepen korisnosti reduktora.

## 2. VARIJANTNA REŠENJA

Prenosne funkcije pogona pokazuju da se za iste ulazne parametre mogu ostvariti isti izlazni parametri sa manjim specifičnim protokom hidromotora i većim prenosnim odnosom reduktora i obrnuto.

*Varijanta 1.*- Rešenje pogona je sa sporohodim klipno-radijalnim hidromotorima 5, Slika 2a, i dvostepenim ili trostepenim reduktorima 6. Kinematiku reduktora čine parovi cilindričnih zupčanika. Ukupna prenosna funkcija pogona se ostvaruje pomoću relativno velikog specifičnog protoka sporohodnih klipno-radijalnih hidromotora i malog prenosnog odnosa reduktora.

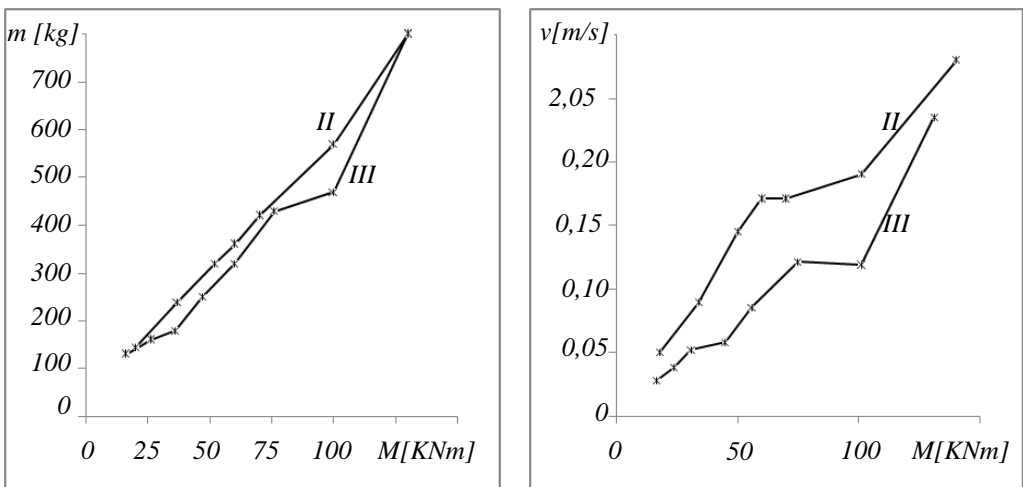


Slika 2. Varijantna rešenja pogona guseničnih kretnih mehanizama

*Varijanta II.* - Rešenje pogona je sa brzohodim klipno-aksijalnim hidromotorima 5, (Slika 2b), i dvostepenim ili trostepenim reduktorima 6. Kinematika reduktora je sa jednim parom cilindričnih (ili koničnih) zupčanika i dva planetarna seta. Lančanik, masivnog *lavorastog* oblika, vezuje se na kraju reduktora za nosač satelita poslednjeg planetarnog seta. Standardni hidromotor i veći deo reduktora prelaze širinu papuča gusenica i pri kretanju mašine po nepristupačnom terenu može doći do njihovog oštećenja.

*Varijanta III.*- Integrisano rešenje pogona sa brzohodim klipno-aksijalnim hidromotorima 5, (Slika 2c), i planetarnim reduktorima 6 koji čine jedan modul kompaktne konstrukcije ostvarene: a) kinematikom reduktora sa dva ili tri planetarna seta i pokretnim ozubljenim vencem 6.3 za koji se vezuje jednostavan prstenasti lančanik 7 ispod ležajeva reduktora 6.4 oslonjenih na nepokretno kućište 6.2 reduktora, b) prilagođenim oblikom hidromotora smeštenim unutar reduktora i zaštićenog od oštećenja, v) lamelastim kočnicama 6.1 i g) zaptivnom grupom 6.5.

Prema raspoloživim informacijama, izvršena je analiza varijante II i III pogona kretanja bagera. Analizirana je zavisnost mase i ugradbenog prostora, prema izlaznom momentu reduktora pogona. Rezultati analize pokazuju (Slika 3a,b) kako se isto principijelno rešenje promenom koncepcije može znatno poboljšati. Razlika u masi celog pogona još više je izražena ako se uzme u obzir i masa lančanika koja je kod varijante II, zbog svog oblika lančanika, mnogo veća.



Slika 3. Poređenje varijanti II i III pogona kretanja: a) odnos momenta i mase reduktora, b) odnos momenta i ugradbenog prostora

### 3. SINTEZA TRANSMISIJE

Pri sintezi usvojene opšte koncepcije transmisije kretanja guseničnih hidrauličkih bagera, sa dva otvorena hidrostatička kola, polazni parametri koji se zadaju pripadaju sledećem skupu veličina [1]:

$$P_n = \{ N_{en}, n_{en}, F_{max}, v_{max}, d_o \} \quad (3)$$

gde je:  $N_{en}$  - maksimalna snaga dizel motor,  $n_{en}$  - broj obrtaja dizel motora pri maksimalnoj snazi motora,  $F_{max}$  - potrebna maksimalna vučna sila jedne gusenice kretnog

mehanizma mašine,  $v_{max}$  - maksimalna transportna brzina mašine,  $d_o$  - podeoni prečnik lančanika određen za već izabranu veličinu guseničnog kretnog mehanizma mašine. Na osnovu zadatih parametara  $P_n$  potrebno je odrediti veličine komponentata transmisije koje definiše sledeći skup veličina:

$$E_n = \{ p_{max}, q_{pmax}, q_{nmax}, q_{mmin}, i_r \} \quad (4)$$

gde je:  $p_{max}$  - maksimalni radni pritisak hidropumpi,  $q_{pmax}$  - maksimalni specifični protok hidropumpi,  $q_{nmax}$  - maksimalni specifični protok hidromotora,  $q_{mmin}$  - minimalni specifični protok hidromotora,  $i_r$  - prenosni odnos reduktora pogona gusenica.

Veličinu maksimalnog pritiska  $p_{max}$  u hidrostatičkim kolima određuje, izbor koncepcije transmisije, odnosno izbor vrste (tipa) hidropumpe i hidromotora. Kod hidrostatičkih transmisija sa dva otvorena kola koriste se klipno-aksijalne hidropumpe i hidromotori sa maksimalnim radnim pritiskom do  $p_{max}=40 \text{ MPa}$ .

### 3.1 Izbor hidropumpe

Dupla klipno-aksijalna hidropumpa transmisije je promenljivog specifičnog protoka sa zbirnim regulatorom prema kriterijumu **konstantne hidrauličke snage** koji je uzražen jednačinom (Slika1b):

$$N_h = \frac{(p_1 + p_2)_p \cdot Q_p}{60 \cdot \eta_{pu}} = \frac{(p_1 + p_2)_k \cdot Q_k}{60 \cdot \eta_{pu}} = \frac{(p_1 + p_2) Q}{60 \cdot \eta_{pu}} = const \quad (5)$$

gde je:  $N_h$  - maksimalna hidraulička snaga transmisije,  $(p_1+p_2)_p, (p_1+p_2)_k$  - pritisak na početku i na kraju regulacije hidropume,  $Q_p, Q_k$  - protok na početku i na kraju regulacije hidropume,  $(p_1+p_2), Q$  - pritisak u opsegu regulacije hidropumpe i njemu odgovarajući protok,  $\eta_{pu}$  - ukupni stepen korisnosti hidropumpe.

Veličina hidropumpe se određuje prema maksimalnom potrebnom specifičnom protoku  $q_{pmax}$  hidropumpe, koji odovara protoku  $Q_p$  na početku regulacije, odnosno maksimalnom protoku  $Q_{max}=Q_p$ , pri zbiru pritiska  $(p_1+p_2)_p$  na početku regulacije hidropumpe.

$$Q_p = Q_{max} = \frac{60 \cdot N_h \cdot e \cdot \eta_{pu}}{(p_1 + p_2)_k} = \frac{60 \cdot N_h \cdot e \cdot \eta_{pu}}{2 \cdot p_{max}} \quad (6)$$

gde je:  $(p_1+p_2)_k=2p_{max}$  - zbir pritiska potisnih vodova hidropumpi na kraju regulacije, jednak dvostrukoj vrednosti maksimalnog radnog pritiska  $p_{max}$ ,  $e$  - opseg regulacije hidropumpe predstavlja odnos:  $(p_1+p_2)_k/(p_1+p_2)_p$ .

Na osnovu maksimalnog protoka određuje se potreban maksimalni specifični protok  $q_{prmax}$  hidropumpe:

$$q_{prmax} = \frac{1000 \cdot Q_{max}}{n_p \cdot \eta_{pv}} = \frac{1000 \cdot Q_{max}}{n_{en} \cdot \eta_{pv}} i_z \quad (7)$$

gde je:  $Q_{max}$ ,  $q_{prmax}$ ,  $n_{en}$  - broj obrtaja dizel motora pri maksimalnoj snazi  $min^{-1}$ , broj obrtaja hidropumpi, (pri prvom koraku proračuna uzima se da je prenosni odnos zupčastog razdelnika  $i_z=1$ )

### 3.2 Izbor pogona kretanja

Pri proračunu se polazi od maksimalnog potrebnog momenta na izlaznom vratilu reduktora pogona, odnosno od maksimalno potrebnog momenta  $M_{max}$  na pogonskom lančaniku jedne gusenice, prema kome se bira modularni prenosnik pogona kretanja gusenica prema datim karakteristikama [2,3].

Međutim, samim izborom veličine, prenosnik još uvek nije određen jer se ista veličina prenosnika najčešće izvodi sa različitim veličinama hidromotora, konstantnog ili promenljivog specifičnog protoka  $q_m$ , i sa reduktorima različitih vrednosti prenosnih odnosa  $i_r$ .

*Definisanje pogona na osnovu vučne sile.* - Za potpuno definisanje prenosnika polazi se od uslova da se maksimalna potrebna vučna sila  $F_{max}$  jedne gusenice ostvaruje pri:

- maksimalnom radnom pritisku  $p_{max}$  hidropumpi (odgovara kraju regulacije hidropumpe, i
- maksimalnom specifičnom protoku hidromotora  $q_{mmax}$  (ako su hidromotori promenljivog specifičnog protoka).

Za usvojenu veličinu prenosnika, iz skupa preporučenih veličina hidromotora bira se, za početak, hidromotor određenog konstantnog specifičnog protoka  $q_{mmax}$  i određuje potreban prenosni odnos  $i_{rr}$  reduktora za izabrani hidromotor prenosnika koji je jednak:

$$i_{rr} = \frac{M_{max}}{\frac{q_{mmax}(p_{max} - p_o)}{2\pi} \cdot \eta_{mm} \cdot \eta_r} \quad (8)$$

gde je:  $q_{mmax}$ ,  $p_{max}$  - maksimalni pritisak u potisnom vodu hidromotora,  $p_o$  - pritisak u povratnom vodu hidromotora,  $\eta_{mm}$  - mehanički stepen korisnosti hidromotora,  $\eta_r$  - stepen korisnosti reduktora.

Prema potrebnom prenosnom odnosu  $i_{rr}$ , za usvojenu veličinu prenosnika, bira se najbliža vrednost raspoloživog prenosnog odnosa  $i_r$  reduktora.

#### 3.2.1 Provera pogona prema brzini kretanja

Osim zadate maksimalne sile  $F_{max}$ , pogon treba da omogući i maksimalnu zadatak brzinu  $v_{max}$  kretanja mašine pri:

- maksimalnom protoku  $Q_{max}$  hidropumpe (odgovara početku regulacije hidropumpe kada je  $Q_p = Q_{max}$ ), i
- minimalnom specifičnom protoku  $q_{mmin}$  hidromotora (ako je hidromotor promenljivog specifičnog protoka).

Prvo se proverava da li se sa usvojenim hidromotorom konstantnog specifičnog protoka i usvojenim prenosnim odnosom reduktora može ostvarti zadata maksimalna brzina kretanja mašine.

Maksimalni broj obrtaja  $n_{mrmax}$  usvojenog hidromotora, pri maksimalnom protoku  $Q_{max}$  hidropumpe, ima vrednost:

$$n_{mrmax} = \frac{1000 \cdot Q_{max}}{q_{mmax}} \eta_{mv} \leq n_{md} \quad (9)$$

gde je:  $n_{mrmax}$ ,  $Q_{max}$ ,  $q_{mmax}$ ,  $\eta_{md}$  - zapreminski stepen korisnosti hidromotora,  $n_{md}$  - maksimalno dozvoljeni broj obrtaja hidromotora (dat u katalogu proizvođača). Maksimalna

moguća brzina  $v_{rmax}$  kretanja mašine sa usvojenim hidromotorom i prenosnim odnosom  $i_r$  reduktora:

$$v_{rmax} = \frac{d_o}{2} \frac{\pi \cdot n_{mrmax}}{30} \frac{1}{i_r} \cdot (3,6) \quad (10)$$

gde je:  $v_{rmax}$ ,  $n_{mrmax}$  - maksimalni broj obrtaja hidromotora,  $d_o$  - podeoni prečnik lanačnika.

Ako je maksimalna sračunata moguća brzina približno jednaka potrenoj maksimalnoj brzini kretanja mašine  $v_{rmax} \approx v_{max}$ , zadržava se usvojeni hidromotor konstantnog specifičnog protoka  $q_m = q_{mmax}$  i usvojeni prenosni odnos reduktora  $i_r$ . Međutim, ako je maksimalna sračunata moguća brzina znatno manja od zadate maksimalne brzine kretanja mašine  $v_{rmax} \ll v_{max}$ , usvaja se hidromotor promenljivog specifičnog protoka, sa istim maksimalnim specifičnim protokom  $q_{mmax}$  koji je imao ranije usvojeni hidromotor konstantnog specifičnog protoka.

Potrebni minimalni specifični protok  $q_{min}$  novog usvojenog hidromotora je određen odnosom:

$$q_{min} = q_{mmax} \frac{v_{rmax}}{v_{max}} \quad (11)$$

Usvojenom hidromotoru promenljivog specifičnog protoka proverava se maksimalni broj obrtaja  $n_{mmax}$ , pri maksimalnom protoku  $Q_{max}$  hidropumpe:

$$n_{mrmax} = \frac{1000 \cdot Q_{max}}{q_{min}} \eta_{mv} \leq n_{md} \quad (12)$$

gde je:  $n_{mmax}$ ,  $Q_{max}$ ,  $q_{min}$ ,  $n_{md}$  - maksimalno dozvoljeni broj obrtaja hidromotora pri minimalnom specifičnom protoku (dato u katalogu proizvođača).

Za definisani pogon kretanja gusenica i poznat dijagram regulacije hidropumpi može se odrediti dijagram vuče mašine kao zavisnost: brzine kretanja  $v_i$  i sile vuče  $F_i$  mašine:

$$v_i = \frac{d_o}{2} \frac{\pi}{30} \frac{1000 \cdot Q}{q_m} \eta_{mv} \frac{1}{i_r}, \quad F_i = 2 \frac{2}{d_o} \frac{(p - p_o) q_m}{2\pi} \eta_{mm} \cdot i_r \cdot \eta_r \quad (13)$$

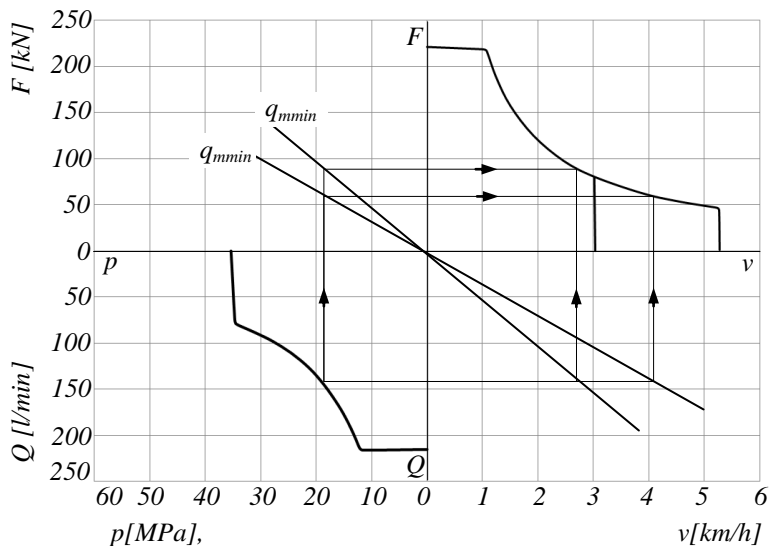
gde je:  $p, Q$  - pritisak i njemu odgovarajući protok hidropumpi (zavisno od kriterijuma regulacije hidropumpi),  $[l/min]$ ,  $q_m$  - specifični protok hidromotora (menja se u granicama  $q_m = [q_{mmax}, q_{min}]$  ako je hidromotor promenljivog specifičnog protoka).

Na osnovu datog matematičkog modela razvijen je program koji određuje parametre transmisije i daje zavisnost, (Slika 4), pritiska  $p$  i protoka  $Q$  hidropumpe i brzine  $v_i$  kretanja i sile  $F_i$  vuče za odgovarajući specifični protok hidromotora  $q_m$  i prenosni odnos reduktora.

#### 4. PROGRAM

Za definisanje hidrostičkih transmisija hidrauličnih bagera, sa guseničnim oslonu-kretnim mehanizmima, pomoću računara razvijen je program *HST*. Program je

zasnovan na prethodnom postupku proračuna i formiranim datoteka raspoloživih hidrostatičkih komponeneta transmisija (hidropumpe, hidromotori i modularni prenosnici). Na ulazu programa zadaje se: ukupna masa mašine, karakteristike pogonskog motora i zahtevi i uslovi kretanja mašine.

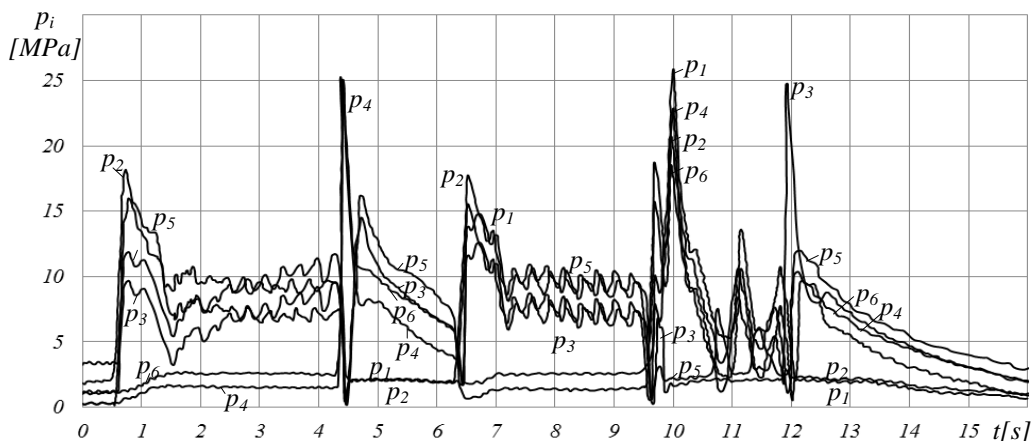


Slika 4. Zavisnost hidrostatičkih parametara i vučnih karakteristika transmisije

Program na izlazu daje: izdvojene moguće varijante transmisija (sa definisanim parametrima izabranih komponenata) i njihove vučne karakteristike. Kao primer, korišćenjem razvijenog programa određene su vučne karakteristike hidrauličkog bagera guseničara mase 25 000 kg sa hidrostatičkom transmisijom. Program na izlazu daje zavisnost pritiska  $p$  i protoka  $Q$  hidropumpe i brzine  $v_i$  kretanja i sile  $F_i$  vuče za odgovarajući specifični protok hidromotora  $q_m$  i prenosni odnos reduktora (Slika 4).

## 5. ISPITIVANJE TRANSMISIJE

Industrija IMK 14 Oktobar iz Kruševca je krajem osamdesetih godina razvila dva modela bagera guseničara mase 16000 i 25000 kg sa transmisijom kretanja sa dva otvorena hidrostatička kola (Slika 1a)[5]. Pri prototipskom ispitivanju bagera vršena su, pored ostalog, merenja vezana za pogone kretanja guseniča. U ovom radu dat je deo rezultata ispitivanja pogona kretanja bagera guseničara mase 25000 kg (Slika 5) [6]. Pored ostalog, merene su sledeće veličine:  $p_1, p_2$  - pritisci u potisnim vodovima glavnih pumpi koje nezavisno napajaju hidromotore za pogon kretanja (Slika1a);  $p_3, p_4$  pritisci u oba voda hidromotora za pogon jedne gusenice;  $p_5, p_5$  - pritisci u oba voda hidromotora za pogon druge gusenice. Ispitivanje je obavljeno pri sledećim uslovima kretanja bagera: a) kretanje napred (0-4,5s); b) zaustavljanje bagera (4,5-6,5s); v) ponovno kretanje napred (6,5-9,5s); g) zakretanje bagera (gusenice imaju suprotne brzine) (9,5-13s) i d) zaustavljanje (13- 16s). Analizom dobijenih rezultata može se odrediti karakter ulaznih opterećenja reduktora, koja, kako dijagram pokazuje, pored dinamičkog ponašanja tokom kretanja bagera, imaju i izrazito udarni karakter naročito u prelaznim periodima promene kretanja.



Slika 5. Rezultat ispitivanja pogona kretanja bagera guseničara [6]

## 6. ZAKLJUČAK

U radu je dat postupak sinteze transmisije kretanje guseničnih hidrauličnih bagera, sa dva otvorena hidrostatička kola, na osnovu razvijenog matematičkog modela i datoteka raspoloživih komponenata specijalizovanih svetskih proizvođača. Pri definisanju, bira se pogon, pomoću razvijenog programa, sa komponentama koje omogućuju maksimalne vučne karakteristike i imaju najmanju zapreminu i masu. Rezultati ispitivanja pokazuju da se pogon kretanja hidrauličkih bagera javlja kao izrazito dinamički sistem pri prelaznim promenama kretanja - pokretanju i zaustavljanju mašine.

## ZAHVALNOST

Rad je urađen u okviru projekta tehnološkog razvoja broj 035049 koji finansira Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije.

## LITERATURA

- [1] Janošević D., *Projektovanje mobilnih mašina*, Univerzitet u Nišu Mašinski fakultet, 2006.
- [2] Mobile 2003, *International Mobile Hydraulics Conference*, Ulm, Bosch Rexroth AG, Mobile hydraulics, Elchingen, 2003.
- [3] *Fahrentriebe Hydrotrac GFT*, Mannesmann Rexroth, Lohmann-Stolterfoht, Witten, 1990.
- [4] *Transmital Bonfiglioli*, Bonfiglioli riduttori S.p.A., Forli, 2000.
- [5] Janošević D., *Bager guseničar hidraulički BGH-1000 NLC*, idejni projekt, Institut IMK 14. Oktobar, Kruševac, 1999.
- [6] Izveštaj o ispitivanju hidroinstalacije bagera BGH-1000, broj izveštaja 992, Institut IMK 14. Oktobar, Kruševac, 1995.





## ROLE AND IMPORTANCE OF LIGHTWEIGHT DESIGN IN THE PRODUCT DEVELOPMENT

Aleksandar Miltenović<sup>1</sup>, Milan Banić<sup>2</sup>, Vojislav Miltenović<sup>3</sup>

*Abstract: Modern society is characterized by a fast rise of world population. This entails excessive consumption of all resources of the country. Land resources are limited and can be reached relatively quickly to their exhaustion. In this sense, the most important resources are related to the materials and energy. The question arises as to slow down the excessive consumption of these resources. One possible approach is to reduce spending of material and energy resources by using lightweight design. This paper provides an overview and presentation strategy lightweight design as well as a systematic approach to lightweight design.*

*Key words: lightweight design, light materials, development strategy*

### 1. INTRODUCTION

The basic requirement for the successful fulfillment of the function of a structure is that the working stresses in critical sections, do not exceed the allowed limit. The request of lightweight design is to use maximal available material resources in terms of capacity with the minimum weight. We also have to bear in mind the stiffness and allowable strain in the operating conditions. Since there is a great number of variables such material, fabrication, joining, assembly, maintenance and recycling, designers are dealing with different controversies to reach optimum light construction. The most influential parameter was actually costs related to applied materials, manufacturing and testing. In this sense, it is necessary for the entire product life detailed analysis of benefits of application of lightweight materials and cost of producing the construction. The application of lightweight construction is present in spacecraft in wagon construction, shipbuilding, especially in making car body.

One of the turning points of application of lightweight structures is the advantages of joining by welding. High load capacity of welds and the possibilities of their design and performance significantly enhance the concept of constructions structure. As examples may be mentioned laser welded hulls of large aircraft (Airbus A 318, A 380) or the modern way of making body of passenger cars. By using numerical

---

<sup>1</sup>Dr Aleksandar Miltenović, research assistant, Faculty of Mechanical Engineering, Niš, amiltenovic@yahoo.com

<sup>2</sup>Milan Banić, assistant, Faculty of Mechanical Engineering, Niš, milan.banic@outlook.com

<sup>3</sup>Prof. dr Vojislav Miltenović, University of Niš, vojamiltenovic@yahoo.com

methods it is possible today detailed and accurate analysis of stress and strain state of the structure, which enables an optimal lightweight construction.

Key role in developing and implementing lightweight design have new materials. For example, a compound of metal and polymer materials provides a high quality material that integrates extreme rigidity and low weight. Use the "active elements" (transducers) can obtain in future such material systems that can adapt to any kind of external load.

So we can say that the **lightweight design is interdisciplinary engineering approach which aims to develop a system of minimum weight that in the given conditions successfully fulfill the desired function with optimal utilization of available resources.** Requirements for lightweight structures are always extreme, always related to new materials, information and production technologies and solving specific problems.

## **2. STRATEGIES OF LIGHTWEIGHT DESIGN**

The most important factors for lightweight design are methods of design, materials and manufacturing technology. By using strategy of lightweight design is possible to come to optimal solution. In the course of development process of lightweight structures the following strategies play a key role:

- Terms for performing lightweight design.
- The concept of lightweight design.
- Materials for lightweight design.
- Types of lightweight structures.

### **2.1 Terms for performing lightweight design**

Key role for terms for performing lightweight design are:

- Purpose of lightweight design,
- Savings by using lightweight design,
- Influence of lightweight design on environment – eco-lightweight design

The purpose of the lightweight design includes requirements related to the function of the entire system. Reducing weight is only necessary and appropriate if contributes to the fulfillment of prescribed function of the system. In this sense requires a detailed analysis of service conditions, reliability, security and functionality of the entire structure.

Savings using lightweight construction involves reducing production costs, reduce consumption of materials and production processes by integrating these functions.

Eco lightweight design must meet the requirements related to the ecology and economy of the structure of lightweight constructions. These requirements depend on the social, political, legislative and market.

So, in terms of performance lightweight construction highlighted are a number of factors that are related to the structure of lightweight construction in terms of legislation (regulations and standards), operating conditions, customer demands, maintenance, required to fulfill the work function claims related to environmental protection, etc.. These factors are taken as a pre-set size and task developer that has to take them into consideration.

## 2.2 Concept of lightweight design

The concept of lightweight design is often considered as a system of lightweight construction, and it represent a method for reducing the weight of technical systems or subsystems that take into account all the variable activity in the system as well as general technical and economic constraints. Weight of the entire system can be reduced by the systematic analysis of the applied structure of parts, components and modules and their optimization in a system of lightweight design. On the structure are implanted sensors and control units, by using active materials, composite materials, piezoelements and Carbon-Nano-Tubes.

The weight reduction can also be achieved by developing the structure with an increased integrity and function of the parts. When building lightweight structures in the fabrication and assembly processes should be identify the potential for weight reduction.

## 2.3 Materials of lightweight design

The number, variety and quantity of materials used today are increasing. It is estimated that today in the application of more than 70,000 types of technical material. As a consequence of the rapid development of military technology in the last 50 years in use is entered more new materials than in all previous centuries. Materials based on iron are stagnating in the production and consumption, while increasing the share of application of aluminum, titanium, magnesium and other alloys, polymer and ceramic composites and special materials. The required characteristics of the material can be obtained by a combination of materials with specific properties, where the dominant role have composite materials.

It is anticipated that in the 21st century will be the intensive production and use of polymeric materials and in a mid-century should be counted with increasing application of composite and ceramic materials

### 2.3.1 Materials, properties and application

All the materials used in the technique can be classified into four groups: metals, polymers, ceramics and composites. Composite materials consist of the components of the different groups (Figure 1). Semi-and super-conductors, silicone and conductive polymers can be precisely determined which group they belong to.

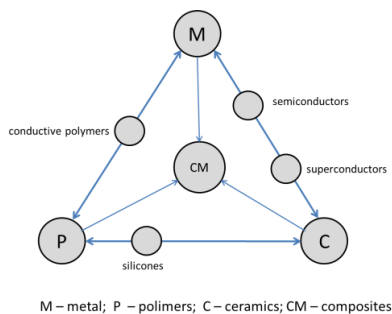


Figure1. *Materials by groups*

Overview of the materials used in the technique is given in Fig.2.

Rating the quality of materials is carried out according to their characteristics.

In this sense, the interest are the following material properties:

- Mechanical characteristics (yield strength, strength, durability, hardness...),

- Thermal characteristics (thermal conductivity, hardening, ...)
- Chemical characteristics,
- Electrical characteristics,
- Price, etc.

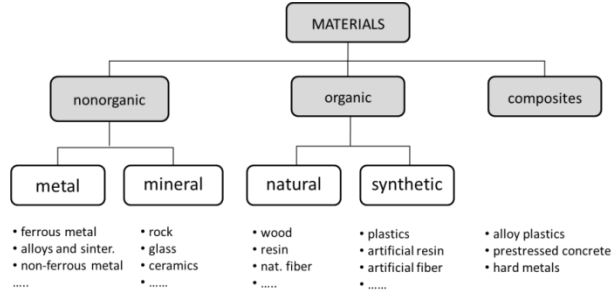


Figure 2. Overview of the materials used in the technique

### 2.3.2 Characteristics of materials used in lightweight design

Lightweight design materials must meet a number of requirements. Requirements related to the structure of lightweight construction should preferably be fulfilled by using lightweight materials of high stiffness and strength. Weight reduction can be achieved by using lower density materials. Table 1 provides an overview of the most commonly used material for lightweight construction.

Table 1. Overview of materials used for lightweight constructions

1. Metal materials	2. Non-metal materials
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aluminum,</li> <li>• Magnesium,</li> <li>• Titan,</li> <li>• Steel (conventional lightweight design)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plastics</li> <li>• Ceramics</li> </ul>
3. Composite materials	4. Active materials
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Composite fiber</li> <li>• Ceramic composite materials</li> <li>• Metal composite materials</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Piezoelectrical materials</li> <li>• Carbon Nano-Tubes (CNT)</li> </ul>

When selecting materials should bear in mind the advantages and disadvantages for use in lightweight design (Table 2). One of the most commonly used methods of weight reduction is achieved by a combination of different materials, where the dominant role is played by the application of composite materials. When changing the material it is necessary to test the geometry and technology of manufacture and joining.

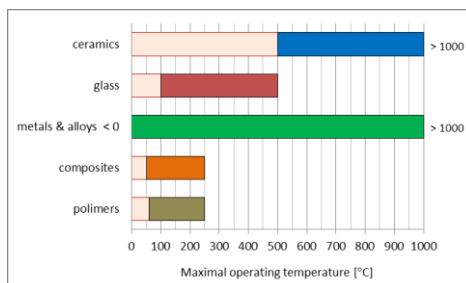


Figure 3. Operating temperatures of materials

The material properties largely depend on the operating temperature. Therefore, the area of the operating temperature of the product is a very important factor for the choice of materials. For the above-mentioned materials is given in Figure 3 in the region of maximum operating temperature. At operating temperatures above 1000°C primarily should be used ceramics and fire-resistant alloys. For the area of low operating temperature metal alloys should be used.

*Table 2. Advantages and disadvantages of lightweight design materials*

<b>METALS</b>	
Advantages	Disadvantages
<ul style="list-style-type: none"> <li>• high toughness</li> <li>• high elasticity module</li> <li>• high hardness</li> <li>• high wear resistance,</li> <li>• good electrical and thermalconductivity</li> <li>• suitable for casting, plastic deformations and welding</li> <li>• easy for design</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• high density</li> <li>• sensitivity on chemicals and some on atmosphere</li> <li>• low damping properties</li> <li>• max operating temperature under 1000°C</li> </ul>
<b>POLIMERS</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• low density,</li> <li>• flexibility and deformability</li> <li>• relatively good corrosionresistance</li> <li>• good electrical and thermalinsulator</li> <li>• good damping properties</li> <li>• some polymers are transparent</li> <li>• suitable for getting colors</li> <li>• easy for forming</li> <li>• easy and cheapmanufacturing of complex parts</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• low hardness,</li> <li>• no thermalresistance</li> <li>• low stiffness</li> <li>• low wear resistance,</li> <li>• max operating temperature under 200°C,</li> <li>• flammability (ecological problem)</li> </ul>
<b>CERAMICS</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• excellent wear resistance</li> <li>• high temperature resistance</li> <li>• corrosion resistance</li> <li>• good electrical insulator</li> <li>• small thermalelongation</li> <li>• high max operating temperature (&gt;1000°C)</li> <li>• good antifriction properties (ceramic bearings)</li> <li>• relatively low density</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• low toughness (high fragility)</li> <li>• problems of manufacturing, finishing, testing and thermalresistance</li> <li>• necessary high Know-how for constructive forming</li> </ul>
<b>COMPOSITES</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• high hardness,</li> <li>• high stiffness</li> <li>• low weight</li> <li>• good chemical and thermalresistance</li> <li>• good wear resistance</li> <li>• possible optimisation of parts for loads</li> <li>• high flexibility in case of selection of composite components</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• relatively low toughness</li> <li>• anisotropic properties</li> <li>• expensive manufacturing</li> <li>• manufacturing and recycling problems</li> <li>• necessary high Know-how for constructive forming</li> </ul>

## **2.4 Forms of lightweight design**

Basic objective in determining the form of lightweight construction is to specify requirements for the construction that were set up to obtain an optimal load distribution with maximum weight reduction. In addition to the weight must be met and requirements for compact design and manufacturing technologies. This implies that the

forms of light structures are closely related with the applied concept and choice of materials for lightweight design. Development of lightweight structures requires the implementation of recommendations for the design and construction, as well as numerical methods to optimize the structure. One of the important recommendations for the lightweight design is the application of the principle of integral and differential methods of construction.

Differential method of design involves the separation of a complex part to a greater number of parts of simpler form and is usually applied to individual or small batch production. It is suitable for use in lightweight structures for material selection and process development allows the design of the structural elements of optimal weight. Defining sequence assembly and joining processes are easily obtained complete supporting structure.

Integrated design method involves merging a number of different parts in a single part. Applied in large-series production and in parts where the need to reduce operating stresses. Parts are made of a homogeneous material, but have a complex form. The optimal structure of lightweight construction is obtained by choosing the geometry and shape of surface integral parts and their optimization with respect to the applied materials and process development.

Thus, the forms of lightweight structures are derived by considering the definition of both forms and structure design.

## 2.5 Prices of lightweight design

The basic question that arises in light structures is their price. The construction cost of lightweight affect a larger number of parameters, one of the most significant is the price of the material. The share prices of materials in the product ranges from 20 to 80% depending on the type of products in which they applied lightweight construction and applied technology in their development, testing and subsequent maintenance. The ratio of price of materials for lightweight design relative to steel is shown in Fig.4. The most expensive is a composite material, but according to Table 2 they have the best properties for use in lightweight design. The structure of composite material (Fig.5) consists of carbon, glass or aramid fibers and a binder matrix that is usually an epoxy or polyester resin. Manufacturing technology used in composite materials are prepreg technology and process injection resin.

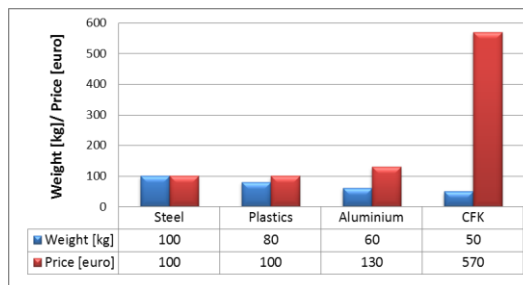


Figure 4. Comparison of prices of materials used in lightweight design [3]

The best properties has composite material with carbon fiber (CFK). Choice of fibers and their combination, as well as the matrix, it is possible to adjust the direction of fibers according to stress directions and get the optimal use of materials. As the price of these materials is rather high, their use can be proved by taking the benefits of application for the entire lifetime of the product.

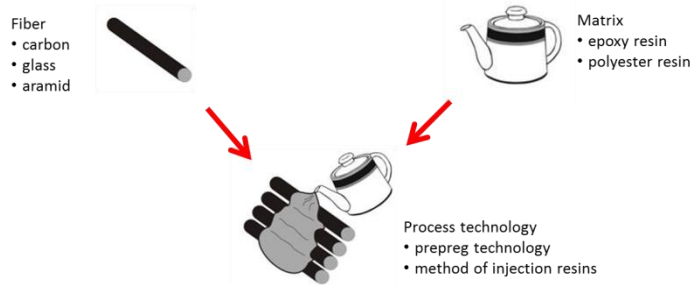


Figure 5. Structure of composite materials [2]

Adaptive materials are also very interesting for use in lightweight design. By using piezo ceramics can be greatly damping the unwanted vibrations of the structure, and thus reducing the shock loads.

For evaluating benefits of application of lightweight materials needed is a detailed analysis that includes technology development, installation, testing and resulting savings for the entire lifetime of the product. For vehicles, this analysis is relatively simple. Weight reduction can be achieved by:

- Increased payload or increase the performance of the vehicle;
- Reducing the weight impact on reducing rolling resistance, resistance to acceleration and resistance to movements;
- Finally, it has the effect of reducing fuel consumption and emissions.

In aircraft and spacecraft advantages of lightweight materials are much higher, but it is the economic analysis more complicated.

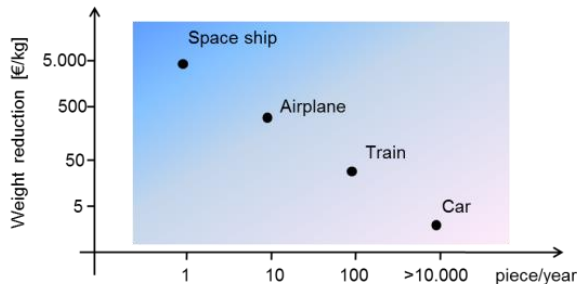


Figure 6. Prices of lightweight constructions per kg of reduced weight [3]

When considering the price of lightweight design is more appropriate to ask how much kilograms weight reduction should cost. The answer to this question depends on the area of application of lightweight design and price reduction of weight very much varies (Fig.6).

In any case, seeking the answer to this question is very complex. For example, an automobile effect of weight reduction depends largely on the position where the weight is reduced. Greater effect at reducing the weight of the body on the car roof to the floor. It should also distinguish between the primary and secondary reduction in weight. The reduction of body weight over the material and the concept of a primary reduction in weight. Secondary reduction is related to the further possible changes to the engine, transmission and other aggregates cars.

### 3. DEVELOPMENT OF LIGHTWEIGHT DESIGN

The development and design of lightweight construction primarily based on a method implemented in accordance with VDI 2222 [5]. So, there is not need for a new methodological procedure, but the procedure VDI 2222 in some degree modified and adapted to the requirements and properties of lightweight structures. The main requirement is the fulfillment of the given function. In addition to this basic requirement, in lightweight structures is important the fulfillment of the following requirements:

- safety / reliability,
- adaptability to manufacture,
- suitability for control,
- suitability for assembly,
- maintainability,
- the impact on the environment,
- recycling etc.

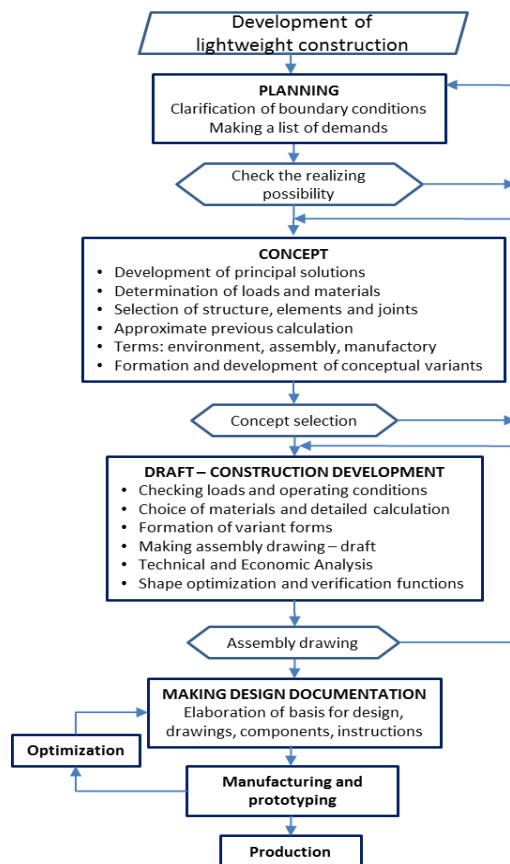


Figure 7. Systematic approach in development of lightweight constructions

In Fig.7 is shown the process of development of new constructions, which corresponds to VDI 2222 [5], but has been modified and adapted to the requirements of lightweight design. Development of structures can be divided into four phases: *planning, concept, developing draft design and development of construction documentation.*



## **Planning**

In the planning stage, at the very beginning of the development process and designing structures it is necessary to clarify the precise definition and assignment. The principle here is to collect the necessary data in order to accurately define the requirements to be fulfilled for construction. Requests may be very different, and they should be classified according to the priorities of the requirements that must be met mandatory, minimum requirements that must be met and the desired requirements. Important in lightweight design is precisely the definition of boundary conditions and their evaluation in terms of seeking solutions. As a result of this phase gets a list of requirements that construction should meet.

## **Concept**

The second phase is the concepting of the solution idea. By formatting the structure functions, is deniveling the overall (global) functions to partial and elementary functions. These functions are generally reduced to the transformation of energy (force, torque, motion), energy transfer, etc.. Conceived schematic solution is in the form of sketches, analyze and evaluate. A prerequisite for the successful introduction of concept of construction is related to the size of the course and direction of load capabilities of the selected material, the structure of the components and their integration as well as a tentative preliminary calculation. Well chosen concept allows later innovative problem solving. This phase ends with the selection of conceptual variants.

## **Draft - development of construction**

The third phase is the phase of drafting and development of construction which define the perpetrators of principal solutions. It includes the final choice of materials and detailed construction calculation. At this stage, it is necessary in addition to the creativity to make a number of iterative steps, thereby always goes to a higher level with respect to the definition of the structure. This is a very complicated phase because it requires a combination of calculations and defining the form and often several times repeating the same steps with the appropriate changes. As a result of this phase is obtained preliminary conceptual design to scale, which is the third key point of the development and construction of mechanical systems.

## **Elaboration - development of constuction documentation**

The fourth stage is the stage of elaboration and development of construction documentation. This means not only making the assembly of drawings based on the initial draft, but also optimize the shape of parts, components and preparation instructions as well as the elaboration of the basis for the development and assembly of the entire structure. This phase also includes activities related to the prototype (including control of operating functions, assembly, etc..) and testing procedures of the structure (test capacity, reliability and service life). Based on the tests of the prototype performs the appropriate correction or optimization of the structure. The output from this phase is the final constructional documentation according to ISO 9000: 2009 and ISO / TS 16949: 2002.

During the development of lightweight construction in phases given in Fig.7 are necessary expert knowledge of the structure, method of design, materials, processing technology, joining and assembly of lightweight construction. On the other hand it is necessary and appropriate creativity of developers. In this sense, the best results are achieved by a combination of theoretical knowledge and practical experience in the construction of lightweight design.

Prerequisite for successful development of lightweight construction is the use of appropriate calculation methods (mostly using numerical methods), available measuring and test equipment for accurately determination of structure performance.

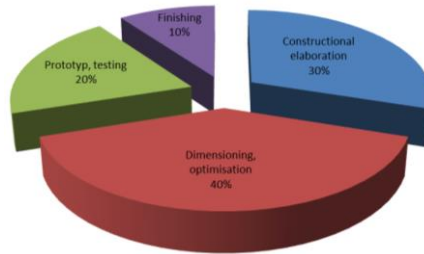


Figure 8. Distribution of time for projects of lightweight design

Methods for development and design which can be applied to lightweight structures rely heavily on theoretical engineers discipline. Approximate time appropriation in the execution of these projects is given in Fig.8. Often theoretical considerations amounts to 80% of the time.

### 3. CONCLUSION

Society of the 21st century is characterized by great challenges to the building of the urban environment and infrastructure. With the rapid growth of the world population and production of consumer goods is growing rapidly. This leads to rapid consumption of resources of the country primarily energy and material resources. There is a need of reducing the use of these resources, and one way is the use of new materials and lightweight design. The paper describes the basic strategies of development and application of lightweight design. The most influential factors related to lightweight design are constructions structures, new materials, technology development, joining and assembly. The best features in the construction of lightweight structures with composite materials primarily composite materials with carbon fiber (CFK). With the optimal structure of the building and the technology of the materials themselves, it is possible with a minimum weight maximum utilization of available resources materials in terms of capacity, so that in spite of their highly appreciated economical price possible application in a large number of modern products. The present method of development of lightweight construction offers the possibility of obtaining an optimum lightweight structure for use in modern high-quality and market competitive products.

### REFERENCES

- [1] Albers, A., & Burkardt, N (2011). :Systemleichtbau – ganzheitliche Gewichtsreduzierung. In *Henning, F., Moeller, E.*: Handbuch Leichtbau - Hanser Verlag, pp. 115–132.
- [2] Burkardt, N. (2013). *Konstruktiver Leichtbau. Vorlesung*, IPEK, Karlsruhe.
- [3] Klein, B. (2011). *Leichtbau-Konstruktion Berechnungsgrundlagen und Gestaltung* Vieweg & Sohn Verlag
- [4] Wiedemann, J. (2006). *Leichtbau*: Springer Verlag, 2006.
- [5] VDI-Richtlinie (2002). VDI 2222 Blatt 1 Konstruktionsmethodik - Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien.2002.



## VIRTUAL MODELING OF ASSEMBLY AND WORKING ELEMENTS OF HORIZONTAL HYDRAULIC PRESS

Zdravko Božičković<sup>1</sup>, Bogdan Marić<sup>2</sup>, Dragoslav Dobraš<sup>3</sup>,  
Gordana Lakić-Globočki<sup>4</sup>, Đorđe Čiča<sup>5</sup>

*Abstract: This paper presents its own results of the modeling of the basic structure of a horizontal hydraulic press 6000 kN and an operating table that has a capacity of 100 kN using INVENTOR software package. The software package has enabled the modeling, simulation, kinematic animation and structural analysis of the parts and assemblies of the press prior to its manufacture (i.e. production of parts). For the needs of the EFT Mine and Thermal Power Plant Stanari, the geometrical, functional, physical, aesthetic and other properties of the press have been defined and tested by using vector graphics. The application of virtual reality in design and production is of great importance when making decisions for more efficient and effective production, which can be achieved by the modeling and visualization of the production and technological processes.*

*Key words: horizontal press, modeling, virtual reality.*

### 1. INTRODUCTION

Historically, the design and prototype development of a new product were the bottleneck to win competition. Nowadays, to put a competitive product on the market requires much shorter development and design time while increasing quality in the phase of product design and manufacturing technologies, and maintaining an appropriate price in accordance with the competition. This was particularly evident when technological systems have introduced new manufacturing equipment, or enlarged the complexity of a product. The development of manufacturing systems and computer technology have been of crucial importance for the rapid development of new generation metrology systems based on the elements of flexible automation. For

<sup>1</sup> Dr Zdravko Božičković, Ph.D., assistant professor, Dobož, University of East Sarajevo, Faculty of Transport and Traffic Engineering, zdravko.bozickovic@gmail.com

<sup>2</sup> Dr Bogdan Marić, Ph.D., assistant professor, East Sarajevo, University of East Sarajevo, Faculty of Mechanical Engineering, maricbogdan@gmail.com

<sup>3</sup> Dr Dragoslav Dobraš, Ph.D., assistant professor, Banja Luka, University of Banja Luka, Faculty of Mechanical Engineering, dobras@urc.rs.ba

<sup>4</sup> Dr Gordana Lakić-Globočki, Ph.D., associate professor, Banja Luka, University of Banja Luka, Faculty of Mechanical Engineering, gordana.globocki@gmail.com

<sup>5</sup> Dr Đorđe Čiča, Ph.D., assistant professor, Banja Luka, University of Banja Luka, Faculty of Mechanical Engineering, djordjecica@gmail.com

this reason, the problems of design and manufacturing are solving in parallel today. This method of product development is only possible if the production technologies are supported by computers. By the application of CAD/CAM/CAE (CATIA, Pro / Engineer, SolidWorks, Inventor, etc.) software it is possible to quickly obtain a geometric model of a part or assembly (of a product), which gives a physical form in space as a mechanical part and assembly, an abstract form in the form of drawings for manufacturing and an information form in the database. These tools enable the analysis of functionality, the analysis of stress-deformation state, testing, etc. Software packages enable the parts and assemblies to be modeled, which are then analyzed in various ways and tested prior to their creation.

The new requirements of the market in terms of price and quality impose the need for applying a more efficient way in designing products and tools, which includes the use of new CAx-technologies, modeling and FE simulation. The numerical simulations with the use of modern product design techniques (CAD/CAM/CAE) enable shortening the time for the development of a product. Obviously, 3D solutions bring the advantages to engineers and designers, thanks to their full associativity. This means that any change made in the module is automatically reflected in all applications derived from it, with no need for any data transfer. The study and analysis of the process, its visualization through virtual models is a verified method for increasing the efficiency of design and quality of the final product. In the past, this process was expensive and took away a lot of time because it required exclusive prototypes and special analyses.

## **2. PROBLEM DESCRIPTION**

As a part of maintaining the equipment that works in the open-cast pit and on the separation of coal in the EFT Mine and Thermal Power Plant Stanari, there is often a need for a partial or complete disassembly and assembly of components and subassemblies of mining facilities. These assemblies and subassemblies have large dimensions and weight, they operate in dynamic conditions and harsh environments and that is the reason why great forces of separation or pressing appear during assembling and disassembling. The maximum dimensions of the parts and assemblies under pressing interventions are: length of 5200 mm, diameter of 1400 mm, and weight of 100 kN. The required press motion is 300 mm and maximum force is 6000 kN. To perform these operations, the most acceptable solution is a horizontal hydraulic press with a hydraulic lift table to hold the components and parts in the axis of pressing or separation. For this purpose, the virtual press with given characteristics had been modeled first, and then produced in Engineering Industry Prijedor, Bosnia and Herzegovina.

## **3. VIRTUAL MODELING OF PRESS ASSEMBLY**

### **3.1 Virtual product development**

The development of the press as a product went from the initial idea for a new product to launching the product into production. Today, computer hardware, communications and software are playing a great role in the process of product development. Their use provides several advantages of which particularly important are reduced costs until launching the product on the market and quality improvement. The product development supported by computer plays a key role in the product development and is more than just a tool in this process. Integrated approach to CAx

tools and their use are essential in the product development, solving unique requirements during various development stages as well as the entire system development, including industrial design, technical design and manufacture (Figure 1).

In computer terminology, product development includes actions such as:

- presentation and modeling,
- processing and management of data and information,
- documentation,
- analyses and results,
- calculation and simulation,
- search,
- optimization,
- diagnosis,
- knowledge processing and management,
- synthesis or concept generation.

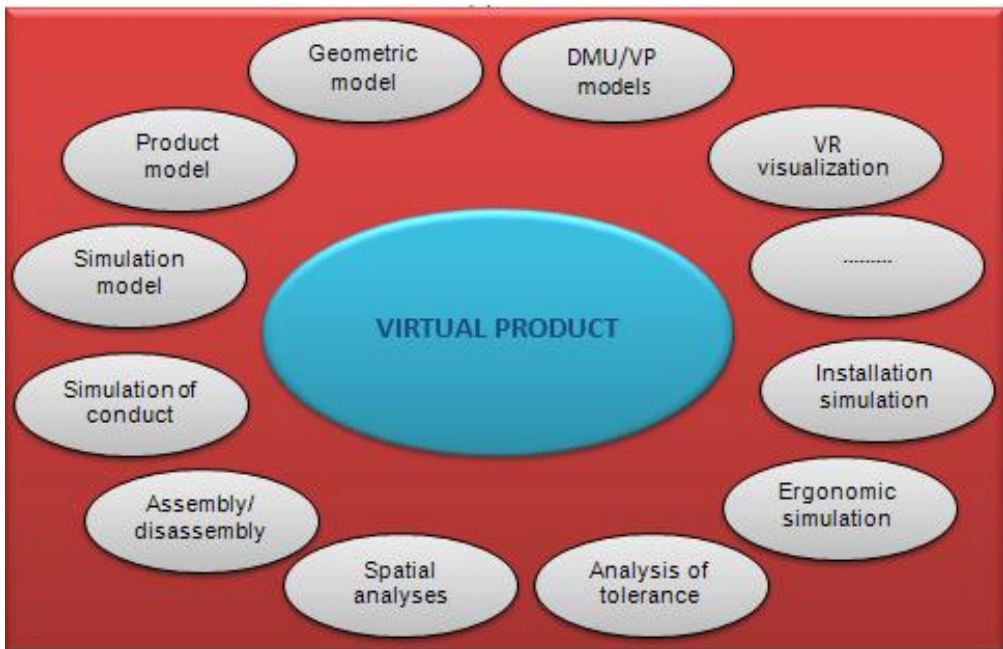


Figure 1. *Virtual product* [2]

The development of the product begins collecting and verifying information in the class of top designers and manufacturers of machinery and equipment. The information flow of the product development is given in Figure 2.

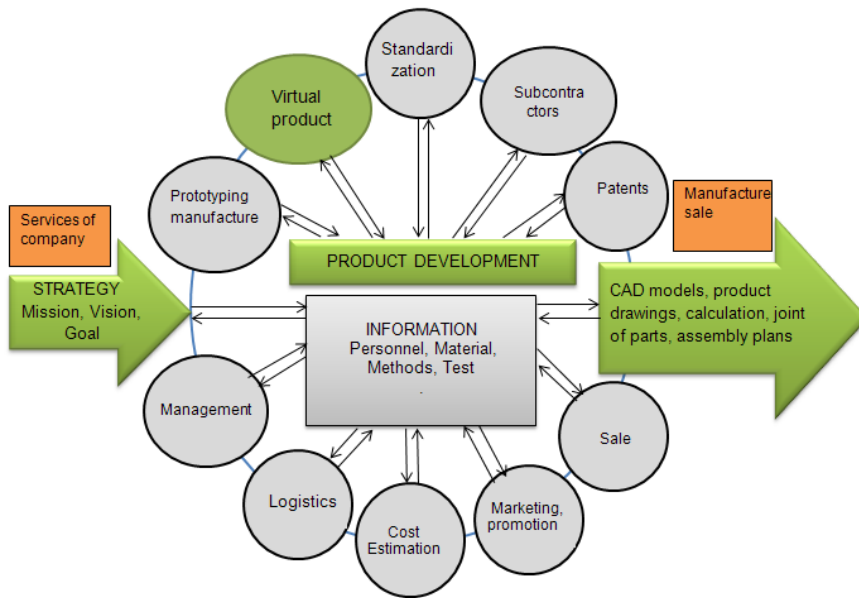


Figure 2. The information flow of the product development (a press)

Using virtual reality, INVENTOR has enabled the realization of the digital press prototype. The virtual reality is used for the development of new products as an auxiliary tool in engineering and manufacturing processes, for the development of new prototypes and simulation. The virtual reality is a term that refers to computer simulated environments that can simulate the physical presence of the real and imaginary world. In that way, we obtained a visual appearance of the press simulated before putting into production. The digital prototype has significantly shortened the time to create the final product, reduced the number of errors and production cost. Also, the opportunity to apply 3D modeling of press parts in the assembly which supports DWG format has been used. This means that 2D drawings for the production can be easily made from the existing 3D model. In INVENTOR, a designer is given an opportunity to use professional automated modules for steel structures, sheet metal, plastic parts, injection plastic pressing, pipes, electric cables, simulation and dynamic animation.

To minimize the risk of the failures and fractures of parts, verification and work simulation was carried out using the finite element analysis (FEA) what had already been done on the digital prototype. On the digital model, it is possible to quickly remove structure defects of the parts that do not meet the requirements (allowable stresses and deformations, excessive wear). The theoretical background and methodology of virtual product modeling and product system modeling provide the basis for further spreading of the concept to other products and technologies in domestic industry. Based on the results of the stress and deformation of components and press assembly using INVENTOR program, and developing the prototype and pilot testing, it was concluded that developed and presented calculation systems of bearing and working press elements using FEM could be fully applied in practice. Introducing variant forms of elements and assemblies and variant loads, values of stress and deformation states were reached relatively fast, and, on the basis of this, the optimal solutions were selected. Computer tools for product development is given in Figure 3.

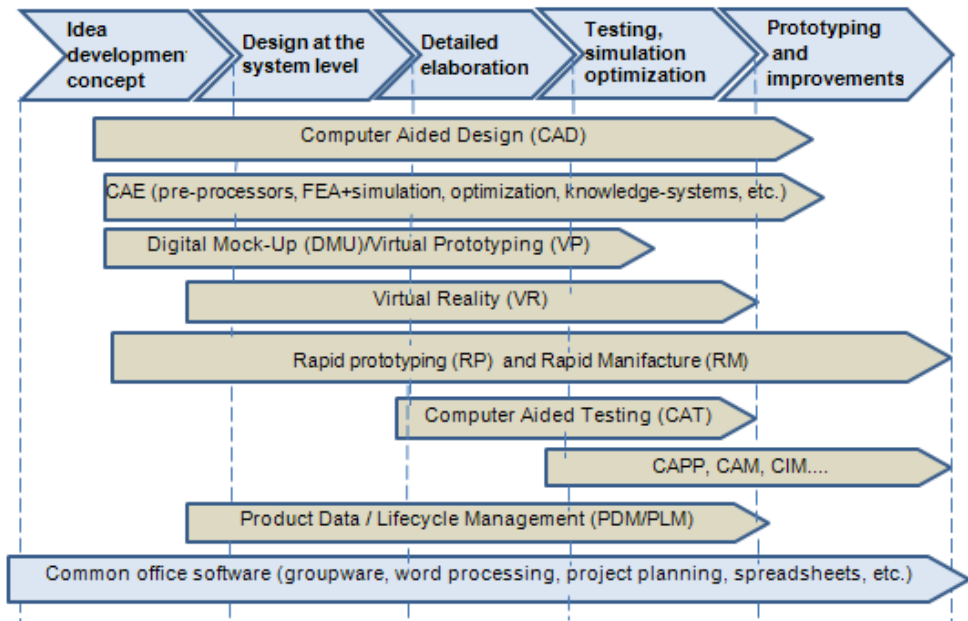


Figure 3. Computer tools for product development

To develop welded structures is a demanding job. There are a bunch of steel bars, plates, and welds distributed unevenly in space. A part of INVENTOR contains a comprehensive database of standard parts, a set of analyses and calculation of mechanical parts. The aforementioned software provides a variety of facilities and benefits such as the automatic selection of an appropriate screw assembly, together with washers and nuts, taking into account standard, length and diameter based on the holes that have been previously defined on the parts. The opportunity provided by INVENTOR is that all the holes of the assembly are filled automatically with appropriate screws, using artificial intelligence built into the program (Smart Fasteners Technology). As a part of the implementation, it has been created a library of parts which complies with the Procurement Department that works in a mutual information system. In this way, after the completion of the structure and the product, the output component provides a sufficient set of information for an accurate estimation of steel structure mass, which allows forming precise offers for clients.

In the process of preparing documentation, INVENTOR automatically draws the position of all parts of welded structure and in the corresponding table it enters standard, mark, and length values of steel profiles that are used for cutting and preparation for welding. In addition to the geometry, the software provides unique functionality for the definition of welds. Each weld is defined in a 3D model, and later, in the technical documentation is briefly shown in the table of all welds with the estimation of total length, price and quantity of additional welding materials (electrodes and CO<sub>2</sub> wire). The time required for welding operations are automatically evaluated. The cross sections, based on the definition of weld from the 3D model, show the appropriate symbols achieving significant savings in time for the preparation of technical documentation.



### 3.2 Virtual press modeling

The horizontal hydraulic press (Figure 4) is composed of two bearing sides, a movable and immovable support (Figure 5 and 6) and movable operating table (Figure 7). It works with a single double-operating hydraulic cylinder that provides a maximum force of 6,000 kN. The cylinder is attached with screws for a fixed press support. The structure of press foundation consists of press footings and a technical channel in which the press operating table moves. The joint of the steel structure to the footings is achieved via anchor bolts. The steel press structure is presented through technical documentation with all necessary details, elements, sections, and drawings for welding, as well as drawings for additional processing of drilling, milling etc. The digital prototype of press assembly has enabled the testing of all essential functions of designed mechanism, from the defined tolerances to the simulation of part movement (kinematics, dynamics) in mechanism assemblies. Figure 4 shows the assembly model of the horizontal hydraulic press.

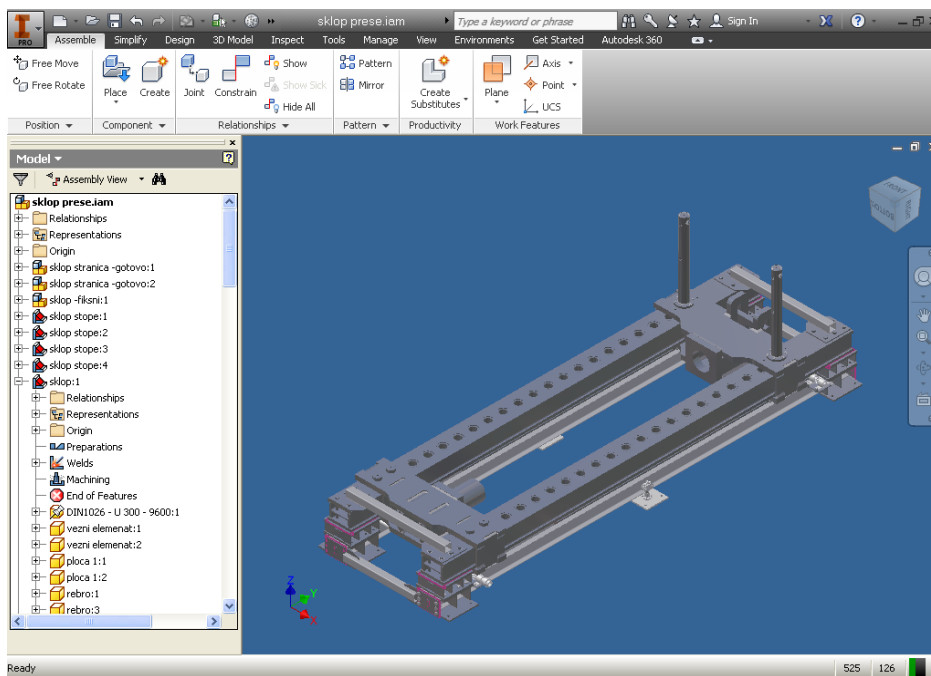


Figure 4. Assembly model of horizontal hydraulic press [1]

The steel structure of the lift table with capacity of 100 kN is composed of the framework with table wheels moving on it, diagonal profiles (scissors) and operating table. The operating table is always in a horizontal position. The prism of "V" has been intended for setting round shape mechanical elements. The longitudinal movement of the operating table and movable support of the press are mechanized.

The hydraulic press and lift table are equipped with a hydraulic power unit driven by frequently regulated electric drive.



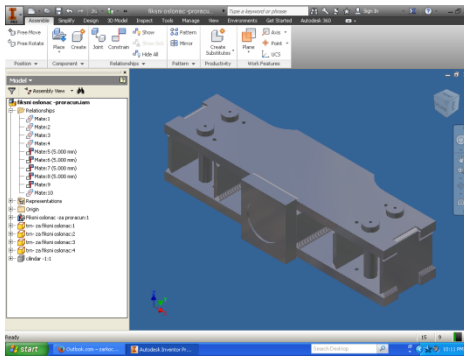


Figure 5. Fixed support model – the support of the main hydraulic cylinder [1]

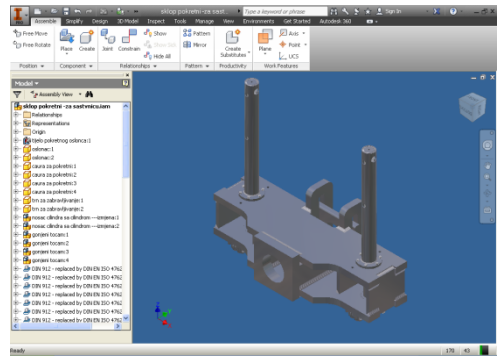


Figure 6. Movable support with hydraulic pins for fixing [1]

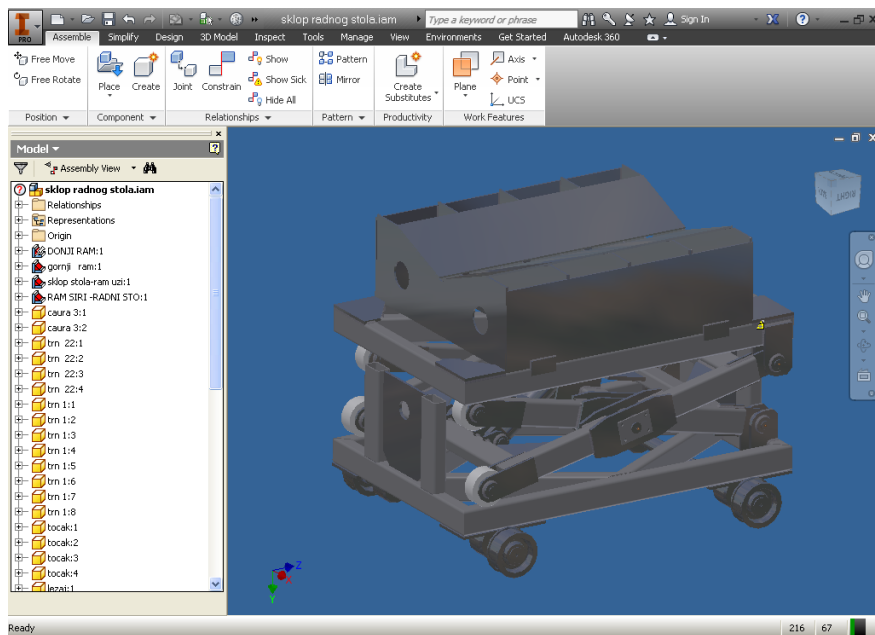


Figure 7. Lift table model [1]

#### 4. STRUCTURAL ANALYSIS

The main tasks of the structural analysis in the horizontal press design are the calculation, simulation and optimization of parts and complex assemblies satisfying the mechanical properties of the product. For the movable support, maximum stress is 136.4 MPa and deformation is 0.535 mm, while for the lift table, maximum stress is 203.1 MPa, and deformation is 3.453 mm. Based on the analysis results, it can be concluded that the distribution of stress and deformation is approximately symmetrical and they are within allowable values. After experimental testing the press and operating table with workload, it has confirmed the accuracy of the results, which leads to the conclusion that the model is adequate.

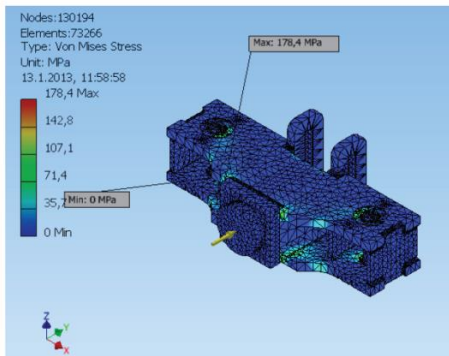


Figure 8. Distribution of the effective stress of the movable support [1]

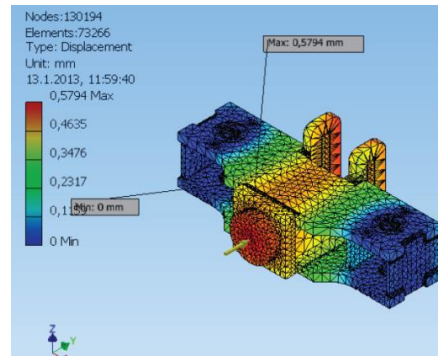


Figure 9. Distribution of the effective deformation of the movable support [1]

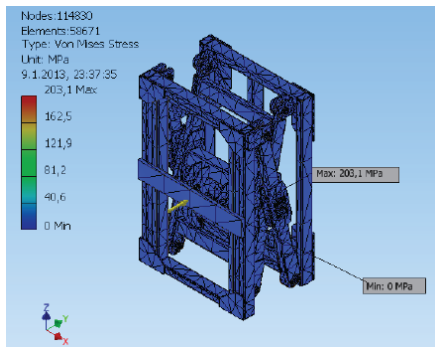


Figure 10. Distribution of the effective stress of the operating table [1]

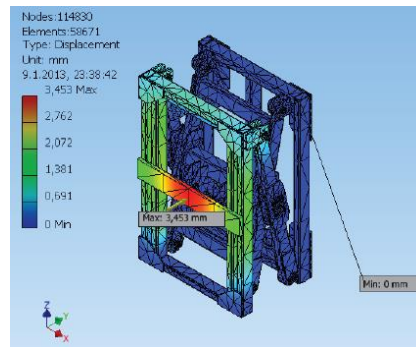


Figure 11. Distribution of the effective deformation of the operating table [1]

## CONCLUSIONS

The paper gives a brief overview of its own research in the field of design and manufacture, in which the technology of virtual reality in the area of mechanical manufacturing has been applied. The reliability and accuracy of the results obtained by applying modern techniques of virtual engineering indicate that the applied method is essential in developing new products because it greatly contributes to reducing the time when a new product will appear on the market. The main contribution of this paper is in illustrative representations applying the intelligent function of model form recognition, the technological process and technological documentation definition in the development and manufacture of new product. Further research will certainly go in the direction towards wider implementation of the illustrated techniques and tools of INVENTOR software package in real production.

## REFERENCES

- [1] Božičković, Z., Cvijetić, Ž., (2014). Horizontalna hidraulična presa 6000 kN sa podiznim stolom, *Study*, University of East Sarajevo, Faculty of Mechanical Engineering, East Sarajevo.
- [2] Miltenović, V., Ristić, M., (2011). Virtuelni razvoj proizvoda, *Ph.D. studies*, University of Niš, Faculty of Mechanical Engineering, Niš.



## METODOLOŠKI PRISTUP PROCJENI RIZIKA PRI RAZVOJU PROIZVODA

Radoslav Tomović<sup>1</sup>, Rade Grujičić<sup>2</sup>

*Rezime: U ovom je radu prikazan metodološki pristup procjeni rizika koji se javljaju u toku razvoja novog proizvoda. Pod rizikom se, u ovom slučaju, smatra mogućnost pojave štetnog i nepredviđenog događaja. Analiza i procjena rizika je napravljena na primjeru razvoja konstrukcije Automatskog sistema za parkiranje vozila, čija je realizacija u toku na Mašinskom fakultetu u Podgorici. U radu je predstavljen postupak izvođenja analize i procjene rizika, koji je primijenjen na konkretnom primjeru.*

*Ključne riječi: analiza rizika, procjena rizika*

### **METHODOLOGICAL APPROACH TO RISK ASSESSMENT IN PRODUCT DEVELOPMENT PROCESS**

*Abstract: This article presents a methodological approach to assessing the risks that occur during the development of new products. The risk is considered as a possibility of adverse and unforeseen events. Analysis and risk assessment is developed for the construction of an Automatic system for parking of vehicles, the implementation of which is underway at the Faculty of Mechanical Engineering in Podgorica. This article presents a method of performing risk analysis and assessment, which is applied to a concrete example.*

*Key words: Risk analysis, Risk assessment*

### **1. UVOD**

Pojam rizika prisutan je u gotovo svim oblastima ljudske djelatnosti, te su s toga brojne i njegove definicije. Pod rizikom se može smatrati mogućnost nastanka štetnog događaja. Analiza i upravljanje rizikom oblasti su koje se, možda, najviše izučavaju u domenu ekonomskih nauka, mada njihov uticaj i na ostale sfere ljudskog života ne bi smio biti zanemarljiv, te mu treba posvetiti posebnu pažnju. Kako je proces konstruisanja izuzetno odgovoran proces koji dominantno utiče na sve dalje faze pri izradi konstrukcije i umnogome opredjeljuje njen radni vijek, naročito je bitno izvršiti analizu rizika u fazi razvoja proizvoda. Greške nastale u ovoj fazi krajnje se nepovoljno odražavaju na sve ostale etape u životnom vijeku proizvoda smanjujući njegov ukupni

---

<sup>1</sup> Doc. dr Radoslav Tomović, Univerzitet Crne Gore, Mašinski fakultet Podgorica, radoslav@ac.me

<sup>2</sup> Rade Grujičić, Univerzitet Crne Gore, Mašinski fakultet Podgorica, rade.grujicic@yahoo.com

uspjeh, a nerijetko ugrožavajući život i bezbjednost ljudi. Dominantan je uticaj grešaka i na ekonomski aspekt proizvoda. Ako otkrivena greška u fazi razvoja proizvoda nosi trošak otklanjanja od jednog eura, otklanjanje te greške u fazi proizvodnje koštaće deset eura, a ako je greška otkrivena poslije plasiranja proizvoda kupcu, taj trošak će iznositi sto eura (tzv. pravilo poluge kvaliteta [1]). Da bi se povećao kvalitet proizvoda i smanjio broj grešaka potreban je simultani rad stručnjaka i dobra komunikacija sa okolinom uz korišćenje savremenih metoda, tehnika i tehničkih sredstava u procesu konstruisanja proizvoda.

U ovom radu je prikazan metodološki pristup procjeni rizika prilikom razvoja proizvoda. Na Mašinskom fakultetu u Podgorici razvija se konstrukcija Automatskog sistema za parkiranje vozila, na koju je primijenjen metodološki postupak analize i procjene rizika.

## **2. UZROCI RIZIČNIH DOGAĐAJA KOD KONSTRUKCIJA**

Kroz istoriju su katastrofalni događaji i nesreće za posledicu imali gubitke ljudskih života i velike materijalne gubitke. Nastajali su:

- usljed nekog nepredviđenog spoljašnjeg faktora ili
- pri predviđenim eksploatacionim uslovima kao posljedica grešaka u konstrukciji.

Pod nepredviđenim spoljašnjim faktorima mogu se smatrati zemljotresi, poplave, požari uragani i druge nepogode, mada su to pojave koje se, kao posljedica pređašnjeg iskustva, u određenoj mjeri mogu predvidjeti, a neželjene posljedice njihovog dejstva izbjeći ili ublažiti.

Drugi mogući uzrok neželjenih događaja su greške u samoj konstrukciji. Pod tim se podrazumijevaju greške pri proračunu i dimenzionisanju konstrukcije, izboru materijala, izvođenju, kontroli, održavanju i sl.

Pojava katastrofalnih nesreća dovela je do promjene u pristupu projektovanju konstrukcija i uvođenja niza propisa i regulativa. U razmatranje se uzimaju i rizici kojima se ranije nije pridavao značaj, a detaljna procjena rizika sprovodi se kao obavezni segment procesa planiranja i konstruisanja.

## **3. UPRAVLJANJE RIZIKOM**

Prema ISO 31000 standardu upravljanje rizikom predstavlja identifikaciju, ocjenu, izdvajanje prioriteta, zatim koordiniranje i ekonomično primjenjivanje resursa kako bi se minimizirala, pratila i kontrolisala mogućnost ili uticaj neželjenih događaja i maksimizirala realizacija očekivanih uspjeha [2]. Upravljanje rizikom obuhvata još i procjenu, analizu i evaluaciju rizika. Nakon završetka procesa analize rizika neophodno je evaluirati značaj samog rizika, odnosno kriterijume, koji mogu uključivati dodatne troškove ili dobitke, socio – ekonomske i faktore životne sredine. Svi segmenti se pojedinačno evaluiraju i procjenjuju, utvrđuje se koji od rizika je najznačajniji kao i koji je moguće prihvatiti. Razlikujemo pasivno i aktivno upravljanje rizicima.

Pasivno upravljanje rizicima karakteristično je za tradicionalni pristup upravljanju rizikom, a sprovodi se primjenom propisa i normi koji se temelje na događajima iz prošlosti, iskustvu, istraživanjima i sl.

Aktivno upravljanje rizicima uobičajeno je za savremeni pristup i ima tendenciju sveobuhvatnijeg predviđanja rizika koji se ranije nisu uzimali u obzir (poput terorističkih napada). Savremeni pristup upravljanja rizikom omogućava prepoznavanje rizika, njegovo mjerenje, razumijevanje potencijalnih posljedica i preduzimanje mjera za njihovo ublažavanje, odnosno otklanjanje.

Koncept upravljanja projektnim rizikom obuhvata [3]:

- identifikaciju rizika,
- analizu i procjenu rizika,
- definisanje protivmjera,
- raspored protivmjera,
- kontrolu rizika i
- upravljanje informacijama.

Identifikacija rizika predstavlja proces utvrđivanja i klasifikacije svih rizičnih događaja koji u budućnosti mogu imati negativan uticaj na projekat koji se realizuje i mogu dovesti do gubitaka.

Detaljna analiza uticaja pojedinih rizičnih događaja vrši se kroz istraživanje prirode rizičnih događaja, analizu i procjenu vjerovatnoće nastajanja rizičnih događaja, analizu međuzavisnosti i kvantifikaciju veličine uticaja rizičnih događaja.

Pod definisanjem protivmjera podrazumijeva se planiranje odgovarajućih akcija koje imaju za cilj smanjenje vjerovatnoće ostvarenja rizičnih faktora koji sa sobom nose nepoželjan uticaj.

Raspored protivmjera predstavlja plan zaštite od rizika koji nikada ne može biti potpuno kompletiran, jer se stalno vrši ponovno razmatranje novoidentifikovanih korisnih mogućnosti.

Pod kontrolom rizika podrazumijeva se ponavljanje prethodnih koraka analize prema unaprijed definisanom planu (nedjeljno, mjesečno i sl.) kako bi se dobila realnija slika rizika.

Upravljanje informacijama odnosi se na čuvanje postojećih podataka o riziku, podataka o specifičnim projektnim rizicima i stvaranje različitih izveštaja.

#### **4. ANALIZA I PROCJENA RIZIKA**

Cilj analize rizika, kao jedne od najbitnijih faza pri upravljanju rizikom, je predviđanje svih mogućih rizičnih događaja, kvantitativna procjena vjerovatnoće i posljedice njihove pojave i definisanje mjera za njihovo ublažavanje ili otklanjanje. Više je različitih postupaka koje se sprovode pri procjeni rizika, a jedan od njih je i metodološki postupak.

Metodološkim postupkom analize i procjene rizika definišu se odgovarajući kriterijumi u cilju utvrđivanja kvantitativne procjene rizika:

- *P1* – vjerovatnoća pojave rizičnog događaja,
- *P2* – uticaj rizičnog događaja na zadatak i
- *P3* – vjerovatnoća blagovremenog otkrivanja greške.

Svakom rizičnom događaju dodjeljuje se odgovarajući broj bodova (npr. od 1 do 10) za svaki od kriterijuma prema unaprijed definisanim bodovnim skalama. U konkretnom slučaju su bodovne skale definisane u tabeli 1,2 i 3.

Tabela 1. Bodovna skala za kriterijum P1 – vjerovatnoća pojave rizičnog događaja

1	<i>Rizični događaj se ne očekuje Rizični događaj nije registrovan</i>
2 ÷ 3	<i>Rizični događaj se može očekivati veoma rijetko Rizični događaj ovog tipa nije registrovan u ranijim projektima</i>
4 ÷ 6	<i>Rizični događaj se realno može očekivati Rizični događaj ovog tipa registrovan je u ranijim projektima u manjem obimu</i>
7 ÷ 8	<i>Rizični događaj se realno može očekivati u većem obimu Rizični događaj ovog tipa je u ranijim projektima izazivao probleme</i>
9 ÷ 10	<i>Rizični događaj se gotovo sigurno očekuje</i>

Tabela 2. Bodovna skala za kriterijum P2 – uticaj rizičnog događaja na zadatak

1	<i>Rizični događaj ne utiče na realizaciju projekta</i>
2 ÷ 3	<i>Rizični događaj ne utiče bitno na realizaciju projekta</i>
4 ÷ 6	<i>Rizični događaj utiče na naredne faze u realizaciji projekta, pri čemu može ali i ne mora da ugrozi njegovu realizaciju</i>
7 ÷ 8	<i>Rizični događaj ugrožava realizaciju projekta i zahtjeva njegovu izmjenu</i>
9 ÷ 10	<i>Rizični događaj ugrožava bezbjednost Rizični događaj dovodi do narušavanja obavezujućih propisa Rizični događaj uzrokuje velike štete</i>

Tabela 3. Bodovna skala za kriterijum P3 – vjerovatnoća blagovremenog otkrivanja greške

1	<i>Greška će sigurno biti otkrivena i odmah otklonjena</i>
2 ÷ 3	<i>Greška se otkriva i otklanja u narednim fazama</i>
4 ÷ 6	<i>Greška se otkriva u narednim fazama od strane nadzornog organa</i>
7 ÷ 8	<i>Greška se otkriva u narednim fazama i zahtjeva obavještenje kupca</i>
9 ÷ 10	<i>Greška se otkriva od strane kupca ili nadležnog organa</i>

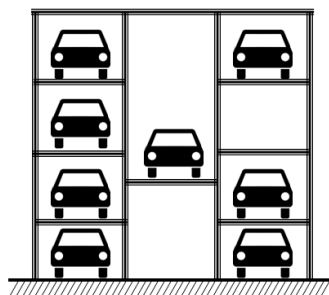
Ukupni faktor rizika  $R$  (koji predstavlja njegovu kvantitativnu procjenu) dobija se množenjem bodova za sva tri kriterijuma, a na osnovu njega se vrši procjena rizika prema tabeli 4.

Tabela 4. Procjena rizika na osnovu ukupnog faktora rizika  $R$ 

$R$	Rizik je:
do 200	zanemarljiv
iznad 200 do 400	nizak
iznad 400 do 600	prihvatljiv
iznad 800 do 1000	značajan
iznad 1000	kritičan

Bodovne skale i kriterijumi mogu biti, od slučaja do slučaja, različito definisani. Kao plan zaštite se, nakon završene procjene, u tabeli za analizu rizika predlažu mjere za njegovo izbjegavanje i otklanjanje.

U konkretnom slučaju je neophodno bilo izvršiti analizu i procjenu rizika pri realizaciji konstrukcije Automatskog sistema za parkiranje vozila (slika 1).



Slika 1. Šematski prikaz Automatskog sistema za parkiranje vozila

Naime, riječ je o konstrukciji koja treba da se razvija od samog početka, pa u fazi konstruisanja posebno mjesto zauzimaju analiza i procjena rizika konstrukcije. S obzirom na to da je riječ o složenijoj konstrukciji u čiji su razvoj uključeni stručnjaci različitih profila (mašinci, električari, građevinci...) to će biti neophodniji sistematski pristup rješavanju problema zasnovan na sveobuhvatnoj analizi i temeljnom pristupu problemu. Zbog toga je cjelokupni proces konstruisanja, počevši od prikupljanja informacija o postojećim konstrukcijama ovoga tipa, formiranja varijantnih i idejnih rješenja, do same izrade prototipa, podijeljen u više radnih paketa kojima, prema tačno definisanom redoslijedu, metodičkim pristupom treba posvetiti pažnju. Radni paketi koji su predviđeni pri realizaciji pomenute konstrukcije su:

1. razrada tehničkog zadatka,
2. razvoj logičkog modela konstrukcije,
3. razvoj fizičkog modela konstrukcije,
4. razvoj predmetnog modela konstrukcije,
5. konstrukciona razrada,
6. razrada upravljanja,
7. građevinski projekat,
8. razrada tehnologije,
9. izrada prototipa i
10. ispitivanje prototipa i dorada rješenja.

Razmatranje problema pomoću radnih paketa omogućava sistematičniji pristup procjeni rizika konstrukcije. U konkretnom slučaju je posmatran svaki radni paket pojedinačno i za svaki od njih predviđeni su mogući rizici, pri čemu se tabelarno daje opis rizičnog događaja, navode kriterijumi za procjenu rizika i daje stepen ispunjenosti tih kriterijuma na bodovnoj skali (u ovom slučaju na skali od 1 do 10). Svaki rizični događaj nosi oznaku  $R_{i,j}$ , gdje je  $i$  redni broj radnog paketa na koji se odnosi dati rizik, a  $j$  redni broj rizika u radnom paketu. Na slici 2 prikazana je analiza i procjena rizika na konkretnom primjeru, a u posljednjoj njenoj koloni date su mjere za izbjegavanje i otklanjanje rizičnog događaja.



OZNAKA RIZIKA	Radni paket	OPIS RIZIČNOG DOGAĐAJA	Kriterijumi za procjenu rizika			UKUPNO (P1·P2·P3)	Procjena rizika	MJERE ZA IZBJEGAVANJE I OTKLANJANJE RIZIKA
			P1	P2	P3			
R1.1	Razrada tehničkog zadatka	Zadatak nije do kraja definisan	2	8	4	64	zanemarljiv	Detaljno izanalizirati parametre konstrukcije automobila i do sada u svijetu razvijene automatske sisteme za parkiranje vozila
R1.2		Pogrešno postavljena lista zahtjeva	2	8	4	64	zanemarljiv	Sveobuhvatno razmotriti zahtjeve koji se postavljaju pred konstrukciju, kao i tehnološke mogućnosti izvođača; uskladiti listu zahtjeva sa zadatkom
R2.1	Razvoj logičkog modela konstrukcije	Pogrešno definisana ukupna funkcija sistema	2	8	6	96	zanemarljiv	Ukupnu funkciju sistema definisati na osnovu precizno definisane postavke zadatka
R2.2		Nisu definisane sve parcijalne i elementarne funkcije	5	7	6	210	nizak	Razmotriti ukupnu funkciju; koristiti metodološki postupak za iznalaženje što većeg broja funkcija
R2.3		Nepotpuna varijacija funkcionalne strukture	2	5	6	60	zanemarljiv	Koristiti metodološki postupak za pronalaženje većeg broja strukturnih varijanti; razmotriti mogućnost istovremenog izvršavanja pojedinih parcijalnih i elementarnih funkcija; po mogućnosti varirati redoslijed izvršavanja istih
R2.4		Nepotpuno razrađeni kriterijumi za izbor strukturne varijante	4	8	6	192	zanemarljiv	Provjeriti listu zahtjeva i kriterijume sa njom usaglasiti
R2.5		Odabir nepovoljnog logičkog modela konstrukcije (strukturne varijante)	3	9	6	162	zanemarljiv	Odabir izvršiti metodološkim postupkom pomoću liste izbora formirane na osnovu precizno definisanih kriterijuma usaglašeni sa listom zahtjeva; ocjenu pojedinih strukturnih varijanti vrši više stručnih lica
R3.1	Razvoj fizičkog modela konstrukcije	Greške razrade rješenja parcijalnih i elementarnih funkcija	5	9	5	225	nizak	Razmotriti sva prethodno razrađena rješenja parcijalnih funkcija, odnosno sve fizikalne efekte za rješavanje elementarnih funkcija; koristiti metodološki pristup koji provjereno vodi pronalaženju većeg broja kvalitetnih rješenja
R3.2		Greške u razradi konceptijskih varijanti	5	8	5	200	zanemarljiv	Metodološkim postupkom konceptijske varijante formirati kombinacijom pojedinih parcijalnih i elementarnih funkcija po sistemu snošljivosti čime je, ujedno, omogućeno i iznalaženje većeg broja varijantnih rješenja
R3.3		Nepotpuno razrađeni kriterijumi za izbor konceptijske varijante	4	8	6	192	zanemarljiv	Provjeriti listu zahtjeva i kriterijume sa njom usaglasiti
R3.4		Odabir nepovoljnog fizičkog modela konstrukcije (konceptijske varijante)	3	6	6	108	zanemarljiv	Odabir izvršiti metodološkim postupkom pomoću liste izbora formirane na osnovu precizno definisanih kriterijuma usaglašeni sa listom zahtjeva, kvantitativno definisati značaj kriterijuma i stepen njihove ispunjenosti prema unaprijed definisanoj skali; ocjenu pojedinih konceptijskih varijanti vrši više stručnih lica
R4.1	Razvoj predmetnog modela konstrukcije	Greške oblika i položaja radnih tijela	6	6	4	144	zanemarljiv	Provjeriti fizikalne principe; oblikovanje izvršiti metodološkim postupkom u cilju dobijanja većeg broja rješenja
R4.2		Greške varijacije kinematike radnih tijela	6	6	4	144	zanemarljiv	Uskladiti oblik i položaj radnih tijela sa zahtjevima u pogledu kinematike
R4.3		Pojava smetnji i nedostataka pojedinih varijantnih rješenja	6	7	4	168	zanemarljiv	Metodološkim postupkom detaljno razmotriti svako varijantno rješenje, izvršiti analizu smetnji i nedostataka i definisati mjere za njihovo otklanjanje ili smanjenje

Slika 2. Procjena rizičnih događaja i mjere za njihovo izbjegavanje i otklanjanje



OZNAKA RIZIKA	Radni paket	OPIS RIZIČNOG DOGAĐAJA	Kriterijumi za procjenu rizika			UKUPNO (P1+P2+P3)	Procjena rizika	MJERE ZA IZBJEGAVANJE I OTKLANJANJE RIZIKA
			P1	P2	P3			
R4.4	Razvoj predmetnog modela konstrukcije	Pogrešan odabir najpovoljnijih rješenja parcijalnih funkcija	6	7	7	294	nizak	Odabir izvršiti metodološkim postupkom pomoću liste izbora formirane na osnovu precizno definisanih kriterijuma usaglašenih sa listom zahtjeva, kvantitativno definisati značaj kriterijuma i stepen njihove ispunjenosti prema unaprijed definisanoj skali; ocjenu pojedinih rješenja vrši više stručnih lica
R4.5		Nepotpuno razrađeni kriterijumi za izbor idejnog rješenja	4	7	6	168	zanemarljiv	Provjeriti listu zahtjeva i kriterijume sa njom usaglasiti
R4.6		Pogrešan odabir najpovoljnijeg predmetnog modela (projektna varijante)	4	8	6	192	zanemarljiv	Koristiti metodološki postupak za definisanje što većeg broja projektnih varijanti; vrednovanje izvršiti pomoću liste izbora sa precizno i sveobuhvatno definisanim kriterijumima
R4.7		Greške razrade idejnog rješenja	6	8	9	432	podnošljiv	Vratiti se na prethodne radne korake
R5.1	Konstrukciona razrada	Odabir nepovoljnih materijala	7	10	6	420	podnošljiv	Detaljno analizirati i proračunati konstrukciju prema vrsti odabranog materijala; temeljno razmotriti i izanalizirati sve eksploatacione uslove
R5.2		Greške pri dimenzionisanju	7	10	6	420	podnošljiv	Proračun kontroliše više stručnih lica
R5.3		Greške u radioničkim crtežima	4	10	7	280	nizak	Izvršiti optimizaciju detalja konstrukcije; kontrolu crteža potrebno je detaljno da izvrši konstruktor, crtač, odgovorno lice, usklađivač sa standardima
R5.4		Greške u sklopnim crtežima	4	10	7	280	nizak	Izvršiti optimizaciju detalja konstrukcije; kontrolu crteža potrebno je detaljno da izvrši konstruktor, crtač, odgovorno lice, usklađivač sa standardima
R5.5		Greške u proračunu	5	10	6	300	nizak	Izvršiti optimizaciju detalja konstrukcije; kontroli dobijenih rezultata pristupa više stručnih lica
R6.1	Razrada upravljanja	Greške odabira upravljačkih jedinica	5	8	7	280	nizak	Koristiti metodološki postupak u cilju iznalaženja što većeg broja rješenja; više odgovornih stručnih lica treba da iskontroliše odabrana rješenja
R6.2		Greške u prpratnoj dokumentaciji	4	8	6	192	zanemarljiv	Kontroli pristupa više odgovornih stručnih lica
R7.1	Građevinski projekat	Greške u proračunu nosivosti temelja konstrukcije	3	10	4	120	zanemarljiv	Kontroli dobijenih rezultata pristupa više stručnih lica
R7.2		Greške u prpratnoj dokumentaciji građevinskog projekta	4	8	4	128	zanemarljiv	Kontroli pristupa više odgovornih stručnih lica
R8.1	Razrada tehnologije	Odabir nepovoljne tehnologije izrade	5	9	4	180	zanemarljiv	Detaljno razmotriti tehnološke mogućnosti preduzeća koje vrši izradu; razmotriti mogućnost i opravdanost uvođenja i razvoja novih tehnologija obrade
R8.2		Greške u tehnološkoj dokumentaciji i dokumentaciji za montažu	5	8	4	160	zanemarljiv	Kontroli pristupa više odgovornih stručnih lica

Slika 2. Procjena rizičnih događaja i mjere za njihovo izbjegavanje i otklanjanje (nastavak)

OZNAKA RIZIKA	Radni paket	OPIS RIZIČNOG DOGAĐAJA	Kriterijumi za procjenu rizika			UKUPNO (P1·P2·P3)	Procjena rizika	MJERE ZA IZBJEGAVANJE I OTKLANJANJE RIZIKA
			P1	P2	P3			
R9.1	Izrada prototipa	Greške pri izradi dijelova i sklopova prototipa	7	9	6	378	nizak	Detaljno proučiti konstrukcionu i tehnološku dokumentaciju; vršiti prethodnu, tekuću i završnu kontrolu; po izradi, osim vizuelne kontrole, izvršiti kontrolu tačnosti oblika i dimenzija, noseće elemente kontrolisati radiografski ili ultrazvučno
R9.2		Greške pri montaži prototipa	6	8	6	288	nizak	Kontroli pristupa više odgovornih stručnih lica
R10.1	Ispitivanje prototipa i dorada rješenja	Greške pri ispitivanju	5	8	6	240	nizak	Ispitivanje sprovodi kvalifikovana osoba; za ispitivanje primijeniti najpouzdanije metode; radiografski ili ultrazvučno iskontrolisati noseće elemente konstrukcije
R10.2		Greške rezultata ispitivanja prototipa	5	8	6	240	nizak	Ispitivanje izvršiti pomoću više metoda; radiografski ili ultrazvučno iskontrolisati noseće elemente konstrukcije

Slika 2. Procjena rizičnih događaja i mjere za njihovo izbjegavanje i otklanjanje (nastavak)

## 5. ZAKLJUČCI

1. Pojam rizika prisutan je u gotovo svim oblastima ljudske djelatnosti i veoma je bitno na vrijeme i pravilno procijeniti i predvidjeti moguće rizike u realizaciji projekta kako bi se minimizirala, pratila i kontrolisala mogućnost ili uticaj neželjenih događaja i maksimizirala realizacija očekivanih uspjeha.
2. Pravilna analiza rizika u procesu razvoja proizvoda je veoma bitna, jer se greške napravljene u ovoj fazi prenose na sve ostale faze životnog vijeka proizvoda i mogu krajnje nepovoljno uticati na ukupni uspjeh proizvoda, a vrlo često i na život i bezbjednost ljudi.
3. Metodološki pristup procesu analize i procjene rizika na minimum svodi uticaj subjektivne procjene, daje garanciju za pouzdanu procjenu i omogućava sveobuhvatnu analizu kako u realizaciji ukupnog proizvoda ništa ne bi bilo ispušteno ili prepušteno slučaju.

## LITERATURA

- [1] Tomović, R. (2000). *Primjena savremenih metoda konstruisanja u razvoju proizvoda mašinske industrije*, Magistarski rad, Univerzitet Crne Gore, Mašinski fakultet, Podgorica.
- [2] Pojam rizika i upravljanje rizikom u ekonomiji, [http://www.pepogledi.org/Arhiva/2011\\_03/04%20mr%20Marija%20Jovanovic\\_Pojam%20rizika%20i%20upravljanje%20rizikom%20u%20ekonomiji.pdf](http://www.pepogledi.org/Arhiva/2011_03/04%20mr%20Marija%20Jovanovic_Pojam%20rizika%20i%20upravljanje%20rizikom%20u%20ekonomiji.pdf), pristupljeno 03.10.2014.
- [3] Upravljanje rizikom, <http://www.slideshare.net/majaiv/predavanja-ii-deo>, pristupljeno 03.10.2014.
- [4] Parkmatic, <http://www.parkmatic.com/>, pristupljeno 08.10.2014.
- [5] Tomović, R. (2014). *Osnovi konstruisanja*, Univerzitet Crne Gore, Mašinski fakultet, Podgorica.
- [6] Bulatović, R. (2011). *Mašinski elementi I*, Univerzitet Crne Gore, Mašinski fakultet, Podgorica.



## MODULARNI PRISTUP U FORMIRANJU FAMILIJE SAVREMENIH STANDARDNIH ZUPČASTIH REDUKTORA

Vojkan Nojner<sup>1</sup>

*Rezime: U radu će biti prikazan način formiranja familije savremenih standardnih zupčastih prenosnika velikog opsega snaga i prenosnih odnosa za opštu namenu, za konusno-cilindrične i cilindrične reduktore sa jednim i više (dva, tri i četiri) stepena prenosa. Biće prikazane i određene specifičnosti vezane za prenosne odnose (teorijske i stvarne) i primenjene brojeve zuba u konusnom i cilindričnim stepenima. Biće detaljno razmatrana i prikazana raspodela pojedinačnih prenosnih odnosa unutar svakog tipa višestepenih cilindričnih i konusno-cilindričnih reduktora. Za svaki od tipova reduktora dato je po nekoliko šema raspodele pojedinačnih prenosnih odnosa.*

*Ključne reči: cilindrični i konusno-cilindrični reduktori, familija standardnih zupčastih prenosnika, prenosni odnos, raspodela prenosnog odnosa, stepen prenosa*

### **A MODULAR APPROACH IN GENERATING A FAMILY OF ACTUAL STANDARD GEARBOXES**

*Abstract: In the paper it will be presented a way of forming a family of actual standard gearboxes with large range of rating powers and transmission ratios for general purposes, for bevel-helical and helical gearboxes with one or more (two, three and four) gear stages. Also, it will be shown certain specifics related to the transmission ratios (theoretical and actual), and applied the numbers of teeth in bevel and helical stage(s).*

*It will be discussed in detail and shown the distribution of the partial gear ratios within each type of multi-stage helical and bevel-helical gearboxes.*

*For each type of gearboxes several distribution schemes of partial gear ratios are given in this paper.*

*Key words: distribution of the gear ratios, family of standard gearboxes, gear stage, helical and bevel-helical gearboxes, transmission ratio*

## 1. UVOD

Metoda modularnog pristupa u formiranju i nadgradnji strukture nekog mašinskog sistema ili proizvoda je uvek bila omiljena za razmatranje i privlačna za

---

<sup>1</sup> Dipl.maš.ing. Vojkan Nojner, Smederevska Palanka, GOŠA FOM, vojkan.nojner@gosafompr.com

sagledavanje i iznalaženje novih mogućnosti primene.

Jedna od najzastupljenijih primena modularnog pristupa je za građenje familija proizvoda iste konfiguracije - istog konstrukcionog oblika i strukture, a različite veličine i dimenzija. Razvoj familije standardnih industrijskih zupčastih reduktora opšte namene sa paralelnim i ukrštenim vratilima je tipičan primer mogućnosti primene modularnog metoda.

Najpoznatiji svetski proizvođači reduktora se neprestano takmiče ko će sastaviti bolji katalog, odnosno veću familiju standardnih reduktora, koja će biti atraktivna za stare i buduće kupce i istovremeno konkurentnija i lakša za proizvodnju. To znači veći asortiman u ponudi, zadovoljavanje različitih potreba korisnika, a istovremeno manje troškove u proizvodnji, smanjenje (ili potpuno ukidanje) potrebe projektovanja i razrade dokumentacije, tehnološke pripreme proizvodnje, uklanjanje grešaka prototipne proizvodnje, uprošćavanje procesa izrade usled proizvodnje povećanog broja komada (povećana serijnost), svođenje na već poznatu montažu, itd. Prirodno, smanjenje roka izrade i cene donosi povoljniji položaj na tržištu.

## **2. MODULARNI PRISTUP U FORMIRANJU FAMILIJE SAVREMENIH STANDARDNIH ZUPČASTIH REDUKTORA**

Danas je za svaku firmu važno da smanji troškove proizvodnje i bude konkurentna na tržištu. Da bi to i postigli poznati evropski proizvođači odavno su u svoje kataloge stavili proizvode osmišljene i projektovane prema modularnom principu. Tako su danas i savremeni standardni zupčasti reduktori vodećih proizvođača zasnovani i napravljeni po modularnom principu.

Za stvaranje familije industrijskih zupčastih reduktora važno je osmisлити i postaviti prave modele i naći tehničke predstavnike (tipove) reduktora, koje treba razviti i međusobno povezati u jednu veću celinu tako da se sa što manje različitih delova pokrije što veća matrica različitih tipova, veličina izvođenja i prenosnih odnosa.

U daljem radu daje se prikaz jednog takvog modularnog pristupa koji je korišćen za formiranje familije višestepenih konusnih i cilindričnih reduktora za prenos snage sa širokim spektrom prenosnih odnosa za različite industrijske namene.

### **2.1 Prednosti i mane familije reduktora nastale modularnim pristupom**

#### *Prednosti:*

- Veliki broj izvođenja nominalnih prenosnih odnosa u okviru svake veličine;
- Mogućnost kombinovanja zupčanika u reduktorima različitih tipova, stepena prenosa i veličina;
- Stvaranje nove (izvedene) veličine reduktora istog tipa i stepena prenosa dodavanjem samo jednog novog ozubljenog dela (cilindričnog zupčanika);
- Isti ukupni prenosni odnos jednog tipa reduktora sa istim brojem stepena prenosa može biti ostvaren na nekoliko načina;
- Granični prenosni odnosi mogu biti izvedeni sa reduktorima sa različitim brojem stepena prenosa;
- Veliki asortiman kataloških vrednosti sa malo različitih delova;

#### *Mane:*

- Nije moguće univerzalno pokrivanje celokupnog opsega prenosnih odnosa za svaku veličinu familije (postoji nepokrivenost pojedinih prenosnih odnosa);
- Pojedini stvarni prenosni odnosi imaju veliko odstupanje u odnosu na katalošku (teorijsku) vrednost (i preko 5%);
- Kod cilindričnog ozubljenja javljaju se i okrugli ("celi") prenosni odnosi.

### 3. PRENOSNI ODNOSI KOD FAMILIJA STANDARDNIH REDUKTORA

#### 3.1 Opseg prenosnih odnosa

Izvedeni prenosni odnosi kod višestepenih konusno-cilindričnih i cilindričnih reduktora prikazani su u sledećim tabelama (Tab.1-7). Jednostepeni konusni reduktori nisu obuhvaćeni u razmatranim tipovima prenosnika.

Broj izvođenja prenosnih odnosa obuhvaćenih u razmatranim familijama razlikuje se u zavisnosti od tipa reduktora - 14 za 2-stepene, 18 za 3-stepene i 15 za 4-stepene konusno-cilindrične reduktore, a za cilindrične - 14 za 1-stepene, 14 za 2-stepene, 15 za 3-stepene i 14 za 4-stepene. Dakle, razmatrane familije cilindričnih reduktora su nešto manje od isto-stepenih konusno-cilindričnih.

#### 3.1.1 Konusno-cilindrični reduktori

Tabela 1. Opseg prenosnih odnosa kod 2-stepenog konusno-cilindričnog reduktora

Izvođenje	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Prenosni odnos	5	5,6	6,3	7,1	8	9	10	11,2	12,5	14	16	18	20	22,4

Tabela 2. Opseg prenosnih odnosa kod 3-stepenog konusno-cilindričnog reduktora

Izvođenje	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Prenosni odnos	12,5	14	16	18	20	22,4	25	28	31,5	35,5	40	45	50	56	63	71	80	90

Tabela 3. Opseg prenosnih odnosa kod 4-stepenog konusno-cilindričnog reduktora

Izvođenje	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Prenosni odnos	80	90	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400

#### 3.1.2 Cilindrični reduktori

Tabela 4. Opseg prenosnih odnosa kod 1-stepenog cilindričnog reduktora

Izvođenje	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Prenosni odnos	1,25	1,4	1,6	1,8	2	2,24	2,5	2,8	3,15	3,55	4	4,5	5	5,6

Tabela 5. Opseg prenosnih odnosa kod 2-stepenog cilindričnog reduktora

Izvođenje	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Prenosni odnos	6,3	7,1	8	9	10	11,2	12,5	14	16	18	20	22,4	25	28

Tabela 6. Opseg prenosnih odnosa kod 3-stepenog cilindričnog reduktora

Izvođenje	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Prenosni odnos	22,4	25	28	31,5	35,5	40	45	50	56	63	71	80	90	100	112

Tabela 7. *Opseg prenosnih odnosa kod 4-stopenog cilindričnog reduktora*

Izvođenje	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Prenosni odnos	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450

### 3.2 Raspodela prenosnih odnosa

Raspodela prenosnih odnosa kod višestepenih konusno-cilindričnih i cilindričnih reduktora prikazana je u sledećim tabelama (Tab.8-25). Načelno su prikazane po 3 šeme raspodele za svaki tip višestopenog reduktora. Šema raspodele 1 načelno se odnosi za tzv. osnovne veličine u familiji jednog tipa reduktora. Šema raspodele 2 se odnosi na tzv. izvedene veličine manje-gabaritnih reduktora sa manjim osnim rastojanjima, a šema raspodele 3 na izvedene veličine veće-gabaritnih reduktora, sa većim osnim rastojanjima.

#### 3.2.1 Konusno-cilindrični reduktori

Tabela 8. *Šema raspodele 1 prenosnih odnosa kod 2-stopenog konusno-cil. reduktora*

Pren.odnos	5	5,6	6,3	7,1	8	9	10	11,2	12,5	14	16	18	20	22,4
Kon. par	1,25	1,4	1,6	1,8	2	2,24	2,5	2,8	3,15	3,55	4	4,5	-	-
Cil. par	4											-	-	

Tabela 9. *Šema raspodele 2 prenosnih odnosa kod 2-stopenog konusno-cil. reduktora*

Pren.odnos	5	5,6	6,3	7,1	8	9	10	11,2	12,5	14	16	18	20	22,4
Kon. par	-	-	1,25	1,4	1,6	1,8	2	2,24	2,5	2,8	3,15	3,55	4	4,5
Cil. par	-	-	5											

Tabela 10. *Šema raspodele 3 prenosnih odnosa kod 2-stopenog konusno-cil. reduktora*

Pren.odnos	5	5,6	6,3	7,1	8	9	10	11,2	12,5	14	16	18	20	22,4
Kon. par	-	1,25	1,4	1,6	1,8	2	2,24	2,5	2,8	3,15	3,55	4	4,5	-
Cil. par	-	4,5												

Tabela 11. *Šema raspodele 1 prenosnih odnosa kod 3-stopenog konusno-cil. reduktora*

Pren.odnos	12,5	14	16	18	20	22,4	25	28	31,5	35,5	40	45	50	56	63	71	80	90
Kon. par	1,25				1,4	1,6	1,8	2	2,24	2,5	2,8	3,15	3,55	4	4,5	-	-	-
Cil. par	2,8	3,55		4											-	-		
Cil. par	3,55	4	3,55	4											-	-		

Tabela 12. *Šema raspodele 2 prenosnih odnosa kod 3-stopenog konusno-cil. reduktora*

Pren.odnos	12,5	14	16	18	20	22,4	25	28	31,5	35,5	40	45	50	56	63	71	80	90
Kon. par	-	-	1,25				1,4	1,6	1,8	2	2,24	2,5	2,8	3,15	3,55	4	4,5	-
Cil. par	-	-	2,8	3,55		4											-	
Cil. par	-	-	4,5	5	4,5	5											-	

Tabela 13. Šema raspodele 3 prenosnih odnosa kod 3-stepenog konusno-cil. reduktora

Pren.odnos	12,5	14	16	18	20	22,4	25	28	31,5	35,5	40	45	50	56	63	71	80	90	
Kon. par	-	1,25				1,4	1,6	1,8	2	2,24	2,5	2,8	3,15	3,55	4	4,5	-	-	-
Cil. par	-	2,8	3,55		4										-				
Cil. par	-	4	4,5	4	4,5										-				

Tabela 14. Šema raspodele 1 prenosnih odnosa kod 4-stepenog konusno-cil. reduktora

Pren.odnos	80	90	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400
Kon. par	1,25	1,4	1,6	1,8	2	2,24	2,5	2,8	3,15	3,55	4	4,5	5	-	-
Cil. par	4										-	-			
Cil. par	4										-	-			
Cil. par	4										-	-			

Tabela 15. Šema raspodele 2 prenosnih odnosa kod 4-stepenog konusno-cil. reduktora

Pren.odnos	80	90	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400
Kon. par	-	-	1,25	1,4	1,6	1,8	2	2,24	2,5	2,8	3,15	3,55	4	4,5	5
Cil. par	-	-	4										-		
Cil. par	-	-	4										-		
Cil. par	-	-	5										-		

Tabela 16. Šema raspodele 3 prenosnih odnosa kod 4-stepenog konusno-cil. reduktora

Pren.odnos	80	90	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400
Kon. par	-	1,25	1,4	1,6	1,8	2	2,24	2,5	2,8	3,15	3,55	4	4,5	5	-
Cil. par	-	4										-			
Cil. par	-	4										-			
Cil. par	-	4,5										-			

### 3.2.2 Cilindrični reduktori

Tabela 17. Šema raspodele 1 prenosnih odnosa kod 2-stepenog cilindričnog reduktora

Pren.odnos	6,3	7,1	8	9	10	11,2	12,5	14	16	18	20	22,4	25	28
Cil. par	1,6	1,8	2	2,24	2,5	2,8	3,15	3,55	4	4,5	5	5,6	-	-
Cil. par	4										-	-		

Tabela 18. Šema raspodele 2 prenosnih odnosa kod 2-stepenog cilindričnog reduktora

Pren.odnos	6,3	7,1	8	9	10	11,2	12,5	14	16	18	20	22,4	25	28
Cil. par	-	-	1,6	1,8	2	2,24	2,5	2,8	3,15	3,55	4	4,5	5	5,6
Cil. par	-	-	5											

Tabela 19. Šema raspodele 3 prenosnih odnosa kod 2-stepenog cilindričnog reduktora

Pren.odnos	6,3	7,1	8	9	10	11,2	12,5	14	16	18	20	22,4	25	28
Cil. par	-	1,6	1,8	2	2,24	2,5	2,8	3,15	3,55	4	4,5	5	-	-
Cil. par	-	4,5										-	-	

Tabela 20. Šema raspodele 1 prenosnih odnosa kod 3-stepenog cilindričnog reduktora

Pren.odnos	22,4	25	28	31,5	35,5	40	45	50	56	63	71	80	90	100	112
Cil. par	1,4	1,6	1,8	2	2,24	2,5	2,8	3,15	3,55	4	4,5	5	5,6	-	-
Cil. par	4												-	-	
Cil. par	4												-	-	

Tabela 21. Šema raspodele 2 prenosnih odnosa kod 3-stepenog cilindričnog reduktora

Pren.odnos	22,4	25	28	31,5	35,5	40	45	50	56	63	71	80	90	100	112
Cil. par	-	-	1,4	1,6	1,8	2	2,24	2,5	2,8	3,15	3,55	4	4,5	5	5,6
Cil. par	-	-	4												-
Cil. par	-	-	5												-

Tabela 22. Šema raspodele 3 prenosnih odnosa kod 3-stepenog cilindričnog reduktora

Pren.odnos	22,4	25	28	31,5	35,5	40	45	50	56	63	71	80	90	100	112
Cil. par	-	1,4	1,6	1,8	2	2,24	2,5	2,8	3,15	3,55	4	4,5	5	5,6	-
Cil. par	-	4												-	
Cil. par	-	4,5												-	

Tabela 23. Šema raspodele 1 prenosnih odnosa kod 4-stepenog cilindričnog reduktora

Pren.odnos	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450
Cil. par	1,6	1,8	2	2,24	2,5	2,8	3,15	3,55	4	4,5	5	5,6	-	-
Cil. par	4												-	-
Cil. par	4												-	-
Cil. par	4												-	-

Tabela 24. Šema raspodele 2 prenosnih odnosa kod 4-stepenog cilindričnog reduktora

Pren.odnos	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450
Cil. par	-	-	1,6	1,8	2	2,24	2,5	2,8	3,15	3,55	4	4,5	5	5,6
Cil. par	-	-	4											
Cil. par	-	-	4											
Cil. par	-	-	5											

Tabela 25. Šema raspodele 3 prenosnih odnosa kod 4-stepenog cilindričnog reduktora

Pren.odnos	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450
Cil. par	-	1,6	1,8	2	2,24	2,5	2,8	3,15	3,55	4	4,5	5	5,6	-
Cil. par	-	4												-
Cil. par	-	4												-
Cil. par	-	4,5												-

### 3.3 Preklapanje prenosnih odnosa

Preklapanje istih nominalnih prenosnih odnosa za reduktore sa različitim brojem stepena prenosa je svuda prisutno bar za dve veličine, posebno za 2- i 3-stepene reduktore, kod konusno-cilindričnih čak sa 6 izvođenja. Jedino kod cilindričnih reduktora nema preklapanja za 1- i 2-stepene prenosnike.



Tabela 26. Preklapanje prenosnih odnosa kod 2- i 3-stepenog kon.-cil. reduktora

Izvođenje	1	2	3	4	5	6
Prenosni odnos	12,5	14	16	18	20	22,4

Tabela 27. Preklapanje prenosnih odnosa kod 3- i 4-stepenog kon.-cil. reduktora

Izvođenje	1	2
Prenosni odnos	80	90

Tabela 28. Preklapanje prenosnih odnosa kod 2- i 3-stepenog cilindričnog reduktora

Izvođenje	1	2	3
Prenosni odnos	22,4	25	28

Tabela 29. Preklapanje prenosnih odnosa kod 3- i 4-stepenog cilindrič. reduktora

Izvođenje	1	2
Prenosni odnos	100	112

### 3.4 Karakteristike ozubljenih delova u reduktorima

- Prenosni odnosi u katalogima proizvođača [2] i prikazani u tabelama su iz reda R20 ( $\varphi_i = 1,12$ );
- Osnna rastojanja su skrivena, interno su zaokružena i standardizovana za sve tipove, bliska redu R20 ( $\varphi_a = 1,12$ );
- Oznaka reduktora u katalogima je kodirana (označena sa rednim brojevima od "1" ("01") do "n"), tako da se ne može prepoznati tačno osno rastojanje. Jedna ista numerička oznaka je uvek povezana za istu veličinu poslednjeg osnog rastojanja bilo kog tipa zupčastog prenosnika.
- Najmanji broj zuba pogonskog konusnog zupčanika iznosi 11, a najveći 27;
- Najčešći broj zuba pogonskog cilindričnog zupčanika poslednjeg stepena prenosa iznosi 17 ili 18;
- Upotrebljeni materijal ozubljenih delova je isključivo visokokvalitetni čelik za cementaciju Č.4520 (18CrNiMo7-6 po DIN);
- Ugao nagiba zuba kod cilindričnih zupčanika je između  $11^\circ$  i  $15^\circ$ ;
- Primenuje se cilindrični par sa optimalno pomeranim profilom. Ozubljena vratila (pogonski zupčanici) su sa "balingovanim" zupcima, odnosno primenjena je korekcija bočne linije (širine) zupca. Kod oba zupčanika primenjena je korekcija profila.
- Koriste se standardni normalni moduli mn, odnosno brojevi iz prvog prioriteta, po redu R20 ( $\varphi_{mn} = 1,12$ ), ili ređe R10 ( $\varphi_{mn} = 1,25$ ).
- Koristi se isti konusni par, bilo da je u pitanju 2-, 3- ili 4-stepeni reduktor.
- Brojevi zuba konusnih zupčanika se biraju tako da ne budu međusobno deljivi, ili da prenosni odnosi budu sa što većim brojem decimala. Tako se dobija mnogo povoljniji rad konusnog para.

### 3.6 Veze između familija reduktora sa istim i različitim stepenom prenosa

Pri formiranju familija zastupljeni su određeni geometrijski odnosi između veličina, čak i sa različitim stepenima prenosa; npr. reduktor sa istom oznakom ima uvek iste gabaritne mere izlaznog dela reduktora, bez obzira da li je 2-, 3- ili 4-stepeni.

Reduktor sa više stepenim prenosom može imati iste mere na ulaznom delu kao i reduktor sa manjim stepenima prenosa sa manjom nazivnom oznakom.

*Princip građenja i formiranja veličina reduktora po modularnom principu može se objasniti na sledeći način:*

Na konusni par sa nazivnom veličinom podeonog prečnika gonjenog zupčanika nadovezuje se cilindrični par sa određenom vrednošću osnog rastojanja.

3-stepeni reduktor se formira tako što se na 2-stepeni reduktor određene

oznake dodaje jedan cilindrični stepen sa određenim odnosom osnovnog rastojanja.

Za 4-stepeni reduktor koristi se 3-stepeni, uz dodatni cilindrični stepen na gore opisani način.

Izvedena veličina reduktora se formira tako što se u osnovnoj veličini promeni osno rastojanje izlaznog stepena izborom gonjenog zupčanika sa većim brojem zuba.

Reduktori sa osnovnom i izvedenom veličinom u svemu su isti; osim u zadnjem osnovnom rastojanju, odnosno broju zuba izlaznog stepena, dimenzijama prihvata i broja otvora na izlaznoj prirubnici.

#### 4. KOMENTAR REZULTATA

Glavna prednost modularnog pristupa pri formiranju familije standardnih reduktora je mogućnost kombinovanja i ugradnje ozubljenih delova sa istim osnim rastojanjem u različitim tipovima reduktora, sa različitim stepenima prenosa.

Najviše su "pokriveni" (odnosno zastupljeni sa prenosnim odnosima) 2- i 3-stepeni zupčasti prenosnici, pogotovo konusno-cilindrični reduktori, jer se oni u suštini najviše i traže na tržištu, pa zato ima i dosta preklapanja izvedenih prenosnih odnosa.

Na osnovu prikazanih tabela vidi se da su kod konusno-cilindričnih reduktora konusni parovi, koji su uvek postavljeni kao prvi stepen prenosa, "nosioci" promene prenosnih odnosa reduktora, a da su cilindrični parovi sa nepromenljivim brojevima zuba ("statični"), pogotovo kod 2-stepenih reduktora, dok su kod 3- i 4-stepenih reduktora "izmenljivi" cilindrični parovi samo za male prenosne odnose, gde je pak nepromenljiv konusni par sa veoma malim prenosnim odnosom.

Prenosni odnosi konusnih parova se kreću u opsegu  $i=1,25\dots 4,5$ , a za 4-stepene  $i=1,25\dots 5$ . Cilindrični parovi su u opsegu prenosnih odnosa  $i=4\dots 5$ , a kod 3-stepenih reduktora na 2. i 3. stepenu za manje ukupne prenosne odnose koriste se još i  $i=2,8$ , odnosno  $i=3,55$ .

Kod cilindričnih reduktora prenosni odnos zupčanika na ulaznom stepenu se kreće u opsegu  $i=1,6\dots 5,6$  za 2- i 4- stepene, za 3-stepene  $i=1,4\dots 5,6$ , a za preostale stepene komentar je veoma sličan (praktično isti).

Dakle, i odve glavni doprinos promeni prenosnog odnosa reduktora daju zupčasti parovi na ulaznom stepenu.

#### 5. ZAKLJUČCI

Modularni pristup je jako važan za formiranje familije standardnih reduktora.

Jedna familija istog tipa reduktora je pokrivena sa relativno malim brojem različitih ozubljenih delova.

Postoji odstupanje stvarnih parcijalnih i ukupnog prenosnog odnosa, od teorijskih nominalnih vrednosti.

Kod konusno-cilindričnih reduktora konusni parovi imaju veću zastupljenost i uticaj na promenu ukupnog prenosnog odnosa od cilindričnih parova. Kod cilindričnih reduktora ulazni stepeni imaju češću promenu prenosnog odnosa od izlaznih.

Kod višestepenih prenosnika po istom tipu primenjeno je po nekoliko šema raspodele prenosnih odnosa u zavisnosti od toga da li je osnovna ili izvedena veličina.

Isti prenosni odnos može biti ostvaren sa različitim stepenima prenosa.

#### LITERATURA

- [1] Nojner, V., Zlatković, M. (2000). Pristup razvoju industrijskih zupčastih prenosnika snage, *Istraživanje i razvoj mašinskih elemenata i sistema*, Kotor, s. 235–240.
- [2] Katalozi proizvođača reduktora Goša Eickhoff, Siemens, Eickhoff



## PERSPEKTIVA PRIMENE NOVE GENERACIJE DVODELNIH BAČVASTIH LEŽAJEVA

Vladislav Krstić<sup>1</sup>, Vojkan Nojner<sup>2</sup>

*Rezime: U vremenu visokog tehnološkog razvoja, sve više se stavlja pred mašinski sistem zahtev, da za što kraće vreme uradi što veći broj finalnih proizvoda, ili podsklopova koji su predviđeni za dalju ugradnju. Po tome svaki zastoj mašine, predstavlja značajan gubitak proizvođaču, koji se odmah reflektuje kako na ekonomskom tako i na polju poslovnosti prema poslovnim partnerima.*

*Cilj ovog rada je davanje perspektive upotrebe nove generacije dvodelnih bačvastih ležajeva, koji svojim performansama u mnogome ubrzavaju reparaciju mašinskog sistema čak i u situacijama gde je pristupačnost mesta na kome se treba vršiti reparacija otežana. Sa tim, problem vremena reparacije tj. zamene oštećenog ležaja se značajno smanjuje, što dalje znači i značajno smanjenje gubitaka usled zastoja mašinskog sistema.*

*Kao reprezent u radu će biti opisani dvodelni samoudesivi bačvasti ležajevi proizvođača FAG- Schaeffler iz Nemačke, koji su svoju primenu našli u rudarstvu, u sistemima koja u svom sadržaju imaju vitla, remenice, ventilatore, mlinove itd.. Rad će dati prgled konstrukcije, pomenutih ležajeva, kao i prednosti i preporuke za primenu i ugradnju istih.*

*Ključne reči: bačvasti dvodelni kotrljajni ležajevi*

### **APPLICATION PERSPECTIVE OF A NEW GENERATIONN OF SPLIT SPHERICAL ROLLER BEARINGS**

*Abstract: In time of high technological development, there is a request which is put in front of a machine system, and it is, to do as many of the final products or subassemblies which are intended for further installation , in the shortest possible time. By that each machine downtime is a significant loss to the manufacturer, which is immediately reflected both the economic and the field of professionalism to business partners.*

*The aim of this paper is to give perspective using a new generation of split spherical roller bearings, whose performance greatly accelerate the repair of mechanical systems, even in situations where the availability of places at which to perform repair is difficult. With that, the time of reparations i.e. replacement of damaged bearings is*

<sup>1</sup> Mr Vladislav Krstić, dipl.maš.ing., Beograd, Ljubex International, d.o.o., vladanis73@yahoo.com

<sup>2</sup> Dipl. Maš. Ing, Vojkan Nojner, Smederevska Palanka, Goša- FOM, vojkan.nojner@gosafompr.com

*significantly reduced, which further means a significant reduction in losses due to downtime of mechanical systems.*

*As a representative in the paper will be described split spherical roller bearings manufacturer Schaeffler FAG- from Germany, which found application in mining, and systems in which its contents have winches, pulleys, fans, mills, etc.. This paper will show structure of mentioned bearings, as well as the benefits and recommendations for application and installation of the same.*

*Key words: bearings, roller split spherical*

## 1. UVOD

Savremeni proizvodni sistemi su mahom projektovani za veliko serijsku i masovnu proizvodnju. Pri tome se od njih traži što veća brzina obrade, povećana pouzdanost u radu i pojačana tačnost obrade. Da bi se ispunili svi navedeni zahtevi, neophodno je da se vrši pravilno održavanje sistema (preventivno i korektivno). Za to je poželjno da se poseduju adekvatni uređaji za permanentni monitoring i praćenje svih relevantnih parametara za određeni mašinski sistem ili uređaj. Svi uređaji za monitoring obično iziskuju dodatnu investiju, koju ne mogu da otprate sve firme. Iz tog razloga se dolazi u situaciju pretežno korektivnog održavanja, koje se odnosi na sporadičnu kontrolu i zamenu oštećenih elemenata mašinskog sistema. Pošto je zastoja mašinskog sistema u tom slučaju nepredvidiv i nagli, to se sa tim javljaju veliki troškovi usled trenutnog zastoja sistema, kao i troškovi koji se odnose na sam proces otklanjanja nastalog problema (trebovanje novog mašinskog elementa, demontaža i montaža novog mašinskog elementa itd.).

Ovaj problem je jako uočljiv konkretno kod zastoja ležajeva u bilo kom mašinskom sistemu, a naročito u teškoj industriji ( rudarstvo, građevina, valjaonice itd.) gde se radi o jako skupim ležajevima koji su ujedno i veliko gabaritni i pri tome su mahom sa koničnim provrtom što dodatno iziskuje i nabavku čaure za upinjanje ležaja, što u mnogome otežava i poskupljuje remont određene mašine. Pri tome se može javiti duži rok isporuke ležaja i čaure, što je još nepovoljniji slučaj koji ne ide u prilog brzom rešavanju zastoja.

Iz tog razloga je svetski vodeći proizvođač ležajeva Schaeffler Technologies GmbH & Co. KG iz Nemačke dao konkretan proizvod, koji će u mnogome olakšati kako korektivno tako i preventivno održavanje ležajeva kao jednih od osetljivijih mašinskih elemenata.

## 2. STANJE TEHNIKE

Pošto je predmet rada vrsta dvorednih bačvastih samoudesivih ležajeva, to će akcenat biti stavljen na grane industrije koja ima veće potrebe za ovim tipom ležaja.

Naime, ova vrsta ležajeva se većinom koristi u teškoj industriji kao što je npr. rudarstvo ( površinski kopovi), termo elektrane, prerada hartije i sl. Sa tim u vezi, bačvasti ležaji nalaze svoju primenu kod raznih mašina kao što su: mlinovi, drobilice, ventilatori, duvaljke, transporteri itd. Iz ove činjenice se lako može videti da su radni uslovi u kojima rade ležajevi prilično teški, pa se logično može lako očekivati zastoja. Treba napomenuti da zbog većih opterećenja koja su očekivana u toku rada, konstruktori mahom pribegavaju konstrukciji ležaja sa konusnim provrtom, što iziskuje i čauru za upinjanje pri montaži ležaja na vratilo odnosno osovinu. Kod veliko- gabaritnih bačvastih ležajeva čaure za upinjanje su često puta predviđene sa hidraulikom da bi sama montaža bila lakša i tačnija.

Sa druge strane često puta su mesta gde su predviđena uležištenja teško pristupačna i zahtevaju određene pripreme, kako bi se ležaj mogao zameniti. Sve to u mnogome otežava reparaciju date mašine, a vreme zastoja se time produžava, što dalje dovodi do povećanih gubitaka u ekonomskom smislu.

U slučajevima, gde postoji permanentni monitoring sistema, samo održavanje se dobrim delom svodi na tzv. preventivno održavanje, koje je u većini slučajeva plansko, tako da se time izbegavaju bilo kakvi dodatni troškovi. Međutim kod korektivnog održavanja to već nije slučaj, pa je iz tog razloga stvorena ideja da se novim tipom ležaja značajno skрати pre svega vreme zamene ležaja, a sa tim značajno smanje i nastali troškovi usled zastoja mašinskog sistema a da se pri tome zadrže radne performanse i karakteristike ležaja.

U daljem izlaganju će biti prezentovana nova generacija dvodelnih bačvastih samoudesivih ležajeva proizvođača Schaeffler Technologies GmbH & Co. KG iz Nemačke, koji po svemu predstavljaju dobro rešenje za brzu i efikasnu zamenu ovog tipa ležaja, naročito na mestima gde je pristupačnost samom uležištenju otežana.

### **3. OPŠTE INFORMACIJE O DVODELNIM BAČVASTIM SAMOUDESIVIM LEŽAJEVIMA**

Dvodelni samoudesivi bačvasti ležajevi se uglavnom primenjuju tamo gde zamena jednodelnog samoudesivog bačvastog ležaja zahteva velike dodatne troškove, kao što je slučaj gde treba izvršiti demontažu zupčanika ili spojnice, demontaža pogonskog bloka ili pak kada je potrebna demontaža transmissionih vratila (vratila većih dužina). Upotrebom dvodelnih bačvastih samoudesivih ležajeva, vreme zastoja mašina i postrojenja će biti znatno skraćeno.

U osnovi dvodelni samoudesivi ležajevi se ugrađuju kod dužih transmissionih vratila koja su uležištena na više mesta koja su teško pristupačna. Tipična oblast primene ovih ležajeva je kod transportera (transportnih traka), tehnoloških linija (automatske linije npr. za veliko serijsku proizvodnju), postrojenja za ventilaciju, valjaonica, brodova i mašina za hartiju [1] .

Primeri primene u rudarstvu i tehnološkim linijama: rotorni bageri i pretovarivači, vitla i remenice, pužni transporteri, otpremne kašike i transportne trake, agitatori i mešalice, postrojenja za sinterovanje i rotacione peći, duvaljke i ventilatori, postrojenja za usisavanje prašine, pogonska i transmissiona vratila.



Slika 1. Uležištenje u mešalici



Slika 2. Uležištenje pogonskog bloka kod transportera i transportnih uređaja

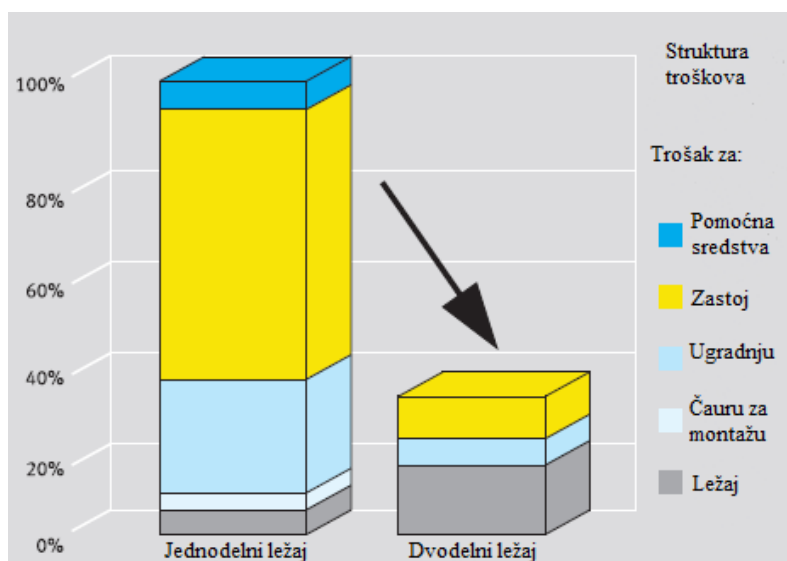
U nastavku teksta biće navedeni slučajevi primene dvodelnih bačvastih ležajeva u oblasti mašina i uređaja za preradu papira i celuloze: duvaljke i ventilatori, agitatori i mešalice, cilindri za sušenje, pogonska i transmisiona vratila, transporteri, mašine za sečenje hartije.

### 3.1. Analiza troškova korišćenja dvodelnih bačvastih samoudesivih ležajeva

Da bi se stekao pravi uvid u prednosti montaže dvodelnih bačvastih samoudesivih ležajeva urađena je analiza ukupnih troškova koji prate zamenu starog ležaja, novim dvodelnim ležajom.

Skraćenjem vremena zastoja, znatno se smanjuju troškovi zamene ležaja primenom tj. montažom dvodelnog bačvastog samoudesivog ležaja, videti grafik (slika 3).

Takođe u slučajevima izrade potpuno novih konstrukcija, ugradnja i montaža dvodelnih bačvastih samoudesivih ležajeva će značajno smanjiti ukupne troškove izrade date nove konstrukcije [1].



Slika 3. Analiza troškova korišćenja jednodelnih i dvodelnih ležaja

Sa slike 3. jasno se vidi iz čega se sastoje ukupni troškovi ugradnje ležaja. To su troškovi koji se odnose na pomoćna sredstva, zastoj, ugradnju, čauru za upinjanje ležaja ( ako je ležaj sa konusnim provrtom) i cenu samog ležaja.

Sa grafika se jasno vidi da je izrada samog ležaja znatno skuplja u odnosu na standardni jednodelni ležaj, ali ta razlika u ceni izrade se višestruko kompenzuje kroz smanjenje ostalih troškova koji se javljaju. Ušteda koja se ostvari po dosadašnjim analizama je preko 60%, što potpuno opravdava uvođenje dvodelnih ležajeva u svakodnevnu praksu.

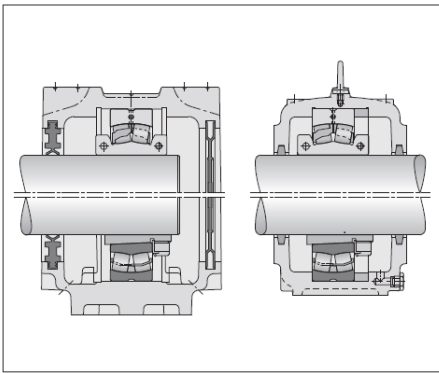
### 3.2 Konstruktivne prednosti dvodelnih bačvastih samoudesivih ležajeva

U osnovi dvodelni bačvasti samoudesivi ležaj može biti ugrađen na mestu gde je predviđen isti jednodelni ležaj sa konusnim provrtom, koji se montira zajedno sa

čaurom za montažu ležaja sa konusnim provrtom. Ovo je jedna od prednosti korišćenja dvodelnih ležajeva.

Ova zamena proizilazi iz pretpostavke da su spoljni prečnik i prečnik provrta za vratilo/ osovinu isti kod oba tipa ležaja ( videti poglavlje program).

Treba naglasiti da je moguća ugradnja dvodelnog bačvastog samoudesivog ležaja i u dvodelno stojeće kućište, bez obaveze dodatne obrade i pripreme kućišta. Takođe je moguće ugraditi FAG-ov dvodelni bačvasti samoudesivi ležaj i u dvodelno stojeće kućište bilo kod drugog proizvođača, takođe bez dodatne pripreme i obrade istog. Jedini uslov za to je da su unutrašnje mere kućišta iste kao kod FAG-a [1].



Slika 4. Olakšana zamena ležaja



Slika 5. Prikaz ugradnje dvodelnog bačvastog samoudesivog ležaja u kućište serije SNV

### **3.3 Program- ponuda dvodelnih bačvastih samoudesivih ležajeva**

U obimnom programu proizvoda, firma Schaeffler tj. FAG obuhvata dvodelne bačvaste samoudesive ležajeve prečnika za metričke mere vratila/ osovine od 55-630mm, i za colovne prečnike od 2<sup>3/16</sup> - 16 inch-a.

U većini slučajeva su spoljni prečnik, širina spoljnjeg prstena i unutrašnji provrt ležaja isti kao kod standardnih jednodelnih samoudesivih bačvastih ležajeva serije 222, 230, 231, 239, 240 i 241 sa pripadajućim čaurama za montažu [1].

## **4. KONSTRUKCIJA DVODELNIH BAČVASTIH SAMOUDESIVIH LEŽAJEVA**

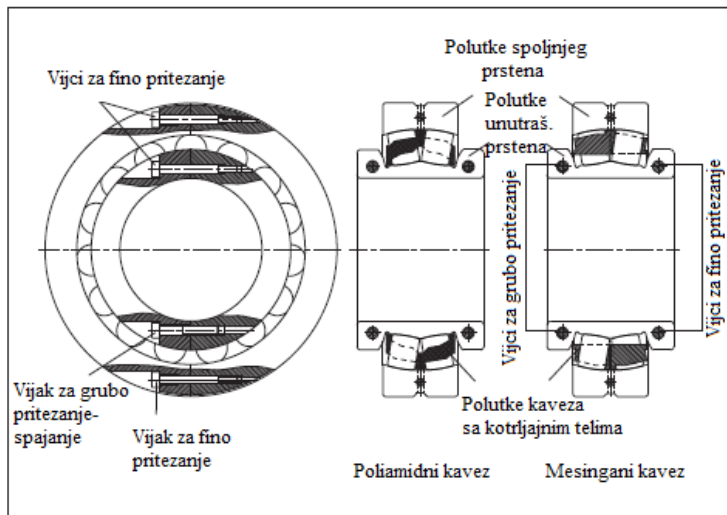
Dvodelni bačvasti samoudesivi ležajevi imaju cilindrični provrt. Unutrašnji prsten, spoljašnji prsten kao i kavez sa kotrljajnim elementima su podeljeni u dve polutke. Te dve polutke će u toku montaže biti spojene putem vijčane veze. Unutrašnja konstrukcija dvodelnih bačvastih samoudesivih ležajeva je u većini slučajeva preuzeta od već dokazanih standardnih jednodelnih bačvastih samoudesivih ležajeva proizvodne linije „E1“ (videti sliku 6) . Samo kod nekih veće gabaritnih dvodelnih bačvastih samoudesivih ležajeva unutrašnji prsten ima učvršnu ploču (rebro).

Dvodelni bačvasti samoudesivi ležajevi imaju dvodelni masivni kavez koji je napravljen od poliamida koji je ojačan staklenim vlaknima ili pak od mesinga (mesing je pogodan za povišene radne temperature).

Dvodelni bačvasti samoudesivi ležajevi imaju normalne tolerancije kao i jednodelni radijalni ležajevi, kao i normalne radijlane zatore koji važe za jednodelne bačvaste samoudesive ležajeve sa cilindričnim provrtom (DIN 620).

Kod većine dvodelnih bačvastih samoudesivih ležajeva su prstenovi za upinjanje integrisani u unutrašnje prstenove (slika 7a).

U slučajevima gde se očekuje veća temperaturna razlika između vratila/osovine i polutki unutrašnjeg prstena kao što je primer kod cilindra za sušenje kod mašina za preradu hartije, pribegava se dvodelnom bačvastom samoudesivom ležaju kod koga su prstenovi za upinjanje odvojeni (nisu integrisani) (slika 7b) [1].



Slika 6. Unutrašnja konstrukcija sa integrisanim prstenovima za upinjanje



(a)

(b)

Slika 7. Konstrukcija: (a)-integrisani prstenovi, (b)- odvojeni prstenovi za upinjanje

## 5. TEHNIČKE KARAKTERISTIKE DVODELNIH BAČVISTIH SAMOUDESIVIH LEŽAJEVA

### 5.1. Nosivost

Nosivost dvodelnih bačvastih samoudesivih ležajeva je manja u odnosu na nosivost jednodelnih bačvastih samoudesivih ležajeva. Razlog tome je prisustvo vijčane veze koja dalje utiče na smanjenje podeonog kruga za kotrljajna tela. Uprkos



ovoj činjenici mogla bi se postići veća nosivost kroz što je moguće veći broj kotrljajnih tela sa što je moguće većim dimanzijama (misli se na dimenzije kotrljajnog tela).

Sa faktorom udara 1,1 uzeće se u obzir dejstvo površine (fuge po kojoj se spajaju polutke ležaja) pri proračunu dinamičkog ekvivalentnog opterećenja. Dimenzionisanje za ove ležajeve vrši se prema već postojećim proračunima proizvođača Schaeffler [1].

## **5.2. Broj obrtaja**

U katalogu proizvođača Schaeffler (FAG) su navedene vrednosti graničnog broja obrtaja. Navedene vrednosti uzimaju u obzir čvrstoću kaveza kao i pojavu vibracija usled postojanja kontaktne površine po kojoj se spajaju polutke ležaja. U slučaju da se prekorači propisani broj obrtaja, sugerise se direktna konsultacija sa proizvođačem [1].

## **5.3. Minimalno opterećenje**

Posebno kod ležajeva koji će raditi sa većim brojevima obrtaja se zahteva da radno opterećenje bude minimalno, kako bi rad bio nesmetan i bez zastoja tj. kvarova.

Minimalno opterećenje za dvodelne bačvaste samoudesive ležajeve se računa prema fomuli (1), [1]:

$$P = 0,02 \cdot Cr \quad (1)$$

Gde je:

P radijalno minimalno opterećenje, kN

Cr dinamička nosivost (preuzima se iz tabele proizvođača), Kn

## **5.4. Tolerancije pri montaži**

Nakon pričvrščavanja zavrtanjske veze, unutrašnji prsten dostiže zahtevani radni položaj. Da bi se postigla propisana vrednost neophodno je da vratilo/ osovina budu obrađeni u toleranciji *h6 do h9*. Ove tolerancije obrade vratila/ osovine su uobičajne i kod jednodelnih bačvastih samoudesivih ležajeva sa konusnim provrtom, koji se montiraju pomoću čaure za upinjanje.

Otvor kućišta obično se obrađuje u toleranciji *H7 ili H8* [1].

## **6. ZAKLJUČAK**

Kao što je poznato, u regionu Ex Jugoslavije, dosta firmi koje imaju ozbiljnije i veće mašinske parkove, mahom pribegavaju tzv. korektivnom održavanju. Takvo održavanje je ekonomski nepovoljno jer iziskuje velike troškove.

Da bi se izbegli neželjeni troškovi, firma Schaeffler, je uvela novu generaciju dvodelnih bačvastih samoudesivih ležajeva, koji su našli svoju primenu u praksi, a njihova primena je i dokazano ekonomski opravdana.

Iz izloženog rada jasno se mogu uočiti prednosti dvodelnih bačvastih samoudesivih ležajeva, koji potpuno opravdavaju svoju primenu u praksi.

Po konstrukciji i tehničkim performansama jasno se vidi da oni održavaju isti nivo zahteva koji se očekuje od jednodelnih bačvastih ležajeva.

Međutim dvodelni ležajevi su još jedan korak napred, pošto kao takvi mogu da zamene i ležajeve sa konusnim provrtom, čime se izbegava čaura za upinjanje ležaja.

Sa tim se znatno vrši ušteda kako u pogledu nabavke potrebne opreme za montažu ležaja, tako i u pogledu vremena ugradnje, jer se izbegava deo montaže koji se odnosi na montiranje čaure za upinjanje, a samim tim se smanjuje i rizik od grešaka, koje se mogu javiti pri navlačenju čaure za upinjanje i ležaja. Kod dvodelnih bačvastih samoudesivih ležajeva je montaža predviđena u samo nekoliko koraka, a ista je moguća i kod uležištenja kod kojih je pristup otežan.

Na osnovu svojih karakteristika nova generacija dvodelnih bačvastih samoudesivih ležaja će vrlo brzo steći primat, naročito kod klijenata koji pribegavaju korektivnom održavanju, ali i kod onih kod kojih su uležištenja teško pristupačna.

## **LITERATURA**

- [1] Schaeffler Technologies GmbH & Co. KG, Ausgabe: 2011, November. Geteilte Pendelrollenlager, Kosteneinsparung durch schnellen Lageraustausch an schwer zugänglichen Lagerstellen, WL 43 165 DA.



## RAZVOJ NOVIH PROIZVODA U INDUSTRIJI TAPACIRANOG NAMJEŠTAJA

Srđan Pelkić<sup>1</sup>, Aleksija Đurić<sup>2</sup>, Biljana Marković<sup>3</sup>, Radivojka Vučinić<sup>4</sup>

*Rezime: U radu su predstavljene faze razvoja novog proizvoda u industriji tapaciranog namještaja, počevši od ispitivanja tržišta, pa sve do serijske proizvodnje. U toku razvoja novog proizvoda uključeni su timovi stručnjaka iz različitih oblasti, kao što su: mašinstvo, hemija, arhitektura, ekonomija, o čemu se govori u ovom radu. Takođe, pri izradi rada su korištene i CAD/CAM tehnologije, bez kojih je danas nezamisliv razvoj novog proizvoda. Akcenat u toku razvoja je stavljen na fleksibilnost proizvoda, cijenu, brzu i jednostavnu montažu, poboljšanje produktivnosti, materijale, ekološke standarde i propise, transport i pakovanje, označavanje i identifikaciju proizvoda u skladištu, tehničku dokumentaciju, izradu nulte serije i na kraju serijsku proizvodnju, tj. na sve faze i elemente bitne za razvoj novog proizvoda, čiji je cilj konkurentnost na tržištu tapaciranog nameštaja.*

*Cljučne riječi: Faze razvoja, razvoj novog proizvoda, tapacirani namještaj.*

### DEVELOPMENT OF NEW PRODUCTS IN INDUSTRY OF UPHOLSTERED FURNITURE

*Abstract: This paper presents the development phases of new products in the upholstered furniture industry, ranging from market research to mass production. During the development of the new products, teams of experts from various fields are included, such as: mechanical engineering, chemistry, architecture, economics, which has been discussed in this paper. Also, for preparation of this paper has been used CAD/CAM technology, without which is unthinkable to develop new products today. The emphasis, during the development of new product, is put on flexibility of product, price, quick and simple installation, improvement of productivity, materials, environmental standards and specifications, transport and packaging, marking and identification of products in stock, technical documentation, making the zero batch and, at the end, batch production, i.e. at all stages and elements essentials for the development of new products, which target is competitiveness in the market of upholstered furniture.*

*Key words: phases of development, new product development, upholstered furniture.*

<sup>1</sup>Srđan Pelkić, dip. Inž. maš., Gradiška, Prima ISG, pelka1109@hotmail.com

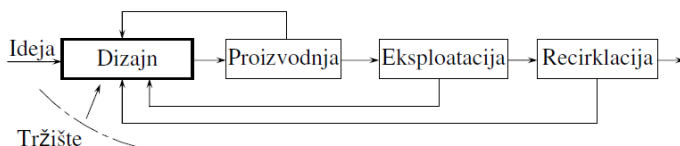
<sup>2</sup>Aleksija Đurić, dip. Inž. maš., Istočno Sarajevo, Mašinski fakultet, aleksijadjuric@gmail.com

<sup>3</sup>Dr Biljana Marković, vanredni profesor, Istočno Sarajevo, Mašinski fakultet, biljamarkovic@yahoo.com

<sup>4</sup>Radivojka Vučinić, Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka, sekaip2805@hotmail.com

## 1. UVOD

Razvoj novih proizvoda u industriji tapaciranog namještaja je veoma intezivan, jer na tržištu ovih proizvoda vlada velika konkurencija. U okvirima jedne kompanije se nameće potreba za razvojem i do 50 novih ili modifikovanih proizvoda, u toku godine. Uzevši u obzir prethodno, nameće se zaključak da za razvoj jednog novog proizvoda, u prosjeku, inženjerima (kompaniji) stoji na raspolaganju oko 7 dana. Pomenuti vremenski period je veoma kratak da se ideja sprovede u dijelo, odnosno gotov proizvod. Timovi koji učestvuju u razvoju moraju biti dobro koordinisani, da bi se u pomenutom periodu ostvario potreban cilj. Razni proizvođači imaju razvijene sopstvene načine i postupke koje koriste pri razvoju novih proizvoda. Na slici 1. su prkazane osnovne faze životnog ciklusa bilo kog proizvoda. Naravno, te faze važe i za industriju tapaciranog namještaja kao polazna osnova i orijentacija pri procesu razvoja.



Slika 1. Životni ciklus proizvoda [1]

Pri izvođenju procesa razvoja proizvoda, konstruktori moraju voditi računa o svim fazama, počevši od ideje, pa sve do kraja životnog vijeka nekog proizvoda koja se završava reciklažom. U ovom radu će pažnja biti posvećena prvim fazama tj. dizajnu i proizvodnji.

Iskustvo pokazuje da su najveći problemi koji nastaju pri procesu razvoja proizvoda, komunikacija među timovima, definisanje odgovornosti među članovima tima, poštovanje definisanih termina, raspodjela poslova i zadataka. Zato je potrebno kreirati funkcionalan tim, korištenjem pozitivnih iskustava, tzv. "dobre prakse", te korištenjem naučno dokazanih postulata za formiranje timova u razvoju proizvoda [3], iskoristiti sve mogućnosti efikasnog timskog rada.

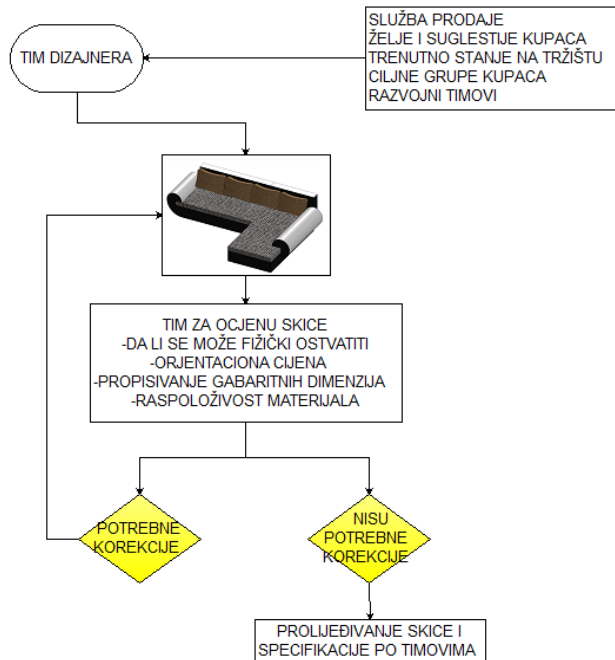
U tabeli 2. prikazani su određeni parametri koji učestvuju u razvoju novih proizvoda, za različite vrste proizvoda, od najjednostavnijih, do najsliženijih. Potrebno je napomenuti da su ovdje prikazani primjeri koji se odnose na potpuno nove proizvode, gdje su korišteni novi materijali, principi rada, načini izrade... [2].

Tabela 1. Određeni parametri pri razvoju proizvoda (vrijednosti su približne) [2]

	Šarafciger	Roleri	Štampač	Namještaj	Automobil	Avion
Godišnja proizvodnja	100 000	100 000	4 000 000	1 000 000	100 000	50
Životni vijek	40 god.	3 god.	2 god.	10 god.	6 god.	30 god.
Pojedinačna cijena	6 \$	200 \$	130 \$	1000 \$	20 000 \$	200 000 000 \$
Broj dijelova	3	35	200	100	10 0000	130 000
Razvojno vrijeme	0,5 god.	1 god.	1,5 god.	0,5 god.	3,5 god	4,5 god.
Interni razvojni tim	3	5	100	50	800	6 800
Eksterni razvojni tim	3	10	75	30	800	10 000
Cijena razvoja	150 000 \$	750 000 \$	50 000 000 \$	1 000 000 \$	400 000 000 \$	3 000 000 000 \$
Ulaganje u proizvodnju	150 000 \$	900 000 \$	25 000 000 \$	3 000 000 \$	500 000 000 \$	3 000 000 000 \$

## 2. PROCES RAZVOJA NOVOG PROIZVODA (NAMJEŠTAJ)

Proces razvoja novog proizvoda je prikazan kroz jedan konkretan primjer rađen u fabrici tapaciranog namještaja. U pitanju je razvoj proizvoda (ugaone garniture) za inostrano tržište, za grupu potencijalnih kupaca od 30 do 50 godina, iz srednje cjenovne grupe, što znači da se fabrička prodajna cijena treba kretati oko 1000 km, proizvod treba da izgleda u skladu sa savremenim trendovima. Na slici 2. prikazan je dijagram početne faze razvoja, gdje se formira izgled, okvirna cijena i gabaritne dimenzije. Specifičnost razvoja novog proizvoda, u oblasti proizvodnje namještaja, je u strogom praćenju zahtjeva tržišta, do nivoa individualanih želja kupaca, što se ogleda kroz formiranje prodajne cijene proizvoda, koja, ujedno predstavlja finansijski okvir troškova razvoja.



Slika 2. Algoritam početne faze razvoja [4]

Zadaci svakog od učesnika u ovoj fazi razvoja proizvoda su definisani i poznati: za sam izgled proizvoda brine se tim dizajnera, njihova podloga za dizajn su informacije dobijene od timova prodaje, marketinga i timova za razvoj (više timova). Tim za verifikaciju skice koju su kreirali dizajneri sastoji se od po jednog člana iz svakog razvojnog tima, što takođe, predstavlja specifičnost timskog rada u proizvodnji nameštaja. Oni određuju okvirnu cijenu, propisuju gabaritne dimenzije, vrše korekcije, u koliko se proizvod ne može fizički realizovati. Tek kada se oni usaglase i naprave kraću specifikaciju, skica sa osnovnim podacima dijeli se svakom od razvojnih timova.

### 2.1 Struktura rada razvojnih timova

Strukturu razvojnih timova čine stručnjaci iz različitih oblasti. Razvojem drvene konstrukcije bave se mašinski inženjeri, tim za tkanine i presvlaku je sačinjen od

tekstilnih inženjera, dok su za spužvu zaduženi kombinovani timovi tekstilnih i mašinskih inženjera. To su još timovi za nabavku repromaterijala, atestiranje repromaterijala, ukoliko se taj materijal prvi put koristi, kao i timovi za pakovanje i transport gotovih proizvoda. Na slici 3. prikazan je algoritam funkcionisanja predhodno navedenih timova, sa međusobnom korelacijom. Ovakva međuzavinost timova za razvoj proizvoda, u industriji tapaciranog namještaja, nastala je kao rezultat višegodišnjeg istraživanja i iskustva u ovoj oblasti i obuhvata:

- Ispitivanje tržišta,
- Izradu skica idejnog rješenja,
- Prilagođavanje proizvoda cjenovnoj grupi,
- Izbor mašina i operacija kojim će se realizovati proizvod,
- MKE analiza drvene konstrukcije, kako bi se zadovoljili evropski standardi koji se tiču nosivosti,
- Pakovanje, označavanje i transport proizvoda,
- Izrada tehničke i ostale prateće dokumentacije,
- Izrada nulte serije i ulazak u serijsku proizvodnju.

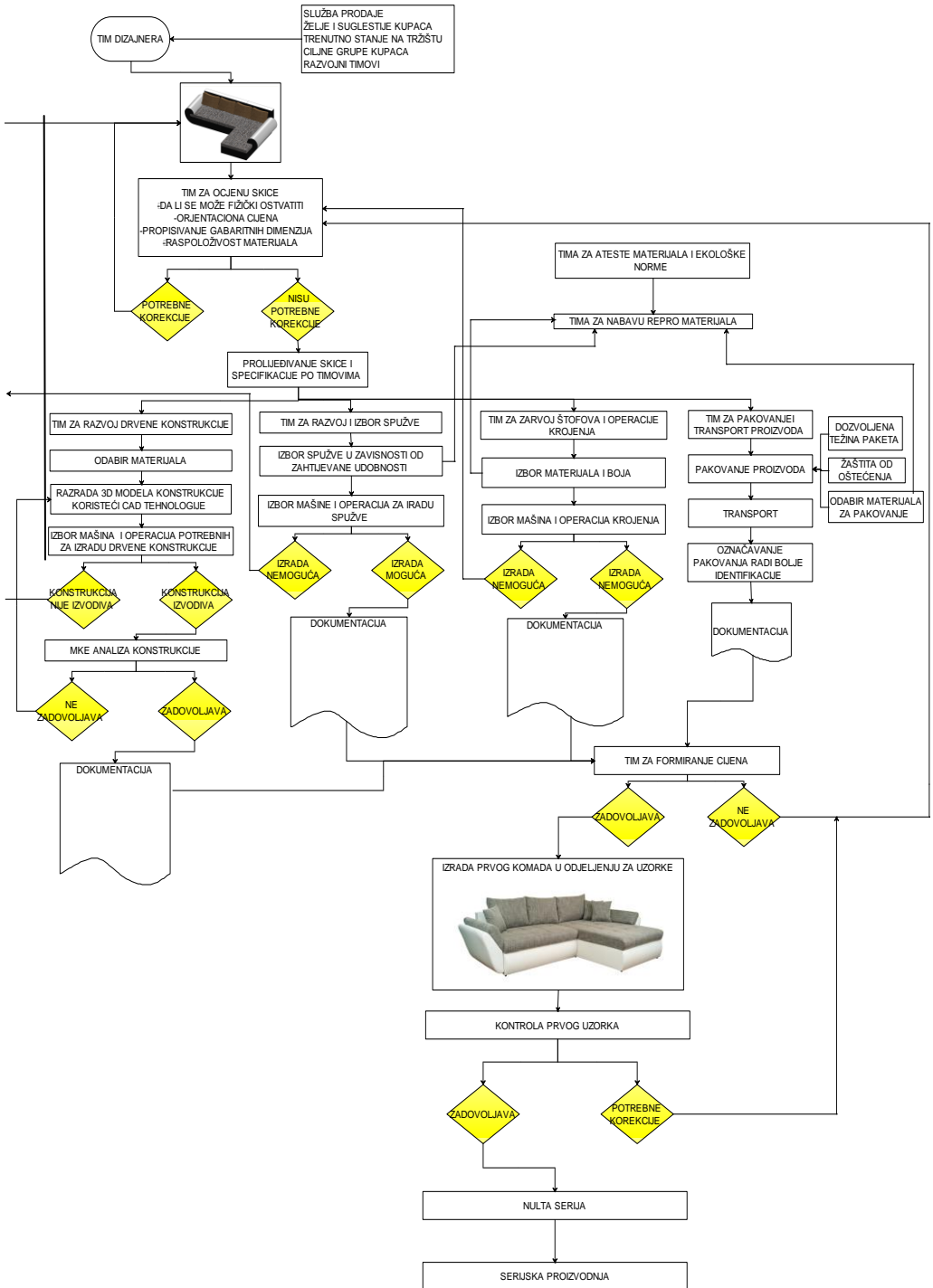
### **3. RAZVOJ DRVENE KONSTRUKCIJE**

Razvoj drvene konstrukcije je jedna od najvažnijih faza u razvoju. Dobro osmišljena drvena konstrukcija mora biti pogodna za montažu, tapaciranje i, naravno, mora biti ostvariva u serijskoj proizvodnji. Na slici 4. prikazana je detaljna šema razvoja drvene konstrukcije.

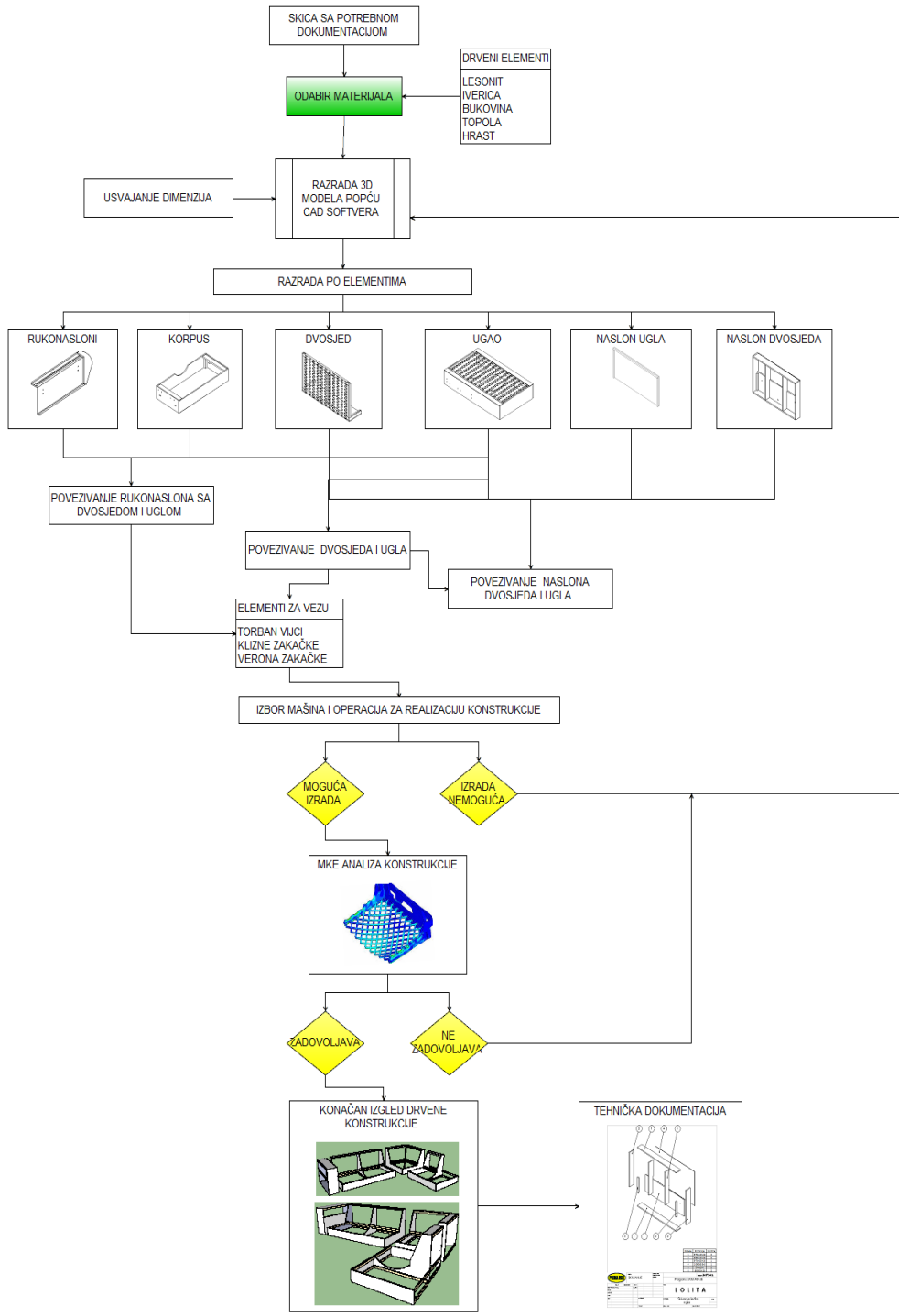
Zbog obima rada nije moguće detaljno prikazati i sve ostale faze razvoja. Razvojni tim koji se bavi razradom drvene konstrukcije čini do 5 ljudi. Na čelu tima je vođa koji upravlja timom i održava komunikaciju sa ostalim timovima. Potrebno je imati dobru komunikaciju među timovima kako bi se na kraju, kada proizvod dodje na montažu, mogao što jednostavnije kompletirati. Konstruktori drvenih konstrukcija moraju posebno voditi računa o sledećim stavkama:

- Proizvod mora imati minimalnu nosivost od 80 kg na površini od 0,5 m<sup>2</sup>.
- Što manja ukupna težina garniture (82% mase je masa drvene konstrukcije),
- Garnitura mora biti fleksibilna (po želji kupca lijeva ili desna),
- Elementi za spajanje (klameri, vijci, zakačke) ne smiju viriti iz drveta,
- U saradnji sa timom koji se bavi materijalima propisati odgovarajuću zaštitu drveta,
- Korištenje i nekih drugih materijala, prije svega plastike, gdje je to moguće.

Sve ovo znači da timovi ne mogu raditi neovisno jedan od drugog, da postoji maksimalna i konstantna komunikacija i uslovljenost početka rada jednog tima, završetkom rada drugog, te razmjena informacija. Osim toga, dizajnerske ideje nisu potpuno slobodne, otvorene, iako tako deluje spolja, već su uslovljene ulaznim zahtjevima, formiranim na osnovu želja kupaca (fleksibilnost, izbor materijala, korištenje lakših materijala, cijena, godine starosti kupaca.....).



Slika 3. Šematski prikaz aktivnosti i veza timova za razvoj novog proizvoda u industriji tapaciranog namještaja [4]



Slika 4. Šematski prikaz strukture za razvoj drvene konstrukcije [4]



#### **4. OBJEDINJAVANJE PROIZVODA U CJELINU**

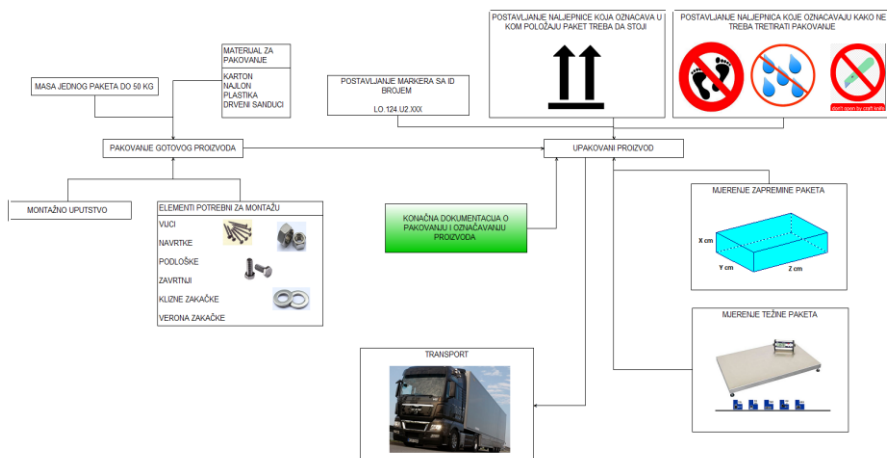
Kada se sve faze razvoja proizvoda realizuju, pristupa se izradi tehničke dokumentacije. Dokumentaciju svaki tim radi zasebno, ona mora da sadrži crteže, opise, specifikacije itd. Kada je tehnička dokumentacija potpuna i konačna prosljeđuje se odjelu uzoraka, koji, prema tome, izrađuju prvi komad, što se vidi na šemi (slike 3.). Na slici 5. prikazane su faze objedinjavanja proizvoda u konačnu cijelinu.



*Slika 5. Objedinjavanje proizvoda u cjelinu*

Nakon izrade prvog komada vrše se eventualne korekcije, u cilju ispravljanja nepravilnosti koje su uočene tokom izrade prvog komada, a potom se proizvod pušta u nultu seriju. Nulta serije prvenstveno služi da se potvrdi način izrade proizvoda, prije nego se donese odluka o uvođenju proizvoda u serijsku proizvodnju. U praksi se često dešava da odjeljenje uzoraka napravi prvi komad bez nekih većih poteškoća, a kasnije, u nultoj seriji, se ispostavi da su neke operacije prezahtijevne ili oduzimaju puno vremena. Dakle, nulta serija služi za prilagodjavanje proizvoda serijskoj proizvodnji, kako bi se uočeni nedostaci korigovali i kako bi se proizvod pripremio za serijsku proizvodnju.

Naredni korak je montaža-demontaža proizvoda, pakovanje, označavanje te transport gotovog proizvoda. Montaža i demontaža moraju biti jednostavni, odnosno uputstvo za montiranje proizvoda treba da bude jednostavno i lako, čime se omogućava kupcu samostalno montiranje. Pakovanje mora biti dobro osmišljeno kako se proizvod ne bi oštetio u toku transporta, takodje svaki paket mora biti označen jedinstvenim identifikacionim brojem, kako se proizvod ne bi dospio na pogrešno mjesto (pogrešan utovar, mogućnost da se proizvod zagubi u skladištu gotove robe itd.). Takođe, zbog specifičnosti korištenih materijala za izradu namještaja, mogućnosti fizičkog oštećenja, osjetljivosti materijala na vanjske uticaje (toplota, vlažnost, prašina...), način pakovanja, označavanje, uputstvo za transport, oznake na ambalaži, takođe predstavljaju specifičnost ovakve vrste proizvoda. Na slici 6. prikazana je šema za pakovanje i identifikaciju gotovog proizvoda.



Slika 6. Šema za pakovanje i identifikaciju gotovog proizvoda [4]

## 5. ZAKLJUČAK

Razvoj proizvoda u industriji tapaciranog namještaja se odvija kroz sve faze razvoja, slično kao i u mašinskoj industriji. Posebnost razvoja proizvoda u ovoj oblasti je dizajn proizvoda, koji je veoma intezivan, jer se sve faze odvijaju u veoma kratkom vremenskom periodu, pa se mogućnost greške mora svesti na minimum. Takođe, specifičnost se ogleda i u načinu timskog rada, kroz formiranje usko stručnih timova, ali i način formiranja tima za verifikaciju skice, sa predstavnicima iz svih timova koji učestvuju u razvoju. Najveći problemi nastaju u komunikaciji među timovima, "rivalstvu", kao i definisanju odgovornosti članova i cijelog tima, što je u dobroj mjeri riješeno formiranjem algoritma prikazanog na sl.3. Razvoj industrije tapaciranog namještaja leži u standardizaciji pojedinih operacija i elemenata, što bi se, u konkretnom slučaju, moglo primjeniti na sledeće aktivnosti:

- Formirati grupa proizvoda prema dimenzijama (malih, srednjih, velikih),
- Standardizovati dimenzije poprečnog presjeka pri konstrukciji drvenog rama, (trenutno se koristi preko deset različitih dimenzija poprečnog presjeka),
- Standardizovati ambalažu za pakovanje (trenutno sa za svaki proizvod izrađuje posebno pakovanje),
- Koristiti bar kod čitač, radi lakše sledljivosti proizvoda.

Korišćenje gore navedenih preporuka omogućava ubrzavanje proces razvoja i olakšavanje timskog rada. Evidentno je da postoji prostor za poboljšanja u procesu razvoja novog proizvoda na tržištu tapaciranog nameštaja, što je prikazano poropukama. U cilju dobijanja adekvatnih informacija, potrebno je sprovesti ispitivanje tržišta, vodeći računa o savremenim trendovima u dizajnu namještaja, koji se svakodnevno mijenjaju, što će biti tema budućih istraživanja u ovoj oblasti.

## LITERATURA

- [1] Ognjanović, M. (2008). *Dizajn i razvoj proizvoda*, Mašinski fakultet Beograd.
- [2] Cvetković, D. (2011). *Dizajn i razvoj proizvoda*, Univerzitet Singidunum.
- [3] Marković B., (2008). *Metodološki pristup upravljanju ljudskim resursima u procesu razvoja novog proizvoda*, doktorski rad, Mašinski fakultet, Univerzitet u Nišu.
- [4] Kompanija "Prima ISG", *Interna dokumentacija (procedure QMS-a)*, Gradiška, RS.



## OSNOVNI PRINCIPI I PRAVILA PRIMJENE LAKOG DIZAJNA U MAŠINSTVU

Aleksija Đurić<sup>1</sup>, Biljana Marković<sup>2</sup>, Srđan Pelkić<sup>3</sup>

*Abstrakt: Kroz ovaj rad biće predstavljeni osnovni principi i pravila primjene lakog dizajna pri konstruisanju mašinskih sistema. Takođe, rad će dati odgovore na pitanja koji je cilj i koje su strategije primjene lakog dizajna, koji se to materijali koriste za izradu i kako na pravi način izabrati adekvatne materijale, a da se kao rezultat dobije, ne samo smanjenje težine konstrukcije, nego i da se ona učini ekološki i ekonomski prihvatljivom. Cilj je da se naučnom, nastavnom i privrednom ambijentu približi ova savremena metoda u konstruisanju mašinskih sistema, koja će, u bliskoj budućnosti, predstavljati ključ za opstanak na svjetskom tržištu za sve kompanije iz oblasti mašinske industrije.*

*Ključne riječi: laki dizajn, novi materijali, savremene konstrukcije*

## BASIC PRINCIPLES AND RULES FOR IMPLEMENTATION OF THE LIGHTWEIGHT DESIGN IN MECHANICAL ENGINEERING

*Abstract: Through this paper the basic principles and rules of the implementation of lightweight design in the construction of mechanical systems will be presented. Also, this paper will provide answers to questions about what is the aim and the strategy for implementation of lightweight design, which material to use and how to properly select appropriate materials, in order to reach the result, not only for reducing the weight of the structure, but also to make it more environmentally and economically acceptable. The aim of this paper is to introduce this modern method of construction of mechanical systems to scientific, educational and economic environment, which will be a key to the survival on the world market for all companies in mechanical industry in the near future.*

*Keywords: lightweight design, new materials, modern construction*

### 1. UVOD

Svakodnevni smo svjedoci da firme iz Bosne i Hercegovine, posebno iz oblasti mašinske industrije, teško opstaju na otvorenom svjetskom tržištu. Krivac za to,

<sup>1</sup>Asistent Aleksija Đurić, Mašinski fakultet Istočno Sarajevo, aleksijadjuric@gmail.com

<sup>2</sup>Dr Biljana Marković, vanredni profesor, Mašinski fakultet Istočno Sarajevo, biljamarkovic@yahoo.com

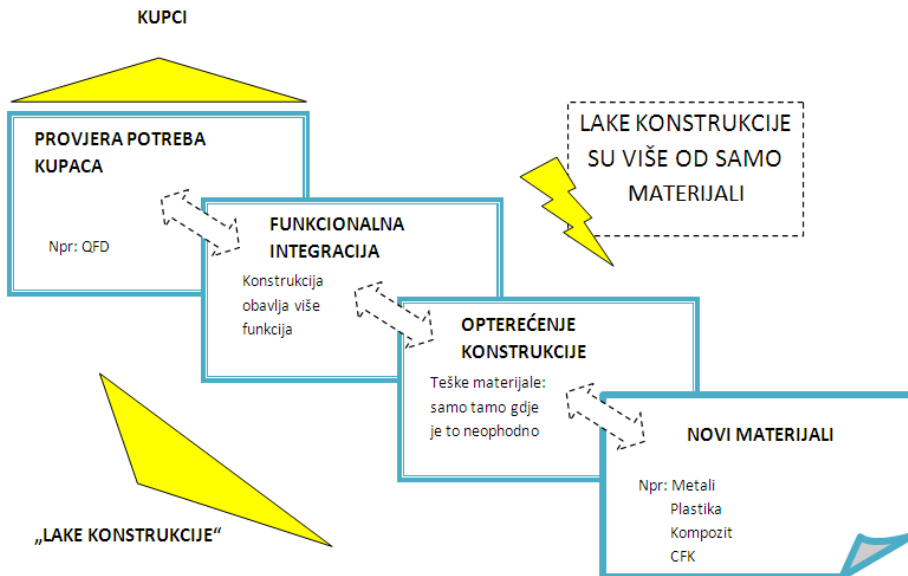
<sup>3</sup>Srđan Pelkić, dipl. inž. maš., Prima IGS Gradiška, pelka1109@hotmail.com

između ostalog, je usporen politički, ekonomski i naučni razvoj ove zemlje. Ako se posmatra razvoj samo mašinske industrije, može se zaključiti, na osnovu dostupnosti literature prije svega, da se u BiH vrlo malo primjenjuju savremene metode razvoja proizvoda, nove tehnologije proizvodnje, održavanja, kontrole, reciklaže, itd. U većini slučajeva, u BiH se još uvijek proizvodnja i razvoj proizvoda odvijaju na način pri kome se ne pridaje značaj očuvanju životne sredine, uštedi energije i svih raspoloživih resursa. Tendencija ove zemlje priključenju Evropskoj uniji, u posljednje vrijeme, doprinijela je poboljšanju nekih segmenata tehnologije proizvodnje, ali to još uvijek nije dovoljno za opstanak kompanija mašinske industrije na tržištu i mogućnost proizvodnje konkurentnih proizvoda.

Laki dizajn (Lightweight) je jedan od savremenih metoda u konstruisanju mašinskih sistema, koja ima za cilj, prvenstveno, smanjenje težine mašinskog sistema, što direktno utiče i na smanjenje korištenja energije i resursa, te očuvanje životne sredine. Ova metoda razvoja proizvoda tek će naći svoju primjenu u BiH i šire, zato je veoma značajno adekvatno pristupiti njenom izučavanju. Kroz sam rad biće predstavljeni osnovni principi primjene, strategija primjene lakog dizajna, kao i savremeni materijali koji se koriste u mašinstvu, a koji tek treba da budu višestruko zastupljeni korištenjem metoda i principa lakog dizajna.

Laki dizajn ili lake konstrukcije (LW) nastaju kao rezultat potrebe za održivim dizajnom i razvojem proizvoda, te radi potrebe za pogodnim izborom materijala. Na taj način se može smanjiti masa, kako pojedinih elemenata, tako i ukupne konstrukcije, te se shodno tome povećati stepen iskorištenja proizvoda. Ovakav način dizajna veliki broj stručnjaka smatra ključnom tehnologijom u pogledu konkurentnosti na svjetskom tržištu u mašingradnji uopšte, a posebno u automobilskoj, vazduhoplovnoj i svemirskoj industriji. Udruživanje i integracija raspoloživih vještina stručnjaka, preduslov je da se osigura ekspanzija lakih konstrukcija, a samim tim i konkurentnost svih zainteresovanih strana, kao i efikasan i brz razvoj [1].

Kada se govori o lakom dizajnu, prvo što treba razmatrati su materijali, mada su lake konstrukcije više od adekvatne primjene materijala, što je prikazano slikom 1.



Slika 1. Put do lakih konstrukcije [2]

## **2. DEFINICIJA, OBLAST I TRENDVI PRIMJENE LAKOG DIZAJNA**

Pojam LW (laki dizajn) je definisan kroz promišljanja različitih autora, koji su problemu olakšanja konstrukcija prilazili na različite načine, zavisno od uže oblasti interesovanja i naučnog koncepta, kojim su se bavili [3]. Tako se u literaturi mogu sresti razne definicije.

Laki dizajn ima zadatak da smanji težinu tehničke konstrukcije:

- na način da distribuira opterećenje ravnomjerno i generalno po cijeloj konstrukciji, koristeći dozvoljene napone, kako bi se stvorila mogućnost dobijanja konstrukcije velike čvrstoće i nosivosti (Schapitz, 1968),
- i to na način da ne ugrožava nosivost i druge strukturne funkcije konstrukcije (Wiedermann, 2007).

Laki dizajn je interdisciplinarna nauka koja se zasniva na poznavanju nauke o čvrstoći materijala, računskoj tehnici, karakteristikama materijala uopšte i proizvodnim tehnologijama (Klein, 2007).

Laki dizajn je potpuni konstrukcioni princip (koncept dizajn) koji ima za cilj da smanji težinu, odnosno masu, tehničkog proizvoda (Degischer i Lueftl, 2009).

Laki dizajn je razvojna strategija koja je napravljena da ostvari, u datim graničnim uslovima, potrebe funkcije kroz sistem minimalnih masa. Laki dizajn, generalno nije cilj sam po sebi, već se mora pridržavati i krovnihi ciljeva, odnosno usaglašavanja troškova i koristi (Albers, 2009).

### **2.1 Oblast primjene**

Laki dizajn svoju primjenu u svijetu je našao u različitim oblastima, a neke od njih su [3]:

- Vazduhoplovna i svemirska industrija,
- Sportska (trkačka) vozila,
- Putnička i komercijalna vozila,
- Željeznička vozila,
- Brodogradnja,
- Građevinske konstrukcije,
- Vjetroelektrane,
- Sportska i namjenska industrija
- Automatizacija i robotika,
- Medicinska tehnika,
- Industrija namještaja.

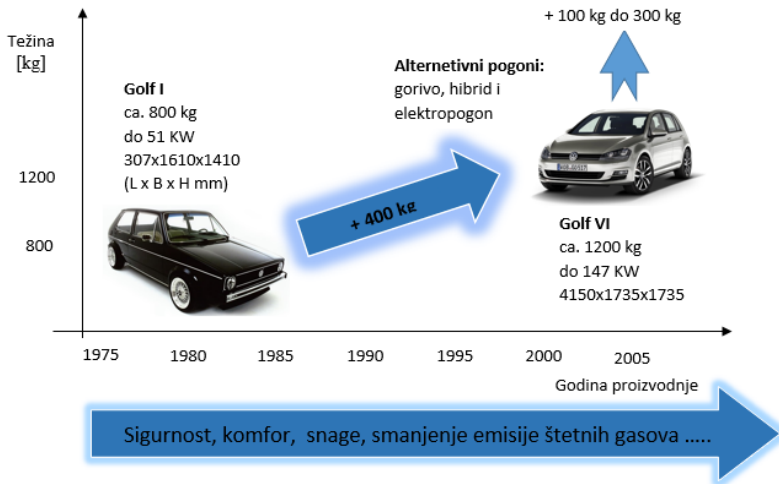
Osnovni motivi za primjenu lakog dizajna su:

- energetska i materijalna efikasnost, radi lakšeg ubrzanja i pokretanja masa,
- optimalno korištenje energije i materijala, uz istovremeno održavanje ekonomskih i ekoloških uslova.

Sami efekti smanjenja težine najprije su u tome što se povećava nosivost i brzina pokretanja masa mašinskog sistema, te smanjuje potrošnja energije i otpor kotrljanju, ubrzanju i penjanju. Laki dizajn se smatra vrlo skupim za određene upotrebe, jer u nekim segmentima zahtjeva primjenu veoma skupih materijala (npr. karbon je duplo lakši od čelika, ali je cijena karbona 5,7 puta veća od cijene čelika).

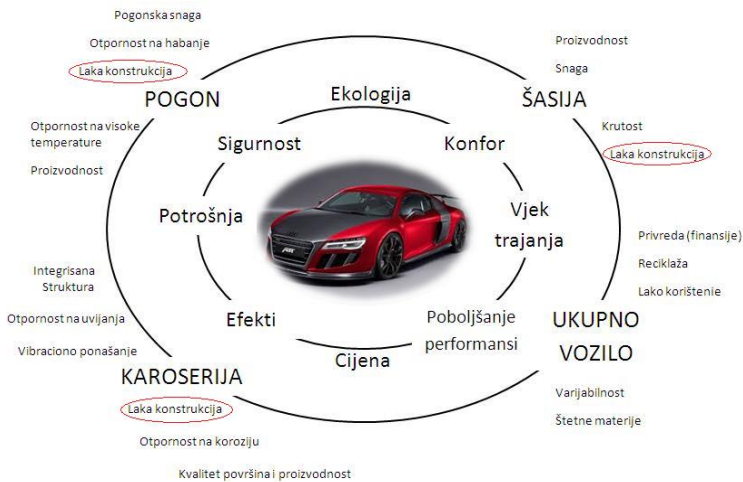
Značaj primjene lakog dizajna u automobilskoj industriji ogleda se u tome što su novije generacije automobila neznatno teže od prvih generacija, a činjenica je da su savremeni automobili sa većim komforom, povećanje sigurnosti, većih dimenzija, zapremine, itd. Na slici 2 prikazano je poređenje težine i ostalih komponenata Golfa I i Golfa IV (VW), gdje se jasno vidi da se težina Golfa VI povećala za 400 kg u odnosu na Golf I. Za sledeće generacije Golfa očekuje se povećanje od 100 do 300 kg,

naravno uz činjenicu da će novije generacije donijeti sa sobom i dosta poboljšanih komponenti i karakteristika.



Slika 2. Poređenje težine i ostalih karakteristika Golfa I i Golfa VI [3]

Ovdje je potrebno naglasiti da automobilska industrija predstavlja reprezentativan primjer primjene lakih konstrukcija. Motivi za primjenu LW dizajna su, najprije, ispunjavanje svih zahtjeva koji se očekuju od vozila novijih generacija. Lake konstrukcije važne su za cijeli automobil, ali je posebno bitna korist u cilju lakog rukovanja, smanjenja potrošnje goriva i za povećanje pokretačke snage. Poznato je da primjena metoda lakog konstruisanja može uticati na masu mašinskih dijelova, kao što su opruge, točkovi, kočioni diskovi i slično. Na slici 3. prikazani su zahtjevi koji se očekuju od novijih vozila, kao i mjesto LW dizajna pri ispunjenju tih zahtjeva. Za sve mjere optimizacije, treba napomenuti da zahtjevi za ispunjenjem bezbjednosti i trajnosti moraju biti beskompromisni.



Slika 3. Zahtjevi koji se očekuju od automobila novije generacije i mjesto lakih konstrukcije u ispunjenju tih zahtjeva [1]



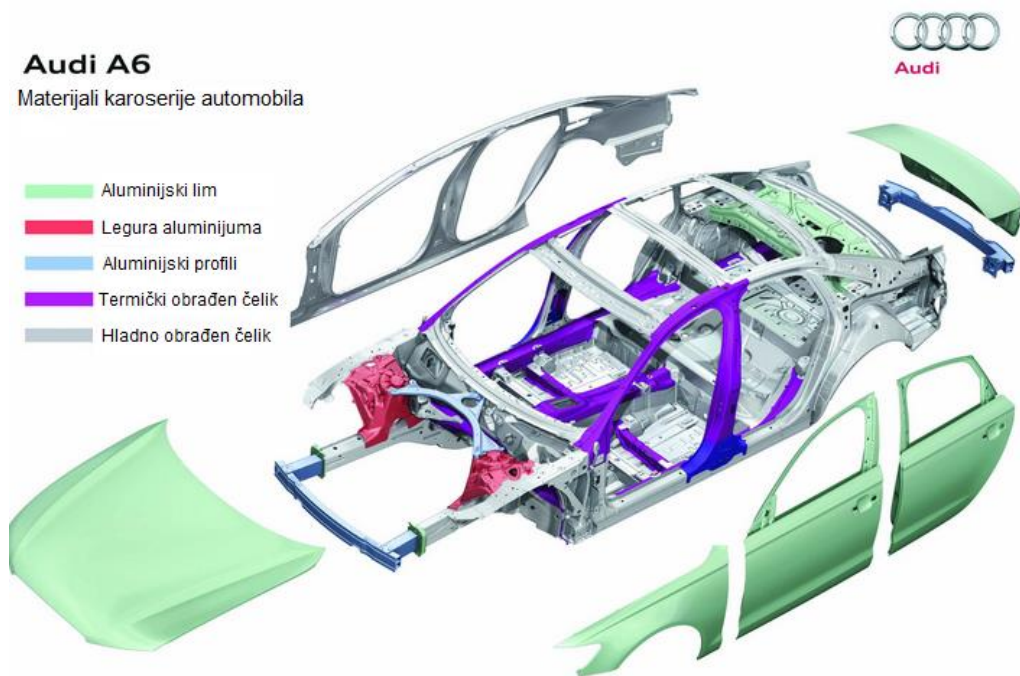
## 2.2 Trendovi u primjeni lakog dizajna

Kada je riječ o trendovima u primjeni lakog dizajna, onda se tu može govoriti o sljedećem:

- Masovna proizvodnja sa uštedama resursa i ekološki kompatibilnim zahtjevima,
- Opterećenje (stres, napon) konstrukcije “prilagođen” osobinama materijala,
- Integralni laki dizajn,
- Multi-materijal dizajn.

Zbog ograničenog prostora u radu će biti samo kratko objašnjen Multi-materijal dizajn. U ovom slučaju, struktura se izrađuje od različitih vrsta materijala kao što su aluminijum, magnezijum, kompozit i čelik, i to nekim od procesa proizvodnje, kao što su kovanje, livenje i presovanje. Adekvatan izbor materijala je neophodan, kako bi se ostvario puni potencijal za lagane konstrukcije, međutim LW dizajn ne uključuje samo izbor materijala i stepen proizvodnje, nego se odnosi i na metode gradnje u ukupnoj strukturi, na nivou sistema.

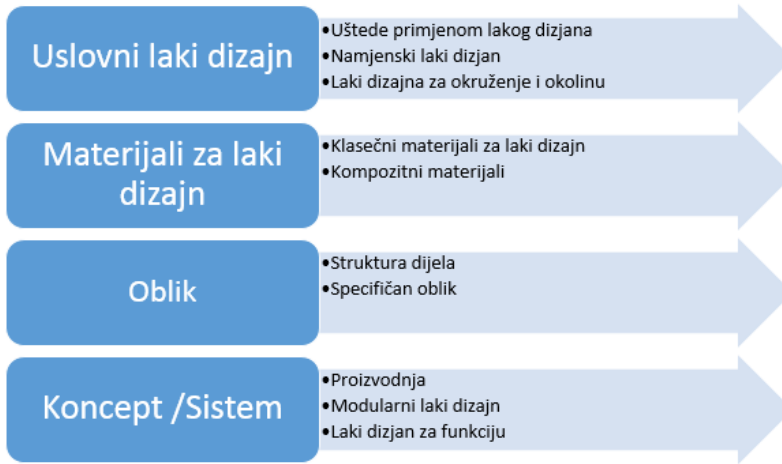
Korištenje različitih materijala zahtijeva korištenje odgovarajućih prikladnih metoda spajanja. Toplotni procesi, poput onih kod zavarivanja i lemljenja, se ne mogu koristiti, pa se najčešće primjenjuju mehaničke metode zakivanja, stezanja, spajanja vijcima ili pak neke hemijske metode, poput lijepljenja. Primjer primjene Multi-materijal dizajna na karoseriji automobila Audi A6 prikazan je na slici 4 [4].



Slika 4. Primjer primjene multi-materil dizajna za izradu karoserije Audija A6 [4]

### 3. STRATEGIJE LAKOG DIZAJNA

Osnovna strategija lakog dizajna može se podijeliti u 4 osnovne grupe [3], kao što je pokazano slikom 5.



Slika 5. Osnovna strategija lakog dizajna

Objašnjenje prikazanih strategija je dato u nastavku teksta.

Uslovni laki dizajn podrazumijeva:

- Smanjenje težine konstrukcije kroz egzaktnu analizu radnih uslova i pouzdanosti same mašine,
- Ekološki i ekonomski zahtjevi koje konstrukcija treba da ispuni (npr. uslovi definisani zakonom, društvom, politikom, itd.),
- Smanjenje težine je moguće i svrsishodno samo uz iskorištenje cjelokupnog sistema,
- Uštede tokom proizvodnje i obrade materijala, kao i skraćenje procesnog lanca kroz integraciju funkcija.

Pravila strategije upotrebe adekvatnih materijala za laki dizajn su:

- Struktura treba da se postigne korištenjem najlakših materijala, sa visokom krutošću i čvrstoćom,
- Smanjenje težine postiže se zamjenom jednog materijala drugim, manje gustine,
- Zamjena materijala zahtjeva prilagođavanje geometrije i u vezi proizvodnje i u veze montaže,
- Kombinovanje različitih materijala (npr. kompozitni materijali).

Uticaj oblika na laku konstrukciju:

- Geometrija strukture (konstrukcije) treba da bude tako razrađena da se kroz optimalnu distribuciju energije i oblika smanji težina konstrukcije,
- Materijale velike gustine treba koristiti samo tamo gdje je to neophodno,
- Pri optimizaciji oblika, radi smanjenja težine, veoma su važni zahtjevi kao što su opterećenje konstrukcije i proizvodne tehnologije,
- Pri analizi oblika treba upotrebljavati različite savremene konstrukcione metode (npr. MKE metode).



Konceptualni/sistemska laki dizajn:

- Konceptualni, odnosno, sistemska laki dizajn je metod za smanjenje težine ukupne konstrukcije, odnosno dijela konstrukcije, uzimajući u obzir sve integracije u sistemu, kao i opšte tehničke i ekonomske kriterijume,
- Težiti smanjenju konstrukcije kroz sistemska iskorištavanje komponenata strukture, kao i modula i njihove optimizacije u ukupnom sistemu,
- Materijal, oblik, kao i proizvodne tehnologije, važan su dio sistemska lakog dizajna,
- Uslovi za obezbjeđenje sistemska lakog dizajna dati su na slici 6.



Slika 6. Uslovi za sistemska laki dizajna [3]

#### 4. MATERIJALI ZA LAKE KONSTRUKCIJE

Iako je već rečeno da laki dizajn nije samo upotreba adekvatnih materijala, ipak to igra važnu ulogu u ovom procesu. Za lake konstrukcije najčešće se primjenjuju sljedeći materijali:

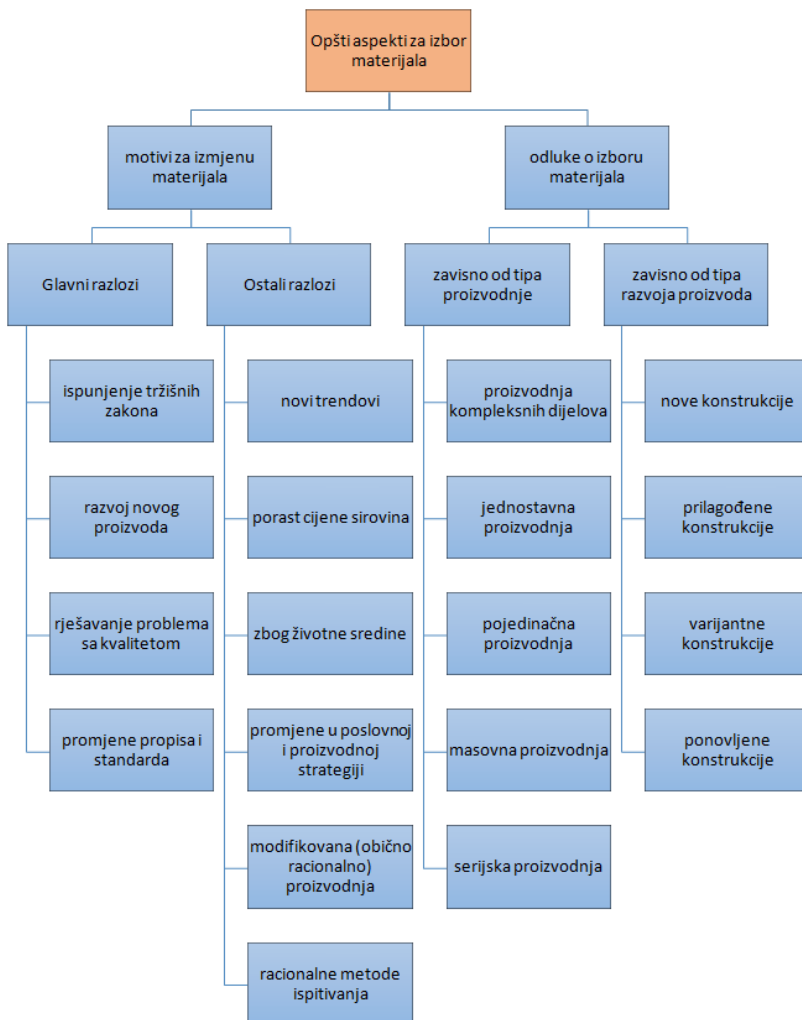
- Metali (čelik, aluminijum, magnezijum),
- Polimeri,
- Kompoziti,
- Keramika,
- Plastična vlakna (CFK),
- Varijabilna aksijalna deponovana vlakna (TFP, FPP),
- Ultra laki materijali (metalne mreže koje se sastoje od 99% vazduha, rešetkasta struktura od nanocjevčica – 1000 puta manjih od ljudske kose),
- Pijenasti polimeri,
- Aluminijumska sendvič pijena (PVC).

Pravilan izbor materijala zahtjeva detaljnu analizu samog procesa razvoja novog ili rekonstruisanja postojećeg proizvoda. Pri izboru materijala treba provjeriti i uporediti osnovna svojstva materijala (fizička, mehanička, tehnološka, upotrebna i ekonomska),

a potom se voditi sljedećim smjernica, ukoliko se teži lakoj konstrukciji:

- dobra svojstva čvrstoće,
- visok modul elastičnosti,
- visoka žilavost materijala,
- nizak koeficijent toplotnog širenja,
- visoka granica zamora materijala,
- dobra tehnološkičnost,
- dobra sposobnost zavarivanja i adhezije,
- povoljna cijena po kilogramu.

Opšti aspekti izbora materijala predstavljeni su slikom 7. Zavisno od upotrebne vrijednosti, materijali mogu biti potpuno novi (kada se koriste od početka u procesu izrade određenog proizvoda, još se nazivaju i uvodni materijali), zamjenski materijali (kada se jedan materijal zamjenjuje drugim materijalom) i alternativni materijali (ovo su materijali za koje se zna kako će se ponašati u proizvodnji).



Slika 7. Opšti aspekti izbora materijala

Kod izbora materijala za laku konstrukciju veoma je važna gustina materijala  $\rho$  kao i granica tečenja  $R_{p0,2}$ . Uzimajući u obzir prethodne dvije veličine, geometriju i vrstu opterećenja, može se izračunati tzv. vrijednost (veličina) lakoće (LBKz broj). Vrijednost lakoće (LBKz) se može definisati kao odnos spoljašnjeg i unutrašnjeg opterećenja.

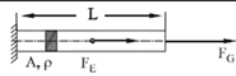
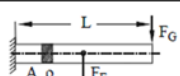
$$LBK_z = F_G / F_E \quad (1)$$

$$\sigma = F_G / A \leq R_e \quad (2)$$

$$F_E = \rho g A L \quad (3)$$

Što je vrijednost lakoće, tj. LBKz broj veći, to je materijal pogodniji za upotrebu u lakim konstrukcijama. Vrijednost lakoće (LBKz broj) za pojedine materijala za uklještena i opterećenje od savijanja i zatezanja, kao i obrasci za proračun LBKz broja za oba slučaja opterećenja dati su u tabeli 1.

Tabela 1. Vrijednost lakoće (LBKz broj) za pojedine materijale i vrstu opterećenja [2]

Materijal	$\rho$ [kg/dm <sup>3</sup> ]	$R_{p0,2/eH}$ [MPa]	 $LBK_z = \frac{R_{p0,2/eH}}{(\rho \cdot g) \cdot L}$	 $LBK_b = \frac{R_{p0,2/eH}}{6 \cdot (\rho \cdot g) \cdot L^2 / h}$
			LBK <sub>z</sub> za L = 1.000	LBK <sub>b</sub> za $\frac{L^2}{h} = 1.000$
St 52-3 (S355 JO)	7,85	355	4609,88	768,31
AlCuMg 1F 38	2,70	240	9061,05	1510,17
MgAl 6Zn	1,74	220	12888,56	2148,09
Q StE 460 (S 460 NL)	7,85	460	5973,37	995,56
TiCr 5 Al 3	4,50	700	15856,84	2642,81
CFK <sub>II</sub> (0,55)	1,95	900	47047,75	6970,04
CFK <sub>#</sub> (0,55)	1,4	1100	80093,20	13348,87

## 5. ZAKLJUČAK

Pojam lakog dizajna ili olakšanih konstrukcija je relativno nov pojam u opštim mašinskim konstrukcijama, prvenstveno u okvirima primjene na prostoru BiH, ali i bivših YU republika. Da bi se iskoristile sve mogućnosti ovog metoda konstruisanja i razvoja proizvoda, potrebno je poznavati njegovu definiciju, principe primjene, metode primjene, strategije, motive upotrebe, a posebno vrste i karakteristike materijala koje je moguće koristiti, u cilju olakšanja mašinskih konstrukcija. Ovaj rad ima za cilj da pojam LW (lakog dizajna) objasni kroz različite aspekte, ta ga tako približi potencijalnim korisnicima i olakša njegovu primjenu u budućnosti. Konkretni primjeri primjene lakog dizajna, u automobilskoj industriji prije svega, ali i u ostalim oblastima mašinske industrije, se tek očekuju u budućnosti, što će i biti predmet budućih istraživanja autora u ovoj oblasti.

## NOMENKLATURA

- LW* LightWeight  
*CFK* Carbon fiber–reinforced plastic  
*TFP* Tailored Fiber Placement  
*FPP* Fiber Patch Preforming  
*LBKz* Leichtbaukennzahl (LW broj) – vrijednost lakoće  
 $\rho$  gustina materijala  
 $R_{p0.2}$  granica tečenja

## LITERATURA

- [1] Schmid, N., Loogen F. (2012). Leichtbau in Mobilität und Fertigung. *Universität Stuttgart*, Stuttgart.  
[2] Leihbau Philosophie, <http://www.leichtbau-bw.de/leichtbau/philosophie.html>  
[3] Burkardt, N., Majić, N. (2013). Konstruktiver Leichtbau, *KIT –Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe*.  
[4] Audi TechDay: Lightweight Desing, <http://www.quattroworld.com/technology/part-1-audi-techday-lightweight-design-a-core-competence-of-audi/>

# COMET<sub>α</sub> 2014

2nd INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

2nd - 5th December 2014  
Jahorina, B&H, Republic of Srpska



University of East Sarajevo  
Faculty of Mechanical Engineering  
Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications

---

## ***QUALITY AND MANAGEMENT***





## MULTICRITERIA RANKING OF PRIORITY MEASURES FOR IMPROVED MANAGEMENT OF WATER SUPPLY IN RURAL AREA SCHOOLS

Branko Vučijak<sup>1</sup>, Snežana Mišić Mihajlović<sup>2</sup>, Dino Delibašić<sup>3</sup>, Emir Imamović<sup>4</sup>

*Abstract: During the spring of 2014 MDP Initiatives Doboj implemented study on "Analysis of the water supply situation in rural schools in the municipality of Derventa", aiming to assess the potable water supply and waste water management in rural area schools of the municipality. Initial visits to 18 rural schools aimed provision of the current situation assessment and identification and quantification of the existing problems, after which appropriate measures for improvement were proposed. Measures proposed were based on the prerequisites for quick and non-expensive implementation, not necessarily being also the best possible technical solution. Optimal proposals in the technical sense, because of the related implementation costs, are likely to be delayed for a long time, thus making the existing situation unchanged. All proposed priority measures for improving the management of water supply and wastewater services in these schools were ranked using the multicriteria decision aid method Primavera, providing the best support to quality informed decision making.*

*Key words: Multicriteria decision aid, Prioritization, Rural area schools, Water supply management*

### 1. INTRODUCTION

The need for application of multi-criteria decision aid methods in public policy-making is increasingly recognized, both in academia and public institutions. This paper is an initial attempt at developing a specific decision aid method for prioritization of water and sanitation problems in rural schools, in order to set the ground for informed and argument-led decisions of local authorities about investments in measures for improvement.

In terms of water and sanitation service provision and infrastructure development, Bosnia and Herzegovina (BiH) as well as the broader area of Western Balkans is characterized by significant differences between urban and rural parts [1]. While the number of people with access to tap water increased in BiH over the last

<sup>1</sup> PhD Branko Vučijak, Sarajevo, Mechanical Engineering Faculty & Hydro Engineering Institute, vucijak@mef.unsa.ba

<sup>2</sup> MSc Snežana Mišić Mihajlović, Doboj, Center for Management, Development and Planning – MDP Initiatives, snezana.misic@mdpincijative.ba

<sup>3</sup> BSc Dino Delibašić, Sarajevo, Hydro engineering Institute, dino.delibasic@heis.ba

<sup>4</sup> Emir Imamović, Sarajevo, Hydro engineering Institute, emir.imamovic@heis.ba

decade, caring management of rural water systems and ensuring access to safe drinking water for people in rural areas remains a challenge. According to the valid data, 40% of the population in the Federation of BiH and 52% of the population in Republika Srpska rely on water sources which are not subject to regular quality control.

During 2013-2014, the Centre for Management, Development and Planning (MDPi) undertook an in-depth technical assessment and research on management modalities of rural water supply systems in the municipality of Derventa<sup>5</sup>. The main findings indicated that the municipal administration neither had been in possession of up-to-date data on rural water schemes nor there had been any formal (contractual) relationship between the municipality, the service providers and the service users.

In reality, many rural water systems are managed by so-called construction boards, often consisting of unpaid volunteers from local communities. Most construction boards are unable to collect sufficient funds for operation or routine maintenance and they essentially operate outside of formal governance structures. Without institutional control over water services in rural areas, it is difficult to prioritize investments in order to reach the neediest citizens.

The access to safe drinking water by school children emerged as a priority issue within a broader initiative for improvement of water services in rural areas in Derventa. There are 18 primary school premises in the rural area of this municipality, with almost 700 school children not having access to safe water and sanitation services. The local authorities were aware of the threats that this situation posed for school children. They were willing to address this challenge, but were not in position to make informed decisions on investments due to the lack of reliable data and lack of a prioritization mechanism. Therefore, in spring 2014 MDPi undertook a survey aiming to (i) assess the potable water supply and waste water management in rural area schools in Derventa; and (ii) release recommendations for improvements based on multi-criteria evaluation (multi-criteria ranking of the alternatives).

The bulk of survey work was focused on primary data collection via field visits and interviews. The findings were summarized in the study on "Analysis of the water supply situation in rural schools in the municipality of Derventa", which contains details on present water supply capacities and quality, number of water users, critical health and environment issues, appropriate recommendations and prioritized list of measures for each school facility. A special part of the study is the description of the "Primavera" method which can aid decisions of local authorities.

## **2. INITIAL ASSESSMENT OF THE WATER SUPPLY IN DERVENTA MUNICIPALITY RURAL AREAS' SCHOOLS**

The main aim of the study "Analysis of the water supply situation in rural schools in the municipality of Derventa" was to minimize the health risk related to the drinking water quality (and waste water management at some level too) in schools in rural areas of the municipality Derventa. During the visits to 18 remote rural schools an assessment of the current situation was made and key problems were identified and quantified, after which appropriate measures for improvement were proposed.

It is important to stress that the consultant proposed measures which are *quick, feasible and affordable* rather than the best possible technical solution, considering that the optimal proposals in the technical sense are likely to be delayed for a long time and thus make the existing situation unchanged for the high costs of its implementation. Having in mind also devastation caused with May 2014 floods,

---

<sup>5</sup> These activities were implemented within the project „Ensuring water rights for rural people“, funded by EU and SDC



Derventa municipal budget was supposed to be even less available for such purposes, and it was strategically wise not to propose any expensive measure.

Some general characteristic of the water supply and waste water management in these schools are as follows:

- Most schools had a very small number of pupils (up to 30, only four schools have a higher number than that) who attend up to fifth grade. Usually no more than 2-4 employed persons per school, including those responsible for maintenance.
- Work time in most schools ends before 13h.
- It is always independent school building (not a part of a larger facility), owned by the school as a legal entity.
- Very few schools have organized transportation of pupils.
- Existing water supply situation is very different, where some of the schools have no running water at all in the building, some other have a very poor quality and only suitable for use for sanitary purposes (mostly from own wells or of neighbouring objects), some have water used for drinking even though it is not regularly controlled for its quality in line with the Law, while only one remote schools is connected to the municipal water supply network.
- Rarely there is a simple alternative for water supply, all schools are far away from the city's water supply network and connection to it is neither easy nor cheap.
- Water quality control is not systematic according to the Law, in most systems is not implemented except occasionally.
- Internal plumbing, where exist, is mostly in good condition, even where the running water in the school is of poor quality.
- Regarding the wastewater management, almost everywhere the management is inappropriate. There are existing septic tanks which overflow drains (instead of using the appropriate special vehicles) in a nearby ditch, a grove of trees, a stream, etc., preferably in the area not easily accessible for pupils. But having in mind that the municipality of Derventa does not have own wastewater treatment plant, or any other geographically close municipality too, for the time being there is no good and environmentally friendly alternative.
- All schools have declared that they have no data on poor water quality born deceases in recent years.
- In most schools the number of pupils is in decline during last 10-20 years, only recently the number is largely stabilized.

Still the schools had different conditions in terms of individual number of pupils, existing water quality and availability, cost of the measure proposed or its implementation and duration, or even administration support for additional reasons. That was the reason to valuate them separately by defined criteria and to prepare a multicriteria rank list of all proposed measures for these schools, in order to allow the Derventa municipality immediate actions at list for the first ranked measures with any available budget.

### **3. MULTICRITERIA DECISION AID AND PRIMAVERA METHOD**

The multicriteria optimization is a part of the multicriteria decision making process. The basic steps in this optimization are:

- Step 1: Defining the goals and methods to achieve the goals,
- Step 2: Formalizing the problem, determining and valuation of criteria,
- Step 3: Selection and use of appropriate multicriteria optimization method, and
- Step 4: Making the final decision or re-evaluation, repeating the procedure from the

second step.

Numerous different methods are developed to solve this type of problem, like methods for determining non-inferior solutions, methods with pre-expressed preferences, interactive methods where preferences are gradually determined, stochastic methods, compromise programming, etc. [2, 3]. Solution is not unique and it directly depends on the method selected. Since the n-dimensional space is not fully ordered, most of these methods generally tend to order the space completely or partially. Methods used specifically in water sector are described in [4, 5, 6].

The entire process of defining problems, determining alternatives and valuation criteria, contour constraints, optimization and making the final choice is called multicriteria decision making. The term "decision" more accurately determines the whole process, since only by decision one can select a solution (or set of solutions).

PRIMAVERA method (PRioritizing Measures and Actions for Valid, Effective and RAtional environmental management) is one of the multicriteria methods that requests predefined preferences of the decision maker. The PRIMAVERA method was developed and verified by the Netherlands Foundation for Applied Water Research – STOWA. Although the primary intention was to use PRIMAVERA for multicriteria ranking in water sector it is applicable to other problems of similar type. For the first time, PRIMAVERA was used in BiH in 1995-1996 for the needs of prioritizing water supply, wastewater, solid waste management and flood protection projects [7, 8].

The method presumes evaluation of the current situation in the area of interest and generates desired objectives. The focus is on those areas that are not meeting defined objectives and selection of measures to meet them. Such set of measures then need to be ranked in order to finally select those to be implemented as priority and which will be part of the action plan [9]. The complex process of planning is given with the following Figure.

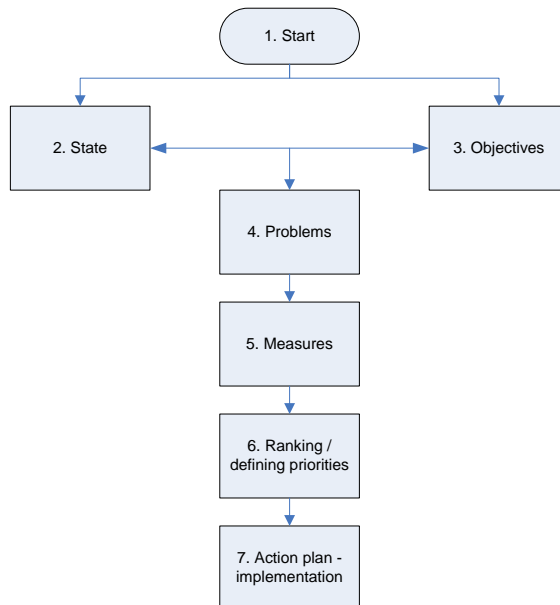


Figure 1: *Planning process*

In the planning process, PRIMAVERA support steps 4, 5, and 6. It defines ranking position for each of the measures using function that takes into account cost-effectiveness and assess existing support to the measure, with the following criteria

defined:

- *Technical criteria* that include gravity of the observed problem (GR), scope of the observed problem (SC), effectiveness of the measure (EF), and cost of the measure (CO);
- *Support criteria* that include prerequisites to implement measure (PR), time to get its effect (TE), administrative appreciation (AA), and social appreciation to the measure (SA).

Assigning a value to each technical criteria is often complicated and slow process, especially if not relating to exact measurement option. That is the reason why PRIMAVERA decides to use only integer 1-4, which is then related to selection of yardsticks for the relevant criteria (1 used for range x-y, 2 for y-z, etc.). The focus is on selection of these yardsticks. For example, value 1 for GR means that the problem is insignificant, 2 is for middle size problem, 3 for serious and 4 for critical problem. Similar explanation is valid for other technical criteria.

Support criteria are not obligatory. They present additional tool for reaching desired ranking of measures. Valuation is similar, but since support criteria may have positive or negative value, range of values from -2 to 2 (-2, -1, 0, 1, 2) are used where negative values are for negative support to the measure (e.g. long time to effect, social or administrative reluctance), 1 and 2 are for positive support (e.g. good or excellent technical preconditions, short time to effect) and value 0 is for neutral (indifferent) support. The value 0 also serves in case that support criteria is not taken into account. A key principle related to support criteria is that neutral values should not influence ranking of a measure, but also that high values of AA and SA for one measure should add an advantage and raise it on priority list comparing to other measures.

#### 4. PROPOSED MEASURES AND VALUATION OF PROBLEMS AND MEASURES

Primavera method has predefined criteria, appropriate for ranking problems like the ones described. The *Gravity* GR of the problem was decided to be valued with 1 if the school has water supply but its quality is not regularly checked, with 2 when the school has running water that is not potable but can be used for hygiene purposes, 3 if the school has a current water that can be used only as a sanitary water in toilets, and 4 if the school has no water.

The *Scope* SC of the problem is represented by the total number of students and school employees. It was rated 1 when the school has less than 10 people during the work day, with 2 when the school has between 11 and 30 people, 3 if the school has between 31 and 110 people and 4 if the school has more than 110 people.

The *Effectiveness* EF is presented as a description of what percent of the perceived problem is removed. It was evaluated by 1 when the problem is reduced by up to 65%, with 2 when the problem is reduced by 66-75%, with 3 when the problem is reduced by 76-85%, and 4 when the problem is reduced by more than 85%.

*Cost* CO relates to the overall investment and maintenance costs, regardless of who bears them. It was evaluated with 1 when the annual cost is up to 50 KM, with 2 when the annual cost is 51 to 400 KM 3 when the annual cost is 401 to 600 KM and 4 with the annual cost of more than 600 KM.

The time required for implementation TE is rated with -1 for measures relating to the sewer, so as the value of support for these measures, since the municipality Derventa did not yet initiate the process of the construction of wastewater treatment plant. Prerequisite values are all equal to zero, while values of administrative (AA) or social support (SA) reflect strong preferences or aversions to the extent estimated.

Table 1 below presents examples for valuation of criteria, while Table 2 contains evaluation of priority values using Primavera formulas (maximum paper length does not allow presenting these values for all 35 measures proposed).

Table 1. Valuation of the criteria - example for several measures

no	School	W or WW <sup>6</sup>	Description	Invest. cost (KM)	Marginal costs/year (KM)	Lifetime	Cost CO (KM)	CO value	GR	SC value	EF value	EF	EF value	PRECONDITIONS			SUPPORT	
														PR	TE	AA	SA	
P1	PS <sup>7</sup> „Dordo Panzalović“ CS	W	Quality analysis and water filtration	1,500	400	10	550	3	1	235	4	100%	4	0	0	0	1	0
P2	PS „DP“ RS <sup>8</sup> „Donja Osinja“	W	Quality analysis and water filtration	1,500	400	10	550	3	1	21	2	80%	3	0	0	0	0	0
P3	PS „DP“ RS „Pojezna“	W	Quality analysis, additional well, water filtration	1,500	400	10	550	3	1	21	2	100%	4	0	0	0	1	0
P4	PS „DP“ RS „Donji Cerani“	W	Quality analysis, introducing chlorinator	1,500	400	10	550	3	1	8	1	80%	3	0	0	0	1	0
P5	PS „DP“ RS „Gornji Cerani“	W	Quality analysis and water filtration (alternative potable water device)	1,500	400	10	550	3	1	53	3	80%	3	0	0	0	1	0

Table 2. Evaluation of priority values by Primavera - example for several measures

No	School	CO	GR	SC	EF	GR <sup>SC</sup> E F/CO	RENTA BILITY	PR	TE	SUPPORT			RANK VALUE	
										AA	SA	RAW	FINAL	
P1	PS „Dordo Panzalović“ CS	3	1	4	4	5.3	3.5	0	0	1	0	3.5	47.61	
P2	PS „DP“ RS „Donja Osinja“	3	1	2	3	2.0	2.1	0	0	0	0	2.1	42.99	
P3	PS „DP“ RS „Pojezna“	3	1	2	4	2.7	2.5	0	0	1	0	2.5	44.23	
P4	PS „DP“ RS „Donji Cerani“	3	1	1	3	1.0	1.3	0	0	1	0	1.3	40.51	
P5	PS „DP“ RS „Gornji Cerani“	3	1	3	3	3.0	2.6	0	0	1	0	2.6	44.77	

<sup>6</sup> Water or Wastewater problem

<sup>7</sup> PS - Primary School

<sup>8</sup> RS - Remote School

Table 3 presents final ranking for all 35 measures proposed - it can be seen that the measure proposed to improve water supply in primary school in Gornji Višnjik has stable first position, followed by measures for water supply in central schools etc.

Table 3. Final ranking of measures

No	Measure	School	W / WW	Value
1	P17	PS „Nikola Tesla“, RS Gornji Višnjik	W	52.05
2	P1	PS „Đorđo Panzalović“ Central school	W	47.61
3	P9	PS „Todor Dokić“ Central school	W	47.61
4	P10	PS „Todor Dokić“ RS „Lupljenica1“ (Malic)	W	46.15
5	P12	PS „Todor Dokić“ RS „Drijen“	W	46.15
6	P16	PS „Nikola Tesla“, RS Velika Sočanica	W	46.15
7	P6	PS „Đorđo Panzalović“ RS „Crnča“	W	46.15
8	P14	PS „Nikola Tesla“,RS Lužani	W	44.77
9	P5	PS „Đorđo Panzalović“ RS „Gornji Cerani“	W	44.77
10	P15	PS „Nikola Tesla“,RS „Arkobaleno“ Mala Sočanica	W	44.23
11	P3	PS „Đorđo Panzalović“ RS „Pojezna“	W	44.23
12	P7	PS „19 april“ RS „Trstenci“	W	44.23
13	P18	PS „Đorđo Panzalović“Central school	WW	43.23
14	P26	PS „Todor Dokić“Central school	WW	43.23
15	P11	PS „Todor Dokić“ RS „Lupljenica 2“	W	42.99
16	P13	PS „19 april“ RS „Miškovci“	W	42.99
17	P2	PS „Đorđo Panzalović“ RS „Donja Osinja“	W	42.99
18	P8	PS „19 april“ RS „Kostreš“	W	42.99
19	P22	PS „Đorđo Panzalović“ RS „Gornji Cerani“	WW	42.26
20	P34	PS „Nikola Tesla“,RS Velika Sočanica	WW	42.26
21	P19	PS „Đorđo Panzalović“ RS „Donja Osinja“	WW	41.02
22	P20	PS „Đorđo Panzalović“ RS „Pojezna“	WW	41.02
23	P23	PS „Đorđo Panzalović“ RS „Crnča“	WW	41.02
24	P24	PS „19 april“ RS „Trstenci“	WW	41.02
25	P25	PS „19 april“ RS „Kostreš“	WW	41.02
26	P27	PS „Todor Dokić“ RS „Lupljenica1“ (Malic)	WW	41.02
27	P29	PS „Todor Dokić“ RS „Drijen“	WW	41.02
28	P31	PS „Nikola Tesla“,RS Lužani	WW	41.02
29	P32	PS „Nikola Tesla“,RS „Arkobaleno“ Mala Sočanica	WW	41.02
30	P35	PS „Nikola Tesla“,RS Gornji Višnjik	WW	41.02
31	P4	PS „Đorđo Panzalović“ RS „Donji Cerani“	W	40.51
32	P21	PS „Đorđo Panzalović“ RS „Donji Cerani“	WW	39.28
33	P28	PS „Todor Dokić“ RS „Lupljenica 2“	WW	39.28
34	P30	PS „19 april“ RS „Miškovci“	WW	39.28
35	P33	PS „Nikola Tesla“,RS Polje	WW	39.28

## 5. CONCLUSION

Multicriteria decision making method was applied in order to rank the measures proposed to improve water supply and sanitation in 18 rural area schools in the municipality of Derventa. Ranking is based on 8 different criteria predefined by Primavera multicriteria optimization method, where valuation yardsticks are selected based on appearing values' ranges. It needs to be stressed that the ranking list of proposed measures is only a tool for decision support and can not replace decision-makers, but can and should help in making quality and "informed" decisions.

Having in mind tight budgets of local administrations and consequently reluctance to implement costly projects or activities, it should be also underlined that the approach of provision of ranking list of proposed measures of low-cost profile assists local administration with deciding to implement as many first ranked measures as the available budget allows. This is a very convenient tool to prevent (otherwise quite frequent with the local administrations) delays in deciding till the "better times come" and to act promptly.

## REFERENCES

- [1] The UNDP National Human Development Report 2013 for Bosnia and Herzegovina - Rural development in Bosnia and Herzegovina: Myth and reality, *UNDP in Bosnia and Herzegovina, Sarajevo, ISSN 2303-503X*
- [2] Opricovic S., "Optimizacija sistema" (Systems Optimization), *Naučna knjiga, Belgrade, 1994.*
- [3] Pašić M., Bijelonja I., Vučijak B., Uvod u kvantitativne tehnike operacionog menadžmenta (Introduction to Quantitative Techniques of Operational Management), *Mechanical Engineering Faculty Sarajevo, 2009, ISBN 978-9958-601-25-5.*
- [4] Akter T., Simonovic S., "A General Overview of Multi-objective Multiple-participant Decision Making for Flood Management", *University of Western Ontario, Ontario, Canada, 2002*
- [5] Bogardi J.J., Nachtnebel H.P.(eds.), "Multicriteria decision analysis in water resources management", *UNESCO, Paris, 1994.*
- [6] OECD study "Improving Water Management – Recent OECD Experience", *IWA Publishing, 2003*
- [7] DHV Consultants, "Bosnia and Herzegovina water and sanitation emergency reconstruction and development plan – Final Report", *done by DHV Consultants for JVP Vodoprivreda Sarajevo, IMG Sarajevo, Senter The Hague, The World Bank Washington D.C., 1996.*
- [8] Verstraelen P.J.T., Van Rooy P.T.J.C., Van der Zandt E., MacEwan, Kreiser H., Sabeta F., "Rehabilitation of the water and waste related sectors in Bosnia-Herzegovina", *European Water Pollution control, Vol. 7, No. 6, 1997.*
- [9] DHV Consultants, "PRIMAVERA manual", *Printed by DHV Consultants, Amersfoort, Netherland, 1996.*



## UPRAVLJANJE PROCESOM – POBOLJŠANJE KVALITETA PROCESA

Smail Klarić<sup>1</sup>, Senada Pobrić<sup>2</sup>

*Rezime: Sve što se radi, u bilo kom tipu organizacije, je proces kojim se treba upravljati kako bi se postigao:*

- *veći kvalitet izlaza procesa,*
- *kraće vrijeme realizacije procesa i*
- *niži toškovi.*

*Upravljanje procesom zahtijeva prije svega njegovo razumjevanje, praćenje, kontrolu i poboljšanje. U radu je istaknut pojam „proces“ i značaj procesnog pristupa. Navedene su faze upravljanja procesom sa akcentom na alatima i metodama, kao pomoć za uspješno upravljanje.*

*Ključne riječi: kvalitet, proces, procesni pristup, upravljanje*

## PROCESS MANAGEMENT – IMPROVEMENT OF QUALITY PROCESS

*Abstract: Everything you do, in any type of organization, is a process that needs to be managed to achieve:*

- *higher quality output of the process,*
- *shorter duration of process and*
- *lower costs.*

*Process management requirements primarily based on his understanding, monitoring, control and improvement. This paper emphasizes a term of "process" and the importance of a process approach. There are the phases of process management with accent on tools and methods, as well as a help for successful management.*

*Key words: management, process, process approach, quality*

### 1. UVOD

Kvalitet nekog proizvoda ili usluge određuje odnos želja i potreba kupaca i sposobnosti realizacije tih potreba i želja od strane proizvođača. U vremenu današnjeg poslovanja cilj svake organizacije je ostvariti nivo kvaliteta koji će u potpunosti

---

<sup>1</sup> prof.dr.sc. Smail Klarić, Mostar, Univerzitet "Džemal Bijedić" Mašinski fakultet

<sup>2</sup> doc.dr.sc. Senada Pobrić, Mostar, Mašinski fakultet, senada.pobric@unmo.ba, (CA)

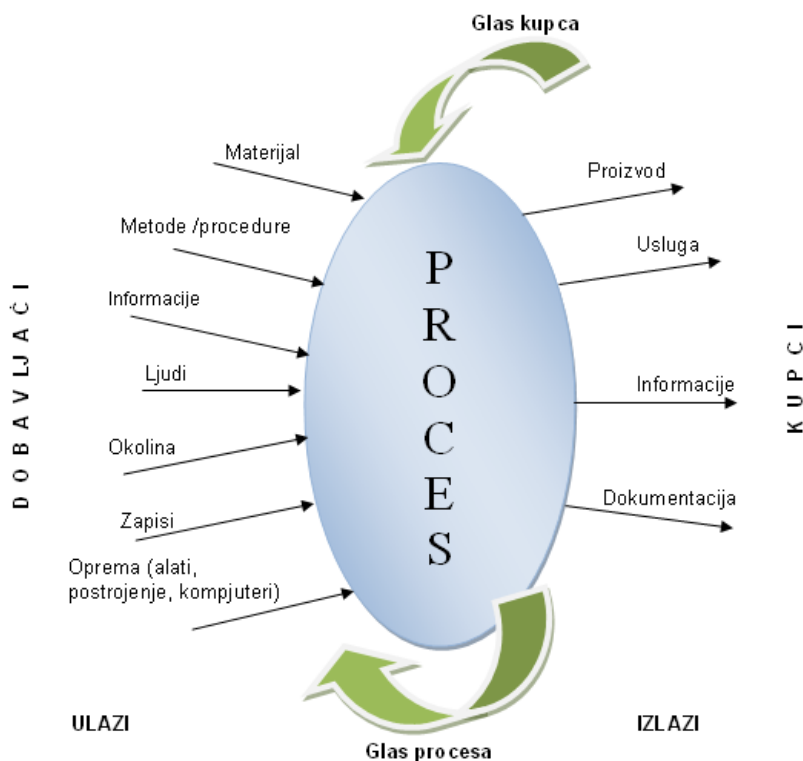
zadovoljiti kupca. Serija standarda Sistem upravljanja kvalitetom ISO 9000 ističe važnost kupca stavljajući ga na prvo mjesto i potiče maksimalnu usmjerenost na kupca. Takođe potiče prihvaćanje procesnog pristupa za upravljanje organizacijom. Smatra se da svaki proces ima kupca, a usmjerenost na proces osigurava bolju usmjerenost na kupca. Zbog toga, da bi se postigli željeni rezultati, potrebno je organizaciju posmatrati kao skup procesa kojima je potrebno upravljati.

Procesom se smatra kombinacija mašina, alata, metoda, materijala i ljudi koji ostvaruju rezultate u obliku proizvoda ili usluga. Sve što se radi, u bilo kom tipu organizacije smatra se procesom koji zahtijeva, prije svega, njegovo razumijevanje. Svaki proces ima varijacije koje je potrebno pratiti. Procesi moraju biti valjano kontrolisani, u smislu provjere stabilnosti i sposobnosti procesa. Potrebno je provoditi poboljšanja procesa, kada se za to ukaže prilika. Jednom rječju potrebno je upravljati procesom.

Sušтина funkcije upravljanja je povratna informacija iz procesa menadžmentu, nakon oblikovanja, mjerenja i analiza, a radi donošenja odluka u cilju poboljšanja procesa. Poboljšanje kvaliteta proizvoda moguće je postići unapređenjem procesa koji je djelotvorniji uz pomoć primjene alata i metoda upravljanja kvalitetom.

## 2. PROCES

Proces predstavlja skup međusobno povezanih ili interaktivnih aktivnosti koji transformira ulaze u izlaze. Osnovni model procesa predstavljen je na Slici 1., na kojoj su identifikovani elementi procesa.



Slika 1. Osnovni model procesa

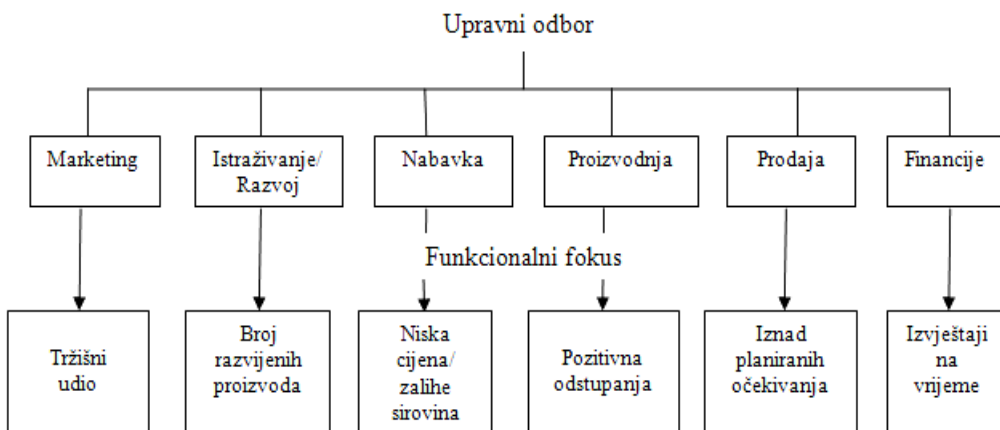


Za svaki proces moguće je utvrditi:

- svrhu postojanja,
- vlasnika procesa,
- granice procesa (početak i završetak),
- ulaze i izlaze procesa,
- unutarnje i vanjske dobavljače i kupce,
- niz izvedivih aktivnosti unutar granica procesa,
- uspješnost procesa na temelju ulaza i izlaza procesa,
- mogućnost poboljšanja.

## 2.1. Procesni pristup

Tradicionalno (funkcionalno) orijentisano preduzeće je preduzeće koje je orijentisano na poslovne funkcije i ima hijerarhijski pogled poslovanja (Slika 2.). To znači da zaposlenici unutar odjela u organizacijskoj šemi, izvode samo one zadatke koji su uobičajeni za njihov odjel, u čemu se ogleda njegov nedostatak. Svaki odjel nastoji maksimizirati svoj uticaj i ovlasti, a fokus je na zadovoljenju rukovodioca, odnosno nadređenih, a ne kupaca.



Slika 2. Tradicionalno - funkcionalno preduzeće

Procesno orijentisano preduzeće je preduzeće koje se posmatra kao skup procesa sa horizontalnim pogledom na poslovanje, a fokus svih uposlenika je na zadovoljenju zahtjeva kupaca. Prednosti procesnog pristupa su slijedeće:

- svaki proces ima kupca, a usmjerenost na proces osigurava bolju usmjerenost na kupca,
- stvaranje vrijednosti s obzirom na konačan proizvod odvija se u poprečno-funkcionalnim procesima,
- realizaciju procesa izvode procesni timovi, a ne odjel, tako da upravljanje kompletnim procesom se izvodi upravljajući kroz više odjela, a ne upravljajući pojedinim odjelima,
- ključna osoba procesa je vlasnik procesa, koji je odgovoran za postignute rezultate procesa i time je izbjegnuta tradicionalna rascjepkanost odgovornosti,
- maksimalizacija sudjelovanja i saradnje među uposlenicima različitih odjela.

Prikaz jednog procesno orjentisanog preduzeća, sa poprečno - funkcionalnim procesima, prikazan je na slijedećoj slici.



Slika 3. Procesno orjentisano preduzeće

### 3. UPRAVLJANJE PROCESIMA

Uspješnim upravljanjem procesima obezbjeđuje se:

- jasno definisana namjera i ciljevi procesa,
- dizajn procesa koji može da ostvari ciljeve uz efektivnu upotrebu resursa,
- da rezultati procesa zadovoljavaju interesne strane,
- praćenje, kontrola i stalno poboljšanje efikasnosti i efektivnosti procesa.

Upravljanje procesima može se prikazati kroz slijedeće tri faze:

- definisanje elemenata i toka procesa,
- praćenje i kontrola procesa,
- poboljšanje procesa.

#### 3.1. Definisane elemenata i toka procesa

Cilj prve faze, odnosno definisanja elemenata i toka procesa, je da se u potpunosti razumije proces u smislu da se zna okvir procesa, tok procesa i da se odredi ko preuzima odgovornost za to. Obuhvata slijedeće radnje:

- uspostavljanje jednog vlasnika nad procesom ili menadžera procesa,
- definisanje granica procesa,
- definisanje ulaza i dobavljača, kao i izlaza i kupaca procesa (unutrašnji, vanjski) i
- definisanje toka procesa.

Za definisanje toka procesa koriste se razni grafički alati, kao i softverski alati za modeliranje procesa. Jedna od metoda za prikazivanje toka procesa je Metoda dijagrama toka [1].

### 3.2. Praćenje i kontrola procesa

Cilj druge faze, odnosno praćenja i kontrole procesa, je u obezbjeđenju povratne sprege ljudima koji odlučuju o procesu. Ova faza sadrži slijedeće aktivnosti:

- određivanje kontrolnih tačaka unutar procesa,
- mjerenje performansi procesa,
- analize rezultata mjerenja i obezbjeđenje povratne sprege.

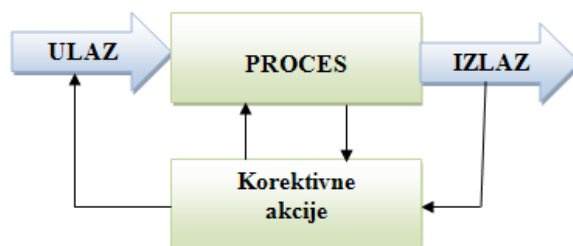
Značaj praćenja i kontrole procesa ogleda se u mogućnosti menadžera da daju ocjenu efekata svojih odluka, te samim tim mogu da znaju da li se proces odvija u dobrom pravcu. Na taj način moguće je ocijeniti proces prije same predaje rezultata procesa kupcu, kako bi se na vrijeme izvršila korekcija i poboljšao rezultat procesa.

Da bi se rezultati mjerenja preveli u korisne informacije koriste se razni alati i metode upravljanja kvalitetom, koje se većinom zasnivaju na statistici, a neke od njih su [1]:

- Liste observacija (tabelarni prikaz rezultata mjerenja),
- Histogrami (grafički prikaz rezultata mjerenja),
- Metod ocjene statističkih parametara osnovnog skupa (na osnovu uzoraka),
- Metod kontrolnih karata (ocjena stabilnosti procesa),
- Indeksi sposobnosti procesa (ocjena preciznosti i tačnosti procesa).

### 3.3. Poboljšanje procesa

Suština funkcije upravljanja je povratna sprega, to jest informacije iz procesa i o karakteristikama izlaza procesa, s ciljem stabilizacije i poboljšanja procesa, a na osnovu poduzimanja odgovarajućih korektivnih akcija. Na taj način imamo jedan upravljiv sistem (Slika 4.).



Slika 4. Osnovni model upravljanja procesom

Cilj korektivnih akcija je poboljšanje procesa, kao posljednja faza u upravljanju procesima, kroz:

- održavanje performansi procesa na određenom nivou, odnosno održavanje stabilnosti procesa i
- smanjivanje varijabilnosti u procesu, odnosno povećanje preciznosti procesa u granicama tačnosti.

Da bi se donijele odluke o odgovarajućim korektivnim akcijama potrebno je prethodno utvrditi uzrok pojave neprihvatljivih odstupanja procesa. Za otkrivanje uzroka problema postoje razne metode, kao što je primjera radi, Ishikava metoda, odnosno Uzročno - posljedični dijagram [1]. Nakon provedenih korektivnih akcija neophodno je provesti ponovnu kontrolu radi dokazivanja uspješnosti provedenih akcija.

#### 4. ZAKLJUČAK

Sposobnost procesa da zadovolji zahtjevima kupaca oslikava njegovu stabilnost, preciznost i tačnost. Da bi proces bio sposoban neophodno je upravljati procesom. U suprotnom proces može postati nestabilan i da se s vremenom pogorša i da izađe van granica tačnosti.

#### LITERATURA

- [1] Klarić, S., Pabrić, S. (2009). *Upravljanje kvalitetom - alati i metode poboljšanja*, Univerzitet "Džemal Bijedić", Mašinski fakultet, Mostar.
- [2] Oakland, J.S., (2000). *Statistical Process Control*, Fourth edition, England, London.
- [3] Klarić, S. (2005). *Upravljanje kvalitetom*, Univerzitet "Džemal Bijedić", Mašinski fakultet, Mostar.



## MODEL ZA IDENTIFIKACIJU BITNIH KARAKTERISTIKA USLUGA OSIGURAVAJUĆIH DRUŠTAVA PRIMJENOM ALATA KVALITETA

Saša Čudić<sup>1</sup> Miloš Sorak<sup>2</sup>

*Rezime: U radu je istraživana mogućnost razvoja metodologije koja će omogućiti da se primjenom alata kvaliteta identifikuju bitne karakteristike usluga, prema kriterijumu njihove važnosti za zadovoljstvo kupaca. Cilj identifikacije bitnih karakteristika usluga je poboljšanje onih karakteristika koje nisu na nivou konkurenata. Na način se povećava tržišno učešće, a posljedično tome i kvalitet poslovanja preduzeća. Prva faza istraživanja odnosila se na razvoj modela za identifikaciju bitnih karakteristika kvaliteta usluga, prema kriterijumu njihove važnosti za zadovoljstvo kupaca. U drugoj fazi na osnovu razvijenog modela izvršena je identifikacija bitnih karakteristika usluga u realnom sistemu. Istraživanja su pokazala da se primjenom odgovarajućih alata kvaliteta može doći do onih karakteristika kvaliteta usluga koje nisu na nivou najboljih u klasi.*

*Ključne riječi: model, usluga, metodologija, karakteristika, QFD metoda, osiguravajuća društva*

### **A MODEL FOR THE IDENTIFICATION OF ESSENTIAL CHARACTERISTICS OF INSURANCE COMPANIES SERVICES USING TOOLS OF QUALITY**

*Abstract: Present paper contain research of possibility for methodology development, which will enable, that using tools of quality, the essential characteristics of services can be identified, according criterion of their significance for customer satisfaction. The goal of identification the essential characteristics of services is improvement those characteristics that are not at the level of its competitors. This way increases market share, and consequently the quality of the company. The first phase of the research is to develop models for the identification of important characteristics of service quality, according to the criterion of their importance to customer satisfaction. In the second phase based on developed model, important characteristics of services in the real system have been identified. Studies have shown that using of appropriate quality tools one can get those characteristic of the quality of services that are not at the highest level in their class.*

*Key words: model, service, methodology, characteristic, QFD method, insurance companies.*

<sup>1</sup> Dr Saša Čudić, Banja Luka, BiH, Dunav Osiguranje, sasa.cudic@dunav.ba

<sup>2</sup> Dr Miloš Sorak, Banja Luka, Bosna i Hercegovina, Univerzitet u Banjoj Luci

## 1. UVOD

Problemi kvaliteta usluga na svjetskom tržištu u uslovima veoma snažne konkurencije i sve bržih promjena u okruženju, danas se poklanja sve više pažnje. Istraživanja su pokazala da usluge danas u zemljama OECD-a predstavljaju preko 60% ukupne ekonomske aktivnosti, a u najrazvijenim zemljama i preko 70% [1]. Zato se problemu upravljanja kvalitetom usluga danas pridaje izuzetan značaj kako sa praktične, tako i sa istraživačke tačke gledanja. Ukoliko se usluge posmatraju u kontekstu marketinga i ukupne ekonomske aktivnosti, one su neodvojive od samog potrošača, odnosno korisnika određene usluge.

Iz navedenih razloga, kvalitet usluga je postao najznačajniji strateški faktor uspjeha organizacija. Kada organizacija stekne lošu reputaciju po pitanju kvaliteta potrebno je da prođe dugo vremena da se ta situacija promijeni. Ukoliko organizacije žele otkloniti lošu reputaciju, neophodno je da upravljaju kompetitivnim prednostima, posebno kvalitetom bitnih karakteristika kvaliteta usluga, jer se primjerenim udovoljavanjem korisnikovim zahtjevima može iskazati zadovoljenje - oduševljenje korisnika usluga i steći reputacija - epitet "izvanredan isporučilac".

Upravo u okviru ovog rada će biti razmatrana mogućnost razvoja metodologije za identifikovanje bitnih karakteristika kvaliteta usluga, prema kriterijumu njihove važnosti za zadovoljstvo kupaca. Kako znati koji su to zahtjevi kupaca u pogledu bitnih karakteristika usluga jedno je od najčešćih pitanja koje se danas postavlja pred organizacije bilo koje vrste. U tu svrhu razvijaju se i koriste različiti alati kvaliteta koji služe za identifikovanje bitnih karakteristika usluga. Jedno od prvih preduzeća koje je razvilo i primjenilo čitav niz alata kvaliteta je kompanija "TOYOTA COMPANY". Razvojem i pravilnom primjenom različitih alata kvaliteta kompanija je postigla veliki uspjeh. To je bio veliki podstrek drugim velikim preduzećima u razvoju i implementaciji novih alata kvaliteta.

Predmet istraživanja je poslovni proces uslužnih organizacija. U ovom slučaju posmatraće se poslovni proces Kosig Dunav osiguranja koji pruža usluge iz oblasti osiguranja imovine i lica. U najopštijem smislu cilj istraživanja je identifikacija bitnih karakteristika kvaliteta usluga, prema kriterijumu njihove važnosti za zadovoljstvo kupaca. Svrha povećane pažnje na bitne karakteristike kvaliteta usluga, jeste da se povratnom spregom djeluje na povećanje *uočene upotrebne vrijednosti* usluge. Pod *uočenom upotrebnom vrijednošću* podrazumijeva se ona vrijednost koju kupac vidi pri kupovini ili korišćenju usluge. Zato organizacije teže da povećaju svoje kompetencije, neophodne da se permanentno povećava uočena upotrebna vrijednost usluga [2].

## 2. IDENTIFIKOVANJE BITNIH KARAKTERISTIKA USLUGA

### 2.1 Razvoj modela za identifikovanje bitnih karakteristika usluga

Da bi bilo koja organizacija bila uspješna, ona mora permanentno da istražuje eksternu i internu okolinu, radi identifikovanja faktora koji utiču na njenu efikasnost i efektivnost. Pri tom je veoma bitno da organizacija razumije i zadovoljava aktuelne i buduće potrebe i očekivanja sadašnjih i mogućih zainteresovanih strana. Zato je neophodno da organizacije identifikuju potrebe i očekivanja zainteresovanih strana i održavaju uravnotežen odgovor na njihove potrebe i očekivanja[3].

Prema M. Bobreku [4], potrebe i očekivanja sadašnjih i mogućih zainteresovanih strana zadovoljavaju se putem bitnih karakteristika kvaliteta proizvoda ili usluga. Obzirom da je kvalitet bitnih karakteristika usluga rezultat procesa, to je neophodno da organizacije identifikuju procese kojim se postižu bitne karakteristike

kvaliteta usluga. To se vrši se sa ciljem reinženjeringa procesa kojim se ne postižu željene bitne karakteristike kvaliteta usluga.

U cilju rješavanja navedenog problema, razvijen je model identifikovanja bitnih karakteristika usluga primjenom odgovarajućih alata kvaliteta. Prema istom, proces identifikovanja bitnih karakteristika usluga se izvodi kroz sljedeće tri faze:

1. Identifikovanje zainteresovanih strana,
2. Identifikovanje potreba i očekivanja zainteresovanih strana i
3. Identifikovanje bitnih karakteristika usluga [5].

*Identifikovanje zainteresovanih strana* je veoma složen proces, jer one bitno utiču na sve procese rada u organizaciji. Jednom riječju, zainteresovane strane na ovaj ili onaj način pomažu ili sprečavaju odvijanje procesa u organizaciji. Ipak, nije ista moć svih zainteresovanih strana. Zbog toga se analiza zainteresovanih strana (stejkholdera) javlja kao neizostavna faza u svakoj konkretnoj aktivnosti u procesu rada organizacije. U tom smislu neophodno je prije početka uvođenja novih ili analize postojećih usluga:

identifikovati sve zainteresovane strane,

- ocijeniti njihov potencijalni uticaj na performanse organizacije i
- odrediti kako da se uravnoteženo ispunjavaju njihove potrebe i očekivanja.

*Identifikovanje potreba i očekivanja zainteresovanih strana* je bitan proces, jer uspjeh organizacije zavisi od razumijevanja i zadovoljenja aktuelnih i budućih potreba i očekivanja sadašnjih i mogućih zainteresovanih strana. Problem se rješava prikupljanjem i obradom informacija sa domaćeg i stranog tržišta putem direktnog kontakta ili obilaska domaćeg i stranog tržišta, sajмова, izložbi, kupaca, ali i na druge pogodne načine sa ciljem dobijanja potrebnih informacija o potrebama kupaca i karakteristikama proizvoda ili usluga.

Nakon identifikovanja aktuelnih i budućih potreba i očekivanja sadašnjih i mogućih zainteresovanih strana, iste treba prevesti u zahtjeve, saopštiti ih svim zaposlenim, a zatim se usredsrediti na poboljšanja procesa, da bi obezbjedila vrijednost za identifikovane strane. Tom prilikom najčešće se posmatraju performanse usluga koje treba da zadovolje potrebe kupaca i krajnjih korisnika, zaposlenih, vlasnika i investitora, isporučilaca i društva.

*Identifikovanje bitnih karakteristika usluga* se vrši sa iz razloga što sve karakteristike podjednako bitne za zadovoljenje potreba i očekivanja sadašnjih i mogućih zainteresovanih strana. Zato treba odabrati bitne karakteristika kvaliteta usluga i iste iskazati u specifikacijama (zahtjevima, koji mogu biti tehnički, funkcionalni...). Iskazivanje karakteristika može se vršiti kroz ugovore, ili ih organizacija mora sama utvrditi, s tim da korisnik uvijek na kraju utvrđuje prihvatljivost proizvoda i/ili usluge.

Kako se potrebe i očekivanja korisnika stalno mijenjaju usljed konkurencije i napretka tehnike, to su organizacije primorane ne samo da svoje proizvode i procese drže pod kontrolom, nego da ih stalno poboljšavaju, što je i osnovni zahtjev sistema menadžmenta kvalitetom. Na taj način se povećava vjerovatnoća zadovoljenja zainteresovanih strana, a time i njihovo povjerenje.

Upravo, iz navedenih razloga u trećoj fazi se vrši izbor onih karakteristika usluga koje su bitne za zadovoljenje potreba sadašnjih i budućih korisnika. Za rješavanje navedenog problema koristi se veći broj alata kvaliteta. Koji alat kvaliteta će se koristiti zavisi od rješavanja konkretnog problema. U praksi, najčešće se koriste sljedeći alati kvaliteta:

- *Izbor problema.* Spada u najjednostavnije alate unapređenja kvaliteta. Njegova svrha jeste da iz grupe problema ili pitanja izabere ono koje u datom trenutku zahtijeva najveću pažnju.
- *Dijagram „UZROCI – POSLJEDICA”.* To je metoda pomoću koje je moguće analizom odnosa između određenog stanja sistema u posmatranju - POSLJEDICA i uticajnih veličina koje uslovljavaju pojavu tog stanja – UZROKA, doći do bitnijih karakteristika proizvoda ili usluga od kojih zavisi efikasnost i efektivnost posmatranog sistema.
- *„Pareto” metoda.* Ona za izbor karakteristika kvaliteta proizvoda ili usluga koristi relativan uticaj posmatrane veličine ili grupe veličina u skupu veličina čija se analiza vrši.
- *„QFD” metoda.* To je najkompleksnija metoda jer u vezu dovodi bitne karakteristike kvaliteta usluga, zahtjeve i očekivanja korisnika usluga i ostalih zainteresovanih strana. Na osnovu analize, utvrđuju se kritična mjesta na usluzi koja su u vezi sa utvrđenim bitnim karakteristikama.

Uzimajući u obzir karakteristike četiri naprijed navedene metode, u datoj situaciji treba odabrati onu metodu koja najbolje rješava suštinu problema. U našem slučaju to je „QFD” metoda jer ona omogućuje da se u procesu njene primjene dođe do bitnih:

- potreba kupaca i drugih zainteresovanih strana i
- karakteristika usluga kojim se zadovoljavaju potrebe kupaca i drugih

## **2.2 Primjena razvojenog modela za identifikovanje bitnih karakteristika usluga u „Dunav osiguranju”**

Proces identifikovanja bitnih karakteristika usluga u „Dunav osiguranju” vršen je prema naprijed razvijenom modelu. U tom cilju za svaku fazu formiran je poseban stručni tim radi: velikog obim usluga, složenosti procesa, specifičnosti procesa i obučenosti kadrova za rješavanje specifičnih problema i slično.

Identifikacija bitnih karakteristika usluga u „Dunav osiguranju” vršena je kroz tri faze.

*Prva faza* u procesu identifikacije bitnih karakteristika usluga u „Dunav osiguranju” odnosila se na identifikaciju zainteresovanih strana. Svrha identifikacije zainteresovanih strana je postizanje uravnoteženog odgovora kako na njihove sadašnje, tako i na buduće potrebe i očekivanja. Koristeći preporuke standarda SRPS ISO 9001:2008, te korištenu literaturu [6-9] iz oblasti sistema menadžmenta kvalitetom, kao zainteresovane strane identifikovani su:

- klijenti, kao krajnji korisnici usluga „Dunav osiguranja”,
- zaposleni u organizaciji,
- akcionari, vlasnici kapitala, investitori,
- isporučiooci (dobavljači, snabdjevači, podizvođači) i partneri u poslu i
- društvena zajednica (banke, lokalna zajednica, ...).

*U drugoj fazi* procesa identifikacije bitnih karakteristika usluga bilo je neophodno identifikovati potrebe i očekivanja korisnika usluga i drugih zainteresovanih strana. Navedeni problem se u „Dunav osiguranju” provodi se putem specijalno kreiranih upitnika koji se daju prilikom obilazaka klijenata, sajmova, izložbi i slično. Cilj je dobijanje bitnih informacija o potrebama kupaca i karakteristikama usluga. Nakon identifikacije potreba i očekivanja, oni se prevode u zahtjeve koji se saopštavaju zaposlenima.

Upravo u navedenom smislu zbog naprijed navedenih činjenica (obim usluga, složenost procesa, specifičnost procesa, obučenost kadrova za rješavanje specifičnih problema i slično) formiran je stručni tim kojeg su činili generalni direktor, direktor



marketinga i direktori Direkcija neživotnih osiguranja, životnih osiguranja i naknadu šteta, sa ciljem da oni u otvorenoj diskusiji definišu za naprijed navedene zainteresovane strane kako njihove sadašnje, tako i buduće potrebe i očekivanja. Identifikovane potrebe i očekivanja korisnika usluga i drugih zainteresovanih strana prikazane su na lijevoj strani tabele 3.

Treća faza odnosila se na identifikaciju bitnih karakteristika usluga kojima se postižu iskazani zahtjevi. Problem se rješavao kroz pet koraka:

Prva korak se odnosio na popis karakteristika usluga na osnovu proučavane literature [6-9].

U drugom koraku stručni tim stručni tim je imao zadatak popisane karakteristike usluga na osnovu proučavane literature prilagodi potrebama preduzeća (tabela 1) i u obliku upitnika dostavi svim zaposlenim u direkcijama neživotnog osiguranja, životnog osiguranja i naknadu šteta da ocijene bitne karakteristike.

Tabela.1. Karakteristike usluga „Dunav osiguranja”

Red. br	Bitne karakteristike usluga
1	Kvalitet dokumentacije - (tačnost popunjene polise)
2	Pouzdanost - (sigurnost klijenta u preuzimača)
3	Stručna osposobljenost radnika
4	Dizajn izlazne dokumentacije (polise, ponude)
5	Poštovanje zakonskih propisa
6	Fleksibilnost (da li je naše Društvo sposobno da se prilagodi promjenama cijene ili uslova dozvoljenim tolerancijama (tarifa, underwriting))
7	Raspoloživost (koliko proizvoda imate na raspolaganju, da li brzo možemo i obezbjediti osiguravajuće pokriće preko samopridražaja (reosiguranje))
8	Prilaz korisniku usluge - (komunikacija, dress code)
9	Ljubaznost
10	Povjerljivost
11	Sigurnost u preuzimače
12	Opipljivi elementi - (mogućnost da se osiguraniku primjerima saradnje sa drugim osiguranicima uverljivo dokaže da smo dobri - referenc lista)
13	Razumijevanje korisnika u osiguravajuće proizvode (razumljivost uslova)
14	Pravovremenost u usluzi
15	Pravovremenost u isplatama šteta
16	Kvalitet - (pravičnost) isplaćenih šteta
17	Potpunost - (cjelovitost usluge)
18	Konzistentnost - (jedinствен pristup prema klijentima sa aspekta ponude/isplate šteta)
19	Dostupnost - (da li su preuzimači-menadžeri osiguranja u svakom trenutku dostupni)
20	Tačnost - (poštivanje rokova, javljanje na vrijeme osiguraniku o isteku osiguranja)
21	Numerička tačnost - (značaj trenutnog nivo uređenosti IT u procesu rada)

22	Društvena odgovornost društva (javne humane aktivnosti)
23	Brend Društva - (veličina, kapital, tradicija)
24	Odnos prema VIP klijentima

Treći korak se odnosio na dostavljanje upitnika svim zaposlenim u direkcijama da ocijene karakteristike usluga kojima se postižu zahtjevi njihovih korisnika usluga.

U četvrtom koraku na osnovu popunjenih upitnika, „ABC” analizom obabrane su najbitnije karakteristike usluga po direkcijama.

Iz svake direkcije u obzir uzeto po sedam (7) najbitnijih karakteristika. Na taj način došlo se do dvanaest (12) najbitnih karakteristika usluga (neke karakteristike usluga po direkcijama se podudaraju) (Tabela 2), što je bio i cilj ove etape.

Tabela 2. Bitne karakteristike usluga

Red.br	Bitne karakteristike usluga
1	Kvalitet dokumentacije - (tačnost popunjene polise)
2	Konzistentnost - (jedinistven pristup prema klijentima sa aspekta ponude/isplate šteta)
3	Pouzdanost - (sigurnost klijenta u preuzimača)
4	Ljubaznost
5	Kvalitet - (pravičnost) isplaćenih šteta
6	Povjerljivost
7	Potpunost - (cjelovitost usluge)
8	Brend Društva - (veličina, kapital, tradicija)
9	Dostupnost - (da li su preuzimači-menadžeri osiguranja u svakom trenutku dostupni)
10	Tačnost - (poštivanje rokova, javljanje na vrijeme osiguraniku o isteku osiguranja)
11	Stručna osposobljenost radnika
12	Dizajn izlazne dokumentacije (polise, ponude)

Peti korak se odnosio na utvrđivanje međuzavisnosti potreba i očekivanja zainteresovanih strana i identifikovanih bitnih karakteristika usluga. Tu se koristila „QFD” metoda. Za utvrđivanje međuzavisnosti formiran je stručni tim kojeg su sačinjavali: generalni direktor, direktor marketinga, direktori direkcija neživotnih osiguranja, životnih osiguranja i naknadu šteta i tri najiskusnija radnika iz oblasti poslovanja „Dunav osiguranja”. Međuzavisnosti potreba i očekivanja zainteresovanih strana i identifikovanih bitnih karakteristika usluga primjenom „QFD” metode, a na osnovu prijedloga stručnih timova date su u tabeli 3.

Tabela 3.: Međuzavisnosti potreba i očekivanja zainteresovanih strana i identifikovanih bitnih karakteristika usluga

Potrebe i očekivanja	Značaj	Kvalitet dokumentacije - (tačnost popunjene polise)	Konzistentnost - (jedinstven pristup prema klijentima sa aspekta ponude/isplate šteta)	Pouzdanost - (sigurnost klijenta u preuzimača)	Ljubaznost	Kvalitet - (pravičnost) isplaćenih šteta	Povjerljivost	Potpunost - (cjelovitost usluge)	Brend Društva - (veličina, kapital, tradicija)	Dostupnost - (da li su preuzimači-menađžeri osiguranja u svakom trenutku dostupni)	Tačnost - (poštivanje rokova, javljanje na vrijeme osiguraniku o isteku osiguranja)	Stručna osposobljenost radnika	Dizajn Izlazne dokumentacije (polise, ponude)
Kvalitet proizvoda ili usluga	9	9	9	9	3	9	1	9	3	3	3	9	3
Ispunjenje zahtjeva	8	9	9	9	3	9	1	3	3	3	3	9	1
Veći asortiman proizvoda ili usluga	6	1	0	0	0	0	0	1	9	0	0	1	1
Niže cijene	8	1	2	3	0	3	0	1	1	0	0	1	1
Pouzdanost proizvoda ili usluga	9	9	9	9	1	9	3	9	9	1	1	3	1
Isporuka u roku	8	3	9	1	1	9	1	3	3	9	3	9	0
Servisiranje, posleprodajne usluge	8	1	1	1	9	9	1	9	1	3	1	3	0
Prevazilaženje očekivanja kupaca	7	0	0	1	1	3	1	9	0	1	1	3	1
Povećanje obima proizvodnje ili usluga	8	3	3	3	1	3	1	3	1	1	1	1	1
Održiv razvoj	10	0	1	1	1	9	0	3	3	0	0	1	1
Zadovoljni kupci	9	9	9	9	9	3	3	9	3	3	3	3	13
Manji troškovi	10	3	3	1	0	3	1	3	1	0	1	9	0
Profit	10	1	3	1	0	3	1	1	1	0	1	1	1
Brža naplata potraživanja	9	3	3	1	3	3	1	1	3	0	3	1	0
Povećanje vrijednosti preduzeća	10	1	1	1	1	3	1	3	1	1	1	3	0
Stabilno poslovanje	9	3	3	3	1	3	1	3	3	1	1	3	0
Razvoj partnerskih odnosa, dugoročna saradnja	9	3	9	9	9	9	9	9	3	1	1	3	1

Nastavak tabele 3

Potrebe i očekivanja	Značaj	Kvalitet dokumentacije - (tačnost popunjene polise)	Konzistentnost - (jedinstven pristup prema klijentima sa aspekta ponude/isplate šteta)	Pouzdanost - (sigurnost klijenta u preuzimača)	Ljubaznost	Kvalitet - (pravičnost) isplaćenih šteta	Povjerljivost	Potpunost - (cjelovitost usluge)	Brend Društva - (veličina, kapital, tradicija)	Dostupnost - (da li su preuzimači-menadžeri osiguranja u svakom trenutku dostupni)	Tačnost - (poštivanje rokova, javljanje na vrijeme osiguraniku o isteku osiguranja)	Stručna osposobljenost radnika	Dizajn izlazne dokumentacije (polise, ponude)
Zadovoljstvo finansijskim rezultatima	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Zadovoljstvo stručnom pomoći	7	3	1	1	0	3	0	3	1	1	1	1	1
Redovnost narudžbi	8	0	3	3	0	1	0	9	3	3	0	0	1
Veće plate	8	3	1	3	1	1	1	3	3	0	1	3	0
Bolji uslovi rada	9	3	1	1	0	3	0	1	1	1	1	1	3
Napredovanje u poslu	8	3	1	3	1	3	1	1	3	0	0	3	0
Stimulacije	9	3	1	3	0	1	1	1	1	1	1	3	0
Zadovoljstvo u radu	9	0	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	0
Veće plate	9	3	1	1	0	1	1	3	3	0	1	3	0
Zaštita okoline	6	0	1	0	0	0	0	3	1	0	1	1	0
Primjena zakonskih propisa	7	3	3	1	0	1	3	1	1	1	0	3	0
Zapošljavanje	10	1	1	1	0	1	1	1	3	1	0	0	0
Integritet pojedinca	8	1	1	1	1	1	0	1	1	3	0	1	0
Sigurnost svih u društvu	8	3	3	1	0	1	1	3	3	1	0	0	0
<b>APSOLOTNI ZNAČAJ</b>		<b>737</b>	<b>810</b>	<b>717</b>	<b>432</b>	<b>945</b>	<b>321</b>	<b>935</b>	<b>618</b>	<b>341</b>	<b>274</b>	<b>719</b>	<b>269</b>
Zadovoljstvo finansijskim rezultatima	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Zadovoljstvo stručnom pomoći	7	3	1	1	0	3	0	3	1	1	1	1	1
<b>RELATIVNI ZNAČAJ [%]</b>		<b>10,35</b>	<b>11,38</b>	<b>10,07</b>	<b>6,07</b>	<b>13,28</b>	<b>4,51</b>	<b>13,14</b>	<b>8,68</b>	<b>4,79</b>	<b>3,85</b>	<b>10,10</b>	<b>3,78</b>

Na ovaj način došlo se do sedam (7) najbitnijih karakteristika usluga (tabela 4) koje su poredane po prioritetu stručnog tima koji je bio uključen u utvrđivanje međuzavisnosti primjenom „QFD” metode za koje treba vršiti benčmarking, da bi se izvršio reinžinjerinng istih, radi podizanja njihovog kvaliteta minimalno na nivo konkurenata.

Tabela 4. Bitne karakteristike usluga

Red.br	Bitne karakteristike usluga
1	Kvalitet - (pravičnost) isplaćenih šteta
2	Potpunost - (cjelovitost usluge)
3	Konzistentnost - (jedinistven pristup prema klijentima sa aspekta ponude/isplate šteta)
4	Kvalitet dokumentacije - (tačnost popunjene polise)
5	Stručna osposobljenost radnika
6	Pouzdanost - (sigurnost klijenta u preuzimača)
7	Brend Društva - (veličina, kapital, tradicija)

#### 4. ZAKLJUČAK

Istraživanja vršena u okviru ovog rada imala su za cilj da pokažu da se razvojem metodologije za identifikaciju bitnih karakteristika usluga uz primjenu alata kvaliteta, mogu izabrati karakteristike usluga koje će na najbolji mogući način zadovoljiti potrebe i očekivanja sadašnjih i budućih korisnika usluga. Na taj način povećava se uočena upotrebna vrijednost usluge od strane korisnika usluga, a posljedično tome povećava se tržišno učešće i kvalitet poslovanja preduzeća.

Iz naprijed rečenog mogu se izvući sljedeći zaključci:

1. Moguće je razviti model za identifikaciju bitnih karakteristka kvaliteta usluga,
2. Razvojem modela moguće je pravilno usmjeriti proces identifikovanja i preispitivanja bitnih karakteristika usluga u cilju njihovog poboljšanja,
3. Primjena razvojenog modela u realnom sistemu je pokazala da identifikacija bitnih karakteristka kvaliteta usluga zahtijeva timski prilaz i
4. Bitne karakteristke kvaliteta usluga treba permanentno preispitivati, jer to rade i najbolji u klasi, da bi podigli uočenu vrijednost usluga.

#### LITERATURA

- [1] Simeunovic N. (2012): Istraživanje uslova za primenu metoda i tehnika operacionog menadžmenta u uslužnim sistemima, Doktorska disertacija, FTN, NoviSad
- [2] Bouman K. (2003): Strategija u praksi, IK Prometej, Novi Sad.
- [3] Heleta, M.(2008): Menadžmet Kvaliteta, Univerzitet Singidunum, Beograd.
- [4] Bobrek, M.(2000): QMS Design: projektovanje sistema menadžmenta kvalitetom, Mašinski fakultet - Industrijsko inženjerstvo, Banja Luka.
- [5] Čudić S.(2013): Model poboljšanja bitnih karakteristika usluga primjenom alata kvaliteta, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Istočno Sarajevo.
- [6] Heleta, M.(2008): Menadžmet Kvaliteta, Univerzitet Singidunum, Beograd.

- [7] Sorak, M.(2005): Menadžment poslovnim funkcijama prema ISO 9000:2000, Banja Luka, Tehnološki fakultet.
- [8] Vulanović V. i drugi(2001): Sistem kvaliteta, ISO 9000:2000, FTN- IIS, Novi Sad.
- [9] Todorović Z.(2009): Upravljanje kvalitetom, Ekonomski fakultet, Banja Luka.



## **SLEDEĆA VERZIJA STANDARDA ISO 9001:2015 - REFLEKSIJE NA QMS VAZDUHOPLOVNE KOMPANIJE**

**Biljana Marković<sup>1</sup>**

*Rezime: Ovaj rad opisuje važnost izmjena koje treba da budu uvrštene u sistem upravljanja kvalitetom (QMS) kroz sledeće izdanje standarda ISO 9001(2015), u odnosu na ISO 9001:2008 i refleksije ovih izmjena na održivost QMS-a kompanije za proizvodnju, remont i održavanje u vazduhoplovnoj indsutriji. Takođe, ovaj rad ima za cilj pojašnjenje izmjena sutrukture standarda, novih principa u upravljanju kvalitetom, sa posebnim osvrtom na Annex SL, dokument koji opisuje zajedničke zahtjeve za sve sisteme upravljanja. Zahtjevi vazduhoplovnog standarda EN 9100:2009 i zahtjevi novog izdanja standarda ISO 9001 su komparirani u ovom radu sa aspekta mogućnosti zadovoljavanja i preporukama koje su primjenjive na kompanije koje usaglašavaju zahtjeve QMS-a sa validnim izdanjem standarda EN 9100:2009.*

*Ključne riječi: novo izdanje ISO 9001, zahtjevi, izmjene, vazduhoplovstvo, standard EN 9100*

## **THE NEXT VERSION OF ISO 9001:2015 - REFLECTION ON QMS OF AN AEROSPACE COMPANY**

*Abstract: This paper describes the importance of the changes which have been introduced to QMS (quality management system) by the next issue of the standard ISO 9001(2015), with respect to ISO 9001:2008 and the reflection of these changes on the sustainability of QMS in a company for production, overhaul and service in the aerospace industry. Also, this paper clarifies the changes in the standard structure, the new principles in quality management, with a specific view on Annex SL, a document which describes common requirements for all management systems. The requirements of the aerospace standard EN 9100:2009 and requirements of the next issue of the standard ISO 9001 have been compared in this paper from the aspect of possibilities for meeting requirements, and the recommendations applicable to the companies which have been conforming their QMS with the valid issues of aerospace standards are given as well.*

*Key words: next issue of ISO 9001, requirements, changes, aerospace industry, standard EN 9100*

---

<sup>1</sup> Dr Biljana Marković, vanredni profesor., Bijeljina, Mašinski fakultet, Univerzitet Istočno Sarajevo, biljamarkovic@yahoo.com

## 1. UVODNE NAPOMENE - ANEX SL

Aneks SL (ranije ISO Guide 83) koji je objavljen u aprilu 2012. god., u okviru objedinjenog ISO dodatka ISP/IEC direktivama (Consolidated ISO Supplement of the ISO/IEC Directives) imaće značajan uticaj na sve standarde za sisteme menadžmenta, a samim tim i na komisije za izradu standarda, korisnike i provjerevače.

Ovaj Aneks definiše okvir za generički sistem menadžmenta, tako da će svi novi standardi iz ove oblasti morati da se pridržavaju okvira, a postojeći da pređu na ovakav okvir, pri prvoj sledećoj reviziji. U budućnosti, svi standardi za sisteme menadžmenta moraju biti dosljedni i kompatibilni, imati isti izgled i strukturu, što će spriječiti pojavu sukoba, dupliranja, nedoumica, nerazumijevanja pri primjeni u različitim oblastima. Osim toga, ovaj generički sistem upravljanja omogućava izradu potpuno funkcionalnih sistema QMSa, u okvirima upravljanja životnom sredinom, zdravljem, bezbjednošću na radu, bezbjednošću informacija, energije itd. Pri tome, treba napomenuti da sistem upravljanja (menadžmenta) predstavlja set međusobno povezanih elemenata organizacije, u cilju definisanja (postavljanja) politike i ciljeva organizacije, kao i procesa za postizanje tih ciljeva.

Mnoge organizacije su primjenile i sertifikovale svoj QMS prema zahtjevima različitih standarda (ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001, ISO/IEC 27001...), tako da oni često funkcionišu kao nezavisni sistemi. Međutim, potreba za njihovom integracijom se pojavila tokom vremena, jer svi nabrojani standardi imaju zajedničke zahtjeve, termine i definicije ili su neznatno drugačiji, što izaziva zabunu i neadekvatnu primjenu. Sadržaj Aneksa SL čini 8 dijelova i 4 priloga. Naslovi 8 dijelova su:

1. Opšte odredbe
2. Obaveza izrade studije opravdanosti
3. Slučajevi kada se ne radi studija opravdanosti
4. Primjenjivost Aneksa SL
5. Termini i definicije
6. Opšti principi
7. Proces i kriterijumi studije opravdanosti
8. Smjernice za proces razvoja i sa strukturu standarda sistema menadžmenta.

Prilozi Aneksa SL su obavezni, a njihovi naslovi u:

Prilog 1. Pitanja za kriterijume opravdanosti;

Prilog 2. Struktura visokog nivoa, identičan osnovni tekst i zajednički pojmovi i osnovne definicije za korišćenje u standardima sistema menadžmenta;

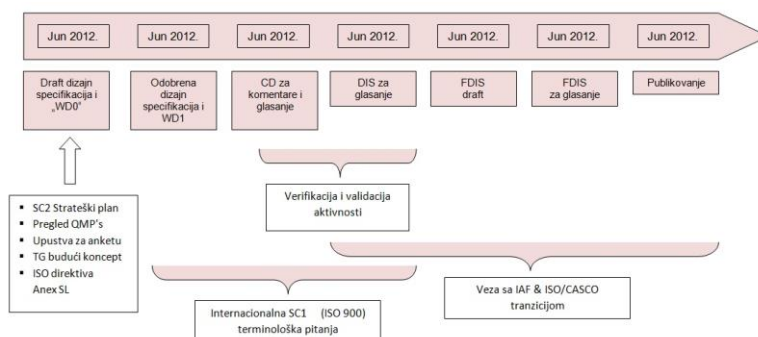
Prilog 3. Struktura visokog nivoa, identičan osnovni tekst i zajednički pojmovi i osnovne definicije;

Prilog 4. Smjernice za strukturu visokog nivoa, identičan osnovni tekst i zajedničke pojmove i osnovne definicije;

Sve ove smjernice će pomoći u budućnosti onim organizacijama koje uvode integrisane menadžment sisteme, kao i onima koje već posjeduju sertifikate za QMS, da formiraju zajednički izgled i strukturu elemenata, izbjegnju nepotrebno dupliranje elemenata, odnosno da integrišu zajedničke (slične ili iste) elemente ili zahtjeve iz različitih standarda, kao i da modifikuju one zahtjeve koji treba da budu različiti ili dodaju nove (kao podnaslove), kako bi bili u funkciji datog standarda.

Slika 1. prikazuje tranzicioni period za uvođenje sledeće verzije standarda ISO 9001: 2015, od definisanja radne verzije standarda (draft verzija), pa do publikovanja standarda, nakon svih usaglašavanja, što se planira za septembar 2015. god. Moguće je da tokom usaglašavanja dođe do određenih promjena u primjenu, ukoliko sve zainteresovane strane ne budu dale saglasnost na pojedine predložene izmjene zahtjeva ili ne budu riješene postojeće dileme.





Slika 1. *Mogući pregled prelaska na ISO 9001:2015 [1]*

## 2. PRIKAZ I TUMAČENJE NACRTA STANDARDA ISO/CD 9001:2015

Peto izdanje standarda ISO9100:2015 ukida i zamjenjuje četvrto izdanje (ISO 9001:2008), koje prihvata sve principe i sadržaj objašenjen u sadržaju Aneks SL i ISO direktivama, preformulacijom dijelova koji su tako postali više generički i primjenjivi u različitim djelatnostima, gdje se umjesto termina “proizvod” koristi termin “dobra i usluge”.

Period prelaska sa verzije ISO 9001:2008 bi trebao da traje 3 godine, a tempo prelaska je prikazan na slici 1.

### 2.1 Osnovna struktura/sadržaj ISO/CD 9001:2015

U skladu sa zahtjevima dokumenta Aneks SL, nacrt novog izdanja standarda ima 10 dijelova, i to kako slijedi:

1. Sadržaj
2. Normativne reference
3. Termini i definicije
4. Kontekst organizacije
5. Liderstvo
6. Planiranje
7. Podrška
8. Funkcionisanje
9. Vrednovanje učinka
10. Poboljšavanje

### 2.2 Osnovne razlike između izdanja ISO 9001:2008 i ISO 9001:2015

Revidirani principi menadžmenta kvalitetom podrazumijevaju izmjenu sadašnjih principa menadžmenta, kojih ima 8:

1. Usmjeravanje na korisnika
2. Liderstvo
3. Uključivanje osoblja
4. Procesni pristup
5. Sistemski pristup menadžmentu
6. Stalno poboljšavanje
7. Odlučivanje na osnovu činjenica
8. Uzajamno korisni odnosi sa isporučiocima,

na novih (revidiranih) 7, kako slijedi:

1. Usmjerenje na korisnika - razumijevanje sadašnjih i budućih potreba korisnika i ostalih zainteresovanih strana doprinosi održivom uspjehu organizacije;
2. Liderstvo - stvaranje jedinstvene svrhe, vođenja i angažovanja i omogućava organizaciji da uskladi svoje strategije, politike, procese i resurse, radi postizanja ciljeva. Najviše rukovodstvo organizacije se obavezuje da pokaže liderstvo i posvećenost u sistemu menadžmenta kvalitetom i potrebama i očekivanjima zainteresovanih strana.  
Svako ko se ozbiljno bavi QMS- om, može za ovaj zahtjev reći - konačno, uzimajući u obzir da je većina organizacija QMS potiskivala u drugi plan, dok se sada zahtjeva preuzimanje odgovornosti za ovu vrstu pitanja, koja su se, po pravilu, odnosila na sporedna pitanja organizacije.
3. Angažovanje osoblja - efikasno i efektivno rukovođenje podrazumijeva uključivanje osoblja na svim nivoima i poštovanje pojedinaca. Ciljeve organizacije je moguće postići unapređivanjem vještina i znanja svih zaposlenih, kao i priznavanjem i ovlašćivanjem osoblja;
4. Procesni pristup - optimizacija učinka organizacije se postiže međusobno povezanim procesima, koji uključuju sve njihove resurse, upravljanje i uzajamne uticaje, kao i sekvence procesa;
5. Poboljšavanje - ima suštinski značaj za organizaciju, u cilju održavanja postojećeg učinka, ali, pre svega - reagovanja na promjene u internim i eksternim uslovima, radi stvaranja novih mogućnosti;
6. Odlučivanje na osnovu dokaza - je složen proces, koji uključuje određenu dozu neizvjesnoti, odnosno subjektivnosti pri tumačenju ulaznih zahtjeva. Zato je važno pravilno shvatanje uzroka, uticaja odnosa i potencijalnih posljedica, kako bi se sačuvala doza objektivnosti pri donošenju odluka (na osnovu analiza činjenica, dokaza i podataka);
7. Menadžment odnosima - podrazumijeva upravljanje odnosima sa svim zainteresovanim stranama, uključujući isporučiocce i mrežu partnera, radi postizanja održivog uspjeha i radi optimizacije uticaja na učinak svih strana.

### 2.3 Značajne izmjene

Uzevši u obzir sve prethodno, ovdje je bitno staviti akcenat na značajne izmjene, koje nisu samo "kozmetičke" prirode, nego izmjene u shvatanju i primjeni pojedinih korištenih termina i definicija:

- termin "proizvod" je zamjenjen terminom "dobra i usluge", kako bi se omogućilo da standard bude primjenjiv i na uslužnim djelatnostima, odnosno više generički.
- kontekst organizacije podrazumijeva utvrđivanje pitanja i zahtjeva koji utiču na planiranje QMS-a, te mogu da se koriste kao ulaz u razvoj QMS-a.
- procesni pristup je preciznije definisan, eksplicitniji su zahtjevi koji se smatraju neophodnim za usvajanje procesnog pristupa. Prije svega, misli se na imanovanje tzv. vlasnika procesa, imenovanje odgovornih osoba za procese i utvrđivanje indikatora performansi procesa, koje je potrebno pratiti i mjeriti, ne samo za procese realizacije, već i za ostale procese koji podržavaju procese realizacije.
- rizici i preventivne mjere - novo izdanje standarda nema posebne zahtjeve za preventivne mjere, jer sam sistem treba da djeluje kao preventivno sredstvo. Kada je rizik u pitanju, potrebno je da QMS organizacije postiže željene ciljeve, da su proizvodi i usluge usaglašani, da se spriječe neželjeni uticaji i da se ostvari poboljšanje procesa, proizvoda i usluga. Nakon procjene rizika,

organizacija je dužna da definiše i sprovodi mjere, kako bi se rizici doveli na prihvatljiv nivo.

- dokumentovane informacije - termini “zahtjev “ i “dokument” zamjenjeni su terminom “dokumentovane informacije”. Ovdje je zanimljivo napomenuti da se broj zahtjevanih dokumentovanih informacija u značajnoj mjeri smanjuje, poredeći zahtjeve verzije ISO 9001:2008 i ISO 9001:2015. Naime, obavezna dokumenta organizacije, kao što su: poslovnik (1), procedure (6) i zapisi (23), svode se na dokumentovane informacije (18).
- upravljanje nabavkom dobara i usluga - se odnosi na sve oblike nabavke - uključujući isporučioce, posredničke organizacije, autsorse ili bilo koji drugi izvor.

## **2.4 Uloga predstavnika rukovodstva**

Uloga predstavnika rukovodstva je tokom izmjena zahtjeva standarda serije ISO 9000 evaluirala i dobijala na značaju. Ta uloga se na početku zasnivala na upravljanju procedurama, u prvoj verziji standarda, preko upravljanja procesima, do upravljanja rezultatima, što predstavlja danas.

Izmjene standarda će, takođe, obuhvatiti i globalne i tehnološke promjene na tržištu, prije svega u sledećim oblastima:

1. Standardi sistema menadžmenta u specifičnim sektorima;
2. Poboljšavanje i promjene u tehnologiji, menadžment lancem snadbijevanja i globalizacija.

Specifični sektori i njihovi standardi su zasnovani na ISO 9001, ali obuhvataju dodatne, specifične zahtjeve, koji se odnose na datu oblast djelatnosti (napr. EN/ASA 9100), vazduhoplovstvo) i koji su jedinstveni za određenu industriju.

Zato su organizacije suočene za izazovom da ispune obavaze prema korisnicima, a da istovremeno efektivno i efikasno razvijaju QMS, koji obuhvata više specifičnih standarda. Pri tome, mora se uzeti u obzir planiranje na bazi procjene rizike, što predstavlja dodatni element revidiranog izdanja standarda ISO 9001:2015, pa se očekuje da se u budućnosti koristi šira strategija planiranja, koja obuhvata razmišljanje na bazi rizika.

Zato i predstavnik rukovodstva za QMS mora proširiti svoja znanja i kompetencije u pogledu procjene rizika poslovanja i upravljanje neizvjesnostima u vezi sa ciljevima, koji će uticati na zahtjeve korisnika i njihovo zadovoljstvo. To znači da predstavnik rukovodstva mora biti osposobljen da upravlja nastalim problemima koji su prisutni u svakoj djelatnosti, kao i da bude fokusiran na dešavanja na globalnom planu, koja su napr. u vezi sa zaštitom životne sredine ili društvenom odgovornosti, što ponekad prevazilazi kvalitet isključivo važan za korisnika i najviše rukovodstvo.

Očigledno je da se u stalnom razvoju zahtjeva standarda ISO 9001 ide od upravljanja rezultatima, do upravljanja rizicima i lanca vrijednosti.

Ovdje je zanimljivo napomenuti koliko se tek u budućem, revidiranom izdanju standarda ISO 9001:2015 poklanja pažnje identifikaciji rizika, procjeni, evaluiranju rizika i preduzimanju mjera za umanjene rizika, u odnosu na specifični standard EN(AS) 9100:2009, koji se procjenom rizika bavi već u prethodnom izdanju. Ovo dovoljno govori o zahtjevima za obezbjeđenje sistema kvaliteta u vazduhoplovnoj industriji, kao najstrožijim zahtjevima u mašinskoj industriji uopšte.

## **3. UPRAVLJANJE RIZIKOM U SKLADU SA ZAHTJEVIMA EN(AS) 9100:2009**

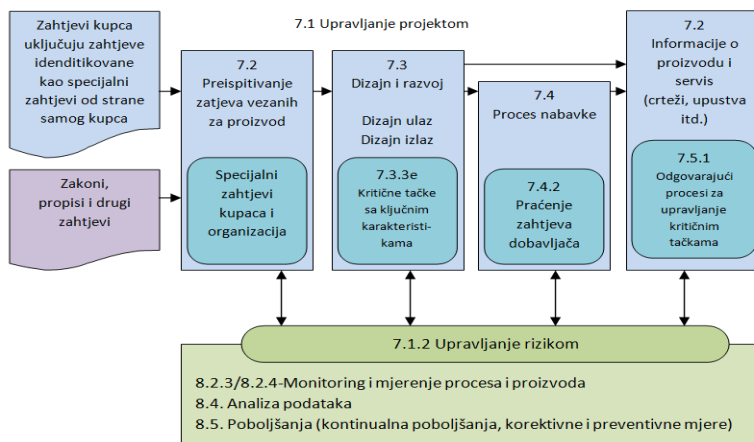
Formulacija upravljanja rizikom u EN(AS) 9100:2009 definiše korake,

sekvence i interakcije organizacionih potreba koje trebaju biti sprovedene, kako bi se rizikom propisno rukovalo. Ovaj proces koji se odnosi na rizik može biti primjenjen na različite načine, zavisno od pristupa poslu i integrisan u ključne tačke procesa realizacije proizvoda u datoj organizaciji. EN(AS) 9100 ne obavezuje na propisan način kako upravljanje rizikom treba biti sprovedeno, mora biti uspostavljen samo siguran aspekt, primjenjen i održavan na odgovarajući način, u skladu sa tačkom 7.1.2. standarda. Identifikacija, nadzor, mjerenje i analiza specijalnih zahtjeva i kritičnih tačaka su uključeni u proces upravljanja rizikom [5] .

Upravljanje rizikom je jedan od dodatnih koncepata koji su uvedeni u revidiranu verziju EN (AS) 9100:2009. Koncept može biti primjenjen unutar QMS-a, kroz preispitivanje od strane rukovodstva, kada se procjenjuju zahtjevi za resursima, kada se planiraju i provode interne provjere. Novi EN(AS) 9100 zahtjev vezan za upravljanje rizikom generiše veći interes unutra i van zajednice korisnika AS&D.

Namjera standarda je bila da uvede koncept upravljanje rizikom u poglavlje 7, planiranja realizacije proizvoda. Autori standarda su postavili ovaj dodatni zahtjev u tačku 7.1.2, zato što je upravljanje rizikom, kao i planiranje, jedan iterativni proces koji se dešava kroz realizaciju proizvoda i životni ciklus proizvoda. Koncept upravljanja rizikom tokom realizacije proizvoda može biti kategorisan putem rizika koji su spojeni sa zahtjevima standarda za realizacijom proizvoda i rizikom proizvoda.

Veze između specijalnih zahtjeva, kritičnih tačaka, ključnih karakteristika i zahtjeva za upravljanje rizikom klauzule AS9100



Slika 2. Veze između specijalnih zahtjeva, kritičnih tačaka, ključnih karakteristika i zahtjeva za upravljanje rizikom [1]

Upravljanje rizikom nije potpuno nov zahtev u okviru EN(AS) 9100, zato što tačka 7.2.2.d) već zahtjeva vrednovanje rizika tokom preispitivanja zahtjeva vezanih za proizvod. Uključivanje tačke 7.1.2. u standard je sledeći logičan korak u proširivanju razmišljanja o upravljanju rizikom, tokom cijele realizacije proizvoda, u poglavlju 7.

Razmatranje rizika je direktno prozvano u sledećim tačkama AS (EN) 9100:2009:

- 7.1.1.- upravljanje projektom,
- 7.1.2. - upravljanje rizikom,
- 7.2.2. - preispitivanje zahtjeva vezanih za proizvod,
- 7.4.1. - proces nabavke.

Rizici proizvoda su primjenjivi preko realizacije proizvoda, sa uvođenjem

koncepta specijalnih zahteva i kritičnih tačaka. Specijalni zahtevi su oni koji su određeni od strane korisnika ili organizacije, a za koje postoji rizik da ne budu postignuti. Faktori koji se mogu uključiti su: kompleksnost proizvoda ili procesa, prethodno iskustvo ili zrelost procesa.

Primjeri specijalnih zahtjeva uključuju zahtjeve za performansama, nametnutim od strane korisnika, ograničeni industrijskim mogućnostima ili zahtjevi definisani od strane organizacije, ograničeni njihovim tehničkim ili procesnim mogućnostima. Procjena ovih zahtjeva je povezana sa definicijom iz tačke 7.2. gde se definišu i preispituju zahtjevi vezani za proizvod.

Specijalni zahtjevi se presipituju i, ako je potrebno, prevode u kritične tačke, uključujući ključne karakteristike, tokom procesa konstruisanja i razvoja, definisanih u tački 7.3. Kritične tačke su tačke koje imaju značajan efekat na realizaciju i upotrebu proizvoda. Ovo uključuje sigurnost, performanse, oblik, postavljanje, funkciju, produktivnost i radni vijek. Kritične tačke zahtjevaju specifične aktivnosti koje treba da osiguraju njihovo adekvatno upravljanje. Ovo nije nov koncept u AS&D industriji, gde postoje iskustva u ovoj oblasti, kao što su kritične tačke sa stanovišta sigurnosti, stanovišta loma i ključne karakteristike. Ove kritične tačke se identifikuju i upravljaju kroz ugovaranje i proizvodne aktivnosti unutar firme, a zahtjevi se dodaju na narudžbe, zahtjevajući od isporučioaca da ugradi dodatno upravljanje (kontrolu), uključujući upravljanje varijacijama (kao što je definisano u EN(AS) 9103), kada je primjenjivo.

Podisporučioci rijetko kreiraju specijalne zahtjeve ili kritične tačke. Oni obično dobijaju zahtjeve za kritičnim tačkama od korisnika, putem informacija za nabavku.

Dakle, upravljanje rizicima nije obavezan zahtjev za formalnim upravljanjem rizicima, prema ISO 9001:2015 (niti 9001:2008), ali se podrazumijeva pristup zasnovan na rizicima, što je mnogo preciznije opisano (zahtjevano) u EN(AS) 9100:2009 i primjenjivo na kompanije u oblasti vazduhoplovstva.

#### **4. OSNOVNE DILEME U ISO/ CD 9001:2015**

Iako i starije verzije standarda ISO 9001 dozvoljavaju izostavljanje nekog od zahtjeva koji nije primjenjiv za datu organizaciju, u nacrtu standarda ISO/CD 9001:2015 predložen je drugačiji pristup, koji omogućava primjenu svih zahtjeva standarda, bez potrebe za izostavljenjem, što znači da takva odredba postaje suvišna. Međutim, i sam komitet ISO/TC 176/SC2 ima dileme u vezi ovoga, pa je predlog dat na glasanje.

Postoji dilema i oko zamjene termina "proizvod" sa terminom "dobra i usluge", koji je takođe dat na glasanje. Predlog zamjene termina bi, prema očekivanjima, trebao da omogući širinu pristupa standarda, koji treba da bude generički i primjenjiv za sve vrste organizacija, uključujući i one koje se bave isključivo pružanjem usluga.

Treća dilema postavlja pitanje korištenja termina "poboljšanje" i "stalno poboljšanje", o čemu će biti donešena odluka nakon glasanja nadležnog tehničkog komiteta.

#### **5. ZAKLJUČAK**

Ono što se može izvući kao zaključak analizom predloženih izmjena nove verzije standarda ISO 9001:2015, kao i mogućih dilema u preformulaciji i korištenju novih termina, kao zahtjeva za QMS kompanija, je sledeće:

- U stalnom razvoju zahtjeva standarda ISO 9001 se ide od upravljanja rezultatima, do upravljanja rizicima i lanca vrijednosti.
- Glavne izmjene se odnose ne:

- modernu praksu biznisa, radnu sredinu, u odnosu na posljednje bitne izmjene,
- obezbjeđenje i jače naglašavanje potreba za usaglašavanjem proizvoda,
- pojednostavljenje termina,
- poboljšanje kompatibilnosti sa drugim međunarodnim standardima upravljanja;
- Validacija projekata će biti sprovedena od strane korisnika.
- Uloga predstavnika rukovodstva je preciznije definisana.
- Postoje određene dileme vezane za predložene izmjene, koje će se rješavati tokom usaglašavanja;
- Potrebno je sarađivati sa svim zainteresovanim stranama, u cilju što bolje, fleksibilnije i efikasnije primjene zahtjeva standarda na različite sisteme upravljanja, uključujući upravljanje kvalitetom.
- Iako rizici moraju da se identifikuju i da se u vezi sa njima djeluje, ne postoji zahtjev za formalno upravljanje rizicima, prema standardu ISO 9001:2015, ali postoji prema standardu EN 9100:2009. Organizacija ja obavezna da usvoji pristup zasnovan na rizicima prilikom utvrđivanja vrste i obima kontrola za isporučiće i sve nabavke dobara i usluga (rizici pri ugovaranju).
- Procesani pristup u upravljanju sistemima, kroz zadovoljavanje zahtjeva standarda, treba da omogući preventivno djelovanje, bez posebnih preventivnih mjera, što omogućava smanjenje propisanih zahtjeva, te zamjenjivanje zahtjevima koji se zasnivaju na učincima.

## NOMENKLATURA

QMS - quality management system - sistem menadžmenta kvalitetom

AS&D - aviation, space and defense - vazduhoplovstvo, svemirska tehnika i odbrana

TC 176/SC2 - tehnički komitet odgovoran za ISO 9001 i ISO 9004

SC 1 - tehnički komitet odgovoran za osnove i riječnik (ISO 9000)

QMP - Quality Management Principles - principi menadžmenta kvalitetom

TG - Task Group - ciljna grupa

CD - Committee Draft - radna verzija standarda

DIS, FDIS - Draft international standard, (final), konačni međunarodni standard

IAF - International Accreditation forum, Međunarodni akreditacioni forum

CASCO - Committee on Conformity Assessment, Komitet za procjenu usaglašenosti

## LITERATURA

- [1] Nigel H. Croft, Chairman ISO/TC176/SC2- Quality Systems, *The next version of ISO 9001 – What to expect, 2012.*
- [2] Nikola, V., *Upoznavanje zaposlenih sa nacrtom standarda ISO/CD 9001: 2015, Upoznavanje najvišeg rukovodstva sa ISO/CD 9001:2015*, april 2014., Bijeljina, materijal za obuku.
- [3] Nikola, V., *Primena međunarodnih standarda za sisteme menadžmenta u organizacijama i ustanovama sa modelima dokumenata*, Q - Expert consulting, Beograd, 2013.
- [4] Marković, B., *Primena zahteva međunarodnog standarda EN 9100:2009 u vazduhoplovnoj industriji*, Međunarodna konferencija Cometa 2012, Jahorina 28<sup>th</sup> – 30<sup>th</sup> Novembar 2012, Republika Srpska, 549-556.
- [5] Milovanov B., *20 ključnih izmjena u standardu ISO CD 9001:2015*, XV naučno stručni skup "Sistem kvaliteta - uslov za uspješno poslovanje i konkurentnost", Kruševac, 28.-30.11. 2013.



## KOMPARATIVNI ODNOS ZAHTJEVA BOLONJSKOG PROCESA I ISO 9001:2008 MODELA U POGLEDU OSIGURANJA I UPRAVLJANJA KVALITETOM

Slaviša Moljević<sup>1</sup>, Ranka Gojković<sup>2</sup>, Božo Vukoja<sup>3</sup>, Dalibor Musa<sup>4</sup>

*Rezime: Izbor i uspostavljanje modela upravljanja kvalitetom na Univerzitetima prema ISO 9001:2008 u treba da bude u saglasnosti sa odredbama Bolonjskog procesa u segmentu osiguranja i upravljanja kvalitetom. Uporedna analiza pojedinih elemenata koji su predmet odredbi Bolonjskog procesa i zahtjeva standarda ISO 9001:2008 ukazuje na visok stepen sličnosti ili čak njihove potpune podudarnosti. Moderni koncept upravljanja kvalitetom podrazumijeva izgradnju i implementaciju unutarnjeg sistema organizacije, odnosno sistema upravljanja kvalitetom (QMS). To podrazumijeva uređenje poslovnog sistema koji kvalitet tretira kroz sve aspekte poslovanja i kojim se organizacija usmjerava ka zahtjevima svojih korisnika. Upravljanje kvalitetom je skup aktivnosti funkcije upravljanja u visokom obrazovanju koji određuje politiku kvalitete, ciljeve i odgovornosti, te ih u okviru sistema kvaliteta ostvaruje uz pomoć planiranja, kontrole, osiguranja i poboljšanja QMS-a.*

*Ključne riječi: kvaliteta, standard, akreditacija, Univerzitet, bolonjski proces*

### **COMPARATIVE RELATIONS REQUIRES THE BOLOGNA PROCESS AND 9001: 2008 MODEL IN RESPECT OF INSURANCE AND QUALITY MANAGEMENT**

*Abstract: The selection and establishment of quality management models at the University of Nis in accordance with ISO 9001: 2008 shall be in accordance with the provisions of the Bologna process in the area of quality assurance and management. Comparative analysis of some elements that are subject to the provisions of the Bologna process and the requirements of ISO 9001: 2008 indicates a high degree of similarity or even their complete coincidence. The modern concept of quality management involves the construction and implementation of the internal system of organization, and quality management systems (QMS). This implies creating a business system that treats quality throughout all aspects of the business and in which the organization is directed towards the demands of its users. Quality management is a system management functions in higher education that determines the quality policy,*

<sup>1</sup> doc. dr Slaviša Moljević, Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Mašinski fakultet, slavisavgd@gmail.com

<sup>2</sup> Msc Ranka Gojković, Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Mašinski fakultet, rankagojkovic@gmail.com

<sup>3</sup> doc. dr. sc Božo Vukoja, Univerzitet u Bihaću, Ekonomski fakultet, bozo.vukoja@tel.net.ba

<sup>4</sup> mr. sc Dalibor Musa, Pravni fakultet u Mostaru, dalibormusa3@gmail.com

*objectives and responsibilities, and are within the quality system is realized with the help of planning, control, assurance and improvement of QMS.*

*Key words: quality, standards, accreditation, University, Bologna process*

## **1. UVOD**

Poznata je činjenica da je radu većine visokoškolskih institucija u BiH kao i u zemljama u okruženju malo računano vođeno o korisnicima njihovih usluga. U kreiranju šire lepeze visokoobrazovnih usluga one su se rukovodile isključivo vlastitim shvatanjem kvaliteta, a često su samostalno vršile i tumačenje potreba korisnika, dok o njihovim željama nisu ni razmišljale. Ovakvim ignorantskim odnosom i zanemarivanjem zahtjeva korisnika stvaran je nepovoljan ambijent za poboljšanje usluga visokog obrazovanja. Stoga se sa sigurnošću može zaključiti da je do pozitivnih promjena u radu visokoškolskih institucija u takvoj situaciji bilo nemoguće doći ili, ako su se povremeno i javljale, one bile potpuno pogrešne. Danas je očigledno da je ovakav pristup pružanju visokoškolskih usluga bio potpuno suprotan savremenoj teoriji upravljanja kvalitetom. Nadolazećim promjenama i praktičnim problemima u njihovom funkcioniranju visokoškolske institucije širom svijeta, pa tako i u BiH, odgovor na trendove i nadolazeće probleme potražile su u fokusiranju na kvalitetu. Post akreditacijske aktivnosti akreditiranih Visokoškolskih Ustanova ima dva ključna koraka:

- Izrada akcijskog plana na bazi preporuka eksperata
- Godišnji izvještaj o provođenju akcijskog plana se dostavlja Agenciji

Iniciranje programa izgradnje sistema kvaliteta prema nekom od postojećih modela pri čemu je svaka visokoškolska organizacija imala autonoman pristup razvoju i organizacije QA u svojoj instituciji. Kod nekih je to još uvijek u razvojnim projektnim fazama dok je kod drugih institucija to već izgrađen moderan procesni pristup sa bazama podataka, izgrađenim sustavima praćenja i poboljšanja, upravljanja i najposlije ispunjavanja strateških odrednica razvoja svake organizacije ponaosob.

## **2. DEMINGOVI PRIJEDLOZI KOD UVOĐENJA TQM U VISOKOM OBRAZOVANJU**

Implementacije koje predlažu autori, odnose se na 14 tačaka koje predlaže Deming kao okvir uvođenja sistema TQM.

Koliko god da su uopštene one nude modifikaciju za svaki konkretan slučaj visokobrazovne ustanove.

### **2.1 Postavljanje ciljeva**

Razviti formulaciju misije kao vašu individualnu svrhu ili cilj. Npr., formulacija misije za jedan univerzitet bi mogla biti "razviti znanja i vještine, gledišta i motivaciju naših studenata, tako da će oni postati odgovorni građani i biti sposobni da daju pozitivne doprinose društvu". Razvijanje formulacije misije nije trivijalni zadatak, to zahtijeva stvarno razumijevanje, upravo zašto organizacija postoji. Analiza koja je sugerisana ovdje treba da procjeni vrijednost koju je osigurao proces. Ako proces ili pozicija ne daje dodatnu vrijednost, tj. ne doprinosi misiji, to treba eliminisati.

### **2.2 Usvojite novu filozofiju**

Insistirajte na kvalitetu u svemu - instrukcija u učionici, usluga biblioteke, održavanje univerzitetskog zemljišta, čišćenje sobe za odmor, interakcija (uzajamno



djelovanje) sa zakonodavnim tijelom - sve. Da se dostigne ova kvalitet, mora biti uspostavljena atmosfera saradnje nasuprot takmičenju. Izbaciti gledište "nas protiv njih". Umjesto toga postaviti pitanje "šta mi možemo učiniti, fakultet i osoblje, da iskustvo učenja u ovoj učionici napravimo boljim"? "šta mi možemo učiniti, nastavnik i studenti, da se osigura svakom studentu najbolja prilika da nauči ovaj materijal"? Ovo je potpuno drugačiji pristup nego što je većina nas iskusila u školi kao studenti.

### **2.3 Zaustavite zavisnost od masovne inspekcije**

Fokusirajte se na proizvod ili proces usluge. Nemojte zavisiti od provjera, ispitivanja ili inspekcija da bi gradili kvalitet. Inspekcije će samo zadržati loše proizvode da ne stignu na tržište, ali postoje nagomilani veliki troškovi sa svakim lošim proizvodom. Analogija u edukaciji je, da student koji je pao na ispitu je škart koji mora biti ili ponovo tretiran (da ponovi kurs ili da dobije ekstra podučavanje) ili odbačen. Mi trebamo razviti proces u kojem ima manje testiranja, ali više fokusiranja na napredak u učenju. Npr. pitajte sebe zašto dajete poseban test. Ako je odgovor da ocijenite vaše studente, tada upitaj sebe da li trebate ovaj ekstra dio ocjenjivačke informacije. Postoji dokaz da mi testiramo daleko više nego što je to potrebno da ocijenimo naše studente

### **2.4 Završite praksu vođenjem poslova na samom trošku**

Najniža ponuda obično ne rezultira u najnižem trošku životnog ciklusa. U svim našim procesima mi treba da se fokusiramo na dugoročne troškove i koristi.

### **2.5 Stalno poboljšavati proces**

Jesu li vaši klijenti (studenti i njihovi budući poslodavci) zadovoljniji nego što su bili nekon posljednjeg semestra? Jesu li članovi fakulteta sretniji? Jesu li dobavljači univerziteta sretniji? Ako je odgovor na pitanje, ne, utvrdite zašto i uredite odmah situaciju. Ako je odgovor da, utvrdite što je bilo u procesu da je učinjeno tako. U svakom slučaju, analizirati proces da bi se odredilo koje promjene treba napraviti, da bi to bilo bolje. Povećano poboljšanja se moraju napraviti svakog semestra. Ovo je bitno, Kaizen filozofija - ohrabriti inovaciju, ali insistira na povećanim poboljšanjima, posebno poslije inovacije. Da se pomogne, odlučite gdje tražiti stvari koje treba poboljšati, koristite ocjene kursa, istupanje studenata o temeljnim problemima, kritike studenata, fakulteta i organizacijski pregled klime, sadržaj kutije sugestije, rezime žalbi itd.

### **2.6 Ustanoviti trening**

Svako treba da zna svoj posao. Izvjesno je, da je nastavničko osoblje dobro edukovano u svojim disciplinama, ali možda ne u vještini obučavanja. Razvojni programi fakulteta pomažu nastavnicima da znaju njihove poslove. Novac utrošen na trening nastavnčkog i ostalog osoblja ima dugoročan povrat.

### **2.7 Ustanovite rukovođenje**

Istaknuti (naglasiti) rukovođenje umjesto upravljanja. Svako na univerzitetu ima neku vrstu uloge rukovođenja. Svaka osoba u ulozi supervizora (uključujući nastavničko osoblje) treba pokušavati da bude trener i nastavnik, a ne sudija i nadgledač. Efikasni lideri će tragati za barijerama komunikaciji i produktivnosti, i ukloniti ih.

## **2.8 Istjerajte strah**

U akademskim okolnostima, strah često ima važnu ulogu u učinku studenata i nastavničkog osoblja. Za studente, bilo koji koraci koji mogu biti preduzeti da reduciraju strah uključen kod testiranja, će donijeti velike koristi u učinku studenata i njegovom gledištu. Dopushtanje popravnog ispita, poeni za ponovnu obradu promašenih problema na ispitu, i spuštanje najniže ocjene su primjeri malih stvari koje se mogu učiniti da se reducira strah studenata. Nastavnici moraju balansirati njihove uloge kao edukatori protiv ocjenjivača. Na strani nastavničkog osoblja, strah takođe igra važnu ulogu. Ako se mora platiti visoka cijena za neuspjeh, malo ljudi će biti spremno da rizikuje eksperimentisanje sa obećavajućom novom inovacijom, i tako zadržavajući proces poboljšanja izvan sistema. Ako bi jedan nastavnik želio pokušati jednu inovativnu tehniku učenja, napor bi trebao biti odobran, čak ako to bude i neuspjeh. Izvjesno je da će nešto vrijednosti ipak doći od eksperimenata. Istraživači moraju imati priliku i za promašaj, bez straha od degradacije ili nedostatka prilike za promociju. Strah je snažna emocija i može imati vrlo negativne efekte na učinak jedne organizacije.

## **2.9 Srušite barijere**

Ohrabrite saradnju, ne konkurenciju. Podstičite formiranje multi - funkcionalnih timova, da adresiraju probleme i poboljšanja procesa. Tim sastavljen od nastavničkog osoblja, osoblja fakulteta i studenata (možda iz više od jednog odjeljenja) će imati širu perspektivu u adresiranju problemu nego uže sastavljen komitet. Kada u registracionom procesu adresirate problem, adresirajte to sa jednim timom koji se sastoji od predstavnika svake uključene organizacije - fakultet, savjetnici, studenti, arhivar, kompjuterske usluge itd. Jedno rješenje koje je osmislila samo jedna organizacija će obično imati negativan utjecaj na neke druge organizacije. Uvođenje svakog u proces donošenja odluka će obično rezultirati boljim rješenjem, i izvjesno je da će se lakše prihvatiti.

## **2.10 Izbjeći opsjednutost sa ciljevima i parolama**

Upravo govoreći nekome da radi dobro je beznačajno bez sredstava da se dostigne taj cilj. Rukovodstvo mora poboljšati procese tako da ciljevi mogu biti dostignuti. Izjavljujući da je 80 % minimalno prihvatljiv rezultat na jednom ispitu, neće biti, samo po sebi da se dostigne taj cilje. Navodeći cilj, i onda osigurati odlično podučavanje, dogovoriti organizaciju studijskih tomova, dati dodatnu pomoć gdje je potrebna, itd., sve to će studentima dati mnogo bolju šansu za uspjeh.

## **2.11 Eliminišite brojčane kvote**

Često se kaže da su brojevi oslonac slabog nadgledanja. Na montažnoj traci lako je vidjeti ovaj princip; U akademskim okolnostima, to nije tako očigledno ali upravo je istinito. Ako ima uspostavljenih kvota za "x" broj papira na godinu ili "y" broj upisanih glavnih predmeta na Univerzitu, kvalitet će se smanjivati. Prioritet broj jedan treba biti kvalitet. Samo nakon što je proces dizajniran tako da je kvalitet osiguran, pitanja kvantiteta mogu biti nametnuta.

## **2.12 Uklonite barijere ponosu na rezultate rada**

Ponos je snažan motivator. U akademskim okolnostima ponos potiče od ličnih i grupnih dostignuća, ali ima takođe dobar dio ponosa u instituciji. Često ovaj institucijski ponos je rezultat preživljenog programa, ali to može takođe poticati od ostvarene uloge

u razvoju tog programa. Ako su studenti uključeni u neki proces donošenja odluka, oni će razviti snažan ponos svojine koji može imati značajan efekat na njihova gledišta. Jednostavan korak kao što je razgovor sa predstavnicima studenata u vezi njihovih interesa može promijeniti jedan antagonistički odnos fakultet/student, u kooperativan odnos. Koristeći neke od elemenata kooperativnog učenja takođe osposobljava studente da dijele sa fakultetom dio uloge u procesu obučavanja. Jedan sekretar, kojem je dozvoljen izbor kako da uradi svoj posao, i da ima svoj glas u nekim administrativnim odlukama koje djeluju na sekretarski rad, će biti mnogo produktivniji i sretan radnik.

### **2.13 Organizacija- široko učešće**

Svi u instituciji moraju biti uključeni u proces edukacije i biti svjesni i zainteresirani za njihove neposredne klijente. Laboratorijski tehničari, koji učestvuju na kursovima koji oni podržavaju, će imati mnogo bolju ideju kako njihov rad doprinosi misiji. Sekretari koji uče u vezi novih tehnika i tehnologija za korištenje u kancelariji, će mnogo vjerovatnije sugersati poboljšanja procesa kojem su oni izloženi. Profesori trebaju provjeriti sadržaj kurseva u drugim odjeljenjima, posebno onih kurseva koj su preduslov za njihove vlastite kurseve. Članovi nastavničkog osoblja koji uče o TQM-u, najvjerovatnije će odobriti koncept i sugersati nove načine da implementiraju TQM u njihove poslove.

### **2.14 Definišite odgovornosti rukovodstva sa ciljem da se realizuju**

Rukovodstvo, na svakom nivou, ali posebno na najvišem, mora preuzeti i pokazati ponos u usvajanju TQM filozofije. Smisao svake od 14 tačaka, vezano za misiju, mora biti jasan svim koji su involvirani. Ovo nije trivijalan proces, dobar dio vremena se mora utrošiti u analiziranju različitih procesa i diskusiji kako se ovih 14 tačaka dovodi u vezi sa tim procesima.

## **3. BOLONJSKI PROCES I STANDARDI ISO 9001:2008**

Kroz djelimičan osvrt na razvoj ideje o uspostavljanju jedinstvenog evropskog prostora visokog obrazovanja može se izvesti nekoliko ključnih odrednica značajnih za odabir modela i uspostavljanje sistema upravljanja kvalitetom u visokoškolskim instiucijama. Iste su sadržane u slijedećem:

- osiguranje i upravljanje kvalitetom je jedan od ključnih visokopozicioniranih ciljeva Bolonjskog procesa i uspostave EHEA,
- s ciljem osiguranja i upravljanja kvalitetom svaka institucija visokog obrazovanja, treba da definiše, uspostavi i dalje razvija vlastite, interne mehanizme i programe u tom cilju.

Drugim riječima svaka institucija treba da izgradi i primjeni vlastiti, unutrašnji sistem upravljanja kvalitetom čija će implementacija osigurati kvalitet visokoškolskih usluga i njegovo efikasno upravljanje. Uspostavljeni interni sistem upravljanja kvalitetom mora biti direktno povezan sa vanjskim, eksternim vrednovanjima i ocjenama od strane nezavisnih tijela i agencija.

Prethodno razmatranje pokazuje da je izbor i uspostava modela upravljanja kvalitetom na Univrzitetima prema ISO 9001:2008 u potpunoj saglasnosti sa odredbama Bolonjskog procesa u segmentu osiguranja i upravljanja kvalitetom. Usporedna analiza pojedinih elemenata koji su predmet odredbi Bolonjskog procesa i zahtjeva standarda ISO 9001:2008 ukazuje na visok stepen sličnosti ili čak njihove potpune podudarnosti.

Na slici 1 predstavljen je komparativni odnos i sličnost pojedinih odredbi i zahtjeva.

BOLONJSKI PROCES	STANDARD ISO 9001:2008
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uspostaviti EHEA i jasno definirati položaji i ulogu sveke visokoškolske ustanove unutar istoga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definirati viziju i misiju visokoškolske ustanove, kao i politiku kvaliteta</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Osigurati mobilnost studenata, nastavnog i administrativnog osoblja kroz kompetibilne nastavne planove i programe i jasno definiranje ulaza, izlaza i međusobnih veza unutar institucije i EHEA.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definirati ključne i druge vlastite procese, njihove ulaze, izlaze i međusobne veze unutar visokoškolske institucije i u odnosu na okolinu.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usuglasiti standarde i izlaze visokoškolskih institucija u cilju njihovog međusobnog priznavanja.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definirati ciljeve kvaliteta, planirati njihovo ostvarenje i iste kontinuirano preispitati.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Osigurati odgovarajuće resurse za realizaciju principe Bolonjskog procesa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Osigurati neophodne resurse za realizaciju definiranih ciljeva i procesa.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definirati i uspostaviti obaveze, odgovornosti i pravila ponašanja svih učesnika u visokoškolskom obrazovanju putem odgovarajućih nastavnih planova i programa i kreditnog (ECTS) sistema vrednovanja. Kao i odgovarajuće modele praćenja napretka studenata, nastavnog i administrativnog osoblja.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definirati i uspostaviti ovlaštenja, odgovornosti i pravila ponašanja svih učesnika unutar svakog identificiranog procesa putem odgovarajuće dokumentacije.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Osigurati jednake standarde, iako razumljive i usporedive diplome radi ostvarenja prohodnosti i ujednačenog kvaliteta visokoškolskih sistema.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uspostaviti sistem prikupljanja povratnih informacija iz procesa i od korisnika usluga kao i adekvatne metode mjerenja njihovog zadovoljstva u cilju kontinuiranog poboljšanja cjelokupne visokoškolske djelatnosti.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Osigurati i promovirati cjeloživotno učenje</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planirati i izvoditi kontinuirano osposobljavanje i dodatno obrazovanje sa dokazima o njihovom provođenju.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Akreditirati nastavne planove i programe i visokoškolske institucije</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Certificirati sistem upravljanja kvalitetom.</li> </ul>

Slika 1. Prikaz sličnosti značajnijih elemenata bolonjskog procesa i ISO 9001:2008 za visokoškolske ustanove

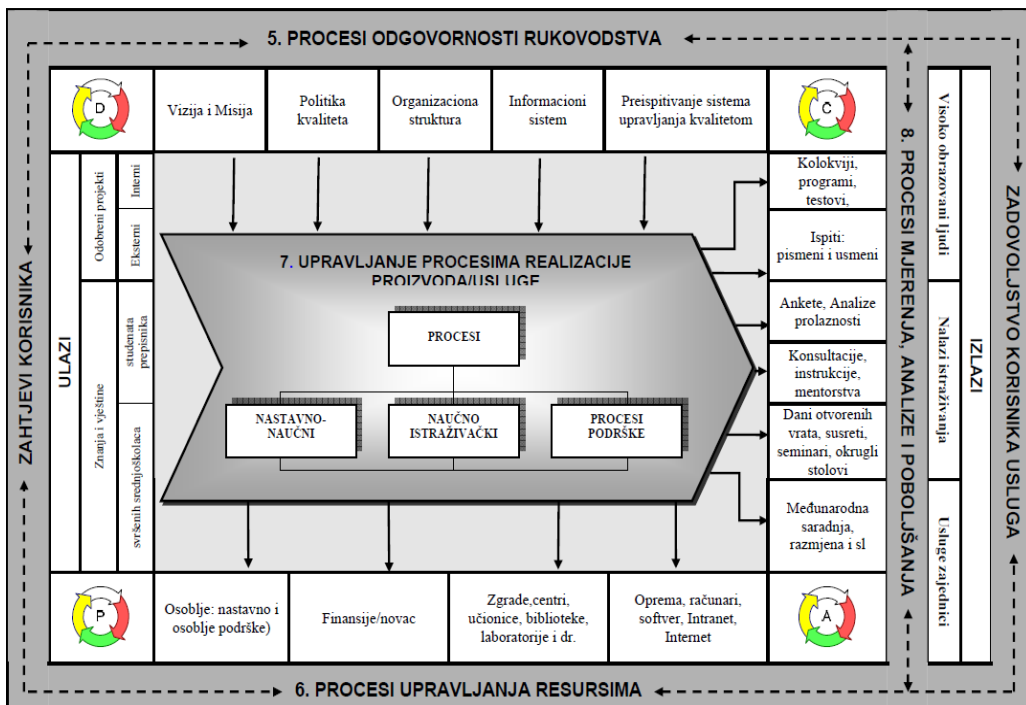
Navedeni komparativni prikaz sličnosti pojedinih elemenata Bolonjskog procesa i međunarodnog standarda ISO 9001:2008 ukazuje da oni u osnovi imaju isti krajnji cilj. Jednostavno rečeno, taj cilj je dostizanje visokog kvaliteta procesa rada na visokoškolskim institucijama kroz organizovan i sistematičan i standardizovani pristup. Stoga je odabrani model, kao poznata i priznata metodologija, ali i zbog niza drugih razloga, dobar izbor, pouzdana i efikasna metoda zadovoljenja zahtjeva korisnika i savremenih trendova u visokoškolskom obrazovanju.

Već je ranije naglašeno da je prvi, najznačajniji, ali i minimalni preduslov za uspostavljanje kulture kvaliteta na bilo kojoj visokoškolskoj instituciji, a time i Univerzitetu, izgradnja adekvatnog i efikasnog sistema upravljanja kvalitetom. Na taj način se strateški koraci i sve daljnje aktivnosti u uspostavljanju kulture kvaliteta podudaraju sa strateškim koracima u razvoju sistema osiguranja i upravljanja kvalitetom. Zbog toga se samom odlukom i implementacijom sistema upravljanja kvalitetom prema standardizovanom ISO 9001:2008 modelu definišu ključni koraci, odnosno faze njegove realizacije, a time i aktivnosti na podizanju kulture kvaliteta u univerzitetskom okruženju.

Ključnim fazama i pravcima daljnjih aktivnosti na potpunoj implementaciji QMS-a na Univerzitetu mogu se navesti slijedeće:

- definisanje vizije, misije, jasne i precizne politike kvaliteta, kao i kratkoročnih i dugoročnih ciljeva i aktivnosti koje omogućavaju realizaciju istih. Ovi elementi moraju biti prihvaćeni od cjelokupnog rukovodstva i svih zaposlenih (kvalitet je posao i odgovornost svih zaposlenih);
- izmjena i prilagođavanje organizacione strukture kako bi se institucionalizirala briga za kvalitet, a time i raspodijelile nadležnosti, ovlaštenja i poslovi vezane kvalitet.

- definisanje uloga i zadaća, odnosno raspored ovlaštenja i odgovornosti u sistemu osiguravanja kvaliteta na različitim nivoima (univerzitetskom i fakultetskom),



Slika 2. Model procesno baziranog sustava upravljanja kvalitetom prema standardu iso 9001:2008 za visokoškolske institucije

- kreiranje dokumentacije sistema osiguranja i upravljanja kvalitetom kojom se standardizuju najbolje prakse i primjenjena rješenja u visokoobrazovnom procesu. Ista treba da obezbijedi definisanje i automatizaciju univerzitetskih aktivnosti i operacija, identifikaciju problema kvaliteta, kao i njihovo korigovanje, stalna poboljšanja i usavršavanje rezultata koje postižu akademske institucije.
- širenje kulture kvaliteta u akademskoj i neakademskoj javnosti kroz marketinške aktivnosti, analizu djelovanja postojećeg sistema, iznošenje i sintezu domaćih i stranih iskustava i kontinuirane javne rasprave, predavanja, skupove, konferencije, seminare, ili radionice posvećene kvalitetu uz upoznavanje svih zaposlenih sa politikom kvaliteta, ciljevima, organizacionom strukturom i cjelokupnim sistemom upravljanja kvalitetom,
- institucionalno uključivanje studenata u sve faze odlučivanja i formiranje institucionalnih modela komunikacije kako bi se osiguralo kontinuirano osiguranje povratnih informacija od korisnika visokoškolskih usluga, uvažavanje njihovih sugestija, prijedloga ili kritika;
- redovno analizirati upisnu politiku na Univerzitetu na osnovu potreba društva, privrede, kapaciteta institucija, cijene studija;

- razvijati i postupati uvoditi efektivni model prepoznavanja i nagrađivanja izvrsnosti i postignuća kako nastavnog osoblja tako i studenata;
- periodično i kontinuirano provoditi vrednovanje institucija, nastavnih programa, nastave, univerzitetskih nastavnika, studenata i ostalih pokazatelja kvaliteta.

Realizacijom prethodno navedenih faza na cjelokupnom Univerzitetu se standardizuje dobra praksa i spriječavaju kašnjenja, neizvjesnosti i druge negativnosti koje uzrokuju nezadovoljstvo pruženom uslugom, a osigurava ponašanje svih zaposlenih u skladu sa utvrđenim pravilima i standardima ponašanja. Proceduralna pravila ponašanja svih zaposlenih precizno utvrđuju ovlaštenja i odgovornosti za pojedine aktivnosti i procese, a uspostavljenim mehanizmima provjera i nadzora procesa osigurava se precizno ko i šta radi, kako, kada i zašto radi. Uz to za očekivati je uspostavljanje bolje saradnje između nastavnog, osoblja podrške i studenata jer je sistem upravljanja kvalitetom spona u ovom partnerstvu.

#### **4. ZAKLJUČAK**

Bolonjski i drugi procesi stvorili su pretpostavke i okvir za uključivanje visokoškolskih ustanova sa područja jugoistočne Evrope u evropske integracione procese i sve globalnije tržište rada. Veliki je izazov na tom putu za visokoškolske stanove, ali i nadležna ministarstva, Nacionalni Savijet, Akreditacijska agencija ili komisija i korisnike usluga (poslodavce, studente, državu, osnivače – državu ili privatne osnivače). Sistem za osiguranje i upravljanje kvalitetom podrazumijeva uspostavljanje standardnih i transparentnih postupaka rada osmišljenih tako da doprinesu ostvarenju određenih ciljeva i misije bilo koje organizacije, a time i visokoškolske institucije. Stoga se uspostavljanje sistema upravljanja kvalitetom može smatrati osnovom i prvim ozbiljnim korakom promovisanja, podizanja i daljeg razvoja infrastrukture kvaliteta unutar određene visokoškolske institucije.

Istovremeno, ovakav pristup, pored toga što udovoljava postavljenim principima Bolonjskog procesa, osigurava jednostavniju primjenu i lakšu implementaciju principa upravljanja kvalitetom, standardizaciju i harmonizaciju u pogledu nivoa dostignutih napora na osiguranju i upravljanju kvalitetom na cijelom Univerzitetu, odnosno svim njenim članicama. Pozitivna iskustva njegove primjene za mnoge visokoškolske institucije mogu, prije svega, otkloniti nejasnoće u vezi sa izborom adekvatnog programa upravljanja kvalitetom, kao i sve prisutnije dileme i strahove u vezi sa ulaskom u projekat uspostavljanja sistema upravljanja kvalitetom, ali i znatno olakšati napore na njegovoj praktičnoj realizaciji. Na taj način iste će adekvatno reagovati i na aktuelne trendove u evropskom prostoru visokog obrazovanja što je uslov njihovog opstanka i neizbježno razvojno pitanje.

#### **LITERATURA**

- [1] Arnaut, M., Jašarević S., Petković, D., Brdarević, S. i drugi: Dokumentacija sustava kvaliteta Mašinskog fakulteta u BiH, Mašinski fakultet Zenica, 2002.,
- [2] Priručnik za uspostavu sustava upravljanja kvalitetom u visokom obrazovanju, Tempus projekat UM\_JEP 16015-2001, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, srpanj 2004.
- [3] BAS EN ISO 9001:2001 Sustavi upravljanja kvalitetom-Zahtjevi (EN ISO 9001:2008, IDT; ISO 9001:2008, IDT), Institut za standarde, mjeriteljstvo i intelektualno vlasništvo Bosne i Hercegovine, Decembar 2001.,
- [4] Bokonić D., Govert A., i saradnici: Tempus projekt „Interne evaluacije NPP na BIH univerzitetima“.



## KVALITET U FUNKCIJI PROIZVODNJE

Mirsada Oruč<sup>1</sup>, Sulejman Muhamedagić<sup>2</sup>, Jusuf Duraković<sup>3</sup>, Dragana Agić<sup>4</sup>

*Rezime: Prema ISO definiciji kvalitet predstavlja nivo do koga skup svojstvenih karakteristika ispunjava zahtjeve. Najvažnije faze evolucije kvaliteta su: kontrola kvaliteta, obezbjeđenje kvaliteta i totalno upravljanje kvalitetom. Standardi ISO 9000 razvijeni su na osnovu zahtjeva i potreba proizvodnih preduzeća. Međutim, mora se uzeti u obzir da standard ne obezbjeđuje kvalitet proizvoda i usluge ako se ne prihvate svi elementi pri prihvaćanju i uvođenju standarda. Kvalitet proizvoda ili usluge je važan uslov za kupca i proizvodnja mora imati sisteme da obezbjeđuje proizvod ili uslugu visokog kvaliteta.*

*Ključne riječi: kvalitet, proizvodnja, standardi*

### QUALITY IN THE PRODUCTION

*Abstract: According to the ISO definition of quality is the extent to which a set of inherent characteristics fulfills requirements. The most important phase of the evolution of quality are: quality control, quality assurance and total quality management. The ISO 9000 standards were developed based on the requirements and needs of manufacturing companies. However, one must take into account that the standard does not provide the quality products and services if you do not accept all of the elements in the acceptance and implementation of standards. The quality of the product or service is an important condition for the customer and must have the production of systems for providing a product or service of high quality.*

*Key words: quality, production, standards*

## 1. UVOD

Preduzeća (organizacije) zadovoljavaju potrebe društvene zajednice. Preduzeća koja djeluju na tržištu i koja nastoje dugotrajno i uspješno raditi i napredovati moraju se ponašati globalno pošto je odavno prisutan period globalne konkurencije. Na ovaj način preduzeća moraju da se izbore za opstanak pošto sigurne

<sup>1</sup> Prof.dr.Mirsada Oruč, Zenica, Univerzitet u Zenici, mirsada.oruc@unze.ba,

<sup>2</sup> Prof.dr.Sulejman Muhamedagić, Zenica, Fakultet za metalurgiju i materijale, Univerzitet u Zenici, sulejman.muhamedagic@famm.unze.ba,

<sup>3</sup> Prof.dr.Jusuf Duraković, Zenica, Fakultet za metalurgiju i materijale, Univerzitet u Zenici, jusuf.durakovic@famm.unze.ba,

<sup>4</sup> Mr.Dragana Agić, Zenica, Institut za privredni inženjering, Zenica, dragana.a@ipi.ba.

pozicije na tržištu nema. Preduzeće ili organizacija živi i razvija se na tržištu nadmećući se s konkurencijom za naklonost kupaca [1]. Superiornost preduzeća ogleda se u pogledu kvaliteta koju dokazuju kroz certifikat za navedeni sistem kvaliteta.

Standardi ISO 9000 razvijeni su na osnovu zahtjeva i potrebe preduzeća da se osigura kvalitet odnosno da se obezbjedi ispunjenje zahtjeva kupca u vezi sa kvalitetom proizvoda [1].

Proizvodnja označava proces kojim posao obezbjeđuje proizvode i usluge koji ispunjavaju potrebe korisnika ili kupaca.

Shematski prikaz proizvodnje dat je na slici 1.



Slika 1. Shematski prikaz proizvodnje [1]

Parametri sa slike 1. se mogu obrazložiti na slijedeći način [2]:

- Za sve poslove unosi se, tj. ulaz je: zemljište, radna snaga, kapital, materijal, informacije,
- Proces ili operacija odnosi se na sve aktivnosti uključene u pravljenje proizvoda ili pružanje usluga. Cilj proizvodnog procesa je davanje vrijednosti proizvodu ili uslugama da bi se prodali po profitabilnoj cijeni.
- Proces je efikasan ako je postignut maksimalan rezultat uz minimum troškova,
- Rezultat, tj., izlaz čine proizvodi ili usluge.

Kvalitet je pitanje svih onih kojih se tiče proizvodnja. Da bi sistemi kvaliteta funkcionisali poslovna organizacija mora imati različite procedure kvaliteta. Svi aspekti procedura kvaliteta treba da konrolišu, dokumentuju, ispravno sprovedu i evidentiraju.

## 2. KONTROLA KVALITETA I CERTIFICIRANJE KVALITETA

Kontrola kvaliteta uključuje inspekciju proizvoda ili kontrolisanje usluga radi obezbjeđivanja ispunjavanja standarda kvaliteta [2].

Obezbjedenje kvaliteta je različit pojam od kontrole kvaliteta jer se bazira na ideji da kvalitet odgovara svrsi, tj., da svako ko je uključen u proizvodnju ili pružanje usluga mora imati puni nadzor na eliminaciji grešaka.

Pouzdanost kvaliteta je primarni interes kada se odlučuje kojeg snabdjevača proizvoda ili usluga treba izabrati.

Za mnoge poslovne organizacije veoma je značajna certifikacija kvaliteta koja obezbjeđuje da će proizvod ili usluga ispuniti zahtjeve kupca ili korisnika.

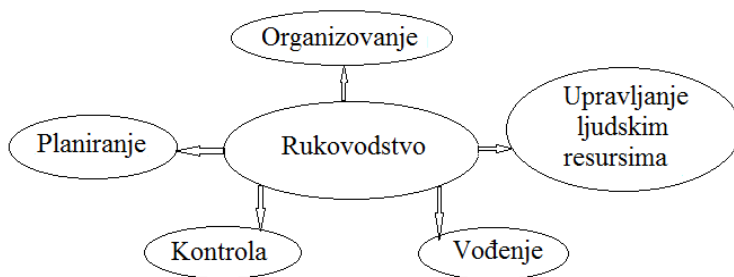
### 2.1 Upravljanje kvalitetom

Upravljanje kvalitetom predstavlja upravljački sistem kojim se organizacija usmjerava na postavljanje ciljeva u pogledu poslova i pružanja usluga [3].

Upravljanje kvalitetom je zadatak uprave tj., rukovodstva jednog preduzeća. Zadaci rukovodstva su shematski prikazani na slici 2.

Sa slike 2. se vidi da rukovodstvo obuhvata: planiranje, organizovanje, upravljanje ljudskim resursima, vođenje i kontrolu a u cilju uspješnosti organizacije.





Slika 2. Zadaci rukovodstva [3]

U standardu BAS EN ISO 9000:2011 definisano je 8 principa upravljanje kvalitetom, koje najviše rukovodstvo organizacije može koristiti u uspješnom vođenju organizacije [4].

Tu spadaju:

- orijentacija ka kupcu,
- liderstvo,
- učešće zaposlenika,
- procesni pristup,
- upravljanje orijentisano na sistem,
- kontinuirano poboljšavanje,
- odlučivanje na bazi činjenica,
- dobri odnosi s dobavljačima.

Upravljanje kvalitetom prema ISO 9000 danas se koristi u cijelom svijetu, a certifikacija tog sistema je opšte prihvaćen način dokazivanja sadašnjem i potencijalnom partneru da će proizvod ili usluga zadovoljiti zahtjeve prema kvalitetu.

### 3. TEHNIČKI KOMITET BAS/TC3

Tehnički komitet BAS/TC3 odnosi se na područje upravljanja kvalitetom i osiguravanje kvaliteta. Institut za standardizaciju BiH, odnosno tadašnji Zavod za standardizaciju, mjeriteljstvo i patente BiH je 1996.godine pokrenuo je inicijativu za osnivanje ovog tehničkog komiteta, te je 1996.godine konstruisao Tehnički komitet BAS/TC3 - Upravljanje kvalitetom i osiguravanje kvaliteta. Ovaj komitet je prvi radio na pripremi standarda a u cilju izrade vlastitih sistema i dokumenata po uzorku na evropske zemlje. U okviru komiteta BAS/TC3 formirana je 1999.godine radna grupa BAS/TC3/WG1 koja se odnosi na "ocjenjivanje usklađenosti".

Zadatak komiteta BAS/TC3 je da kontinuirano prati rad međunarodnih i evropskih korespondentnih tehničkih komiteta te preuzimanje tekućih izdanja standarda na engleskom jeziku a zatim ih metodom proglašavanja ili prevođenja proglašava BAS standardima.

Objavljeni standardi iz područja kvaliteta i ocjenjivanja usklađenosti imaju veliku primjenu i koriste se pri certifikaciji, akreditaciji, mjeriteljstvu i ocjenjivanju usklađenosti, odnosno koriste se kao "jedan od alata" u infrastrukturi kvaliteta [5,6].

U okviru standarda ovog tehničkog komiteta kojim se u zadnje vrijeme posvećuje posebna pažnja je prednacrt standarda PN/BAS EN ISO/IEC 17020:2013 - Ocjenjivanje usklađenosti, Zahtjevi za rad raznih tipova tijela za obavljanje inspekcije. Ovaj standard pokriva aktivnost inspeksijskih tijela koji obuhvata provjeru materijala, proizvoda, instalacija, postrojenja, procesa, radnih procedura ili usluga i njihove usklađenosti sa zahtjevima te izvještavanje o rezultatima rada. Inspekcija obuhvata sve faze životnog vijeka navedenih predmeta uključujući i fazu dizajna.

#### 4. ZNAČAJ POSJEDOVANJA CERTIFIKACIJE U PROIZVODNIM PREDUZEĆIMA

Za mnoge poslovne organizacije certifikat kvaliteta prema nacionalnim i međunarodnim standardima je "benchmark" (uspostava standarda) koji ukazuje potencijalnim klijentima da su procedure kvaliteta nosilaca certifikata pouzdane [2]. Ispunjavajući kriterijume certifikacije obezbjeđuje se da će proizvod ili usluga ispuniti zahtjeve kupca ili korisnika.

Proces certifikacije je veoma zahtjevan ali poslovne organizacije sve više vrednuju oznaku kvaliteta. Najvažniji razlog za certifikaciju je to što vođstvo firmi vidi dodatnu vrijednost u dobivanju ocjene od nezavisne treće strane i koja kao rezultat dodjeljuje certifikat. Vanjska ocjena pomaže firmama da kontinuirano poboljšavaju vlastitu strategiju, djelovanje i nivo usluge.

Proces certifikacije iako zahtjevan, pomaže da je organizacije sve više cijene pošto oznaka kvaliteta uključuje mnoge beneficije kao što su [4]: marketinška prednost, ušteda u troškovima, manje žalbi, reduktovanje gubitaka i sl.

#### 5. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Kvalitet je usko povezan s proizvodnjom i on zahtijeva komformizam sa standardima i balansira željeno stanje izvrsnosti sa zahtjevima i doprinosima internih i eksternih korisnika [6].

Neki od važnih zaključaka su slijedeći:

- Sistem upravljanja kvalitetom prema zahtjevima standarda ISO 9000 danas se koristi u cijelom svijetu,
- Certifikacija tog sistema opšte je prihvaćen način dokazivanja sadašnjem i potencijalnom partneru da će proizvod ili usluga zadovoljiti njegove zahtjeve prema kvalitetu,
- Uvođenje sistema upravljanja kvalitetom uz njegovu certifikaciju je razlikovno obilježje u odnosu na konkurenciju,
- Certifikat sistema kvaliteta je potvrda kojom nezavisna i za to kvalifikovana strana daje pismenu garanciju da je sistem kvaliteta koji je primijenjen u organizaciji usklađen s međunarodnim standardom i da je ta organizacija pouzdana i provjerena.
- Ispunjavajući kriterijume certifikacije obezbjeđuje se da će proizvod ili usluga ispuniti zahtjeve kupca, tj. proizvod ili usluga neće biti ispod standarda.

#### LITERATURA

- [1] Jašarević, S. (2010). QMS u BiH – Pregled stanja, Monografija, Mašinski fakultet, UNZE, str. 1-8.
- [2] <http://www.pem-consult.de/./BA%20Resource%20Material/Poslova%20administracija - serbian.pdf>.
- [3] [http://www.agencyplus.ba/index.php/bs/usluge/sistem\\_upravljanja\\_kvalitetom](http://www.agencyplus.ba/index.php/bs/usluge/sistem_upravljanja_kvalitetom).
- [4] Klobodanović, A. (2008). Upravljanje kvalitetom i auditiranje, MIZ, Zenica, str. 19-26.
- [5] Avdić, S. (2013). Tehnički komitet BAS/TC3, upravljanje kvalitetom i osiguranje kvaliteta, održao 50.sjednicu, Glasnik, Institut za standardizaciju BiH, Godina VII, Broj 1-2, str.10.
- [6] Oruč, M., Sunulahpašić, R., Gigović-Gekić, A. (2013). Menadžment kvaliteta, FMM, UNZE, str.28-46.



## KONTROLA KVALITETA KAO KLJUČNI FAKTOR FUNKCIONISANJA PROIZVODNIH PROCESA

Neira Delić<sup>1</sup>, Fahrudin Tarahija<sup>2</sup>

*Rezime: Da bi preduzeća mogla opstati na tržištu i ostvariti svoj cilj morala su se prilagođavati promjenama u okruženju mijenjajući način razmišljanja. Razvoj društva, njegovih potreba i proizvodnje nametnuo je značajniji pristup upravljanju u oblasti kvaliteta. Upravljanje kvalitetom posvećuje pažnju prvenstveno kontroli kvaliteta izrade proizvoda, dizajnu, pakovanju i svim drugim elementima značajnim za plasman proizvoda. Način postizanja kvaliteta se najbolje može sagledati kroz kontrolu kvaliteta koja je neophodna u svakom obliku proizvodnje. Porast potreba tržišta uslovljava rast proizvodnje te i kontrola kvaliteta treba biti organizovana tako da odgovori postavljenom zadatku. U tom kontekstu i kontrola je poprimala značajnije razmjere. U fazi kontrole kvaliteta posebnu pažnju treba posvetiti oblikovanju sistema za kontrolu kvaliteta. Da bi se uspješno odradio ovaj posao neophodno je prvenstveno dobro poznavanje proizvoda i tehnologije njegove izrade, potom okruženje i konačno mogućnosti preduzeća. U ovom radu je opisan značaj kontrole kvaliteta u poslovanju preduzeća, analizirani su koraci koje obuhvata oblikovanje sistema za kontrolu kvaliteta, te načini i tehnike kontrole kvaliteta kako bi se postigao osnovni cilj kontrole kvaliteta, a to je ovladavanje procesima.*

*Ključne riječi: upravljanje kvalitetom, kontrola kvaliteta, sistemi kontrole kvaliteta*

### QUALITY CONTROL AS A KEY FACTOR IN THE FUNCTIONING OF THE PRODUCTION PROCESSES

*Abstract: If the companies wanted to survive in the market and achieve its goal they had to adapt to changes in the environment by changing the way of thinking. Development of society, its needs and production has imposed significant managing approach in quality area. Quality management pays attention primarily to quality control of production, design, packaging and all other elements important for placement of products. The way to achieve quality could be seen the best through quality control which is necessary in any part of production. Growth of production is conditioned by increasing of market needs, and quality control should be organized on*

---

<sup>1</sup> Neira Delić, dipl.ecc, Zenica, Univerzitet u Zenici, Metalurški institut "Kemal Kapetanović", miz@miz.ba

<sup>2</sup> Fahrudin Tarahija, dipl.inž., tehnolog, Zenica, Univerzitet u Zenici, Metalurški institut "Kemal Kapetanović", miz@miz.ba

*the way to answer the required task. In that context and control was taking on significant proportions. In the phase of quality control special attention should be given to designing a system for quality control. To complete successfully this work it is primarily necessary good knowledge of product and its production technology, then environment and finally capabilities of the company. This work describes importance of quality control in managing of the company, the steps that involves formatting of a system for quality control are analyzed, and methods and techniques of quality control in order to achieve the basic goal of quality control, and it is mastering of processes.*

*Key words: quality management, quality control, quality control system*

## 1. UVOD

Savremeno tržište nameće preduzećima novu filozofiju poslovanja. Sve širi zahtjevi kupaca i jaka konkurencija upućuju preduzeća da vrše neprestano poboljšavanje kvaliteta svojih proizvoda/usluga. Preduzeća imaju za cilj proizvodnju proizvoda koji će da zadovolje zahtjeve kupaca uz što manju cijenu kako bi bili konkurentni. Neminovno je da preduzeća kroz poslovanje obezbijede stabilan i održiv proces proizvodnje koji nema udara i omogućava da sve njegove faze budu usklađene sa zahtjevima kupaca. Ukratko rečeno neophodno je obezbijediti proces koji nema varijabilnosta. To je moguće postići kroz dobro organizovanu kontrolu kvaliteta. Kako bi dostigli te ciljeve menadžment preduzeća prvenstveno mora poznavati mogućnosti preduzeća, poznavati proces proizvodnje i raščlaniti ga na što jednostavnije procese kako bi se lakše oblikovao sistem za kontrolu kvaliteta.

Da bi kontrola kvaliteta bila što efikasnija najčešće se upotrebljava različiti alati i tehnike. U ovom radu su predstavljeni koraci i tehnike oblikovanja sistema kontrole kvaliteta u proizvodnim procesima.

U zaključcima ovog rada je rezimirano poimanje kvaliteta, procesa i sistema za kontrolu kvaliteta kao procesu koji je neminovan u upravljanju preduzećem koje želi biti konkurentno na tržištu.

## 2. KONTROLA KVALITETA PROCESA

Kvalitet se najčešće definiše općenito kao „udovoljavanje zahtjevima“ [1]. „Kvalitet nije rezultat inspekcije. On mora da proistekne iz samog procesa proizvodnje. Inspekcija dolazi prekasno i ide pod ruku sa doradom i škartom. Parola mora da glasi „Do it right first time“, to jest „uradi to odmah kako treba“ [1].

Prilikom praćenja proizvodnje, a u cilju odvijanja stabilnosti procesa, preduzeća trebaju neprekidno da vrše kontrolu nad procesima i prave put ka upravljanju procesima. Na taj način menadžment može otkloniti uzroke i nepravilnosti na vrijeme, odnosno u ranijoj fazi i na taj način uticati na smanjenje troškova nastalih usljed grešaka. Želja preduzeća je da ima ovladane procese - to su stabilni procesi koji nemaju varijacija, odnosno procesi koji su sposobni da zadovoljavaju uslove iz specifikacija. U tom cilju preduzeća vrše upravljanje procesima i imaju obavezu kontinuiranog poboljšanja kako bi došli do željenog cilja.

Kontrola kvaliteta se može definisati kao kontinuirano poboljšanje stabilnog procesa... Stabilan proces se može održavati metodom kontrole kvaliteta procesa... [2]

## 2.1 Koraci oblikovanja sistema za kontrolu kvaliteta

Sistem oblikovanja kontrole kvaliteta se može podijeliti u četiri koraka [2]:

- Određivanje kritičnih tačaka svakog procesa, koje je neophodno kontrolisati,
- Odlučivanje o vrsti mjerenja koje treba koristiti u svakoj tački kontrole,
- Donošenje odluke o obimu kontrole,
- Odlučivanje o tome ko bi trebao obavljati kontrolu.

*Prvi korak* oblikovanja kontrole kvaliteta je određivanje kritičnih tačaka svakog od procesa koji su definisani za kontrolu. Da bi se ispravno definisale kritične tačke neophodno je prethodno izvršiti testiranja i preglede:

- ulaznih sirovina ili kupljenih usluga koje treba da su u saglasnosti sa specifikacijama,
- proizvodnje u toku, koju provode izvršio-ci-operatori. Neophodno je odrediti ključne tačke koje treba kontrolisati tako da se eventualne greške odmah signaliziraju i otklone dok je još moguće, a da nema značajnog škarta,
- ispitivanje gotovih proizvoda, kojom prilikom se kontrolišu proizvodi prije slanja u skladište, odnosno isporuke kupcu.

*Drugi korak* u oblikovanju sistema kontrole kvaliteta je odlučivanje o vrstama mjerenja koje treba koristiti u svakoj tački kontrole. Mjerenje može biti bazirano na varijabilnim karakteristikama – dimenzije dijelova, vrijeme čekanja, itd; te na atributivnim obilježjima za koje se koriste diskontinuirano mjerilo, računanjem broja jedinica sa greškom, broj grešaka po jedinici...

Prilikom odlučivanja o vrstama mjerenja neophodno je izvršiti definisanje mjerne opreme koja će se koristiti. Koja će se oprema koristiti obično zavisi od vrste mjerenja koja će se obavljati. Pored toga neophodno je definisati kontrolne granice što se obično nalazi u tehničko-tehnološkoj dokumentaciji.

*Treći korak* oblikovanja sistema kontrole kvaliteta je donošenje odluke o obimu u kojem će se koristiti kontrola odnosno koja metoda će se koristiti. Tako se koristi:

- Stopostotna kontrola kojom su obuhvaćeni svi proizvodi/usluge,
- Metoda slučajnog uzorka kojom se kontrolišu samo uzorci odabrani slučajnim odabirom, obično kod kontrola kojima se uzorak uništi,
- Kontrola prvog komada koja se koristi kod izrade dijelova alatima pa je dovoljno samo prva kontrola,
- Kontrola sa „rampom“ - obično kod prijema poluproizvoda ili materijala u skladište.

Prilikom kontrole mora se voditi računa i o specifičnim slučajevima kao što su:

- Kontrola alata kada se proizvodnja vrši pomoću alata,
- Kontrola mjernih instrumenata kada se proizvodnja automatski kontroliše mjernim instrumentima,
- Ispitivanja materijala bez razaranja rendgenom, ultrazvukom idr.,
- Kontrola tehnologije koja se neprestano kontroliše,
- Samokontrola,
- Kombinovana kontrola-dvije i više naprijed navedenih metoda se koriste istovremeno.

Četvrti korak oblikovanja sistema kontrole kvaliteta je donošenje odluke o tome ko će izvršiti kontrolu. Da li će to biti radnici, vanjski kontrolori, potrošači ili državni organi zavisi od niza faktora.

### 3. STATISTIČKA KONTROLA KVALITETA

U procesu kontrole kvaliteta nezaobilazna tehnika je statistička kontrola. Ova tehnika se koristi najčešće kod kontrole uzorkovanjem. Koriste se dvije statističke metode:

- preuzimanje pošiljki,
- kontrola procesa.

*Preuzimanje pošiljki uzorkovanjem* je metoda kojom se uzorkovanje provodi tako što se određen broj uzoraka ispita i na osnovu dobivenih rezultata se odlučuje da li će kompletna pošiljka biti prihvaćena ili vraćena. Ukoliko je broj neispravnih komada veći od propisanog, pošiljka se ne prihvata i obrnuto ako je broj neispravnih komada manji od propisanog pošiljka se prihvata. Procenat dozvoljenih neispravnih komada u uzorku se definiše u tehničko-tehnološkoj dokumentaciji. Obično se vrši jednostruko uzorkovanje odnosno za kontrolu se uzima jedan uzorak i na osnovu toga se donose zaključci o pošiljci. Međutim nekada to nije dovoljno, karakter pošiljke diriguje broj uzoraka pa uzorkovanje može biti i višestruko. Neophodno je definisati kolika je veličina reprezentativnog uzorka koji se može uzeti za ispravnu procjenu kompletne procjene.

*Kontrola kvaliteta procesa* je metoda koja se primjenjuje još u toku procesa proizvodnje. Povremeno se u toku proizvodnje uzimaju uzorci i kontrolišu i na taj način utvrđuje se ispravnost serije. Kada nakon pregleda postoji sumnja da je došlo do promjena u procesu proces se zaustavlja i vrši se ispitivanje i utvrđivanje uzroka, a potom i njegovo otklanjanje kako bi dalja proizvodnja nastavila u ispravnom pravcu. Kao i kod preuzimanja uzorkovanjem treba voditi računa o veličini uzorka koji može biti reprezentativan. Pored toga, kod kontrole kvaliteta procesa treba voditi računa o učestalosti uzimanja uzorka, odnosno definisati koliko često treba uzimati uzorak vodeći računa o porastu troškova kontrole prečestim bespotrebnim uzimanjem uzoraka.

Cilj kontrole kvaliteta procesa je dvostruk:

- Pronalazak raspona prirodnog variranja procesa i osiguranje ostanka proizvodnje unutar tog raspona,
- Pronalazak izvora nepotrebnih varijacija i eliminacija istih.

### 4. KONTINUIRANO POBOLJŠANJE KVALITETA

Preduzeća prilikom praćenja proizvodnje, a u cilju odvijanja stabilnosti procesa trebaju neprekidno vršiti kontrolu nad procesima koji vode ka upravljanju. Na taj način menadžment može otkloniti uzroke i nepravilnosti na vrijeme odnosno u ranijoj fazi i time uticati na manje troškove usljed nastanka grešaka. U tom cilju preduzeća vrše upravljanjem procesima i imaju obavezu kontinuiranog poboljšanja kako bi došli do željenog cilja.

Prema definiciji Tenner/DeToro proces konituniranog unaprijeđivanja kvalititeta provodi se kroz više koraka: razumijevanje kupca, procjena uspješnosti, analiza procesa, unapređenje procesa, implementacija promjena, standardizacija i monitoring [3].

Kontinuirano poboljšanje ne bi smio biti suviše zahtjevnim zadatkom za organizaciju. Naprotiv, to bi trebao biti uobičajen posao. Tim prije što uvijek postoje

područja u organizaciji, kao i aktivnosti ili faze (procesni koraci) u poslovnom procesu, gdje su poboljšanja moguća [4].

#### 4.1 Definisane uzroka varijabilnosti

Cilj kontinuiranog poboljšanja kvaliteta je smanjivanje varijabilnosti proizvoda ili procesa. Kada se ustanovi varijacija traži se uzrok njene pojave. Tačnijem definisanju uzroka pojave varijacije pomažu podaci o intenzitetu varijacije.

Uzroci varijabilnosti mogu biti dvojak:

- Uobičajeni uzroci varijabilnosti – nastali kao posljedica karakteristike samog procesa. Ove varijacije su obično male. Ukoliko se žele smanjiti uobičajene varijacije neophodno je raditi na poboljšanju sistema. Ove varijacije se moraju sistemski rješavati, pa čak i uvođenjem novih investicija, što se nakon prethodnih analiza decidno definiše.
- Specijalni uzroci varijabilnosti – nastali neočekivano i radikalno. Ove varijacije pokazuju velike skokove i imaju predznak incidenta, što predstavlja znak da je proces izvan kontrole. Specijalni uzroci varijabilnosti nastaju zbog specijalnih razloga i oni ukazuju na probleme koji se mogu izbjeći u budućnosti.

Na slici 1. je grafički prikaz primjera uobičajenih i specijalnih varijacija procesa.



Slika 1. Grafički prikaz uobičajenih i specijalnih varijacija procesa

#### 4.2. Koraci u postupku poboljšanja procesa

Postupak poboljšanja procesa, će biti efikasan ako se detaljno analizira i planira. Da bi se ovaj postupak obavio što kvalitetnije neophodno je obaviti ga kroz slijedeće korake:

- Definisane situacije, kojim se utvrđuju potencijali za poboljšanja,
- Definisane poslovnih ciljeva, kojima posloводство mora definisati kritične tačke uspjeha na osnovu poznavanja strateških ciljeva organizacije čime stvara fokus za poboljšanje,
- Plan akcije definiše prioritete vodeći računa o raspoloživim resursima i hitnosti, a potom se utvrđuju odgovornosti, kontrolne tačke projekta, te ritam kontrolnih aktivnosti,
- Neposredni ciljevi definišu odgovornosti za postizanje ciljeva poboljšavanja i utvrđuju se mjerne veličine procesa čime je najbitnije osigurati da su svi učesnici procesa razumiju svoju ulogu u procesu,
- Poboljšanje je korak u kojem do izražaja dolazi znanje i iskustvo zaposlenih kada se konkretnim akcijama vrše poboljšanja procesa koja mogu biti

usmjerena na područja kvaliteta, vremena izvođenja, troškova, kapaciteta, zadovoljstva kupaca i dr.,

- Status nakon poboljšanja je korak kojim se standardizuju sve mjere poboljšanja koje su pokazale pozitivne rezultate nakon provođenja. Navedene mjere menadžment preduzeća treba učiniti sastavnim dijelom uhodanog procesa.

## 5. ZAKLJUČAK

Uspjeh preduzeća na tržištu je uslovljen dobrom organizacijom proizvodnje čiji rezultat je proizvod koji će biti kvalitetan odnosno udovoljava zahtjevima kupaca. Preduzeće mora zadovoljiti savremeno tržište, a to je moguće samo ukoliko je spremno za ponudu širokog asortimana proizvoda visokog kvaliteta uz niske cijene. Većina ekonomskih stručnjaka su se bavili problematikom kvaliteta i utvrđivanja načina na koji će preduzeća postići kvalitet. Način postizanja kvaliteta se najbolje može sagledati kroz kontrolu kvaliteta za čiju provedbu posebnu pažnju treba posvetiti oblikovanju sistema za kontrolu kvaliteta. Cilj kontrole kvaliteta, pa time i oblikovanja sistema kontrole procesa je ovladavanje procesima. Na ovaj način menadžment upravlja procesima u kojem slučaju kontrolom i povratnim informacijama, koje su rezultat kontrole, preventivno djeluju na procese u budućem periodu kako bi bili stabilni. Stabilan proces, pored redovne proizvodnje omogućava menadžmentu mogućnost boljeg sagledavanja mogućnosti i unapređenja, što predstavlja preduslov za uspješno poslovanje.

## LITERATURA

- [1] H.Gutošić, B. Reite, Upravljanje kvalitetom prema ISO 9000 seriji i okolinsko upravljanje prema ISO 14000 seriji, Jež, Sarajevo, 2001.
- [2] R.G. Schroeder, Upravljanje proizvodnjom, – odlučivanje u funkciji proizvodnje, Mate, Zagreb, 1999.
- [3] Tenner R. A., DeToro, J.I., Process Redesign – The Implementation Guide for Managers, Reading, Massachusetts (Adisson-Wesley), 1997. str. 178, putem [http://www.vus.hr/uploads/file/zbornik/rad\\_boban\\_sladoljev.pdf](http://www.vus.hr/uploads/file/zbornik/rad_boban_sladoljev.pdf), 15.04.2014.
- [4] <http://kvaliteta.inet.hr/Informacijska%20osnovica%20za%20kontinuirano.pdf>, Informacijska osnovica za kontinuirano poboljšanje kvalitete poslovnog procesa, 20.05.2014.





## UTICAJ MALIH PREDUZEĆA NA REGIONALNI RAZVOJ

Vlado Medaković<sup>1</sup>, Milan Cvijić<sup>2</sup>

*Rezime: Cilj ovog rada je da pokaže značaj malih preduzeća u tržišnoj privredi, kao i uticaj razvojnih agencija na privredni razvoj regija i lokalnih zajednica, te značaj razvojnih agencija u smislu pokretanja i postojanja malih preduzeća. Mala preduzeća direktno utiču na stabilan privredni razvoj lokalnih zajednica, pa samim tim i na ekonomski razvoj regija.*

*Ključne riječi: mala preduzeća, regionalne i lokalne zajednice, regionalni razvoj, razvojne agencije*

### **THE EFFECT OF SMALL ENTERPRISES IN THE REGIONAL DEVELOPMENT**

*Abstract: The aim of this paper is to show the importance of small enterprises in the market economy, and the impact of development agencies in the economic development of the region and local communities, and the importance of development agencies in terms of startup and existing small businesses. Small companies directly affect the sustainable economic development of local communities, and thus the economic development of the regions.*

*Key words: small businesses, regional and local communities, regional development, development agencies*

## 1. UVOD

Mala preduzeća se u savremenoj privredi mogu naći gotovo u svim privrednim djelatnostima. Kada se spomenu kod nas se obično misli na preduzeća iz poljoprivrede, trgovine, zanatstva i ugostiteljstva, što je posljedica prekida u kontinuitetu i tradicionalnom oslanjanju na mala preduzeća u industriji.

Za dobrobit jedne zemlje najbolja je kombinacija istovremenog postojanja malih i velikih preduzeća, a suštinsko pitanje je koja je to kombinacija koja će biti najdjelotvornija za dotičnu privredu i konkretne uslove. Iako posluju u uslovima konkurencije, mala, srednja i velika preduzeća su istovremeno i komplementarna, dajući pri tome sinergijske efekte međusobnim djelovanjem.

Svoje prednosti mala preduzeća ostvaruju zahvaljujući brzom odzivu na tržišne zahtjeve, usvajajući pri tom raznovrsne inovacije, osvajajući ih u laboratorijama i

<sup>1</sup> Dr Vlado Medaković, docent, UIS, Mašinski fakultet I. Sarajevo, vlado.medakovic@gmail.com

<sup>2</sup> Dr Milan Cvijić, pomoćnik ministra, Vlada RS, MIER RS, M.Cvijic@mier.vladars.net

isporučujući ih na tržište u veoma kratkom roku. Postoje brojne djelatnosti koje ne zahtijevaju masovnu proizvodnju s jedne strane, kao i brojna preduzeća sa masovnom proizvodnjom koja ne mogu uspješno da posluju bez velikog broja manjih i srednjih preduzeća. Tržište treba da bude arbitar koje su to dimenzije preduzeća čija je ponuda potrebna i koja doprinose rastu i razvoju privrede i njenom uspješnom uključivanju u međunarodnu podjelu rada [2].

U programskoj orijentaciji mala preduzeća mogu imati sopstvene diferencirane programe usmjerene na određeno tržište, kao što mogu i učestvovati u proizvodnim programima velikih preduzeća kao kooperanti. S pravom se smatra da su mala preduzeća izvori ne samo lokalnog, već i rasta regionalne i nacionalne privrede. Mala preduzeća su više radno intenzivna nego velika i obično su usmjerena na ograničena ili specijalizovana tržišta, koja nisu posebno atraktivna za velika preduzeća. U velikom broju zemalja ograničenost kapitala i restriktivna investiciona politika favorizuju manje proizvodne jedinice. U nekim privrednim djelatnostima u savremenoj privredi moguće je supstituisati kapital radnom snagom [2].

Teško je definisati tržište malog preduzeća – ono se kreće od lokalnog do međunarodnog u savremenoj svjetskoj privredi. Postoje, „tržišne niše” koje ni u jednoj privredi nisu adekvatno pokrivene proizvodnim programima velikih preduzeća. To su područja proizvodne i uslužne djelatnosti koja su „rezervisana” za mala preduzeća. Proizvodnja po narudžbi, ili usluge po zahtjevu, su područja, koja su takođe „rezervisana” za mala preduzeća, jer su to područja gdje prilagodljivost malih preduzeća dolazi posebno do izražaja.

Za egzistenciju malih preduzeća u privredi kao cjelini, postoje brojni razlozi. Samo prisustvo preduzetništva, odnosno mikro, malih i srednjih preduzeća, predstavlja najvažniji faktor u rješavanju mnogih problema u obezbeđivanju uspješne privrede i ukupnog privrednog razvoj. Preduzetništvo i MSP nesumnjivo imaju veliki značaj u pogledu zapošljavanja, uspješnog poslovanja i privrednog razvoja [1].

Savremena teorija i praksa razvoja i unapređenja poslovanja MSP i njihova uspješnost zavisi od finansijske i nefinansijske podrške od strane institucija, bilo da su vladine ili nevladine organizacije.

Republička agencija za razvoj malih i srednjih preduzeća u Republici Srpskoj osnovana je u skladu sa Zakonom o podsticanju razvoja malih i srednjih preduzeća i počela je sa radom u septembru 2004. godine. Agencija pruža podršku osnivanju i razvoju malih i srednjih preduzeća u Republici Srpskoj i generator je cjelokupnog sistema podrške razvoju malih i srednjih preduzeća. Glavni ciljevi Agencije su da se poveća učešće MSP u privredi Republike Srpske, promjena strukture djelatnosti kroz povećanje učešća proizvodnih djelatnosti i usluga u bruto domaćem proizvodu, povećanje tehnološkog razvoja, konkurentnost i otvaranja novih tržišta za mala i srednja preduzeća, povećanje broja preduzeća i novih radnika u ovim preduzećima i uspostavljanje regionalne saradnje sa susjednim zemljama u cilju razmjene iskustava i dostignuća regionalne komparativne prednosti za preduzetništvo.

Sa stanovišta podrške preduzetništvu i MSP, najveći deo posla je, i trebalo bi da ostane, na nivou entiteta i nižih nivoa, tj. na nivou privrednih regija i lokalnih zajednica.

## **2. SVJETSKA PRAKSA I ISKUSTVA U PODSTICAJU MALIH PREDUZEĆA**

Na kraju prošlog vijeka težnja ka stvaranju što većeg broja MSP, preduzetništvo je postalo značajan faktor u privrednom razvoju širom svijeta. Pri tome se kao veoma važna pokazala uloga države, koja na nacionalnom, regionalnom i lokalnom nivou, podržava razvoj preduzetništva. Početak uspostavljanja

institucionalnih mreža za pružanje podrške sektoru MSP datira iz 80-tih godina prošlog vijeka, kada je zapažen značaj MSP u ekonomskoj obnovi Velikoj Britaniji [2].

Šematski prikaz moguće mreže podrške za MSP je prikazan na slici. 1.



Slika 1. Mreža podrške za mala preduzeća [1,2,3]

Oblikovanjem prvog okvira zajedničke politike za podršku MSP u EU 1986. godine, počinje da se stvara Akcioni program za MSP. Oblici pomoći za MSP su sljedeći: Pomoć za poslovne početnike, pomoć postojećim preduzećima u fazi rasta i razvoja, naročito u posebnim situacijama (novi proizvodi, nova tržišta, inovacije, izvoz, transfer tehnologije, ugovorna povezivanja i kooperacije, plasman finansijskih instrumenata), kao i podršku za postojeća preduzeća koja su se našla u teškoćama [1].

Takođe, od države do države, pomoći ima niz programa i izvođača. U osnovi to su nacionalne, regionalne i lokalne vlasti, neprofitne organizacije kao i komercijalni ponuđači.

### 3. SITUACIJA U REPUBLICI SRPSKOJ SA ASPEKTA PODRŠKE RAZVOJU MALIH PREDUZEĆA U KONTEKSTU REGIONALNOG RAZVOJA

Ključno pitanje koje se postavlja pred BiH, pa i RS, je pitanje njene sposobnosti pronalaženja ravnoteže između moći onih koji odlučuju u strukturama vlasti i njihovih zadataka naspram populacije u cjelosti, tj. pitanje uspostavljanja ravnoteže između kategorije ovlašćenja i kategorije odgovornosti. U tom kontekstu, ukoliko država promoviše regionalni razvoj, regijama predstoji proces ulaganja napora na promociji i provođenju procesa razvoja. To u isto vrijeme stvara i odgovornost regija da podstiču razvoj ne samo svog lokalnog prostora, već i da stvaraju preduslove procesa budućih integracija pojedinačnih regija u jedinstveni ekonomski prostor, a sve u cilju podizanja kvaliteta življenja [8].

Podrška razvoju MSP u Republici Srpskoj dobila je na značaju 2002. godine usvajanjem Programa razvoja male privrede za period 2002.-2005. godina nakon čega je usvojen Zakon o podsticanju razvoja MSP-a. Usvajanjem Zakona stvorene su pretpostavke za zakonodavnu, institucionalnu i finansijsku podršku ovoj oblasti [4].

Tokom 2004. godine na osnovu Zakona formirani su: Resor za MSP-a i proizvodno zanatstvo pri tadašnjem Ministarstvu privrede, energetike i razvoja Republike Srpske i Republička agencija za razvoj MSP. Istovremeno su na lokalnom

nivou osnivanje lokalne agencije za razvoj MSP-a tako da je do 2009. godine formirano ukupno 18 lokalnih agencija, a određeni broj opština je iskazao interes za uspostavljanje istih. Podršku razvoju MSP-a na lokalnom nivou takođe pružaju i opštinska odjeljenja za razvoj koja zajedno sa navedenim institucijama čine mrežu za podršku razvoju MSP-a [4].

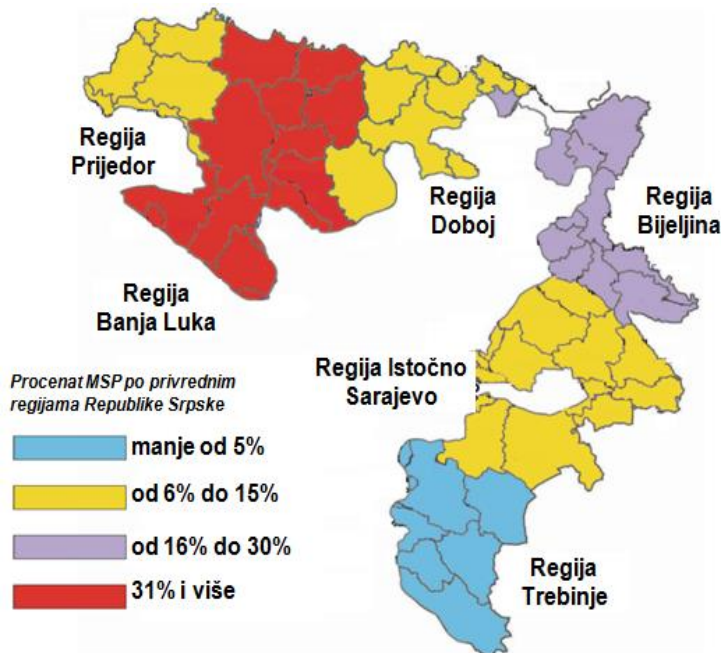
U Zakonu o podsticanju razvoja MSP-a, u članu 14. definisani su nosioci sprovođenja Strategije razvoja MSP-a, od kojih su na nivou Republike Srpske najznačajniji Ministarstvo industrije, energetike i rudarstva i Republička agencija za razvoj MSP-a. Bitno je istaći da je Vlada Republike Srpske krajem marta 2009. godine imenovala Savjet za razvoj MSP-a i preduzetništva Republike Srpske sa principom fokusiranja na mala preduzeća.

Kako se procesi lokalnog privrednog razvoja dešavaju u okviru lokalnih nivoa vlasti, a procesima evropskih integracija lokalni nivo ima sve veću i aktivniju ulogu u kreiranju povoljnog poslovnog okruženja, jačanje institucionalne podrške i infrastrukture za upravljanje procesima razvoja sve više dobija na značaju.

Jedna od osnovnih aktivnosti lokalnih razvojnih agencija jeste da u svom radu sprovodi utvrđene strategije podsticanja razvoja MSP-a na republičkom nivou. Međutim, u praksi, često se dešava da lokalne razvojne agencije prevashodno imaju zadatak da vrše koordinaciju i olakšaju proces lokalnog privrednog razvoja sveobuhvatno.

Sama uloga lokalnih razvojnih agencija proističe iz potreba određene jedinice lokalne uprave koja je osnivač ovih agencija. Sa jedne strane postoje agencije koje su usko specijalizovane za određene vidove pomoći sektoru MSP-a, do agencija koje za cilj imaju opšti razvoj opštine i predstavljaju osnovne implementatore cjelokupnih lokalnih razvojnih strategija.

Na slici 2. prikazana je teritorijalna zastupljenost MSP po privrednim regijama.



Slika 2. Teritorijalna zastupljenost MSP po privrednim regijama [1,3]

#### 4. EMPIRIJSKA ISTRAŽIVANJA PODSTICAJA MALIH PREDUZEĆA OD REPUBLIČKE AGENCIJE ZA RAZVOJ MSP

Svaka lokalna zajednica ili skup lokalnih zajednica, geografski povezanih, da bi privukle što veći broj preduzeća na svoju teritoriju, teritoriju regije, preduzimaju razne aktivnosti koje će poboljšati uslove rada takvim preduzećima. Lokalne zajednice imaju vrlo značajnu ulogu, dok je zadatak države, odnosno Vlade, da aktivira unutrašnje resurse, kao dodatne razvojne impulse.

Proces istraživanje je izvršen na teritoriji Republike Srpske, koja je podjeljena na šest privrednih regija, i to: Banja Luka, Bijeljina, Doboj, Prijedor, Istočno Sarajevo i Trebinje. Predmet istraživanja obuhvata u kojoj meri Republička agencija za MSP u Republici Srpskoj podstiče i pruža usluge malim preduzećima i preduzetnicima u pojedinim privrednim regijama.

U procesu istraživanja anketirani su nadležni u opštinskim službama, zatim preduzetnici, vlasnici mikro, malih i srednjih preduzeća u regijama u kojima je provođeno istraživanje, a akcenat je stavljen na tri privredne regije: Bijeljina, Trebinje i Istočno Sarajevo. Sam izbor regija baziran je na činjenici da su ove tri regije teritorijalno povezane, geografski se nalaze u istočnom dijelu Republike Srpske, procenat malih i mikro preduzeća u ukupnom broju MSP u RS je manji nego u druge tri regije, što se vidi sa slike 2., zatim mali broj lokalnih razvojnih agencija, pa samim tim predstavljaju relevantne privredne cjeline sa aspekta datog istraživanja.

Na slici 3. dati su rezultati provedenih istraživanja, odnosno nivo podsticaja malih preduzeća od strane Agencije za razvoj MSP RS.



Slika 3. Nivo podsticaja malih preduzeća od strane Agencije za razvoj MSP RS [1,3]

Analizom datih rezultata uočava se da Republička agencija za razvoj MSP RS nema zastupljenu koordinaciju i ne pruža adekvatne podsticajne mjere za mala i srednja preduzeća. Oko 50% anketiranih preduzetnika dalo je negativan odgovor na postavljeno pitanje.

## 5. ZAKLJUČCI

Razvijene zemlje su uočile značaj regionalnih razvojnih agencija i njihovo efikasno korišćenje u smislu poboljšanja životnog standarda, podizanje nivoa zaštite životne sredine, kao i povećanje zaposlenosti. Regionalni razvoj zahtjeva korišćenje regionalnih resursa, jer sa druge strane Republička agencija nije u mogućnosti da prati sve mjerama i da upravlja resursima u svim regijama isključivo zbog nedostatka informacija u pogledu potencijala. Regionalne razvojne agencije treba da imaju strategije i planove za pokretanje i podsticanje malih preduzeća i preduzetnika na određenoj regiji, koje će uz koordinaciju sa republičkog nivoa biti realizovane.

Svaka regija ima svoje specifičnosti sa aspekta resursa i infrastrukture, te njihovo usmjeravanje treba da bude u pravcu postizanja što boljih efekata, što se ogleda kroz njihovu efikasnu upotrebu. U Republici Srpskoj se postepeno stvara povoljan ambijent za razvoj malih preduzeća kroz jačanje finansijske podrške i infrastrukture.

Lokalna uprava je nosilac oblikovanja razvojne strategije regije i same zajednice/opštine i njen preduzetnički zastupnik. Promišljeno djelovanje lokalnih zajednica u cilju vlastitog razvoja infrastrukture i preduzetničkog potencijala te privlačenje investicija, automatski predstavlja koncept regionalnog razvoja. Svaka od šest privrednih regija Republike Srpske ima svoje potencijal za razvoj, uključujući infrastrukturu, resurse koji se koriste i potencijalno iskoristive resurse, svaka na svoj specifičan način.

## LITERATURA

- [1] Medaković, V., RESEARCH OF CONDITIONS FOR DEVELOPMENT OF SMALL AND MICRO ENTERPRISES AND DEVELOPMENT OF ENTREPRENEURIAL INFRASTRUCTURE MODEL, Doctoral thesis, Faculty of Mechanical Engineering, East Sarajevo, 2012.
- [2] Cvijić, M., RESEARCH ON CONDITIONS AND CAPABILITIES FOR ENTREPRENEURSHIP MANAGEMENT IN TRANSITION PROCESS, Doctoral thesis, Faculty of Technical Sciences in Novi Sad, 2007.
- [3] Medaković, V., Moljević, S., Vasković, S., REGIONAL DEVELOPMENT AGENCY FOR SMEs AS A FACTOR OF ECONOMIC DEVELOPMENT OF LOCAL COMMUNITIES, III International Conference Industrial Engineering And Environmental Protection 2013 (IIZS 2013), 2013, Zrenjanin, Serbia
- [4] The Government of the Republic of Srpska: Annual report for the area of small and medium-sized enterprises and craft - entrepreneur activities in the Republic of Srpska 2009th year, 2010.
- [5] Jojić, R., Božić, R., Preduzetništvo za novi vek, East Sarajevo - Pristina, 1998.
- [6] Jojić, R.: Management, Institute for Economics and Development, East Sarajevo, 2002
- [7] Ökmen, M., Özer, B., Bal, V., An Evaluation Of Regional Development Agencies' Roles In Regard To Social Sustainability: A Discussion Of Turkish Development Agencies' Experience, 3rd International Symposium on Sustainable Development, Sarajevo 2012.
- [8] Petkovic, D, Hadžić, A., REGIONAL DEVELOPMENT AGENCIES AND THEIR ROLE IN QUALITATIVE MACROECONOMICAL B&H DEVELOPMENT, 3rd Scientific Conference with International participation "KVALITET 2003" Zenica, 2003.





## MOGUĆNOSTI EFIKASNIJEG UPRAVLJANJA ZNANJEM IZ OBLASTI OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE

Vlado Medaković<sup>1</sup>, Savo Šehovac<sup>2</sup>, Srđan Vasković<sup>3</sup>, Davorin Đurović<sup>4</sup>

*Rezime: Menadžment znanja, kao i informacioni sistemi za učenje (LMS - Learning Management Systems) posljednjih godina dobijaju sve više na značaju. Stalno se susrećemo sa potrebama za usavršavanjem i sticanjem novih znanja. S obzirom na brz razvoj nauke i tehnologije, kao i potrebu kontinuiranog obrazovanja, potrebno je istražiti mogućnosti efikasnijeg upravljanja znanjem, odnosno model koji će da bude ekonomičan a da pri tome ne ugrozi nivo stečenih znanja u predmetnoj oblasti obnovljivih izvora energije. Moodle je besplatni open source softver namjenjen elektronskom učenju ali i sistem za upravljanje kursevima.*

*Ključne riječi: Learning Management Systems, e-Learning, Moodle*

### **THE POSSIBILITY OF MORE EFFECTIVE KNOWLEDGE MANAGEMENT IN THE AREA OF RENEWABLE ENERGY SOURCES**

*Abstract: Knowledge management as well as information systems for learning (LMS - Learning Management Systems) recent years is gaining in important. We constantly faced with the need for training and acquiring of new knowledge. Considering the rapid development of science and technology, as well as the need for continuing education, it is necessary to explore possibilities for more efficient management of knowledge, ie the model which will to be economical while at the same time not jeopardizing the level of knowledge in the area of renewable energy sources. Moodle is a freeware open source software designed for e-learning as well as course management system.*

*Key words: Learning Management Systems, e-Learning, Moodle*

## 1. UVOD

Menadžment znanja, odnosno upravljanje znanjem, kao i informacioni sistemi za učenje (LMS - Learning Management Systems) posljednjih godina dobijaju sve više na značaju.

<sup>1</sup> Dr Vlado Medaković, docent, UIS, Mašinski fakultet I. Sarajevo, vlado.medakovic@gmail.com

<sup>2</sup> Mr kand. Savo Šehovac, student, Mašinski fakultet I. Sarajevo, savosehovac@yahoo.com

<sup>3</sup> Spec. Srđan Vasković, viši asist., UIS, Mašinski fakultet I. Sarajevo, srdjan\_vaskovic@yahoo.com

<sup>4</sup> Davorin Đurović, dipl.inž.maš, student, UIS, Mašinski fakultet I. Sarajevo, djurovic,davorin@gmail.com

Prvi oblici LMS-ova datiraju još od sredine 50-tih godina 20. vijeka kada su Univerzitet Stanford i IBM uspostavili kolaboraciju putem "mainframe" računara. Iz tih pokušaja nastao je sistem, koji je bio sofisticiran za evaluaciju i odabir materijala, kroz koji se do 80-tih godina 20. vijeka prenijelo oko 40 miliona časova instrukcija za veliki broj različitih kurseva [9].

Učenje na daljinu je postalo integralni dio obrazovnih sistema posebno u razvijenim zemljama. Takođe i kod nas se javlja potreba za takvim oblikom učenja i pitanje je trenutka kada će ono da dobije ozbiljnu ulogu. Da bi bili spremni za ovakav vid učenja i da bi mogli efikasno da ga iskoristimo, moramo da se upoznamo sa njim, kao i da ga detaljno proučimo. Kada se govori o učenju na daljinu, često je u upotrebi niz termina: Distance Learning, Distance Training, Distance Education, eLearning (e-Learning, „e“Learning), Online Education, Virtual Instruction, Virtual Education, Virtual Classrooms, Electronic Classroom, Blended Learning...

Učenje na daljinu nastalo je mnogo prije nego što bi smo i pomislili. Naravno, ne u obliku u kojem ga mi danas poznajemo i koristimo, ali ono je imalo istu ulogu, prevazići fizičku udaljenost zarad prenošenja znanja. Pionir učenja na daljinu bio je *Isaac Pitman*, učitelj stenografije. On je primjenio učenje na daljinu u radu sa svojim studentima još 1840. godine u Engleskoj. Zadavao im je da prepisuju kratke poruke iz Biblije i vraćaju mu na pregled poštom. Održavao je komunikaciju sa studentima širom zemlje putem poštanskog sistema i podjednako uspješno im prenosio znanje.

Univerzitet u Londonu, 1859. godine, prvi je Univerzitet koji je ponudio stepen ili rang obuke za učenje na daljinu. Veliki doprinos tome dala je kraljica Viktorija.

Drugi pionir u institucionalizovanju ovog vida edukacije bio je Univerzitet u Južnoj Africi, koji je uveo Correspondence Education kurseve pre 1946. godine.

Najveći Distance Education univerzitet u Velikoj Britaniji, Open University, postoji od 1969. godine. U Njemačkoj je sličan otvoren 1974. godine, Fern Universität u Hagenu.

Širom svijeta danas postoji više od 90 institucija, najčešće pod nazivom Open University, po uzoru na davno nastali Otvoreni Univerzitet u Engleskoj, koji primarno ističu značaj učenja na daljinu.

Učenje na daljinu realizovalo se preko različitih medija kao što su radio, televizija, časopisi i novine, video trake, CD-ovi i na razne druge načine. Međutim, sadašnji i najatraktivniji oblik učenja na daljinu svakako se odvija preko računara. U današnje vrijeme, sve popularniji su i online univerziteti, koji studentima putem interneta pružaju usluge predavanja, obezbjeđuju literaturu i organizuju ispite. Uz pomoć interneta, studenti se upoznaju sa gradivom, komuniciraju sa nastavnicima i međusobno. Gradivo sa primjerima se može dobiti i putem raznih diskova, ali bez interneta, komunikacija sa nastavnikom je veoma otežana ili čak i nemoguća.

Jedna od najpoznatijih aplikacija za izradu on line kurseva je softverski paket pod nazivom *Moodle*. Nastao je u Australiji i osmislio ga je profesor računarskih nauka *Martin Dougiamas*, sa idejom da napravi sistem za upravljanje kursevima zasnovan na edukativnoj osnovi. *Moodle* je besplatni *open source* softver namjenjen elektronskom učenju ali i sistem za upravljanje kursevima. *Moodle* obezbjeđuje svojim korisnicima procese kao što su on line predavanja, literatura, razne vrste testova i kvizova sa i bez vremenskog ograničenja, kvalitetne forume i cirkularnu poštu. Sa administrativne strane tu su kontrola pristupa, sistem praćenja studenata, lako ažuriranje literature i kurseva. Može se koristiti za obrazovanje, obuku i razvoj studenata ili zaposlenih. *Moodle* ima takvu strukturu koja omogućava rad kako na složenim visokoškolskim projektima na kojima je angažovano na stotine korisnika, preko kurseva jedan na jedan, pa sve do najjednostavnijih, namjenjenih onima koji tek počinju sa školovanjem ili do sada nisu imali prilike da uče na ovaj način. Takođe Moodle može da se koristi i



kao pomoć kod klasičnog obrazovnog pristupa. Programiran u PHP-u, Moodle može da bude instaliran na bilo kom operativnom sistemu bilo da se radi o Windows, Macintosh ili Linux programima. Moodle za svoj rad koristi Apache, besplatni web server otvorenog koda i bazu podataka MySQL ili PostgreSQL.

Stalno se susrećemo sa potrebama za usavršavanjem i sticanjem novih znanja, pogotovo ako se govori o cjeloživotnom učenju i usavršavanju pojedinaca u cilju razvoja lokalnih zajednica, pa i društva u cjelini.

Brzina društvenih, ekonomskih i poslovnih promjena je uslovlila stalnu potrebu za učenjem i sticanjem različitih vještina. Proces učenja se ne može prepustiti stihijskim aktivnostima pojedinaca, već je potrebno osmisлити efikasan model koji će s jedne strane olakšati učenje, a sa druge strane podići nivo stečenih znanja i vještina, odnosno kompetencija odgovornih osoba, kako na lokalnom nivou, tako i na višim nivoima društva.

## **2. OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE**

Obnovljivi izvori energije (OIE), skraćenica engl. RES od engl. *Renewable energy sources*, predstavljaju energetske resurse koji se koriste za proizvodnju električne energije ili toplotne energije, odnosno svaki koristan rad, a čije rezerve se konstantno ili ciklično obnavljaju. Sam naziv obnovljivi, kao i trajni, potiče od činjenice da se energija troši u iznosu koji ne premašuje brzinu kojom se stvara u prirodi.

Sva energija na Zemlji potiče primarno iz tri izvora: Prvo - Sunčeva energija potiče od zračenja Sunca. Ono nastaje kao posledica termonuklearne reakcije unutar Sunca koje se ka Zemlji prenosi kao čitav spektar elektromagnetnog zračenja. Drugo - Raspad izotopa teških elemenata, nuklearna fisija u unutrašnjosti Zemlje i treće - Kretanje planeta - gravitaciona energija, koja se na Zemlji manifestuje kroz energiju plime i oseke.

Solarna energija se na planeti Zemlji manifestuje direktno i indirektno. Solarna energija, na neposredan način je i najveći izvor energije na Zemlji. Ona stalno obnavlja energiju vodnih snaga, vjetra, talasa, toplotnog gradijenta u okeanima i bioenergije kroz fotosintezu.

Sunčeva energija je prisutna i indirektno, kroz više vidova energija kao što su: hidroenergija, pod kojom se obično podrazumjeva samo energija vodotokova (tj. energija rijeka) pošto su energija glečera i energija morskih struja u ovom trenutku neisplative i tehnički zahtjevne za korišćenje. Energija plime i oseke ne spada u ovaj oblik, energija vjetra potiče od kinetičke energije vazdušnih masa, energija talasa, obično se navodi zasebno, jer originalno potiče od energije vetra, toplotna energija hidrosfere, tj. toplota mora potiče od termalnog gradijenta u morima i okeanima, energija biosfere ili biološka energija, energija nastala fotosintezom, tj. energija biomase, biogasa i uopšte biogoriva.

Nasuprot obnovljivim izvorima su neobnovljivi izvori energije. Oni bi se mogli definisati kao izvori za čije rezerve se očekuje da će biti iscrpljene za maksimalno nekoliko stotina godina, a čije bi obnavljanje trajalo višestruko duže.

Osnovni problem kod korišćenja fosilnih goriva za proizvodnju energije, predstavljaju štetne emisije u atmosferu koje se pojavljuju tokom procesa njihovog sagorijevanja. Te štetne emisije gasova izazivaju efekat staklene bašte i promjenu klime na Zemlji. To pored ograničenih rezervi fosilnih goriva predstavlja glavni nedostatak upotrebe fosilnih goriva. Jedan od načina smanjenja štetnih emisija u atmosferu i očuvanja životne sredine je korišćenje i obnovljivih izvora energije. Trenutno u svetu oko 13% potrošnje primarne energije potiče od obnovljivih izvora mada su tehnološki kapaciteti značajno veći[10].

### 3. ELEKTRONSKO UČENJE I PRISTUP

U današnje vrijeme u edukativne svrhe sve se češće primjenjuju nekonvencionalne metode i pristupi učenja. Predavanja profesora više nisu sačinjena samo od izlaganja činjenica i seta znanja koje studenti trebaju samostalno savladati usvajajući materiju ili učeći iz knjiga, već je naglasak prebačen na samostalno angažovanje, timski rad i rad studenata u otkrivanju i rješavanju problema. Uvođenjem metoda i tehnika koje daju mogućnost studentima da se dokažu kao pojedinci, ali i da sudjeluju u timskom radu, daje mnogo bolje rezultate koji vode i mnogo boljem razumijevanju materije.

Već od davnina profesori koriste razne metode koje bi im olakšale izlaganje materije studentima. Zbog toga se metode i sredstva razvijaju i variraju od najstarijih, pa do najmodernijih, pa se kroz istoriju pojavljuju pomoćna sredstva kao grafoskop, projektor i prezenter za "pokrivanje" auditorijuma predavanjima, koji su bili kombinovani sa ozvučenjima. Projekti i radovi studenata su se pojavljivali kao papirnate verzije dokumentacije. Isti su bili odlagani i više nikada ili rijetko kad korišteni. Sa pojavom računara, aplikacionog softvera, Interneta i mogućnosti brze komunikacije, profesori a i studenti počinju sve više prepoznavati dobre osobine ovoga sistema iskorištavajući ga za edukacijske svrhe.

Razvojem softverskih paketa koji zadovoljavaju određeni broj alata koji su potrebni za rad, primjena računarske tehnologije i aplikativnog softvera doživljava ekspanziju a onda i prebrat uvodeći ovu tehnologiju kao poticaj da se pređu granice udaljenosti i različitosti između studenata.

Ako se pogleda i analizira Internet (svjetska globalna mreža), može se zaključiti da djelimično predstavlja enciklopediju znanja, u kojoj se mogu pronaći većina odgovora na pitanja kojima se bavi istraživanje. Upravo tu započinje istraživačko djelovanje kao studenata. Danas se softver koristi u skoro svim segmentima edukacije. Tako postoji njegova upotrebu kao alata za pisanje dokumenata, do specijalizovanih alata koji rade sa ugrađenim sistemima i uređajima. *E-learning* (elektronsko učenje) se pojavljuje kao osnovni termin koji pravi spregu između studenata, profesora, materije i elektroničkog vida učenja, na šta god se to odnosilo.

Vođenje nastave i kurseva putem računara moralo je rezultirati razvoju specijalističkog softvera koji će opslužiti većinu, ako ne i sve zahtjeve koji su postavljeni. Ovakav softver predstavlja *LMS- Learning Management System* koji može biti sačinjen od više fragmenata koji osiguravaju kvalitet i podršku u radu.

### 4. LEARNING MANAGEMENT SYSTEM

*Learning Management System* (LMS), predstavlja softversku aplikaciju za administraciju, dokumentovanje, praćenje i izvještavanje procesa edukacije, te podršku za on line učionice, *e-learning* program te razmjenu sadržaja za vježbu. U radu "*Field Guide to Learning Management Systems*" (R. K. Ellis, 2009) sistemi za učenje moraju imati mogućnost da podrže: centralizovanu i automatsku administraciju, korištenje servisa, konstantno sastavljanje i dostavljanje materije za učenje, objedinjavanje treninga na web platformama, prenosivost i standardizaciju i prilagođavanje znanja i omogućavanje ponovnog korištenja istog[8].

Bitna činjenica jeste da LMS treba podržati mogućnost integracije sa drugim alatima i da sa njima čini jedno rješenje kojim bi se mjerio uticaj, efektivnost i kvalitet vođenja nastave primjenom elektronskog vida učenja.

Pravilan izbor odgovarajućeg LMS sistema predstavlja misiju koja često može biti veoma kompleksna, i u tu svrhu najprije je potrebno definisati prioritete koji će jasno definisati potrebe koje trenutno postoje od LMS sistema, te potrebe koje će u skorijoj budućnosti biti potrebne.

Kao jedan od najpoznatijih LMS sistema pojavljuje se *MOODLE - Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment* (modularni objektno orjentisani dinamički sistem za učenje). Moodle predstavlja *open-source* (platforma otvorenog koda) platforma koja obezbjeđuje podršku za on line edukacijski sistem baziran na kursevima i razmjeni materijala. Moodle ima nekoliko osnovnih osobina svakog *e-learning* sistema, ali ima i inovativnih alata koji su uključeni kao njegovo proširenje. Kao takav, Moodle može biti iskorišten za širok spektar edukacionih i poslovnih domena, tj. u edukaciji, kursevima, razvoju te poslovanju. Neke od osnovnih karakteristika i proširenja Moodla su: dodjela zahtjeva, forum, preuzimanje datoteka, ocjenjivanje, moodle trenutne poruke, kalendar, vijesti i najave, kvizovi i wiki stranice.

Ono što Moodle platformu čini posebnom jeste činjenica da je Moodle napravljen kao proširiv alat, pa tako postoji mogućnost da prethodno navedena funkcionalnost bude proširena sa setom dodatnih alata. U slučaju da neki od alata ne postoji, postoji mogućnost nadgradnje i proširenja Moodla novim alatima koji će zadovoljiti postavljene zahtjeve. Sam Moodle je interoperabilan i može se instalirati na bilo kojoj platformi koja podržava PHP, te MySQL bazu podataka, bez modifikacija ili dodatnih napora. Može se reći da Moodle u potpunosti nudi softversku podršku za cjeloživotno i *e-learning* učenje kroz svoje alate i dostupnost.

Sistemi za upravljanje kursevima stvorili su nove mogućnosti u obrazovanju koje nisu postojale ranije. Ovakvi sistemi ne umanjuju značaj tradicionalnog načina učenja kroz koji se prolazi tokom osnovnog, srednjeg i univerzitetskog obrazovanja. Primjenom novina, koje su se pojavile sa Sistemima za upravljanje kursevima, na tradicionalne metode učenja postiže se znatna efektivnost u procesu obrazovanja.

Neke od prednosti Sistema za upravljanje kursevima koje opravdavaju njihovo korištenje: potrebe studenata, fleksibilan pristup individualnom rasporedu studenata, povećanje kvaliteta kurseva, postavljanje i dijeljenje materijala i uslovni zadaci i aktivnosti.

## **5. OSNOVE SD TRAIN MOODLE-A**

### **5.1 SD Train kursevi**

U okviru Tempus projekta pod nazivom "*Trening kurs za razvoj održivih infrastruktura za lokalne zajednice u zemljama Zapadnog Balkana*", kreiran je sistem za on line učenje koji u cjelosti prati priručnik „Obnovljivi izvori energije“. Navedeni sistem zasnovan je na ranije pomenutoj *open-source Moodle* platformi, a predstavlja izuzetno popularan sistem za upravljanje kursevima i idealan je za dinamičko on line učenje. Moodle daje profesorima odličan set web baziranih alata za niz aktivnosti kao što su forumi, poruke, kvizovi, zadaci, wiki, lekcije, i u sklopu pomenutog kursa, većina ovih alata će biti implementirana kao podrška za što bolji i što pristupačniji rad studenata koji participiraju u pohađanju krusa.

Ciljna skupina ovog priručnika je prvenstveno zasnovana na edukacijskom osoblju, koje postavlja, kontroliše i održava kurseve na projektu SDTrain.

Sistem za upravljanje kursevima Moodle predstavlja web aplikaciju, koja je dostupna za korištenje putem web browsera. Profesori i studenti, tj. korisnici sistema, mogu pristupati sa bilo kog mjesta koje posjeduje internet konekciju, čime je zagarantovano osnovno pravilo *e-learning*a da pristup servisima bude javni i uvijek

dostupan. U slučaju SDTrain Moodle sistema za elektronsko učenje, server se nalazi na Univerzitetu u Istočnom Sarajevu i dostupan je na adresama:

- <http://www.sdtrain.unssa.rs.ba/>
- <http://sdtrain.unssa.rs.ba/>
- <http://www.sdtrain.ues.rs.ba/>
- <http://sdtrain.ues.rs.ba/>

U svojoj osnovi, sistem za upravljanje kursevima daje edukacione alate za kreiranje kurseva i pruža kontrolisani pristup tj. iste mogu vidjeti samo korisnici prijavljeni sa odgovarajućom ulogom. Sistem također nudi širok spektar alata koji kurs čine efektivnijim. Oni omogućavaju: jednostavan način upload-a i dijeljenja materijala, čuvanje on line diskusija i chat-ova, kreiranje kvizova, prikupljanje i pregledanje zadataka kao i niz drugih aktivnosti.

## 5.2 Moodle okruženje

Početa stranica SDTrain Moodle Sistema za elektronsku distribuciju materijala prikazana je na slici 1. Moodle koristi niz konvencija za prikaz kurseva i podataka. Korisnički interfejs se sastoji iz kompozicije dijelova koji su organizovani u određene skupine (u zavisnosti od izabranog predloška izgleda), ali najčešće se sastoji od centralnog dijela u kojemu se prikazuju bitne informacije i kontekst trenutno selektovanog kursa, te blokovi pogleda, koji predstavljaju skup korisnih informacija.

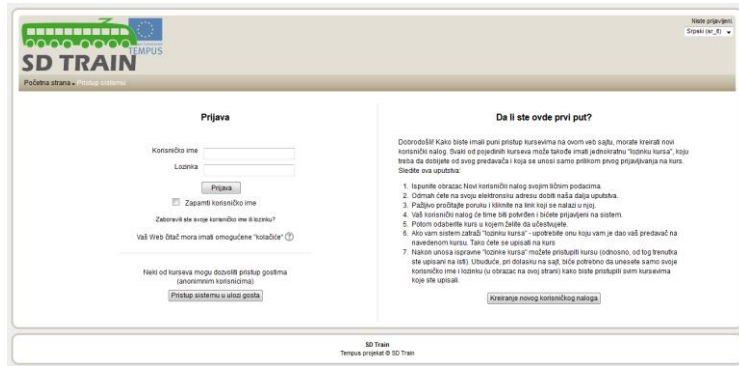


Slika 1. Početna stranica SDTrain Moodle sistema za elektronsku distribuciju materijala [8]

Na lijevoj strani mogu se vidjeti blokovi koji sadrže informacije o novostima, te dostupne kurseve, dok je na desnoj strani postavljen prikaz odgovornih osoba na kursevima te kalendar aktivnosti (prikaz može biti i drugačije formatiran i zavisi od izabranog predloška izgleda Moodle platforme).

## 5.3 Kreiranje naloga

Za prijavu na SDTrain Moodle sistem, korisnik otvara formu za prijavu koja se nalazi na liknu "prijava" na početnoj stranici SDTrain Moodle sistema za elektronsku distribuciju materijala (slika 1.), u gornjem desnom uglu. Nakon izbora linka korisniku se prikazuje stranica prikazana na slici 2. za prijavu na sistem. Korisničko ime i lozinka zavise od toga kako je sistem podešen, a o tome obavještava administrator sistema sve zainteresovane strane.



Slika 2. Login – forma za prijavu na SDTrain Moodle sistem [8]

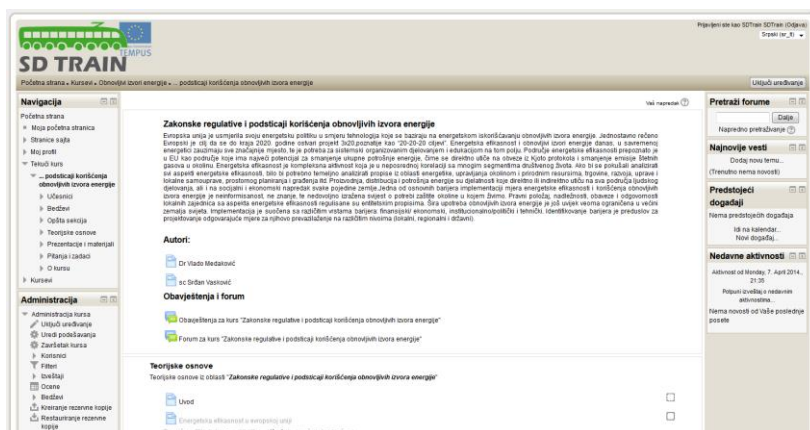
Korisnici koji žele da koriste sistem za učenje mogu se registrovati izborom linka "Kreiranje novog korisničkog naloga" sa forme za registraciju (slika 2.). Ovaj način registracije naziva se e-mail bazirana samostalna registracija i omogućava korisnicima da se sami registruju, a potvrda validnosti se vrši preko e-mail adrese korisnika. Nakon popunjavanja forme prikazane na Slici 3., korisnik dobija aktivacioni e-mail sa linkom za aktivaciju naloga. Svaki novi korisnik koji se sam registruje, dobija na sistemu SDTrain Moodle ulogu *Student* i ima mogućnost da pristupi kursovima i materijalima kurseva.

Slika 3. Forma za kreiranje novog naloga [8]

## 5.4 Pregled stranice za kreiranje kurseva

U implementaciji projekta iskorištena je mogućnost proširivog pristupa organizaciji moodle platforme. Pod proširivim pristupom podrazumijeva se pristup koji omogućava dodavanje novih projekata tj. predmeta koji mogu biti iz različitih domena. Tačnije, svaki kurs je podjeljen u kategorije od kojih se svaka može sastojati od niza kurseva. U sastavu SDTrain projekta, kreirana je kategorija *Obnovljivi izvori energije* koja se sastoji od osam kurseva (pristup kategoriji se nalazi na dnu početna stranice SDTrain Moodle sistema za elektronsku distribuciju materijala, slika 1.: Zakonske regulative i podsticaji korišćenja obnovljivih izvora energije, Hidroenergija, energija vodotokova, Biomasa, Iskorišćenje energije vjetra, Solarna energija, Geotermalna energija, Energija plime i oseke, energija morskih talasa i Gorivne ćelije.

Odabirom bilo kojeg kursa iz kategorije dobija se nova stranica koja prikazuje sadržaj i detaljan prikaz kursa, što je prikazano na slici 4.



Slika 4. Detaljan prikaz kurseva [8]

## 6. ZAKLJUČCI

Učenje samo po sebi se značajno razlikuje od prostog pamćenja činjenica i predstavlja složen proces u velikoj mjeri zavisan od ambicija i intelektualnih sposobnosti pojedinca. Klasični načini i metode učenja su dostigli svoj maksimum i potrebno je modernizovati nastavu u školama i univerzitetima. Nepobitno je dokazano da je efikasnost procesa učenja poboljšana ako se u nastavu uvedu novi sadržaji, novi načini izvođenja nastave i novi alati. Sve to na neki način bolje motiviše pojedinca da uloži veći napor u procesu učenja, što neminovno dovodi i do boljih rezultata tj. većeg nivoa usvojenih znanja i vještina.

Edukacija nadležnih u lokalnim zajednicama iz oblasti OIE je efikasnija primjenom e-learning-a, odnosno Moodle, jer ne zahtjeva dodatne troškove koji se odnose na sve aktivnosti koje bi nastale primjenom klasičnog načina učenja.

## LITERATURA

- [1] Kuleto, V., Dedić, V: E-learning, Beograd 2013.
- [2] McIntosh D.: Vendors of Learning Management and E-learning Products, 2014.
- [3] Grupa autora (Learning Working Group): About learning, 2013.
- [4] Medan D.: Učenje na daljinu, Matematički fakultet Univerzitet u Beogradu – master rad, 2009.
- [5] Muslin M.: Vrednovanje sustave e-učenja metodom eksperimenta, Prirodoslovno matematički fakultet Sveučilište u Splitu – diplomski rad
- [6] Popović, P.: E-learning/e-učenje, 2012.
- [7] Grupa autora: Open-source Learning Management System, 2010.
- [8] Vujović V., i grupa autora: Korištenje i primjena MOODLE sistema za podršku edukacije iz projekta: Trening kurs za razvoj održivih infrastruktura za lokalne zajednice u zemljama Zapadnog Balkana, Istočno Sarajevo 2014.
- [9] PLATO: The Emergence of Online Community, David R. Woolley, 1994.
- [10] Grupa autora: Priručnik za obnovljive izvore energije i održivi razvoj lokalnih zajednica, ne recenziran materijal, Istočno Sarajevo, 2013.



## TEMELJI NOVE INDUSTRIJSKE REVOLUCIJE – INDUSTRIJA 4.0

Elvis Hozdić<sup>1</sup>, Emine Hozdić<sup>2</sup>

*Rezime: U ovom radu prikazano je područje koje obuhvata nove poglede na industrijsku proizvodnju koja se danas razvija prije svega na temeljima Njemačke industrijske proizvodnje. Na pragu nove industrijske revolucije nazvane Industrija 4.0, još uvijek nismo sigurni da smo kročili u tu novu epohu, i ako mnogi sudionici ovog projekta vjeruju da jesmo ili to pak priželjkjuju. Kroz ovaj rad obuhvatili smo temeljne faktore industrijske revolucije kroz pogled na Evropsku proizvodnu platformu, cyber - fizičke sisteme, njihove karakteristike, osobine i mogućnosti, a što nam otvara put ka pametnim tvornicama i pametnoj proizvodnji kroz prizmu digitalne proizvodnje i perspektiva Evropske unije na polju moderne industrijske proizvodnje.*

*Ključne riječi: Industrijska revolucija, cyber- fizički sistemi, digitalna proizvodnja,*

### **THE FOUNDATIONS OF A NEW INDUSTRIAL REVOLUTION – INDUSTRY 4.0**

*Abstract: This paper describes the area covered by new perspectives on industrial production, which is now developing along the lines of German industrial production. On the threshold of a new industrial revolution called Industry 4.0 we are still not sure that we entered into this new era, though many participants in this project believe that we are or aspire to. Through this work we evaluated the underlying factors of the industrial revolution through the eyes of the European manufacturing platform, cyber-physical systems, their features and capabilities, which opens up the way to smart factories and smart production through the lens of digital production and prospects of the European Union in the field of modern industrial production.*

*Key words: Industrial Revolution, cyber-physical systems, digital production*

## 1. UVOD

Danas smo na pragu nove industrijske revolucije, revolucije kojom se digitalne mreže povezuju sa operativnim vrijednostima u inteligentne fabrike, i koja obuhvata sve, od inicijalne ideje, preko dizajna, razvoja i proizvodnje proizvoda, sve do održavanja, servisiranja i recikliranja.

Kao i njene tri prethodnice, ova četvrta industrijska revolucija – Industrija 4.0 – uvešće nas u novu eru proizvodnje. Uvođenje parne mašine u 18. vijeku, pokretne trake u

---

<sup>1</sup> PhD candidate, Elvis Hozdić, Ljubljana, Faculty of Mechanical Engineering, ehodzic@yahoo.com

<sup>2</sup> Student, Emine Hozdić, Vel. Kladuša, Faculty of Technical Engineering Bihać, emine\_hozdic@yahoo.co

fabrikama automobila Henrija Forda prije sto godina, i IT i kompjuterski kontrolisanih sistema u posljednjim dekadama 20. vijeka – sve je to iz osnova promijenilo svijet rada. Ni ova revolucija neće biti ništa manje transformativna. Industrija 4.0 podrazumijeva horizontalnu integraciju protoka podataka među partnerima, dobavljačima i korisnicima, kao i vertikalnu integraciju u okviru samih organizacija – od razvoja do finalnog proizvoda. Ona stapa virtualni i realni svijet. Rezultat je sistem u okviru kojeg su svi procesi u potpunosti integrisani – sistem u kojem senzori i čipovi identifikuju i lociraju proizvode, i u kojem proizvodi znaju svoj istorijat i trenutni status. Ova mreža mašina, skladišnih sistema i proizvodnih postrojenja će razmjenjivati informacije u realnom vremenu. Brzina promijena u potrošačkim trendovima biće značajan pokretač Industrija 4.0. Vrijeme između generacija proizvoda postaje sve kraće. Korisničke preference mogu se promijeniti dok su brodovi koji prevoze postojeću generaciju proizvoda još na moru. I ovo se podjednako odnosi na patike, majice, elektronske uređaje kao što su smart telefoni, i sve ostale proizvode koji su pod uticajem mode i korisničkih sklonosti. S obzirom da se proizvodi konfiguriraju kako bi odgovorili na preference individualnih korisnika, proizvodnja mora biti fleksibilnija i mora da traje kraće. Poenta je u kreiranju vrednosti za korisnike, a to znači uključiti ih u proces od samog početka. Naravno, u prednosti su kompanije koje koriste visoko efikasnu masovnu proizvodnju kako bi postigle ekonomiju obima, dok istovremeno imaju mogućnost da ponude visok nivo prilagođavanja. U toj sferi Industrija 4.0 može dati ogroman doprinos. Samo digitalizacija može upola skratiti vrijeme procesa od odobrenja koncepta do isporuke proizvoda, dok će efikasnost inženjeringa biti povećana za 30%. Drugim riječima, ukoliko žele da ostanu konkurentne na globalnom tržištu – kompanije neće imati drugi izbor nego da unaprijede svoje poslovanje. Ništa od ovoga se neće desiti preko noći. Riječ je o postepenom procesu kojem će trebati 20 godina da se okonča. Međutim, temelji se postavljaju danas. Mnogi elementi Industrija 4.0 su već dostupni. Nemačka je idealno pozicionirana da ovlada ovom transformacijom. Ima jaku industrijsku bazu i dualni obrazovni sistem na kojem joj zavide mnoge zemlje. Dodatno, nemačke kompanije imaju visok nivo ekspertize u proizvodnim i fabričkim procesima, kao i u digitalnim mrežama. Uvijereni smo da će Industrije 4.0 inspirisati inovacije, i ne samo u startup-ovima, porodičnim firmama i velikim kompanijama u Nemačkoj, već i u preduzetništvu širom svijeta. Čak i ako je novi svijet Industrija 4.0 je još uvek samo vizija – to je vizija sa potencijalom da postane pogon za izvoz ne samo Nemačke, već i cijele Evrope.

## **2. OSNOVE ZA NOVU INDUSTRIJSKU REVOLUCIJU U EVROPSKOM PROIZVODNOM PROSTORU**

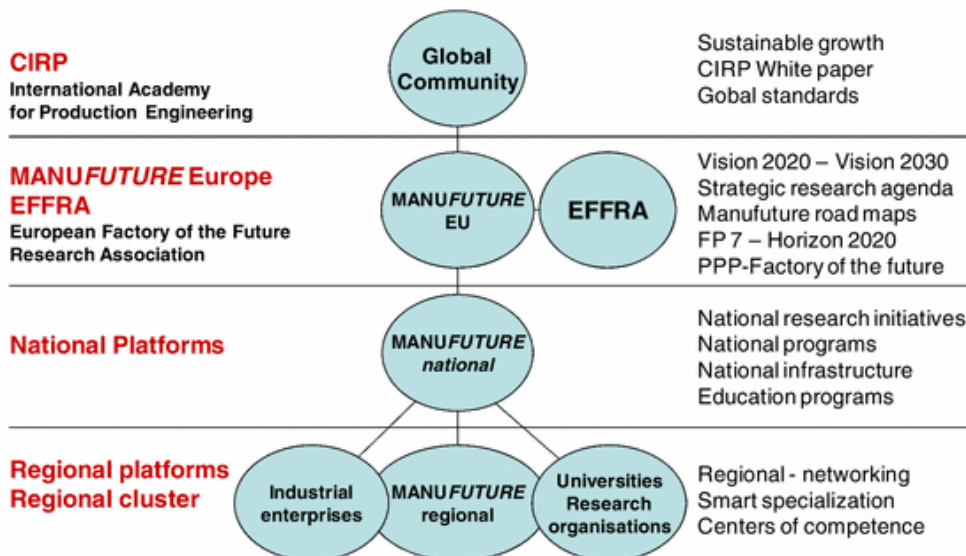
### **2.1 Evropska tehnološka platforma za proizvodnju – *ManuFuture***

Koncept *ManuFuture* je izrađen 2003. godine na Glavnoj skupštini CIRP – a, a Europska *ManuFuture* Platforma je lansirana u proljeće 2004. Ona daje vizije, strategije, cestovne karte i doprinose za proizvodni razvoj u Evropi. *ManuFuture* je neformalna organizacija istraživača, industrije i organizacija javno- privatnog partnerstva, koja okuplja zainteresirane za raspravu o izazovima i djelovanju prema dugoročnim ciljevima, slika 1.

Godišnja *ManuFuture* konferencija (2003-2011) i Svjetski proizvodni Forum (2011, 2012) odražavaju izazove i buduće orijentacije predloženog razvoja. *ManuFuture* kao trans - sektorska platforma je organ koji objedinjuje interese hiljada preduzeća, koje su uključeni u proizvodnju robe. Misija Europske tehnološke platforme



ManuFuture je da predložiti, izraditi i provoditi strategiju na temelju istraživanja i inovacija, sposobnu za ubrzanje stope industrijske transformacije za visoke dodane vrijednosti proizvoda, procesa i usluga [1].



Slika 1. *Evropska tehnološka platforma ManuFuture [1]*

ManuFuture je razvio Vision 2020, Strateški plan istraživanja (SRA) i Mape puta kao doprinos inicijativi Europskog istraživanja u FP7 i Tvornici u budućnost (FoF). Vizija je uglavnom bila pod utjecajem izazova prema konkurenciji i održivosti putem transformacije iz troškovne usmjerenosti ka visokoj dodatnoj vrijednosti s tehničkih i organizacijskih inovacija. ManuFuture predlože polja proaktivnih mjera za kooperativno istraživanje u Europi [2][3]. Dinamika promjena u svjetskom gospodarstvu kao i financijska kriza s utjecajem na proizvodne industrije i globalne društvene "megatrendove" zahtijevaju nove strateške orijentacije i dugoročne ciljeve. Nove strategije su potrebne za zaustavljanje de - industrijalizacije Europe i promijene ciljeva od gospodarskih do socijalnih i ekoloških aspekata. Razumijevanje tvornice kao socio - tehničkog sistema, čija učinkovitost ovisi ne samo o unutarnjoj izvedbi tvrtki, već i od perifernih javnih sistema. Znanost, industrija i javna zajednica moraju koncentrirati svoje kompetencije za ostvarivanje dugoročnih ciljeva. Uzimajući u obzir ekonomske razlike u europskim zemljama čini se da će biti potrebno integrisati regionalne strukturne razvoja u dugoročne ciljeve za reindustrializaciju Europe [1].

## 2.2 Cyber – fizički sistemi - osnova za razvoj fabrika budućnosti

Izraz "cyber-fizički sistemi" nastao je 2006, kada ga je prvi put upotrebila Helen Gill iz Nacionalne zaklade za znanost u Sjedinjenim Američkim Državama. Iako smo svi upoznati s pojmom "cyberspacea", kojeg povezujemo s CPS (Cyber - Physical Systems), korijeni pojma CPS su stariji i dublji. Prisutnost pojma "cyber" u širem društvu primjećuje se tek komercijalizacijom interneta sredinom 1990-ih. Do tada su pojmovi poput *cyber*, *cyborg* i druge inačice bili prisutni samo u znanstvenim i književnim krugovima, posebice u književnom žanru cyberpunk, kojeg je započeo

William Gibson sredinom 1980-ih. Zbog tog vremenski relativno kratkog razdoblja većina radova vezanih uz temu postojanja i funkcioniranja cyber društva kreće u ekstremnim smjerovima od potpune utopije suživota ljudi, robota i kiborga do vizija totalnog uništenja naše planete. Pojam "cyber" korišten je po prvi put 1834. godine kada ga je francuski fizičar André-Marie Ampere (1775 - 1836) istaknuo kao oznaku "cybernétique", koja je označavala znanosti o vladanju u njegovom sistemu ljudskog znanja. Sam pojam "cyber" ima dva korijena u grčkom jeziku: u riječi *kubernetes* koja znači upravitelj te u riječi *kubernan* koja znači upravljati. Moderno korištenje pojma kibernetika počelo je u vrijeme Drugog svjetskog rata. Sam pojam kibernetika (cybernetics) skovao je Norbert Wieneru istraživanju teleoloških mehanizama, a popularizirao ga je u knjizi "Cybernetics, or control and communication in the animal and machine" objavljenoj 1948. godine.

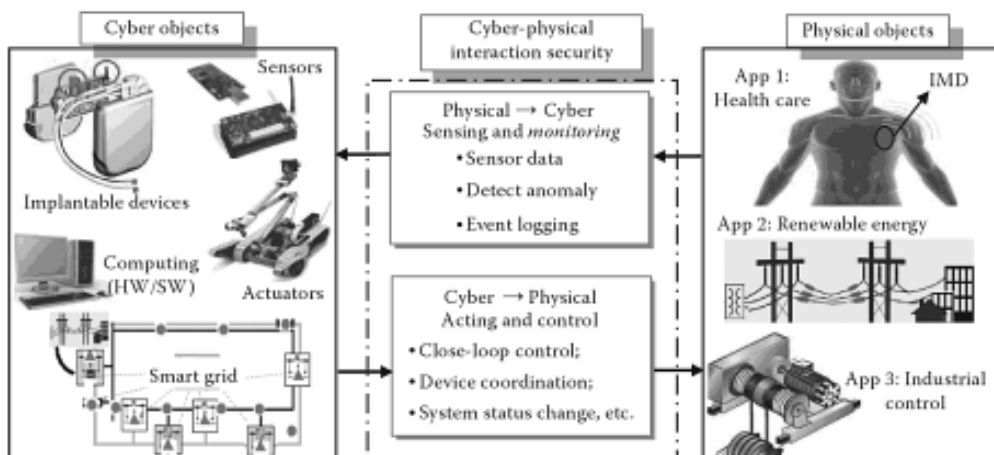
I ako ne postoji zajednička definicija za cyberspaceu, a i one koje se koriste su često nejasne ili im nedostaju ključne komponente. No možemo zaključiti sljedeće: cyberspace je ovisno vremenski ograničeno međusobno povezanost informacijskih sistema i ljudskih korisnika koji su u interakciji s tim sistemima, a što nas upućuje na nove Cyber – fizičke sisteme (Cyber – Physical Systems - CPS).

Cyber-fizički sistemi su integracija računara sa fizičkim procesima. Ugrađeni mrežni računari vrše nadzor i kontrolu fizičkih procesa, obično s povratnom petljom gdje fizikalni procesi mogu utjecati na proračune i obrnuto. Terensko istraživanja inženjeringa cyber-fizikalnih sistema je privuklo veliku pozornost iz akademske zajednice, industrije, a zbog potencijalne koristi društvu, gospodarstvu i okolišu. U cjelini, CPS se odnose na sljedeću generaciju projektiranih sistema koji zahtijevaju čvrstu integraciju računalstva, komunikacije, i kontrolu tehnologije za postizanje stabilnosti, performansi, pouzdanost, robusnost i učinkovitost u radu s fizičkom sistemima u mnogim područjima primjene [4].

Tijekom posljednjih nekoliko desetljeća, napredak u računalstvu i komunikacijskim tehnologijama je bitno značajan da mi se sada odnosimo prema njima kao kolektivnom poticaju na revoluciju informacijske tehnologije (IT). Svaki aspekti današnjeg društva, socijalne, industrijske i gospodarske djelatnosti su vrlo ovisne o takvim cyber-sistemima i tehnologijama. Konkretno, Internet je promijenio način na koji smo komuniciraju jedni s drugima i kako stvorio, distribuiranu konzumaciju informacije. Nastavljajući ovaj trend, pojava sveprisutnih ugrađenih računalnih sistema, očitavanje, i bežične mrežne tehnologije postaju ključ koji omogućavaju tehnologije sa kojima smo u interakciji, kontrolu, i izgradnju fizički projektiranih sistema kao što su automobili, zrakoplovi, energetske mreže, proizvodni pogoni, medicinski sistemi, i izgradnja sistema, o kojima naše moderno društvo i ekonomija postaju vrlo ovisni [5].

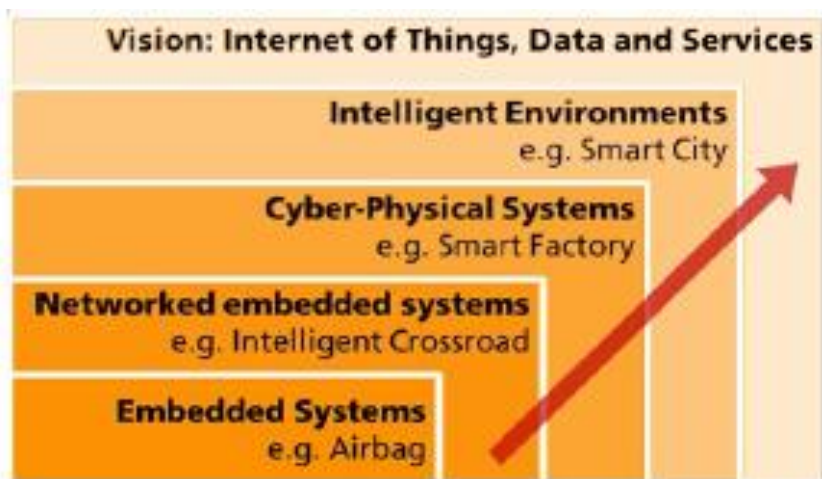
Potencijalne prednosti konvergencije računalstva, komunikacijske i upravljačke tehnologije za razvoj iduće generacije projektirana sistema koje se može nazvati CPS su transformativni i u širokom rasponu. Kroz real-time ugrađene sisteme za distribuciju, računanja i kontrole nad žičanim ili bežičnim komunikacijskim mrežama, multi-objektivni optimizacije, visoke razine odlučivanja algoritama, i formalno verifikacije tehnologije, projektirana sustava u mnogim društveno kritična područja, kao što su prijevoz, energije, te medicinskih sustava može biti dizajniran i razvijen, pouzdan, siguran, učinkovit i robusan.

Na slici 2. dat je prikaz cyber – fizičkih sistema.



Slika 2. Cyber – fizički sistemi [6]

Cyber-fizičko sistemi povezuju virtualni cyber svijet sa stvarnim, fizičkim svijetom na Internet stvari, podataka i usluga [7]. Oni hvataju podatke iz stvarnog svijeta putem senzora, obrađuju ih sa softverom za ugrađeni regulatori, korištenjem Interneta i oblak računarstva za međusobnu komunikaciju između konektora i u interakciji su sa stvarnim svijetom pomoću mehatroničkih pogona [8]. Prva područja primjene su npr. robotika, auto navigacija, zdravstveni ili energija distribucije [9]. U međuvremenu, CPS će se smatrati novom ključnom tehnologijom čak i za proizvodne procese. Za opstanak među supješnim, to će biti presudno kroz razvoj i rad autonomnih, samoupravnih, utemeljenih na znanju i sensorima proizvodnih sistema [10]. Na slici 3. prikazana je evolucija Interneta stvari.

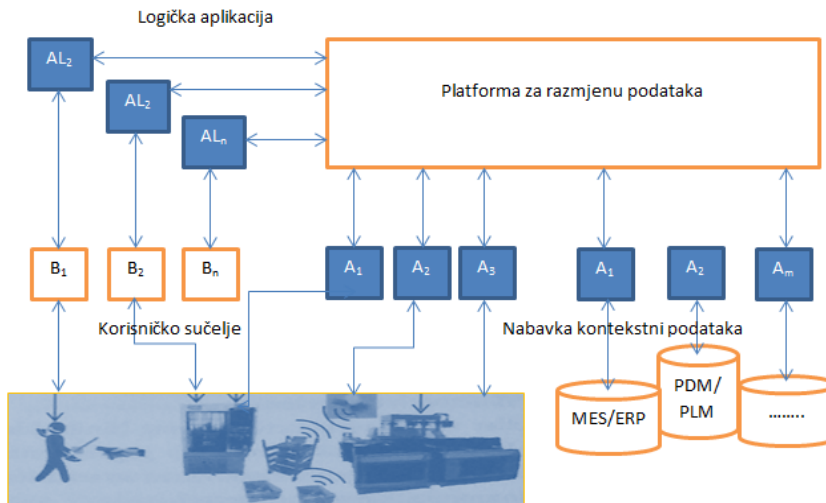


Slika 3. Evolucija Internet stvari [11]

### 2.3 Pametne tvornice (Smart Factory)

Paralelno razvoju industrijska proizvodnja je u posljednjih nekoliko godina

doživjela snažne i duboke promjene. Tvornice su sada više nego ikada fleksibilne na nepredvidljive turbulencije i zahtjeve za povećanje produktivnosti, a u isto vrijeme, sistemi proizvodnje se stoga moraju privikavati i na vanjske turbulencije kao fluktuacija rada, kao i za unutarnje previranja kao neuspjeh stroja ili loše kvalitete [12]. Pristupi rješavanju problema optimizacije troškova, vremena i kvalitete pojedinog radnog mjesta su kroz korporativne mreže. Uz rad, potrebno je okupljanje alatnih strojeva, mobilne opreme, kao što su alati ili mjerni uređaji za proizvodnju proizvoda. Informacije, kao što su radni nalozi, postavke stroja ili dostupnost alata igraju ključnu ulogu, jer povezuju pojedinačne mogućnosti jedinica i određuju im ciljeve. Dok je učinjen napredak u razvoju strojeva i opreme u smislu modulariziranja i fleksibilnosti u posljednjih nekoliko godina, informacije o tim strojevima i opremi, pokrenutim procesima su raspoređene u više različitih informacijskih sistema. One rade uglavnom s vlastitim specifičnim podacima i formatima unutar aplikacije u određenom području. Međutim, ovi informacijski sistemi moraju raditi zajedno bez problema, tako da smanjenje troškova, smanjenje vremena i zahtjevi za kvalitetom budu ispunjeni. Pristup pravim informacijama u pravo vrijeme na pravom mjestu je još uvijek izazov. Za to je potrebno da znaju ne samo statički tip informacije o nekom objektu poput stroja, već i povezane informacije kao što su tok radnog naloga ili temperatura hale i vlažnost vazduha. Heterogenost informacijskih sistema se odražava u njihovim sučeljima, formatu podataka i modelu podataka, visokim troškovima kada se prilagođavaju novim varijantama proizvoda, kao i tijekom rada. Još jedan problem je postojeća decentraliziranost. Ti podaci mogu biti i logički i fizički distribuirani kroz informacijske sisteme u cijeloj proizvodnji. Često postoji loša sinhronizacija i posljedično različite vjerodostojnosti podataka pohranjenih u informacijskim sistemima što izravno dovodi do problema u proizvodnji. Za prave odluke za rješavanje trenutne turbulencije, posebno su bitne tačne informacije. Dakle, informacija igra ključnu ulogu. Cilj bi trebao biti što je moguće preciznije odrediti stanje u proizvodnji imajući na umu sve sadržane objekate. Primjerice, proizvodnja se može regulirati u stalno promjenjivim uvjetima. Jedna od posljedica je i koji alati moraju biti razvijeni za otkrivanje trenutnih podatka u proizvodnom procesu, te kako ih rasporediti tako da oni mogu podržati ljude u odlukama koje će poduzeti u određenim situacijama [13]. Na slici 4. prikazana je koncept pametne tvornice.



Slika 4. Koncept pametne tvornice [13]

Proizvodnju nove generacije treba prilagoditi promijenjivim uvjetima i pitanjima koja se pred nju postavljaju. Optimiranje rada postrojenja će se provoditi kroz poboljšanje i ubrzanje komunikacije. Polazišta su u rješenjima koja nudi vizija "Pametna okruženje" za proizvodnju. Na temelju toga, u knjizi "Smart Factory", pametna tvornica se definira kao tvornica ljudi i strojeva povezanih u izvršavanju svojih zadataka [14]. Izraz pametna tvornica se koristi u industriji praktično i znanstveno, iako ne postoji konzistentna definicija. Postoji nekoliko drugih pojmova koji se koriste u tu svrhu: U - Tvornica (sveprisutna tvornica) [15], tvornica stvari [16], tvornica u realnom vremenu [17], ili inteligentna tvornica budućnosti [18]. Znanstvenici koriste termin pametne tvorničke tehnologije, u pristupu [17], [16], ili paradigma [15].

Yoon et al. [15] razvili konceptualni okvir koji se temelji na dizajnu proizvoda, proizvodnju i recikliranje putem tzv sveprisutnih računalnih tehnologija. Prema njima, konvencionalne proizvodne paradigme, kao što su fleksibilni, vitki, holonski i agilni proizvodni sistemi nisu baš obećavajući pri rješavanju glavnih suvremenih proizvodnih problemi npr. netačnost u prognoziranju potražnje i poteškoća s individualiziranjem kontrole proizvodnje.

Prema viziji Yoon et al., *U-Tvornica* bi trebala biti "inovativna tvornica koja kombinira sveprisutne računalne tehnologije kao omogućitelja rješavanja problema s postojećim komponentama" [15]. Stoga, oni definiraju U - tvornicu kao "tvornički sistem u kojem se samostalna i održiva proizvodnja odvija prema načelu okupljanja, razmjene i korištenja informacija transparentno bilo gdje u bilo koje vrijeme s umreženom interakcijom između strojeva, materijala i sistema, na temelju sveprisutne tehnologije i proizvodne tehnologije" [15]. Ipak, koncept U- tvornica još nije realiziran. Što više, kako bi se ostavio napredak potrebno je razvijati softverske i hardverske tehnologije, uključujući i tehnologiju proizvodnje, informacijske tehnologije i sveprisutne tehnologije, te ih kombinirati [15].

Na osnovu svega prethodno iznesenog mogli bi smo definirati konceptualnu definiciju pametne tvornice [19]:

*Smart Tvornica je proizvodno rješenje koje pruža takve fleksibilne i prilagodljive proizvodne procese koji će riješiti probleme u svijetu koji nastaju u proizvodnom pogonu s dinamičnim i brzo mijenjajućim kritičnim uvjetima povećanja kompleksnosti. Ova posebna rješenja mogu s jedne strane da se odnose na automatizaciju, što bih shvatili kao kombinaciju softvera, hardvera i / ili mehanike, koji bi trebao dovesti do optimizacije proizvodnje, a što rezultira smanjenjem nepotrebnog rada i gubitka resursa. S druge strane, to se može vidjeti u perspektivi suradnje između različitih industrijskih i neindustrijska partnera, gdje uspješnost dolazi iz oblikovanja dinamičkih organizacija.*

## 2.4 Vizija buduće proizvodnje u Evropi

Nakon utjecaja megatrendova i postavljenih ciljeva, moguće je definirani četiri središnje vizije tvornica, a što može ilustrirati budući razvoja u proizvodnji. One su glavna tema za razvoj proizvodnih sektora. Slika 6. prikazuje glavne vizije za proizvodnju 2030. One su usredotočene na povećanje vrijednosti od strane konkurencije i na održivosti. Istraživanje može doprinijeti razvoju, kada je moguće stvoriti tehnička rješenja sa aspekta velikih društvenih izazova i promjenom poslovne paradigama u budućnosti [1]. Očito je, da Europa mora pronaći načine saradnje između javne infrastrukture, istraživanja i poduzeća za prevladavanje stvarne prijetnje i gospodarske krize u europskim zemljama od strane novih smjerova. Vizije imaju potencijal za rješavanje društvenih i ekoloških problema uz istraživanja na temelju znanja.



Slika 6. Četiri vizije tvornica za proizvodnju do 2030 [1]

### 3. ZAKLJUČAK

Retrospektivno posmatrajući dosadašnji revolucijski razvoj industrijske proizvodnje od njenog nastanka pa do danas uočavamo da se period između tih revolucija drastično smanjuje i da ubrzanim koracima kročimo u budućnost.

Pojava interneta i internet tehnologija savremenog doba nedvojbeno je učinio velik napredak na polju svih ljudskih aktivnosti. Neminovna je integracija i u proizvodnim sistemima, što će dodatno utjecati na povećanje kompleksnosti već postojećih proizvodnih sistema, ali i novih sistema koji nam nadolaze, poput cyber – fizički proizvodnih sistema. Razvoj proizvodnih sistema u duhu cyber – fizičkih proizvodnih sistema, primjena digitalizacije i e – poslovanja imperativ je za težnju ka pametnim fabrikama – fabrikama budućnosti. Strojevi zauzimaju ulogu čovjeka u fabrikama. No, i dalje je neizbježna integracija ljudskih resursa sa digitalnim, elektronskim, virtualnim svijetom, tako da nam prethodi rad dalji razvoj proizvodnih sistema u smislu pouzdanosti, efikasnosti, sigurnosti, optimalnosti isl.

Sadašnji i budući razvitak karakteriziraju duboke i brze znanstvene i tehnološke promjene, koje imaju za posljedicu reindustrijalizaciju postojeće industrije i revitalizaciju širokog spektra čovjekovih javnih aktivnosti i funkcija privatnog života. Tehnološki razvoj, kao najvažniji čimbenik i bitan preduvjet općeg razvitka pretpostavlja razvitak i primjenu novih tehnologija i nameće potrebu za restrukturiranjem postojećih, kao i projektiranje novih tvornica na novim postavkama (fraktalna, holonička, virtualna tvornica). Stoga su nužne brze i neodložne promjene postojećeg stanja, koje moraju obuhvatiti:

- opću podršku u definiranju i izgradnji strategije razvoja, te politiku njezine realizacije,
- strateška opredjeljenja tvornica, znanstvenih ustanova i pratećih institucija,
- industrijski organizirano stvaranje i razvoj novih znanstvenih znanja i njihovo izravno prenošenje u gospodarstvo regije.

Istodobne promjene moguće su samo na temelju jedinstvene strategije razvitka u kojoj bi značajno mjesto trebalo zauzeti osnivanje regionalnih, posebno inovacijskih mreža koji bi trebale biti generator novih proizvoda i usluga, odnosno otvaranja novih radnih mjesta.

## LITERATURA

- [1] Westkämper, E. (2014). *Towards the Re - Industrialization of Europe*. Stuttgart: Springer Heidelberg New York Dordrecht London.
- [2] Jovane, F., Westkämper, E., and David, W. (2008). *The ManuFuture Road Towards Competitive and Sustainable High - Adding - Value Manufacturing*. Berlin: Springer - Verlag Berlin Heidelberg, p. 286.
- [3] Horizon 2020, *The Framework Programme for Research and Innovation*. Brussels: In: COM 808 final, 2011.
- [4] Raj, R., Lee, I., and Stankovic, J.(2010) "Cyber-Physical Systems: The Next Computing Revolution," pp. 731–736.
- [5] Kumar, P. R.,(2012). "Cyber-Physical Systems: A Perspective at the Centennial," *Proc. IEEE*, vol. 100, no. Special Centennial Issue, pp. 1287–1308.
- [6] Fei, H. (2014). *Cyber - Physical Systems: Integrated computing and engineering design*. Broken Sound Parkway NW, Suite: Taylor & Francis Group.
- [7] Uckelmann, D., Harrison, M., and Florian, M. (2011) *Architecting the Internet of Things*. Springer - Verlag.
- [8] Lee, E. A. (2008). "Cyber Physical Systems: Design Challenges," in *In International Symposium on Object/Component/Service-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC)*, pp. 363–369.
- [9] Acatech (Hrsg) Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, *Cyber - Physical Systems Innovationsmotor für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion*. München: Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2011, 2011.
- [10] Spath, D., Gerlach, S., and Schlund, S., "CYBER-PHYSICAL SYSTEM FOR SELF-ORGANISED AND FLEXIBLE LABOUR UTILISATION."
- [11] Geisberger, E. and Broy, M. (2012). *Agenda CPS: integrierte Forschungsagenda Cyber - Physical Systems*. Springer.
- [12] Westkämper, E. (2008). "Manufuture and Sustainable Manufacturing. In: Mitsuichi M, Ueda K, Kimura, F (Hrsg) Manufacturing systems and Technologies for the new frontier," in *Proceedings of the 41st CIRP conference on manufacturing systems*, p. S 11– 14.
- [13] Westkämper, E., Spath, D., Constantinescu, C., and Lentjes, H. J. (2013). *Digitale Produktion*. Berlin: Springer - Verlag Berlin Heidelberg.
- [14] Lucke, D., Constantinescu, C., and Westkämper, E. (2008). *Kontextbezogene Anwendungen in der Production: Smart Factory - Gestern, heute und in der Zukunft*. pp. 138 – 142.
- [15] Yoon, J. S., Shin, S., and Suh, S. H. (2012). "A conceptual framework for the ubiquitous factory," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 50, no. 8, pp. 2174 – 2189.
- [16] Lucke, D., Constantinescu, C., and Westkämper, E. (2008). *Smart Factory - a step towards the next generation of manufacturing, in Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier*. Springer, pp. 115 – 118.
- [17] Zuehlke, D. (2010), "Smart Factory - towards a factory - of - things," *Annu. Rev. Control*, vol. 34, no. 1, pp. 129 – 138.
- [18] Hameed, B., Durr, F., and Rothermel, K. (2011). *RFID based Complex Event Processing in a Smart Real - Time Factory, Expert discussion: Distributed Systems in Smart Spaces*.

- [19]Radziwon, A., Bilberg, A., Bogers, M., and Madsen, E. S.(2014). “The Smart Factory: Exploring Adaptive and Flexible Manufacturing Solutions,” *Procedia Eng.*, vol. 69, pp. 1184–1190.





## UPRAVLJANJE KONTINUITETOM POSLOVANJA

Miljan Savić<sup>1</sup>, Goran Tešanović<sup>2</sup>

*Rezime: U ovom radu su date smjernice za poboljšanje efektivnosti i efikasnosti poslovnih procesa same organizacije sa ciljem održivog razvoja. Veća konkurencije, promjene u ekonomiji, nauci i tehnologiji dovodi do sve većeg pritiska na rukovodstvo organizacije da pronađu način za poboljšanje tržišnog položaja i njene konkurentnosti kako na domaćem tako i na svjetskom tržištu. Rukovodstvo u organizaciji nastoji da upravlja na efikasniji i efektivniji način koristeći sve raspoložive resurse, alate i pristupe, ali se uglavnom oslanja na dobro funkcionisanje sistema poslovnog upravljanja. Da bi se ušlo i opstalo na svjetskom tržištu neophodno je uspostaviti sistem upravljanja kontinuitetom poslovanja pomoću koga se planira, implementira, održava i poboljšava ukupni sistem upravljanja. Iz tog razloga ISO (Međunarodna organizacija za standardizaciju) je razvio standard ISO 22301 koji specificira zahtjeve za planiranje, uspostavljanja, primjenu, funkcionisanje, praćenje, preispitivanje, održavanje i stalno poboljšavanje dokumentovanog sistema upravljanja koji identifikuje potencijalne pretnje po organizaciju, uključujući i njihove posledice.*

*Ključne riječi: upravljanje, poslovanje, standard, sistem.*

### **BUSINESS CONTINUITY MANAGEMENT**

*Abstract: In this paper are provided guidelines for improving the effectiveness and efficiency of business processes of the organization itself with the aim of sustainable development. Great competition, changes in the economy, science and technology lead to increasing pressure on the management of the organization to find ways to improve its market position and its competitiveness both in the domestic and world market. The management of the organization strives to operate more efficiently and effectively using mainly all available resources, tools and approaches, but relies on a well-functioning system of corporate management. In order to enter and survive in the global market it is establish business continuity management system helping to plans, implements, maintains and improves the overall management system. ISO (International Organization for Standardization) has developed the ISO 22301 standard that specifies requirements for planning, establishing, implementing, operating, monitoring, reviewing, maintaining and improving a documented management system that identifies potential threats to an organization, including its consequences.*

*Key words: management, business, standard, system.*

<sup>1</sup> dipl.inž.maš., Miljan Savić, Istočno Sarajevo, Institut za standardizaciju BiH, miljan.savic@bas.gov.ba

<sup>2</sup> Mr.sc. Goran Tešanović, Istočno Sarajevo, Institut za standardizaciju BiH, goran.tesanovic@bas.gov.ba

## 1. UVOD

Globalizacijski procesi označili su početak novog vremena i početak jednog novog svjetskog društva. Globalizacija zahtjeva savremeno poslovanje koje značajno utiče na poslovni ambijent i prihvatanje liberalnog kapitalizma kao ekonomskog modela razvoja dovodi do toga da su krize postale svakodnevnica i uobičajena pojava koje na poslovni sistem mogu da budu velika pretnja ili šansa za uspjeh. Danas poslovni sistem organizacije sve više zavisi od sposobnosti da upravlja promjenama. Na taj način, u prvi plan dolazi kontinuitet njihovog poslovanja. Izrada plana kontinuiteta poslovanja osnovni je korak koji neka organizacija mora preduzeti na putu do dobro definisanog procesa upravljanja kontinuitetom poslovanja [4]. Uspješni poslovni sistem organizacije danas karakteriše kvalitet, cijena, dostupnost kupcu, brzina reakcije i prilagođavanje promjenama. Svaka organizacija mora znati što želi postići svojim poslovnim sistemom. Dobar poslovni sistem koji je uspostavljan procesnim pristupom ubrzava rad organizacije, smanjuje troškove i povećava kvalitet proizvoda. Poslovni ambijent se neprekidno mjenja, imamo nestabilno tržište, brzina i količina promjena značajno mjenjaju način poslovanja. Neprekidno unapređenje poslovnog sistema jedan je od ključnih faktora uspjeha.

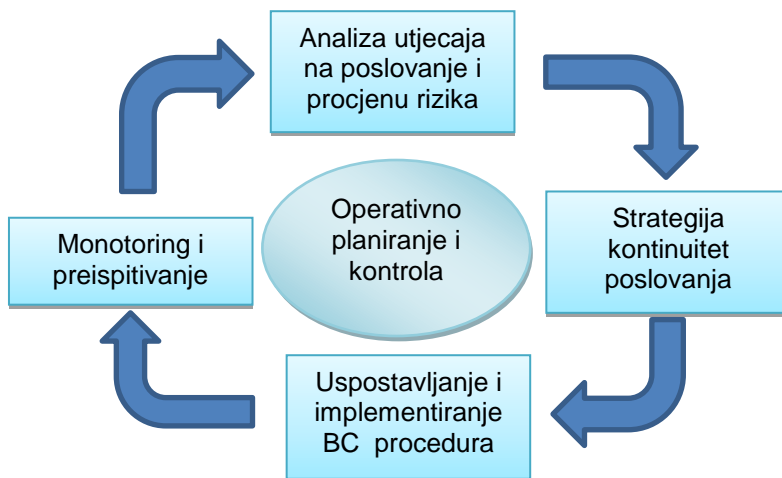
## 2. UPRAVLJANJE KONTINUITETOM POSLOVANJA

Upravljanje kontinuitetom poslovanja (Business Continuity Management BCM) je cjeloviti proces upravljanja koji identifikuje potencijalne pretnje po organizaciju i utiče na potencijalne pretnje, ovaj pristup pruža okvir da se organizacija izgradi da može na efikasan način da odgovori na potencijalne pretnje i da štiti svoj interes, ugled, brend i vrijednost [1].

Sistem upravljanja kontinuitetom poslovanja (Business Continuity Management System BCMS) je dio ukupnog sistema upravljanja koji uspostavlja, provodi, nadzire, održava i unapređuje kontinuitet poslovanja. Svaka organizacija ima potrebu da uspostavi upravljanja kontinuitetom poslovanja što predstavlja ključni proces za osiguranje da proces poslovanja bude neprekidan [1].

Upravljanje kontinuitetom poslovanja (BCM) treba da doprinese uspostavljanju strateških okvira koji proaktivno unapređuju sposobnost organizacije na potencijalne incidente koji mogu nastati, sa ciljem zaštite organizacije i obezbjeđivanje sposobnosti rukovodstva da upravlja u uslovima nastalih promjena nakon incidenta. Posljedice incidenta mogu biti različite, počev od gubitka života, gubitka imovine ili prihoda, nemogućnosti ugovorene isporuke, reputacije od kojih može zavisi opstanak organizacije.

## 2.1. Osnovni elementi za upravljanje kontinuitetom poslovanja



Slika 1. Elementi upravljanja kontinuitetom poslovanja

### 2.1.1 Operativno planiranje i kontrola

Operativno planiranje i kontrola je osnova za efikasno upravljanje kontinuitetom poslovanja. Potrebno je uraditi plan aktivnosti da bi se ispunili definisani zahtjevi i postavljeni ciljevi. Za provođenje aktivnosti rukovodstvo u organizaciji imenuje kompetentne osobe za sve poslovne procese. Veoma je značajno da se uspostave mehanizmi praćenja i kontrole svih poslovnih procesa.

### 2.1.2 Analiza uticaja na poslovanje i procjena rizika

Analiza uticaja na poslovanje, te analize uticaja nepoželjnih događaja na poslovanje je osnov kvalitetnog i sveobuhvatnog plana za upravljanje kontinuitetom poslovanja. [2] Prilikom provođenja metoda za upravljanje kontinuitetom poslovnih procesa, mnogi zaposlenici, čak i rukovodioci nekih poslovnih procesa, prvi puta steknu uvid u cjelokupno poslovanje organizacije i razumijevanje povezanosti različitih poslovnih procesa i njihov međusobni uticaj. Analize uticaja identifikuju ključne procese za uspješno poslovanje organizacije. Analiza i dokumentiranje mogućih događaja koji mogu izazvati određene pretnje potrebne su kako bi se mogle preduzeti korektivne/preventivne mjere u cilju neželjenog poslovanja. uspostaviti aktivnosti ponovnog uspostavljanja poslovanja. Pretnje na uspješno poslovanja najčešće se dijele na pretnje iz okoline, namjerne štete, gubitak sirovine, kvarovi na opreme i prirodne katastrofe. Procjena rizika nije ništa drugo nego analiza rizika od pretnji te pronalaženje mogućih mjera zaštite kako bi se ti rizici umanjili ili eventualno eliminisati.

### 2.1.3 Strategija kontinuiteta poslovanja

Strategija kontinuiteta poslovanja omogućava organizaciji da identifikuje neophodne mjere za rješavanje nalaza od procjene rizika i izvršene analize uticaja na poslovanje na način koji zadovoljava kontinuitet poslovnih ciljeva organizacije. Donošenjem strategije organizacija na odgovarajući način sprječava narušavanje svojih poslovnih aktivnosti.

#### 2.1.4 Uspostavljanje i implementiranje kontinuiteta poslovnih procedura

Cilj uspostavljanja i *implementiranje* kontinuiteta poslovnih procedura je stvaranje strukture unutar organizacije koja može na adekvatan način reagovati na nastale promjene, na nastale događaje i provoditi propisane procedure i planove (uspostaviti procedure i struktura upravljanja koja će omogućiti da se pripremi, ublaži i efikasno reaguje na štetne događaje). Ove procedura treba da se bave svim aspektima reagovanja na nastale promjene sa posebnim naglaskom za zaštitu ljudi, zaštitu životinja i zaštitu životne sredine.

#### 2.1.5 Monotoring i preispitivanje

Monotoring i preispitivanje poslovnih procesa pruža mogućnost da organizacija obezbjedi da kontinuitet poslovanja i kontinuitet poslovnih procesa zadovoljavaju definisane zahtjeve, vrši procjenu kompetentnosti osoblja i identifikuje mogućnosti za poboljšanja svog kontinuiranog poslovanja [2]. Planovi kontinuiteta poslovanja će biti u nekim dijelovima biti neprecizni. Na osnovu toga potrebno je povremeno izvršiti preispitivanje, odnosno napraviti simulaciju incidenta situacije definisanog plana .

### 2.2. Uspostavljanje sistema upravljanja kontinuitetom poslovanja

Uspostavljanje BCMS zahtjeva da organizacije mora:

- definisati politike upravljanja kontinuitetom poslovanja i ciljeve;
- implementirati i sprovesti mjere za upravljanje sa ciljem identifikacije potencijalnih pretnji po organizaciju;
- obavljati monitoring, mjeriti performanse i efikasnosti uspostavljenog sistema upravljanja kontinuitetom poslovanja;
- stalno poboljšavati uspostavljeni sistem na osnovu objektivnih mjera.

Međunarodna organizacija za standardizaciju ISO je razvila standard ISO 22301 - *Societal security -- Business continuity management systems - Requirements*, u saradnji sa stručnjacima iz cijelog svijeta, koji je međunarodnu primjenjiv i zadovoljava potrebe globalnih organizacija.

Zašto implementirati zahtjeve standarda ISO 22301?

- Organizacija stvara efikasan operativan plan kontinuiteta u poslovanju;
- Osigurava planove kontinuiteta poslovanja;
- Stalno poboljšava BCM kako organizacija raste;
- Smanjuje troškova u slučaju prekida u poslovanju;
- Osigurava zaštitu resursa i imovine.

### 3. ZAHTJEVI MEĐUNARODNOG STANDARDA ISO 22301

ISO 22301 je međunarodni standard koji se odnosi na upravljanje kontinuitetom poslovanja (Business Continuity Management), primenom „holističkog“ procesa upravljanja koji identifikuje potencijalne pretnje po organizaciju, uključujući i njihove posledice. Ovaj standard specificira zahtjeve za planiranje, uspostavljanje, implementaciju, funkcionisanje, monitoring, pregled, održavanje i stalno poboljšanje dokumentovanog sistema upravljanja, koji ima za cilj da zaštiti organizaciju od potencijalnih pretnji, smanji verovatnoću nastanka, pripremi za reagovanje i oporavi neželjenih incidenata ukoliko do njih dođe.

Organizacija treba da izvrši procjenu svih unutrašnjih i vanjskih faktora koji su relevantni za poslovanje.

Relevantni spoljni faktori koji mogu uticati na poslovanje su:

- politički, pravno, regulatorno okruženja da li na međunarodnom, nacionalnom, regionalnom ili lokalnom nivou;
- socijalno, finansijsko, tehnološko, ekonomsko i konkurentsko okruženje;
- lanci snabdijevanja;
- interne studije o rizicima i sve relevantne informacije;
- glavni pokretači procesa proizvodnje koji utiču na ciljeve i rad organizacije;
- odnos prema svim zainteresovanim stranama.

Relevantni unutrašnji faktori koji mogu uticati na poslovanje su:

- proizvodi i usluga, aktivnosti, resursi kao i odnos sa zainteresovanim stranama;
- kapital, vrijeme, ljudi, procesi i tehnologija;
- protok informacija i proces odlučivanja;
- politike i ciljevi u skladu sa strategijom;
- struktura.

Potrebno je identifikovati i uspostaviti proces komunikacije sa svim zainteresovanim stranama koje su značajne za sistem upravljanja kontinuitetom poslovanja i na osnovu njihovih potreba i očekivanja definisati njihove zahtjeve [1]. Organizacija treba da odredi područje primjene sistema upravljanja kontinuitetom poslovanja i osigura da su granice jasno definisane i saopštena svim zainteresovanim stranama.

Na svim nivoima u organizaciji treba da se pokaže posvećenost i opredeljenost u sprovođenju poslovne politike i ciljeva poslovanja. Najviše rukovodstvo treba da donese poslovnu politiku kontinuiteta poslovanja koja mora da:

- odgovara svrsi organizacije;
- okviru objektivnog okruženja;
- preuzima jasne obaveze u skladu sa definisanim zahtjevima;
- je saopštena svim u organizaciji;
- je definisano područje primjene;
- je u skladu sa donesenim politikama;
- dostupna svim zainteresovanim stranama.

Najviše rukovodstvo unutar organizacije definiše proces komunikacije, uloge, odgovornosti i ovlaštenja. Značajno je da se osigura da je BCM uspostavljen, implementiran i održavan u skladu sa poslovnim politikom, da se provode procedure u slučaju incidenta i redovno izvještavaju o provedenim aktivnostima.

U procesu planiranja potrebno je preduzeti akcije za spreješavanje neželjenih posljedica i izvršiti procjenu rizika.

Koncept rizika ima tri nužna elementa: *percepciju* da li se neki štetan događaj zaista mogao dogoditi, *vjerovatnost* da će se on zaista dogoditi i *posljedice* štetnog događaja koji bi se mogao dogoditi. Rizik je, dakle, rezultat sinergije interakcija ova tri elementa [3]. S obzirom da mnoge situacije, kao i ekonomska stvarnost, uključuju i postojanje rizika, potrebna je opšte definicija rizika. Za sve te situacije važan je krajnji ishod. Pri tom se smatra da rizik uključuje dvije neizostavne komponente: izloženost i neizvjesnost. Potrebno je da rukovodstvo obezbijedi potrebne resurse za ostvarivane politike i ciljeva BCMS, omogućiti efikasnu komunikaciju po pitanju spoljnih i unutrašnjih faktora koji utiču na poslovanje i stalno poboljšavanje kontonuiteta poslovanja [2]. Resurse i njihova raspodjela treba redovno preispitivati od strane rukovodstva kako bi se osigurala njihova primjerenost svrs. Organizacija treba da

uspostavi odgovarajući i efikasan sistem za upravljanje kompetentnošću osoblja koje obavlja poslove pod njihovom kontrolom. Organizacija treba da razvija praktične obuke, uključujući i aktivno učešće sa ciljem povećanja vještina i kompetencija osoblja. Organizacija mora imati dokumentovanu informaciju koju pruža kako dokaz o usaglašenosti sa zahtjevima ovog standarda.

Dokumentovana informacija uključuje: kontekst organizacije, pravni okvir, područje primjene BCMS, politika BCMS, ciljevi BCMS, analiza uticaja na poslovanje i proces procjene rizika, kontinuitet upravljanja incidentima i postupak oporavka, izvještaji o provedenim simulacijama, interna provjera, reaktivne i preventivne akcije. Organizacije se mogu sertifikirati u skladu sa zahtjevima standarda ISO 22301 to je postupak u kojem nezavisna organizacije sertifikacionog tijela na temelju postavljenih kriterija vrši postupak ocjenjivanja.

#### 4. ZAKLJUČCI

Povećanjem poslovnog obima organizacije raste i postaje sve složeniji sistem upravljanja kontinuitetom poslovanja. Na prvi pogled uspostavljanje i implementiranje sistema upravljanje kontinuitetom poslovanja je skup i složen proces. Otvara se pitanje zašto implementirati i koji su to benefiti? Rukovodstvo organizacije nastoji da ne učini ništa po ovom pitanju, nadajući se da se neželjeni incidenti neće dogoditi. U procesu poslovanja nije moguće izbjeći rizik po mnogim pitanjima, jer nema preduzetnički aktivnosti bez rizika. U današnje vrijeme organizacije sve više shvaćaju da je potrebno odgovoriti na pojavu neželjenih događaja. Počev od pojave ekonomske krize, prirodnih katastrofa ali i svih svakodnevnih neželjenih događaja kako što su kvarovi na opremi, nedostatak sirovine, losa internet konekcija itd. Primjenom zahtjeva standarda ISO 22301 organizacija ima mogućnost da identifikuje potencijalne pretnje, da izvrši analizu uticaja i na osnovu toga da preduzme određene mjere sve u cilju zaštite od neželjenih događaja koji mogu nastati. Sistem upravljanja kontinuitetom poslovanja doprinosi održivom uspjehu, što znači poslovnom uspjehu u kontonuitetu temeljenu na načelima kvaliteta, društvene sigutnosti i poslovne etike.

#### LITERATURA

- [1] ISO 22301, Societal security -- Business continuity management systems --- Requirements, p. 4–30.
- [2] ISO 22313, Societal security -- Business continuity management systems -- Guidance p. 4–50.
- [3] Frostdick, S., „The techiques of risk analysis are insufficient in themselves,“ Disaster Prevention and Management, Vol. 6, No. 3, 1997.
- [4] Wikipedia, Business continuuity planning, [http://en.wikipedia.org/wiki/Business\\_continuity\\_planning](http://en.wikipedia.org/wiki/Business_continuity_planning) , pristupljeno 5.10.2014.

---

<sup>i</sup> Holistički pristup - kada se elementi sistema posmatraju u funkcionisanju sistema, a ne zasebno



## FILOZOFSKI PRISTUP RIZIKU I UPRAVLJANJE PROJEKTNIM RIZICIMA

Predrag Petrović<sup>1</sup>, Marija Petrović<sup>2</sup>, Ana Velimirović<sup>3</sup>, Mina Petrović<sup>4</sup>

*Rezime: Za upravljanje rizicima potrebno je upoznati se sa filozofskim pristupom riziku i faktorima koji dovode do njihovog pojavljivanja. Za takav postupak potrebno je značajno znanje, strukturirano u obliku više vrsta informacija koje treba prikupiti kako bi se doneli zaključci koji bi olakšali strateške i relevantne odluke.*

*Evolucija milenijumskog uma čoveka dovela je samo do delimičnih mogućnosti kvantifikacija nivoa rizika bez obzira da li će se potencijalno manifestovati na lokalnom, regionalnom ili globalnom nivou.*

*Šta treba da rade pojedine struke menadžmenta, za kvantifikovanje rizika, sa izuzetkom veoma uskog kruga stručnjaka, ne zna niko, ali i samim tim i uskog kruga delovanja.*

*Sam pristup investicijama i upravljanju projektnim rizicima je dosta kompleksan i često prisutnim nepotpunim podacima uzrokovanim eventualnim pojavama rizika. Na primer, pri projektovanju industrijskih sistema, potrebno je još u fazi izrade studije izvodljivosti definisati mnogobrojne faktore koji će, ako ne eliminisati, onda barem u znatnoj meri umanjiti mnogobrojne očekivane i neočekivane rizike. Međutim, realnost je sasvim drugačija, jer svaka investicija donosi izvesnu dozu rizika, koja se umanjuje studioznim pristupom i osposobljenošću tima za donošenje i sprovođenje najboljih odluka.*

*U ovom radu dato je jedno filozofsko razmišljanje o stanju i shvatanju opšteg stava o rizicima, identifikaciji rizika i upravljanju projektnim rizikom.*

*Ključne reči: rizik, filozofija, upravljanje, investicije, projekat*

### PHILOSOPHICAL APPROACH TO RISK AND PROJECT RISK MANAGEMENT

*Abstract: Risk management should be familiar with the philosophical approach and risk factors that lead to their appearance. For such a process takes significant knowledge, structured in the form of multiple types of information to be collected in order to draw conclusions that would facilitate strategic and relevant decisions.*

*Evolucija Millennium mind of man has led only to partial able to quantify the level of risk regardless of whether the potential manifest at the local, regional or global level.*

<sup>1</sup> Dr Predrag Petrović, Institut „Kirilo Savić“, Vojvode Stepe 51, Beograd, Srbija, e-mail:mpm@eunet.rs

<sup>2</sup> Marija Petrović, Institut „Kirilo Savić“, Vojvode Stepe 51, Beograd, Srbija

<sup>3</sup> Ana Velimirović, Ekonomski fakultet, Univerziteta u Beogradu, Kamenička bb., Beograd, Srbija

<sup>4</sup> Mina Petrović, Filozofski fakultet, Univerziteta u Beogradu, Čika Ljubina 6-12., Beograd, Srbija

*What you need to do some profession of management, to quantify the risk, with the exception of a very small circle of experts, no one knows, and hence the narrow circle of action.*

*I have access to the investment and management of project risks is quite complex and often present incomplete information caused by the possible occurrence of the risk. For example, when designing industrial systems, it is still at the stage of feasibility study to define a number of factors which, if not eliminate, at least substantially reduce many expected and unexpected risk. If, the reality is quite different, since each investment brings some levels of risk, which reduces the meticulous approach and training of the team for the adoption and implementation of the best decisions.*

*In this paper, given a philosophical reflection on the condition and understanding of the general attitude of the risks, risk identification and management of project risk.*

Keywords: Risk, Philosophy, Management, Investment, Project

## **1. UVOD**

Generalno, pod rizikom se podrazumevaju oni faktori koji na bilo koji način onemogućavaju ili u potpunosti eliminišu mogućnost poboljšanja kvaliteta realizacije projekta. Rizik se može pojaviti u svakoj oblasti i fazi delovanja, kao i na samom startu, pogrešnom investicijom ili neadekvatnim izborom lokacije i položaja, u ovom slučaju industrijskih pogona.

Rizike uvek treba očekivati, oni jednostavno postoje, realni su, a većina se može izbeći. Da bi se mogućnosti pojavljivanja rizika smanjili, upravljanje projektima mora se sprovoditi, koliko je to moguće, na efikasan i efektivan način, kroz ekspertske radne timove i funkcije menadžmenta preduzeća.

Upravljanje projektima predstavlja i rizik planirane realizacije, ali istovremeno i zahteva upravljačke veštine, koje mogu biti: sistemske (shvatanje i razumevanje preduzeća kao dinamičke celine), ljudske (sposobnost motivisanja radnih grupa i zaposlenih da rade brzo, efikasno i kvalitetno), tehničke (razumevanje i znanje, ali pre sve tehničke mogućnosti za obavljanje posebnih zadataka) [2].

## **2. FILOZOFSKI PRISTUP RIZIKU**

Priroda ponašanja ljudskog uma odslikava se milionima godina biološke evolucije u suočavanju sa velikim nesrećama i katastrofama. U periodima sreće prosperiteta i mira, ljudi teže da imaju optimističke poglede na stvarnost, nasuprot tome nakon velikih nesreća padaju u neopravdani pesimizam, strah i beznađe. I jedna i druga reakcija su iracionalne i pogrešne. Stvarnost nije ni optimistička ni pesimistička, ona se ne može ukloniti u proste antropocentrične kategorije.

Iz svakog zla treba izvući neko dobro. Ne može se promeniti ono što se već odigralo, ali možemo učiniti znatno više da se pripremimo za budućnost i uspešno suočimo sa još mnogim sličnim izazovima i daleko ozbiljnijim od poplava ma koliko velikih, sa kojima ćemo se neminovno sretati u bliskoj budućnosti, naročito uzimajući u obzir globalni karakter klimatskih promena.

Pojedini istraživači su sprovodili anketu među građanima, čak i vrlo obrazovane i visoko pozicionirane akademske stručnjake koji nisu znali da navedu čak i oblasti nauke i tehnologije koje se bave različitim aspektima katastrofičnih zbivanja, a kamo li da znaju i razmatraju osnove, postavke i rezultate tih oblasti.

Sam odgovor je sasvim jednostavan: analiza rizika, menadžment rizika, sistematski inženjering, komunikacija rizika- to su oblasti koje se prevashodno bave empirijskim i



teorijskim istraživanjima kako samih rizika, tako i načina za njihovo umanjeње i prevladavanje te najefikasnije komunikacije sa javnošću. Analiza rizika gradi teorijski okvir za tretiranje različitih pretnji, naprimer prirodnih nepogoda, od lokalnih kao što su oluje, preko regionalnih kakve su poplave i zemljotresi, do globalnih kakve su klimatske promene ili opasnost od super vulkanskih erupcija ili sudara Zemlje sa asteroidima i kometama.

U okviru toga, analitičari rizika stvaraju kvantitativne modele i računarske simulacije različitih procesa i na osnovu njih razvijaju spektar mogućih scenarija, sa različitim verovatnoćama. Na osnovu analiza ovih scenarija, menadžeri rizika su u stanju da osmisle odgovarajuće strategije za suočavanje društva sa rizičnim i potencijalno katastrofalnim fenomenima. Pri tome će obilato konsultovati systemske inženjere, koji ispituju robusnost različitih kompleksnih sistema, poput saobraćaja, snabdevanja, sistema komunikacija itd., prema poremećajima kojim ih mogu zadesiti i koji su faktor rizika. Te strategije i njihovi izvedeni taktički planovi konkretnih akcija u različitim scenarijima se prenose javnosti, specifičnim društvenim akterima zaduženim za njihovo sprovođenje preko stručnjaka osposobljenih za komunikaciju rizika, dobrim delom kroz rad u bihevioralnoj i socijalnoj psihologiji.

Jedan od glavnih zadataka komunikatora rizika je da izbegnu obe suprotstavljene tendencije koje nisu se jasno videle u tragičnim majskim poplavama, sa tendencijom da se stvori panika i tendenciju da se, nasuprot tome umanjuju opasnosti koju rizični procesi nose po živote i imovinu.

Da je komunikacija rizika opasna nauka sa kojom na žalost ne stojimo dobro, videlo se iz izveštavanja o događajima gotovom bez izuzetka spadalo u jednu ili drugu ekstremnu reakciju ili u alarmizam ili u bezbrižnu neodgovornost.

Šta rade i čemu služe analize ili menadžment rizika ne zna gotovo niko, sa izuzetkom veoma uskog kruga finansijskih stručnjaka čije je znanje previše usko da bi se uhvatili u spektar neophodnih znanja i veština u suočavanju sa izazovima 21 veka.

Zahvaljujući procvatu polupisanih internet blogova, devalvirana su razmišljanja kako da se uvedu analize rizika u fakultete kako bi se stvorio visokostručni kadar za ovu oblast. Kako da se integrišu postojeći stručnjaci iz brojnih profesija (meteorologe, hidrologe, geo-naučnike, primenjene matematičare, računarske naučnike, kvantitativne ekonomiste, socijalne psihologe, inženjere različitih profila) na regionalnim i evropskim projektima za analizu i menadžment rizika.

Kako da rezultate analize rizika spojimo sa industrijom osiguranja, kako da se systemski edukuju novinari, kako bi se poboljšala komunikacija rizika, tako da nema ni potcenjivanja rizika, ni širenja panike.

Ima i onih koji smatraju da je ulaganje u istraživanje rizika bila suvišna investicija i gravirala luksuzu, na to se može odgovoriti jednim slavnom citatom Dereka Boka „Ako mislite da je obrazovanje preskupo-probajte sa neobrazovanjem“. Previsoka cena neobrazovanja po pitanju prirodnih katastrofa se skupo plaća, ljudskim životima i materijalnom štetom izraženom sa deset cifara.

U pitanju je ista vrsta ignoratskog odnosa prema stvarnosti koja navodi bahate vozače da krše zakon o bezbednosti saobraćaja, razgovarajući telefonom za vreme vožnje, kucajući SMS poruke, nevezivanje pojasa i dr. Posebno je izražena neodgovornost prema aparatima za gašenje požara ili protivpožarnim vežbama, što direktno utiče na rizik ljudskog života, zdravlje i materijalna dobra. Sve su to nažalost činjenice koje se sreću u našem društvu, što je odličan primer iracionalnog ponašanja do kojeg dovodi nedostatak bezbedonosne kulture.

Svaki ozbiljan policajac, vatrogasac, agent osiguranja, instruktor vožnje i mnogih drugih časniх profesija, reći će da je bezbednosna kultura, deo opšte kulture. Zato je naša moralna obaveza da se držimo pravila bezbednosne kulture koja bi u idealnom

slučaju trebalo da je znatno jača od moralne obaveze od drugih pravila ponašanja, jer narušavanje bezbednosne kulture dovodi do nepopravljive i nepovratne štete, pre svega u terminima izgubljenih ljudskih života [7].

### 3. TEORIJA RIZIKA

#### 3.1 Definicija rizika

Postoji više definicija rizika, ali sve se svode na alternativna ostvarenja procene posledica koje ukazuju na neizvesnost. Rizik ne znači neki sigurno nastupajući negativan efekat, on je negativno procenjena posledica čije je ostvarenje neizvesno. Rizik se javlja u svakoj situaciji u kojoj postoji neizvesnost, odnosno, ukoliko postoje barem dve mogućnosti, dva događaja ili posledice, koje se međusobno isključuju. Često se rizik posmatra samo kao mogućnost da se dogodi nešto loše, nešto negativno. Međutim, rizikom se naziva i mogućnost da se dogodi nešto pozitivno. Svaki učesnik igara na sreću rizikuje da ostvari dobitak.

Pošto se o riziku govori uvek kada postoji mogućnost da se nešto dogodi ili ne dogodi, očigledno je da svaki rizik ima dve osnovne komponente. Jedna je verovatnoća da se realizuje neki događaj, dok se druga komponenta odnosi na posledicu tog događaja. Što je veća verovatnoća, veći je rizik i što je "teža" posledica, veći je rizik. Ta nemogućnost pouzdanog definisanja rizika je i najveći problem sa kojim se upravljanje rizikom sreće – praktično, nije moguće eliminisati sve rizike, već ih samo treba svesti na "prihvatljiv" nivo.

U definiciji rizika izrazi: moguće varijante akcije (alternative) i moguće (nesigurno) ostvarenje, ukazuju na neizvesnost, ali se o riziku može govoriti samo u kontekstu jedne konkretne alternative.

Analiza rizika je veoma kompleksna i neizvesna i pokušaj decidanog definisanja rizika, često ne donosi željene rezultate. U cilju, što je moguće sveobuhvatnije analize faktora rizika, mogu se definisati nekih pet bitnih koraka i pokušaja rešavanja svakih od njih. [15]

1. *Neizvesnost vezana za definisanje problema* - (Rešavanje problema je moguće samo ako je problem definisan).
2. *Poteškoće koje se javljaju prilikom vrednovanja činjenica* - (Neophodno je poznavanje verodostojnosti podataka).
3. *Složenost otkrivanja relevantnih vrednosti* - (Trebalo imati u vidu pri analizi rizičnih situacija i odlučivanja u njima, kao i uzimanje u obzir problematiku labilnih principa vrednovanja kod donosilaca odluka, sa kojima se lako može manipulirati).
4. *Nepredvidivost ponašanja učesnika u procesu* - (Mora se imati u vidu ponašanje ljudi koji su često kontradiktorni. Nekad su osetljivi i racionalni, dok su drugi put u istoj situaciji donošenja odluke neodgovorni i iracionalni).
5. *Nejednoznačnost vrednovanja procesa* - (Vrednovanje kvaliteta odlučivanja u uslovima rizika mora da uzme u obzir način na koji se tretiraju neobične, nesvakidašnje situacije).

#### 3.2 Rizik i odluke

Kod donošenja odluke, cilj je izabrati najbolju alternativu, odnosno najviše prihvatljivu za donosioca odluke. Izbor alternative ne znači da će se na taj način apsolutno prihvatiti i rizik koji ide uz nju, pri tome, kod donošenja odluke moraju se uzeti u obzir i prednosti i nedostaci, a da pri tome kod izabrane alternative, rizik ne

mora da bude najmanji. Naprotiv, može se izabrati i alternativa sa najvećim rizikom, ako njene prednosti pružaju odgovarajuću kompenzaciju. Kod izbora alternative uzimaju se u obzir sve pozitivne i negativne posledice.

Krajnju odluku treba da donese ipak osoba koja je upoznata sa problemom, i na osnovu donešene odluke da preduzme određene korake. Takva osoba treba da učestvuje u odgovornosti u onoj meri, koliko je sposobna da odredi detaljnu i jasnu, sliku o posledicama pojedinih alternativnih mera koje su, ili će biti, preduzete. Ona odgovara ne za ispravnost odluke, nego za tačnost predviđenih posledica koje se javljaju kod određenih alternativa. Metodičko rešavanje problema omogućuje da se odluka vrednuje pre faze ostvarivanja, tako da je rizik greške unapred poznat. Pri ovakvom načinu rešavanja problema u dužem vremenskom periodu, može se računati sa unapred određenom verovatnoćom greške [16].

### **3.3 Analiza i upravljanje rizikom**

Analiza rizika znači identifikaciju potencijalnih rizika, koji su predviđeni od strane jedinki ili društva, kao i procenu verovatnoće ostvarivanja bilo koje nepovoljnosti i to pomoću podataka, statističkih analiza, sistematskog posmatranja, stručnog znanja, intuicije i nekim drugim postupcima.

U analizi rizika poznata su četiri pristupa: tehnički (kvantitativni), pristup analize odluka, politički pristup, društveni pristup (percepcijski). Svi pristupi imaju isti cilj, ali se razlikuju u tome što daju različit značaj pojedinim koracima u analizi rizika.

Tehnički pristup, težište stavlja na tehničke i kvantitativne osobine rizika, kao i metode za procenu rizika. Najvažnije karakteristike ovog pristupa su sledeće:

- Rizik se posmatra kao proizvod nivoa opasnosti, koji se unapred može predvideti i verovatnoće ostvarivanja date opasnosti.
- Koriste se najčešće sledeće metode: statistička analiza, metod sistemskih analiza, epidemiološka istraživanja i dr.
- Uzimaju se u obzir koraci sa ograničenim brojem mogućih posledica, jer se uzimaju u obzir samo one koje se mogu kvantifikovati.
- S obzirom da se neki faktori ne mogu kvantifikovati, time se i ne uzimaju u obzir, kao na primer: opšti ljudski faktori i aspekti ponašanja, međusobni odnosi među ljudima i dr.
- Ako pristup nije odgovarajući i neadekvatan za odgovarajuću detaljnu analizu, i izvedeni zaključci će biti nepotpuni i uglavnom neprecizni.
- Ovaj pristup uglavnom koristi takve tehnike koje prepoznaju, procenjuju i mere rizik i ne uzimaju u obzir subjektivne kvalitete.

Kvalitativnom analizom rizika može se odrediti prioritet na identifikovanim rizicima i na osnovu toga rangirati u kategorije: visoko, srednje ili nisko uticajni na projektne ciljeve.

Kvantitativna analiza se koristi naprednim tehnikama kako bi se postigao još bolji i objektivniji uvid u rizike. Ona podrazumijeva numeričku procenu verovatnoće da će realizacija projekt biti u okviru predviđenog vremena i predviđenih materijalnih troškova. Zasniva se na istovremenoj proceni učinka rizika, a isključenoj mogućnosti pojava novih rizika. Zadnja faza upravljanja rizicima je kontrola rizika. Tu je bitno pratiti rizike koje smo utvrdili i nove rizike koji se mogu pojaviti tokom samog izvođenja projekta. Takođe je bitno da pratimo primenu strategija od-govora na rizike i procene učestanosti, odnosno koliko uspešno tim projekta nosi sa problemima ili prilikama koje proizilaze iz rizika. Tokom životnog ciklusa projekta lista rizika se menja, razvijaju se novi rizici ili se ne dogode oni koji su bili očekivani. Veoma je korisno i preporučljivo da projektni tim održava redovne sastanke na kojima bi se pratila realizacija projekta i

eventualna sučeljavanja sa rizicima, pojavljivanju novih rizika, i odgovornosti pojedinaca u njihovom rešavanju.

U pripremnom periodu, potrebno je temeljno pripremiti tim koji će sprovesti analizu, pri čemu je posebnu pažnju potrebno obratiti na sastav tima (moraju biti pokriveni svi aspekti pojave koja se proučava u okviru koje se želi upravljati rizikom) i na obuku, odnosno, znanje koje poseduju članovi tima iz oblasti upravljanja rizikom.

### **3.4 Razvoj standarda za procenu rizika**

Prvi pokušaj da se ova kompleksna oblast uobliči jednim standardom iz oblasti upravljanja rizikom je nastao u Australiji i Novom Zelandu 1995.godine – AS/NZS 4360- „Risk management“. Donošenjem standarda pokrenut je potpuno novi pokušaj koji je značio i potpuno novi način razmišljanja o riziku, pošto je sa sobom nosio i formalizovanje celog procesa upravljanja rizikom. Međutim, ubrzo su se javile kritike, korekcije i predlozi za njegovo poboljšanje, tako da se nova verzija standarda pojavila 1999., pet godina kasnije, 2004., objavljena je i treća verzija ovog standarda.

Kako je kod svakog posla od suštinske važnosti dobro odraditi pripremu tog posla, tako je i kod upravljanja rizikom. Sledeći ovaj primer, ISO organizacija je 2005., objavila standard ISO 27001 koji se odnosi na sistem za upravljanje bezbednošću informacija.

Kasnije 2009., ISO organizacija je objavila svoj standard iz ove oblasti–ISO 31000–“Risk management—Guidelines on principles and implementation of risk management”, Australija i Novi Zeland su prihvatile taj standard, pošto se praktično zasnivao na preuzimanju standarda AS/NZS 4360, uz prilagodavanja koja su se ticala srodnosti /sličnosti sa standardom ISO 9001.

Novi standard AS/NZS 4360, bio je osnova i inspiracija za nastanak specijalizovanih standarda koji se odnose na upravljanje rizicima u nekim specijalnim oblastima. Tako je 2002., britansko Udruženje menadžera iz oblasti osiguranja i rizika (The Association of Insurance and Risk Managers–AIRMIC) definisalo svoj standard jednostavno nazvan “Risk Management Standard”. Iste godine Američki nacionalni institut za standardizaciju i tehnologiju–NIST–USA (National Institute of Standards and Technology), definiše svoj standard za upravljanje rizikom u oblasti informacionih tehnologija–“Risk Management”, Guide for Information Technology Systems, 2002.

Sagledavajući razvoj standarda, ISO organizacija je 2005., objavila standard ISO 27001 koji se odnosi na sistem za upravljanje bezbednošću informacija (Information technology—Security techniques— Information security – management systems—Requirements).

Pored pobrojanih standarda, proces upravljanja rizikom je ugrađen i u mnoge druge standarde, Tako se u okviru standarda ISO 14001 procenjuje i upravlja rizikom ugrožavanja životne sredine, u okviru standarda 18001 se upravljanje rizicima koristi kako bi se ublažio ili eliminisao negativan uticaj procesa na zdravlje i bezbednost zaposlenih. U okviru standarda ISO 22001, upravljanje rizikom se koristi kako bi se proizvodni proces doveo u stanje kada nije moguće da zdravstveno nebezbedna hrana bude distribuirana na tržište, odnosno promet.

### **3.5 Identifikovanje rizika**

Identifikacija rizika uključuje prepoznavanje i predviđanje rizika koji su mogući kao potencijalna pojava u realizaciji projekta i koji bi mogli uticati na njegovu uspešnost.

Prvi pravi korak u procesu upravljanja rizikom jeste identifikovanje opasnosti, odnosno pojava koje sa sobom nose rizik. Ovo se nekada može pokazati kao najteži deo posla. Razlog za to se krije u činjenici da ne postoji jasan signal kada je proces

identifikovanja završen, odnosno, kada su identifikovane sve opasnosti. Najčešći odgovor na ovo pitanje je – nikada. Naime, ma koliko se neko trudio da identifikuje sve opasnosti, uvek će se ispostaviti da će postojati opasnosti koje nisu identifikovane. Stoga se treba držati nekih preporuka, kao što su:

- odrediti koliko dugo će trajati identifikovanje opasnosti i pri isteku tog vremena smatrati da identifikovane opasnosti čine kompletan spisak svih opasnosti. Očigledno je da ovo ne može biti tačno, ali nema svrhe gubiti vreme na bezuspešne pokušaje identifikovanja dodatnih opasnosti, već treba nastaviti proces upravljanja rizikom. Za utehu može poslužiti činjenica da proces upravljanja rizikom nikada nije završen i da se uvek javljaju novi rizici ili eskaliraju postojeći, tako da se obično postupak identifikovanja rizika ponavlja puno puta uz puno prilika za identifikovanje novih opasnosti,
- potrebno je formirati dokumentaciju koja će precizno opisivati koje su aktivnosti ili pojave analizirane i odakle su identifikovane opasnosti (ovo može biti dragoceni izvor podataka pri kasnijem preispitivanju kompletnosti ranije sprovedene analize opasnosti),
- konsultovati sve zainteresovane strane i dokumentovati rezultate ovih konsultacija (često posmatranje nekog problema iz drugog "ugla", ukaže na opasnosti koje nisu mogle biti identifikovane na drugi način).

U svakoj političkoj misiji se moraju naći osnovni ciljevi koji se žele postići u organizaciji i u kojoj oblasti će navedene aktivnosti biti sprovedene, odnosno, gde će i kako delovati. Pored toga se moraju naći i neki detalji koje je potrebno navesti kako bi se bolje shvatila suština i način delovanja, kao na primer:

- upravljanje rizikom mora da obezbedi očuvanje svih vrednosti koje organizacija ima za svaku zainteresovanu stranu,
- upravljanje rizikom je ključni deo korporativne strategije,
- upravljanje rizikom je usklađeno sa korporativnim i poslovnim planovima, ciljevima i prioritetima, kako bi se obezbedio sinergijski efekat,
- organizacija mora da sagleda i predvidi neželjene događaje i preduzme preventivne akcije, kako bi se izbegao, ili ako je to nemoguće, umanjio rizik, pre nego što bi izazvao eventualne posledice tim događajem,
- u celoj organizaciji mora biti implementiran konzistentan proces identifikacije, ocene i ublažavanja rizika,
- mere za ublažavanje rizika treba da bude realne i primerene, efektivne, dostižne i fleksibilne i njihov trošak ne sme da prevazilazi njihovu očekivanu korist,
- takav pristup zahteva od svakog zaposlenog preuzimanje odgovornost za upravljanje rizikom u domenu svog ovlašćenja i delovanja,
- ključni indikatori rizika, po identifikaciji moraju biti stalno pod kontrolom i redovno proveravani.

Rezultat identifikacije rizika treba, treba da se manifestuje kroz strukturni dokument sa potencijalnim rizicima koji bi trebali da sadrže: uzrok, sam rizik, uticaj rizika na troškove realizacije projekta, vreme uticaja, značaj uticaja, opšti uticaj na kvalitet projekta i dr.

### **3.6 Upravljanje rizicima**

Upravljanje rizicima podrazumijeva sistematičan proces planiranja, identifikacije, analize, praćenja i odgovora na projektno rizike. Uključuje razne aktivnosti, alate i tehnike koji će pomoći rukovodiocu projekta da poveća verovatnoću pozitivnih učinaka rizika i smanji verovatnoća posledica nepovoljnih događaja na

celokupni projekt (trošak, vreme, opseg i kvaliteta). Bitno je napomenuti da je upravljanje projektnim rizicima najracionalnije na početku razvojnih faza projekta i kada je prisutna stalna odgovornost rukovodioca projekta tokom čitavog životnog ciklusa projekta.

Pod aktivnostima upravljanja rizikom, preduzimaju se neke od aktivnosti sa sledećim ciljevima:

- usvajanja proaktivnog pristupa, predviđanja događaja i uticanja na te okolnosti, pre nego što se oni eventualno dogode,
- sagledavanje realnog i uravnoteženog pogleda na mogućnosti i pretnje,
- što je moguće kvalitetnije i utemeljenije donošenje odluka,
- dobra priprema za eventualne neplanirane događaje,
- definisati postupke za što potpunije ostvarenje postavljenih ciljeva,
- povećanja efikasnosti i unapređenja korišćenja resursa,
- obezbeđenja kontinualnog učenja, razvoja i unapređenja.

Projektni tim, mora preduzimati mere za: minimiziranje nepovoljnih uticaja na obim projekta, troškove, rokove i na kvalitetu maksimiziranje prilika za poboljšanja pri izvođenju projekta kao što su niži troškovi, kraći rokovi, povećanje opsega i višeg nivoa kvaliteta izbegavanja kriznog upravljanja projektom, koje se događa kada se ostvare negativni rizici.

Upravljanje projektnim rizicima može se razdvojiti u nekoliko faza. Ovaj proces može se prilagođavati veličini i složenosti projekta. Tako uglavnom mali projekti ne podrazumevaju veliku količinu rizika najviše zbog toga što imaju relativno kratko trajanje, pa s obzirom na to nema velikih mogućnosti za pojavu problema. Drugačija je situacija kod srednjih i velikih projekata gde je najčešće potrebno napraviti potpunu procenu projektnih rizika koji se mogu prokomentarisati u vidu jednog tipičnog procesa: Identifikaciju rizika, Analiza rizika, Odgovor na rizik, Praćenje i kontrola rizika, Planiranje upravljanja projektnim rizicima i dr. [13].

Tokom složenijih projekata i dužeg trajanja procesi identifikacije, analize i odgovora na rizike mogu se iz identifikacija i uspešnih strategija ublažavanja rizika, uz stalno ažuriranje liste rizika, ključno je za građenje baze znanja i za kvalitetnije buduće projekte. Bez baze znanja organizaciji i timu projekta je jako komplikovano usvajati i graditi proaktivan pristup upravljanju rizicima. Baza znanja rizika je ključni pokretač stalnog poboljšavanja načina tretiranja rizika u realizaciji projekta.

### **3.7 Kvalitativno upravljanje projektom**

Kvalitet korporativnog upravljanja projektom se teško definiše, ali se razmatra kao skup svojstava i karakteristika nekog proizvoda ili usluga koji imaju uticaj na sposobnost zadovoljenja određenih zahteva. Može se odnositi na karakteristike koje zavise od važećih propisa i standarda, ali i od dogovora između investitora i izvođača.

Upravljanje, kao deo procesa je veoma važno za realizaciju projekta, kojim se obezbeđuje izvršavanje bez odstupanja od propisanih standarda kvaliteta. To podrazumeva da se tokom realizacije projekta, u svakom delu ovog procesa preduzimaju odgovarajuće mere obezbeđenja kvaliteta projekta, na primer:

- Planiranje potrebnog kvaliteta projekta,
- Planiranje kontrole kvaliteta,
- Organizovanje radi efikasnijeg izvođenja projekta,
- Praćenje kontrole kvaliteta na projektu,
- Završnu kontrolu kvaliteta izvedenog projekta.

Model upravljanja projektom sadrži četiri osnovne funkcije: obim, vreme, troškove i kvalitet. Osnovni dokumenti vezani za sistem obezbeđenja kvaliteta su:

priručnik za kvalitet, program kvaliteta preduzeća i plan kvaliteta. Filozofija sistema obezbeđenja kvaliteta može se bazirati na standardima i funkcijama koji oni obuhvataju, a za koje su potrebne detaljne procedure za obavljanje kontrolnih aktivnosti (konstrukcije, nabavke, ljudskih resursa, montaže, puštanja u rad i dr.).

### **3.8 Projektno upravljanje rizikom**

Rizik uključuje neizvesnost i verovatnoću da će se dogoditi nešto nepredviđeno i nepoželjno. Za neki investicioni projekat neželjena posledica ulaganja mogu biti slabi rezultati projekta i gubitak uloženi sredstava. Rizik se može definisati kao verovatnoća da će neki projekat pretrpeti neuspeh i posledice koje proističu iz neuspeha. Mogu se razlikovati sledeći tipovi:

- 1) *Izvesnost* – situacija kod koje moguće tačno definisanje svih veličine i rešenja.
- 2) *Rizik* – situacija u budućnosti kod koje postoji više alternativnih rešenja sa poznatom verovatnoćom pojavljivanja. Najviši negativni nivo rizika predstavlja „hazard“, kao mogući stepen ugrožavanja života i zdravlja, sredstava i imovine, odnosno životne sredine. Ovde treba imati na umu i mere za sprečavanje hazarda, na primer, odvratanje od ulaska u suviše rizičan program.
- 3) *Neizvesnost* – situacija u budućnosti kod koje postoji više alternativnih rešenja i ne zna se koje će se ostvariti.

Po Kaufmanu postoje 4 osnovna stepena neizvesnosti:

- a) *Nestruktuisana neizvesnost* – stanja sistema su nepoznata u bilo kom vremenu;
- b) *Struktuisana neizvesnost* – stanja sistema su poznata, ali se ne zna kakvo će biti stanje u bilo kom vremenu;
- c) *Rizik* – stanja sistema su poznata, kao i zakoni verovatnoće pojavljivanja u bilo kom vremenu;
- d) *Izvesnost* – stanja sistema su poznata i možemo opisati stanje u kome će se sistem naći u bilo kom vremenu.

### **3.9 Koncept upravljanja rizikom realizacijom projekta**

Kao što je pomenuto, upravljanje rizikom je složen upravljački koncept koji se može definisati kroz sledeće podprocese: *Identifikacija rizika, Analiza i procena rizika, Planiranje i kontrola primene reakcija na rizik*. Koncept upravljanja se definiše strategijom za postupanje u uslovima neizvesnosti i rizika, koje uvažava specifičnost svake pojedinačne situacije. Predviđa izradu posebnih upravljačkih planova za postupanje u slučaju pojave rizičnih događaja (planiranje budžeta, izrada alternativnih planova i aktivnosti, reakcija i dr.). Koncept utvrđuje da li su planirani odgovori na rizik adekvatni i da li treba uvoditi nove koji mogu dati odgovor u skladu sa realnim odvijanjem projekta.

Pod uspostavljanjem neprekidnog procesa kontrole rizika, podrazumeva se da treba napraviti kontinuirani sistem identifikacije rizika, procene rizika i razvijanje strategija za reagovanje, odnosno potrebno je stalno prilagođavanje planiranih strategija novonastalim uslovima kako bi se smanjio rizik [10-11].

### **3.10 Konflikt kao uzročnik rizika**

Konflikt kao jedan veoma prisutan vid rizika pri formiranju i realizaciji projekta, je latentno neslaganje, između zaposlenih i njihovih ciljeva, kao i ciljeva pojedinaca i opšteg interesa preduzeća. Uzroci konflikta su različiti ciljevi pojedinaca, različita

mišljenja, ograničenost resusa, potrebne promene ne nailazena odziv na isti način kao kod većine i sl.

U takvim situacijama, zadatak rukovodioca projekta je rešavanje konflikata između zaposlenih, kako bi realizacija mogla normalno da se odvija. Dobro upravljanje konfliktom može da poboljša realizaciju ukoliko se dobro usmeri i dovede do efikasnijeg razmišljanja i iznalaženja novih rešenja.

Na osnovu dostupnosti iz literature o uslovima i uzrocima nastajanja konflikata i njihovoj prisutnosti, upravljanju konfliktima je dosta kompleksno, ali rešivo mnogim mogućim načinima. Evidentno je da su takvi vidovi veoma prisutni za njihovo rešavanje treba preventivno biti spreman.

## ZAHVALNICA

Ovaj rad je realizovan u okviru projektnog ciklusa 2011-2015., kroz izradu projekta pod nazivom „*Razvoj i primena metoda i laboratorijske opreme za ocenjivanje usaglašenosti tehničkih proizvoda*“, finansiranog od strane Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije, Ev.br. TP35031.

## 4. ZAKLJUČCI

Rizik kao parametar koji karakteriše neizvesnost i mogućnost gubitka, a istovremeno i znatnu dozu nepredvidivosti, veoma je značajan za razvojnu strategiju industrijskih pogona, odnosno preduzeća.

Bez obzira na svoju kompleksnost, riziku se mora pristupiti na jedan koncizan način, kako bi se njegovo pojavljivanje, ako ne eliminisalo, onda barem smanjilo na najmanju moguću meru. Rizik ne samo da ugrožava poslovanje preduzeća, već na mnogim radnim mestima fabričkih postrojenja ugrožava i bezbednost čoveka, pa i samu radnu i životnu sredinu.

Očigledno da će menadžeri koji istražuju rizike i sve njegove vidove u budućnosti imati sve veću odgovornost u donošenju odluka, kako i na koji način izabrati najbolju i najmanje rizičnu alternativu, koja će obuhvatati sve pozitivne i negativne posledice.

U kontekstu identifikacije potencijalnih rizika mogu se koristiti mnogobrojne metode za utvrđivanje uzroka rizika, njihovo sistemsko grupisanje, procenu važnosti, posledice realizacije rizika, verovatnoće pojavljivanja rizika, kategorije rizika i dr.

## LITERATURA

- [1] Popović P., Mitrović R.: „*Ocenjivanje usaglašenosti proizvoda-razvoj infrastrukture*“, INN Vinča, Mašinski fakultet Beograd, 2009.
- [2] Abd-El Rahman Khane: „*Manual for the Preparation of Industrial Feasibility Studies*“, Centre for Industrial Studies of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO), Belgrade, 1983.
- [3] Petronijević M. „*FMEA metoda u upravljanju rizicima*“, 13th International Conference ICDQM-2010, Beograd, str.116-123.
- [4] Martinović V.R., S.Vlajić: „*Osnovni principi projekta i upravljanja projektom sa primerom*“, 10<sup>th</sup> International Conference ICDQM-2007, Beograd, str.729-733.
- [5] Velimirović A., Petrović M., Petrović P.: „*Upravljanje rizikom u oblasti investicija*“, (XXXIX Naučno-stručni skup „Održavanje mašina i opreme“, Budva, 2014.
- [6] Bamford M.: „*Vrhunsko investiranje*“, Šta najbolji investitori znaju, rade i govore, IPS, 2008.



- [7] Ćirković M.: „*Ceh bezbedonosne nekulture*“, Politika-Kultura, Umetnost, Nauka, 2014.
- [8] Petrović P., Petrović M., Velimirović A.: „*Značaj izbora lokacija i položaja pri izradi studija izvodljivosti industrijskih pogona*“, XXXIX Naučno-stručni skup „Održavanje mašina i opreme“, Budva, Crna Gora, 2014.
- [9] Petrović P., Tomić R., Petrović Marija, Velimirović Ana: „*Ocena rizika u realizaciji i investicijama industrijskih projekata*“, International convention on quality UASQ-2014, 2014, Belgrade, Serbia, p.1-4.
- [10] Velimirović A., Petrović M., Petrović P., Vučković B.: „*Upravljanje rizikom u oblasti investicija*“, XXXIX Naučno stručni skup „Održavanje mašina i opreme“, „OMO 2014“, Mašinski fakultet Beograd, Jun. 2014., Beograd-Budva, str.1-7.
- [11] Velimirović A., Petrović M., Petrović P. Vučković B.: „*Kako investirati, uz što manji rizik*“, 17<sup>th</sup> Inter. Conf. „Dependability and quality management-ICDQM-2014, Belgrade, Serbia, 2014., p.404-409, Proceedings, Čačak.
- [12] Varga G. „*Nešto smo izostavili*“, Upravljanje projektnim rizicima-kvalitetno predviđanje okolnosti, infoTrend 47-50, 165/11/2008.
- [13] Avakumović Č., Milinković S., Vujačić N., „*Menadžment rizika*“, International Scientific Conference, Management 2010., Kruševac, Srbija, 2010., str. 387-392.
- [14] [www.omega-software.hr](http://www.omega-software.hr)



# COMET<sub>a</sub> 2014

2nd INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

2nd - 5th December 2014  
Jahorina, B&H, Republic of Srpska



University of East Sarajevo  
Faculty of Mechanical Engineering  
Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications

---

## ***ORGANIZATION AND MAINTENANCE***





## **PREGLED NAUČNO-ISTRAŽIVAČKIH KAPACITETA ZA ISPITIVANJE MAŠINSKIH ELEMENATA I SISTEMA NA UNIVERZITETU U BEOGRADU – MAŠINSKOM FAKULTETU**

**Radivoje Mitrović<sup>1</sup>, Žarko Mišković<sup>2</sup>, Zoran Stamenić<sup>3</sup>**

*Rezime: Svaka mašina se sastoji od mašinskih elemenata i sistema. Zato je važno razviti neophodne jake veze između relevantnih istraživačkih centara, sposobnih za njihovo pouzdano ispitivanje. Često se dešava da dva istraživačka centra iz istog regiona ili čak iz istog grada imaju identičnu opremu i obim ispitivanja. Sa današnjim, značajno smanjenim sredstvima za naučna istraživanja (ekonomska kriza), ovo stanje je problem čak i za velike ekonomije. Istorijsko iskustvo dokazuje da je jedino održivo prevazilaženje ove neracionalnosti na regionalnom nivou – saradnja i deljenje resursa. Prvi korak je razmena informacija o dostupnim naučno-istraživačkim kapacitetima između susednih institucija. U cilju doprinosa poboljšanju uslova za nauku u regionu Zapadnog Balkana, autori su predstavili naučno-istraživačke kapacitete jedne od laboratorija Univerziteta u Beogradu - Mašinskog fakulteta: Laboratorije za Ispitivanje Mašinskih Elementata i Sistema (LIMES). Raspoloživa oprema i ljudski resursi su detaljno opisani, sa posebnim osvrtom na akreditovane metode ispitivanja različitih tipova kotrljajnih ležaja.*

*Ključne riječi: akreditacija, ispitne instalacije, kotrljajni ležaji, laboratorija*

### **REVIEW OF MACHINE ELEMENTS AND SYSTEMS TESTING CAPACITIES OF FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING AT UNIVERSITY OF BELGRADE**

*Abstract: Taking into account that every machine is consisted of different types of machine elements and systems, it's very important to establish strong connections between relevant research centres of different regions capable for accurate testing of listed articles. Nowadays, what happens often is that two research centres from the same region or even from the same city have the same equipment and research scope. With research funds significantly reduced due to the world economic crisis, this situation presents a huge problem even for large countries. Based on historical experiences, the only solution for this problem on regional level is cooperation and resource sharing. First step in the realisation of this solution is exchange of information*

<sup>1</sup> dr Radivoje Mitrović, Beograd, Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, rmitrovic@mas.bg.ac.rs

<sup>2</sup> dipl.inž. Žarko Mišković, Beograd, Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, CA, zmiskovic@mas.bg.ac.rs

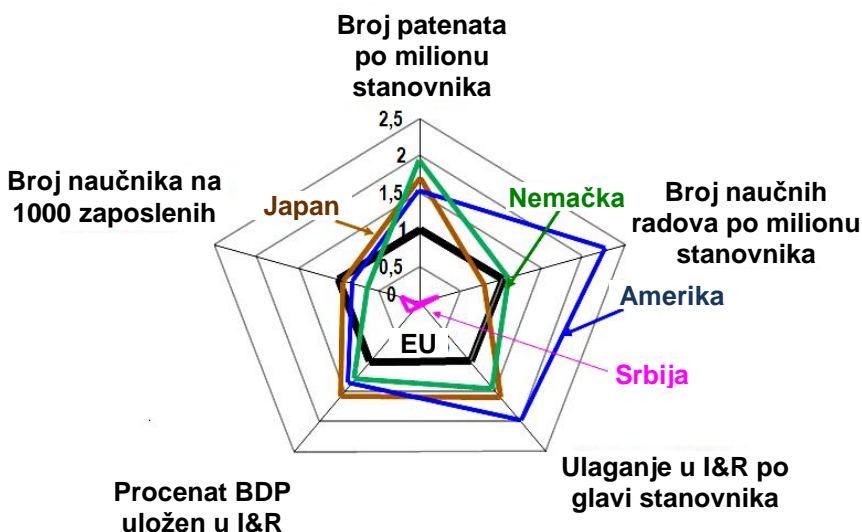
<sup>3</sup> dr Zoran Stamenić, Beograd, Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, zstamenic@mas.bg.ac.rs

about available research capacities between neighbouring institutions. In order to improve described situation in the Western Balkan region, authors of this paper have presented the research capacities of one of many laboratories of University of Belgrade – Faculty of Mechanical Engineering): Laboratory for Machine Elements and Systems Testing (LIMES). Its equipment and staff capacities are described in detail with special consideration of accredited rolling bearings testing methodologies.

**Key words:** accreditation, laboratory, rolling bearings, testing machines

## 1. UVOD

Države Zapadnog Balkana su poslednjih godina neprekidno u fokusu interesovanja evropske naučne zajednice. U prilog tome govori i činjenica da je, npr., za Republiku Srbiju, u okviru prepristupnih EU Hetip IPA fondova do 2013. godine, za razvoj lokalnih naučno-istraživačkih kapaciteta i infrastrukture izdvojeno 30.000.000€ [1]. Ta sredstva su bila usmerena na 27 javnih fakulteta. To je već rezultovalo značajnim povećanjem broja naučno-istraživačkih rezultata – nažalost, i dalje *višestruko manjeg od evropskog proseka* (Slika 1 [2]).



Slika 1. Pregled pokazatelja naučno-istraživačkih kapaciteta Republike Srbije [2]

Slična situacija je evidentna i u ostalim zemljama Zapadnog Balkana (uz par izuzetaka). Glavni razlozi za nekompetitivnost regionalne nauke su:

- Mobilnost istraživača je na izraženo niskom nivou (mediji navode da gotovo tri četvrtine istraživača radi u ustanovi prvog zaposlenja);
- Istraživači pretežno objavljuju naučne radove isključivo u lokalnim i regionalnim publikacijama; učestvuju na naučnim konferencijama organizovanim u neposrednom okruženju; mahom realizuju projekte koje finansiraju lokalne uprave ili relevantni državni organi;
- Naučno-istraživačke zajednice Zapadnog Balkana su značajno zatvorene i samoreferentne;

- Relativno malo istraživača ima iskustvo i obrazovanje stečeno u inostranstvu; to je posledica nedovoljno razvijene saradnje sa inostranim fakultetima, institutima i strukovnim udruženjima;
- Naučno-istraživačka zajednica Zapadnog Balkana je sklona praćenju naučnih rezultata sa anglo-saksonskog područja; posledica je zanemarivanje značajne naučne tradicije istoka;
- Veoma je prisutno dupliranje naučno-istraživačkih kapaciteta između susednih istraživačkih centara. Time se fondovi za istraživački rad dodatno smanjuju i opterećuju. Isto važi i za specifične oblasti istraživanja. Izrazit je deficit kadrova u nekim manje popularnim naučnim oblastima. S druge strane, značajno je više stručnjaka koji nisu neophodni u nekim drugim oblastima.

Iz navedenog proizilazi da u sledećem strateškom periodu istraživački centri Zapadnog Balkana moraju da u kontinuitetu poboljšavaju svoje pozicije. Premda je procenjeno da oni imaju odgovarajući samodovoljni potencijal i kapacitet, njihov održivi razvoj će se vrlo teško ostvariti bez povezivanja s drugim naučno-istraživačkim centrima, u bližem i daljem okruženju.

Raspoloživi indikatori ukazuju da je ukupnjavanje istraživačkih kapaciteta neophodan preduslov i jedini način za opstanak u izuzetno kompetitivnom istraživačkom prostoru EU.

Prvi korak u realizaciji savremenih zahteva je upoznavanje stručnjaka iz okruženja sa dostupnim kapacitetima susednih naučno-istraživačkih institucija. To otvara mogućnost dalje saradnje i potencijalnog deljenja istraživačkih resursa.

## **2. ISPITIVANJE MAŠINSKIH ELEMENATA I SISTEMA – ZNAČAJ I PODELA**

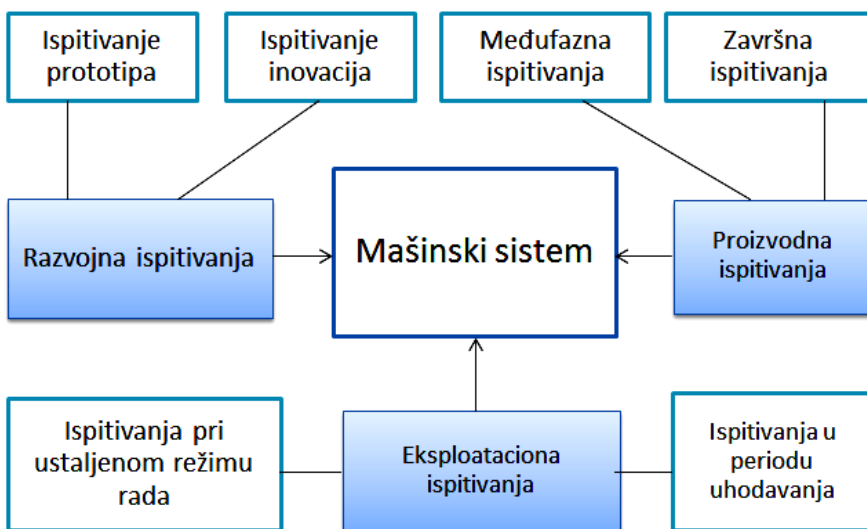
Ispitivanja mašinskih elemenata i sistema su skup niza postupaka koji su zastupljeni u različitim fazama procesa razvoja, proizvodnje i eksploatacije. Njihov cilj je ocena stanja mašine, uređaja ili pojedinačnog mašinskog dela. Stanje se najčešće ocenjuje na osnovu eksperimentalnih ispitivanja, odnosno, neposrednim ili posrednim merenjima određenih veličina. Postupak se uslovno može podeliti na ocene:

- Kvaliteta,
- Pogonskog stanja,
- Stanja oštećenja,
- Pogonske i radne sigurnosti.

Osnovni cilj ispitivanja mašinskih elemenata i sistema je, pre svega, da se smanji broj konstrukcija nezadovoljavajućeg kvaliteta. One se, zatim, rekonstruišu, odbacuju kao škart ili upućuju na doradu. Posebno su značajna ispitivanja bez razaranja ako se njima mogu otkriti površinske i unutrašnje greške u konstrukcijama (zavisno od primenjene metode). Tako se obezbeđuje totalni kvalitet proizvoda.

Kvalitet karakteriše stanje mašinskog elementa ili sistema: u toku izrade; na kraju proizvodnog procesa; i u uslovima eksploatacije, posle određenog perioda rada. Zahtevi kvaliteta se uglavnom odnose se na tačnost, propisanu odgovarajućim standardima, koju treba da zadovolje delovi konstrukcije ili čitavog mašinskog sistema.

Eksperimentalna ispitivanja su najčešće opisana kroz odgovarajuće metodologije, primenjive u svim fazama životnog ciklusa proizvoda. Zato se ona mogu uslovno podeliti na razvojna, proizvodna i eksploataciona (Slika 2).



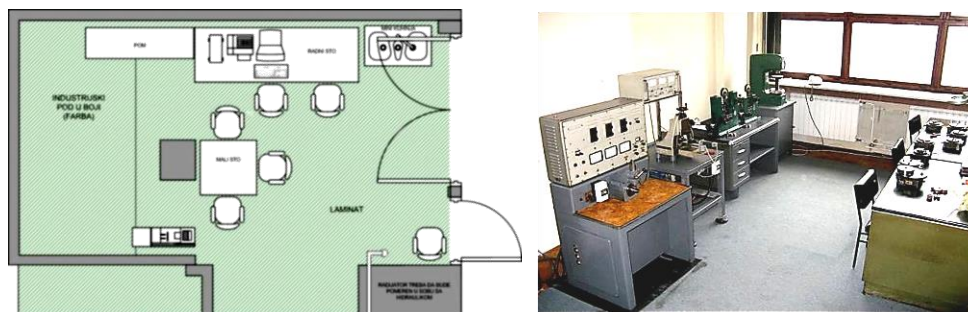
Slika 2. Pregled primenjenih vrsta ispitivanja mašinskih elemenata i sistema

### 3. LABORATORIJA ZA ISPITIVANJE MAŠINSKIH ELEMENATA I SISTEMA (LIMES) UNIVERZITETA U BEOGRADU – MAŠINSKOG FAKULTETA

Laboratorija za Ispitivanje Mašinskih Elementa i Sistema (LIMES) je osnovana 2005. godine kao rezultat višedecenijske tradicije eksperimentalnih i istraživačkih aktivnosti Katedre za opšte mašinske konstrukcije Univerziteta u Beogradu – Mašinskog fakulteta. Na adresi je Kraljice Marije 16, 11120 Beograd 35 (Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet). Raspolaze adekvatnim laboratorijskim prostorom (>100 m<sup>2</sup>) – Slika 3.

Laboratorija LIMES je opremljena najmodernijom opremom, predviđenom za ispitivanje svih uobičajenih mehaničkih karakteristika širokog dijapazona najrazličitijih mašinskih elemenata i sistema. Od 2009. godine je akreditovana od Akreditacionog tela Srbije (ATS) za visoko specijalizovane metodologije eksperimentalnog ispitivanja kotrljajnih ležaja.

Trenutno je u laboratoriji zaposleno 6 visoko obrazovanih stručnjaka. Titulu Doktora nauka (Ph.D.) ima troje. Prosečni radni staž zaposlenih u laboratoriji je 19,83 godine. Od njih su prosečno 13,83 godine provedene na poslovima eksperimentalnih istraživanja i razvoja.



Slika 3. Raspored i izgled nekih od prostorija laboratorije LIMES



#### 4. PREGLED NAUČNO-ISTRAŽIVAČKIH KAPACITETA LABORATORIJE LIMES

Oprema laboratorije LIMES se može, uslovno, podeliti u dve grupe:

- Standardizovanu opremu,
- Nestandardizovanu opremu.

##### 4.1 Standardizovana oprema

Standardizovana oprema laboratorije LIMES obuhvata:

- Opremu za ispitivanje standardnih karakteristika mašinskih elemenata i sistema (uključujući odgovarajuće epruvete od mašinskih materijala);
- Opremu iz obima akreditacije laboratorije, odnosno, opremu za ispitivanje različitih tipova kotrljajnih ležaja.

##### 4.1.1 Oprema za ispitivanje standardnih karakteristika mašinskih elemenata i sistema (uključujući odgovarajuće epruvete od mašinskih materijala)

- Servohidraulična mašina za dinamička i statička ispitivanja;
- Mehanička mašina za dinamička i statička ispitivanja mikroepreveta i malih uzoraka;
- Stabilni i prenosni uređaj za merenje tvrdoće;
- Prenosni uređaj za merenje magnetizma;
- Digitalni 3D mikroskop.

##### a) Servohidraulična mašina za dinamička i statička ispitivanja – ZWICK ROELL HB250 (Slika 4)



Standardne epruvete



Implanti za butne kosti



Transportni valjci



Pneumatski cilindri



Seizmička ispitivanja materijala

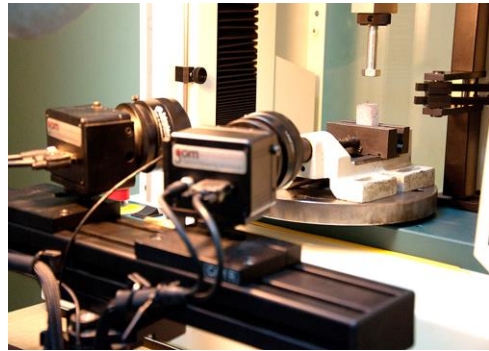
- Statičko pritisno/zatežuće opterećenje: 0-(±)250kN
- Statički moment uvijanja: 0-1000Nm
- Dinamičko pritisno/zatežuće opterećenje: 0-(±)250kN
- Max frekvencija promene opterećenja: do 70Hz

Slika 4. Servohidraulična mašina za dinamičko i statičko ispitivanje ZWICK ROELL HB250 sa primerima reprezentativnih ispitivanja

**b) Mehanička mašina za dinamičko i statičko ispitivanje mikropruveta i malih uzoraka – TINIUS OLSEN H10KS (Slika 5)**



- Statičko pritisno/zatežuće opterećenje: 0-(±)5kN
- Dinamičko pritisno/zatežuće opterećenje: 0-(±)5kN
- Max frekvencija promene opterećenja: do 2Hz



Ispitivanje zubnih implanata (u kombinaciji sa ARAMISmernim sistemom)

Slika 5. Mehanička mašina za dinamička i statička ispitivanja TINIUS OLSEN H10KS sa primerom reprezentativnih ispitivanja

**c) Stabilni i prenosni uređaj za merenje tvrdoće – ZWICH ROELL ZHU 2.5 i Microdur MIC 10 (Slika 6)**



- Max opterećenje: 2,5kN
- Metode ispitivanja: Rokvel A-K, L, M, N, R, T  
Vikers HV, HVT  
Brinel HB, HBT  
Krup HK



Tvrdoća po Vickersu: →  
20-1740HV

Slika 6. Stabilni i prenosni uređaj za merenje tvrdoće ZWICH ROELL ZHU 2.5 i Microdur MIC 10a

**d) Prenosni uređaj za merenje magnetizma – MAGNET PHYSIK FH 51 (Slika 7)**



Opseg merenja:  
20mT-2T  
(16-1600kA/m)

Slika 7. Prenosni uređaj za merenje magnetizma MAGNET PHYSIK FH 51

#### e) Digitalni 3D mikroskop – HIROX KH-7700 (Slika 8)



Optičko  
uvećanje:  
50x-400x



Ispitivanje oštećenja staza  
kotrljajnih ležaja



Slika 8. Digitalni 3D mikroskop HIROX KH-7700 sa primerom reprezentativnih ispitivanja

#### 4.1.2 Oprema iz obima akreditacije Laboratorije

Laboratorija LIMES je, trenutno, akreditovana za sledeće metode ispitivanja kotrljajnih ležaja:

- Ispitivanje tolerancija unutrašnjeg prečnika, spoljašnjeg prečnika i širine – prema ISO 1132-1:2000, ISO 1132-2:2001 i SRPS M.C3.800:1964;
- Ispitivanje vibracija - prema ISO 15242- 1,2,3:2006;
- Ispitivanje tvrdoće po metodi Rockwell C - prema SRPS ISO 6508:2012;
- Ispitivanje radijalnog zazora – prema ISO 1132-1:2000, 1132-2:2001 i SRPS M.C3.800:1964.

Akreditacija je prvi put dobijena 2009. godine. Uspešno je održavana – poslednja redovna nadzorna poseta ATS-a je realizovana u septembru 2014. godine. Znak akreditacije, kao i oprema koja se koristi za ispitivanja su prikazani na Slici 9.



Slika 9. Znak akreditacije laboratorije LIMES; primeri opreme koja se koristi za ispitivanja prema obimu akreditacije

## 4.2 Nestandardizovana oprema

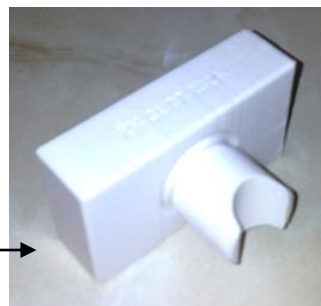
- Oprema za 'rapid prototyping',
- Samostalno razvijena oprema.

### a) Oprema za 'rapid prototyping' 3D štampač MAKERBOT Replicator 2x (Slika 10)



- Najmanja debljina sloja materijala: 100  $\mu\text{m}$
- Materijal: ABS ili PLA plastika (industrijske snage).
- Mogućnost štampanja u dve različite boje.

Prototip alata za probni sto za ispitivanje transportnih valjaka pod dejstvom radijalnog opterećenja



Slika 10. 3D štampač MAKERBOT Replicator 2x sa primerom izrađenog prototipa

### b) Samostalno razvijena oprema

Tokom dužeg niza godina, istraživači iz laboratorije LIMES su razvili više ispitnih uređaja i instalacija. Po inovativnosti se ističu:

- Probni sto za ispitivanje transportnih valjaka pod dejstvom radijalnog opterećenja [3];
- Probni sto za ispitivanje kotrljajnih ležaja pod dejstvom radijalnog opterećenja;
- Probni sto za ispitivanje zaptivne grupe transportnih valjaka.

## 5. ZAKLJUČAK

Predstavljeni naučno-istraživački kapaciteti jedne od laboratorija Zapadnog Balkana potpuno potvrđuju pretpostavku da je zajedničkim radom, međusobnim poštovanjem i intenzivnom saradnjom ipak *moгуće biti konkurentan* i na svetskom tržištu znanja – bez obzira na trenutnu ekonomsku situaciju u regionu.

## ZAHVALNOST

Zbog intenzivne podrške u nabavci predstavljene opreme, autori istraživanja bi iskoristili priliku da se srdačno zahvale Evropskoj Komisiji u Beogradu, kao i Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije – za finansijsku podršku Projektima TR35029 i TR14033.

## LITERATURA

- [1] EU Hetip – Projekat, <http://www.hetip.rs/srb/Projekat.html>, pristupljeno 12.10.2014.
- [2] Privredna komora Srbije - Privreda Srbije / Tehnološke inovacije / Statistika, <http://www.pks.rs/PrivredaSrbije.aspx?id=22&p=0&>, pristupljeno 12.10.2014.
- [3] Mitrović, R., Tasić M., Mišković Ž., Stamenić Z., Jovanović D. (2013). Data acquisition and automatisaton of a conveyor idler test stand, *Advanced Materials Research*, vol. 633, pp 277-289.





## **ANALIZA STANJA VISOKOG OBRAZOVANJA U OBLASTI TEHNIČKOG ZAKONODAVSTVA I KONSTRUISANJA NA UNIVERZITETU U BEOGRADU – MAŠINSKOM FAKULTETU**

**Žarko Mišković<sup>1</sup>, Radivoje Mitrović<sup>2</sup>**

*Rezime: Osnovni cilj istraživanja predstavljenih u ovom radu je analiza relevantnih informacija o trenutnom stanju visokog obrazovanja u Beogradu – glavnom gradu Republike Srbije, u dve specifične oblasti tehnike: tehničkom zakonodavstvu i konstruisanju. Kao reprezentativna institucija, za analizu je odabran Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet. Detaljna analiza je obuhvatila ukupno tri predmeta – jedan sa osnovnih akademskih studija (B.Sc.) i dva sa Master akademskih studija (M.Sc.). Sprovedena je i statistička analiza karakteristika i sposobnosti studenata koji su pohađali navedene predmete u prethodne dve godine. Takođe, analizirano je i mišljenje studenata o kvalitetu odgovarajućih studijskih programa, kao i njihovih predloga za eventualno unapređenje nastavnih planova i programa. Navedene informacije su prikupljene od studenata u formi intervjua i namenski pripremljenih anonimnih upitnika. Rezultati opisanih aktivnosti su odmah implementirani i u redovnoj nastavi, čime su značajno unapređeni svi analizirani predmeti – i na obrazovnom, i na andragoškom nivou.*

*Ključne riječi: visoko obrazovanje, konstruisanje, tehnički fakulteti, tehničko zakonodavstvo*

### **ANALYSIS OF CURRENT STATE OF HIGHER EDUCATION IN THE FIELD OF TECHNICAL LEGISLATION AND MACHINE DESIGN AT UNIVERSITY OF BELGRADE – FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING**

*Abstract: The main goal of research presented in this paper was to find out relevant information about current state of higher education in Belgrade – capital city of the Republic of Serbia, in two specific fields of technical sciences: technical legislation and machine design. As a representative institution, the University of Belgrade – Faculty of Mechanical Engineering was chosen. In total, three relevant subjects were analysed. Among them, one was from B.Sc. study level and two from M.Sc. degree. Statistical analysis of the characteristics and capabilities of average student attending the mentioned subjects was also performed. Additionally, investigation of student's opinions about quality of the study programmes, quality of their lecturers and ways to improve subjects curriculums was carried out. In order to get relevant and independent*

<sup>1</sup>dipl.inž. Žarko Mišković, Beograd, Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, zmiskovic@mas.bg.ac.rs

<sup>2</sup>dr Radivoje Mitrović, Beograd, Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, rmitrovic@mas.bg.ac.rs

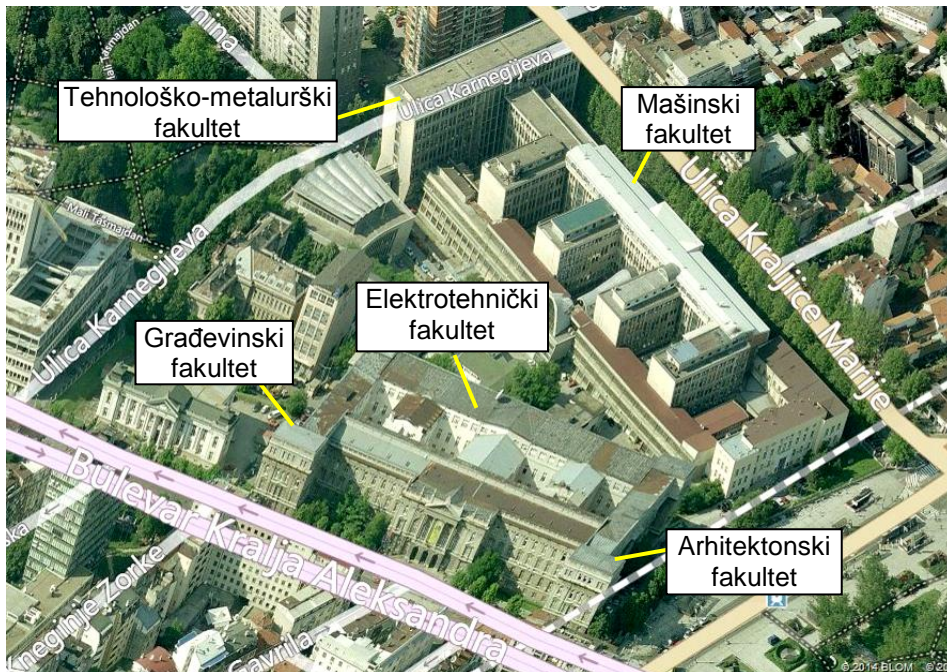
information, appropriate anonymous questionnaires were developed and distributed among students. Results from described activities were then implemented in everyday teaching process, causing significant improvements of all listed subjects - on educational as well as on andragogical level.

*Key words: higher education, machine design, technical faculties, technical legislation*

## 1. UVOD

Zahtevi tržišta u XXI veku su generisali i nametnuli nova shvatanja i pristupe razvoju proizvoda i procesu konstruisanja. Istovremeno, na svetskom tržištu se jasno uočavaju dve važne tendencije: dominacija zahteva kupca i globalizacija tržišta. Očekivanja korisnika postaju sve veća, a individualne želje sve izraženije. Stoga su razvijeni inovativni pravni instrumenti, zasnovani na novom i globalnom pristupu, za uklanjanje prepreka slobodnom kretanju proizvoda. Između ostalog, cilj relevantnih tehničkih direktiva EU je upravo zaštita korisnika novih konstrukcionih rešenja – prvenstveno sa aspekta njihove bezbedne upotrebe, ali i sa aspekta njihovog kvaliteta. Pošto su mnogi od tehničkih zahteva, koje nove konstrukcije treba da zadovolje, međusobno suprotstavljeni, definisani su i usvojeni relevantni tehnički standardi i direktive. Ovim je u najkraćem objašnjena uzročno-posledična veza između konstruisanja i tehničkog zakonodavstva, kao i značaj obe navedene oblasti za prosperitet celokupne zajednice.

Univerzitet u Beogradu (BU) je jedna od najstarijih visokoškolskih ustanova u regionu Zapadnog Balkana. Među fakultetima BU (ukupno 31), 6 spada u grupu tehničkih fakulteta (Slika 1 [1]), i na svakom od njih su u većoj ili manjoj meri zastupljeni predmeti koji se bave problematikom tehničkog zakonodavstva i konstruisanja.



Slika 1. Tehnički fakulteti Univerziteta u Beogradu

Ipak, pošto je tematika konstruisanja najšireg spektra mašinskih proizvoda (vozila, brodova, aviona, liftova, mašina alatki, aparata za domaćinstvo i dr.) i opšteg tehničkog zakonodavstva najuže povezana sa delatnošću *Mašinskog fakulteta*, za dalju analizu je odabrana upravo ova naučno-istraživačka organizacija.

## 2. ANALIZA NASTAVNIH PLANOVA I PROGRAMA IZ OBLASTI TEHNIČKOG ZAKONODAVSTVA I KONSTRUISANJA NA UNIVERZITETU U BEOGRADU – MAŠINSKOG FAKULTETA

Osnovne akademske studije (OAS) Univerziteta u Beogradu – Mašinskog fakulteta traju 3 godine (6 semestara) i obuhvataju 27 obaveznih kurseva – koje svi B.Sc. studenti moraju da polože. Među obaveznim kursevima je najmanje 8 indirektno povezanih sa opštim konstruisanjem (Tabela 1) ali nijedan nije u potpunosti fokusiran samo na ovu oblast [2]. Isto važi i za tehničko zakonodavstvo – u skoro svim stručnim predmetima se koriste relevantni standardi i tehnička legislativa ali ni jedan predmet nije posvećen isključivo njima.

Tabela 1. Pregled obaveznih predmeta osnovnih studija Mašinskog fakulteta BU – indirektno povezanih sa konstruisanjem i tehničkim zakonodavstvom

No.	Predmet	Semestar	Ukupan broj časova nedeljno (sa vežbama i praktičnim radom)	ECTS
1.	Konstruktivna geometrija i grafika	I	2	2
2.	Otpornost materijala	I	3	4
3.	Inženjerska grafika	II	5	6
4.	Mašinski materijali 1	II	2	2
5.	Osnovi otp. konstrukcija	II	5	6
6.	Mašinski elementi 1	III	5	6
7.	Mašinski materijali 2	III	5	6
8.	Mašinski elementi 2	IV	5	6

Takođe, na osnovnim akademskim studijama studenti biraju 7 izbornih predmeta (od ponuđenih >120) u skladu sa ličnim interesovanjem i budućim profesionalnim planovima, odnosno, smerom koji će eventualno odabrati na Master akademskim studijama. Pošto su izborni predmeti uglavnom usko stručni, svi su posredno povezani i sa konstruisanjem i sa tehničkim zakonodavstvom, ali postoji i jedan predmet koji se bavi *isključivo* tom problematikom: *Osnove konstruisanja* (OK) – izborni predmet 2. godine (IV semestar).

Master akademske studije (MAS) Univerziteta u Beogradu traju 2 godine (4 semestra) i podeljene su na 22 modula, sa po 8 obaveznih i 7 izbornih predmeta (Slika 2). Kao i na osnovnim akademskim studijama, postoji veliki broj kurseva (>150) koji su posredno ili neposredno povezani sa problematikom konstruisanja i tehničkog zakonodavstva, ali se po relevantnosti ipak ističu (i biće predmet dalje analize):

- *Konstruisanje M (KM)* – obavezni predmet II semestra modula Zavarivanje i Zavarene Konstrukcije (ZZK) i izborni predmet ostalih smerova i modula;
- *Tehnički propisi i standardi (TPIS)* – izborni predmet III semestra, dostupan svim studentima Master akademskih studija Mašinskog fakulteta BU.

### 3. STUDENTSKE STATISTIKE 2012-2014. GODINE

Radi dobijanja što relevantnijih i nepristrasnijih informacija, namenski su pripremljeni upitnici koje su studenti navedenih predmeta (OK, KM i TPIS) anonimno popunjavali. Informacije su obuhvatale osnovne podatke o:

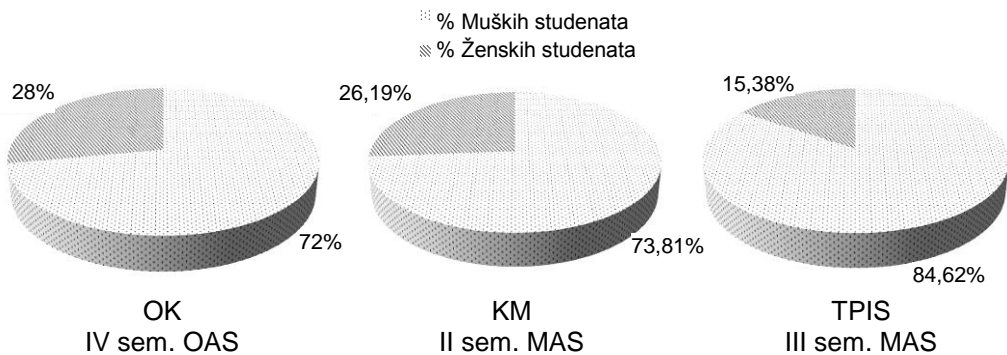
1. Polu studenta;
2. Prosečnoj oceni tokom studija;
3. Znanju stranih jezika.

Ukupno je anketirano 139 studenata, iz generacija 2012/2013. i 2013/2014. Po predmetima, anketu je radilo:

- Osnove konstruisanja (IV sem. OAS) – 92% redovno upisanih studenata;
- Konstruisanje M (II sem. MAS) – 76% redovno upisanih studenata;
- Tehnički propisi i standardi (III sem. MAS) – 92% redovno upisanih studenata.

Važno je napomenuti i činjenicu da pojedini studenti nisu želeli da unesu podatke o proseku (uprkos činjenici da je anketa bila anonimna), kao i da je na pojedina pitanja bilo moguće odgovoriti sa više odgovora – npr. na pitanja u vezi predloga za poboljšanje nastave ili očekivanja od pojedinih predmeta. Takođe, studenti koji su naknadno upisali određeni kurs (prema uobičajenoj proceduri za promenu izbornog predmeta) nisu anketirani, već su njihova mišljenja dobijena na osnovu intervjua koje su sprovodili predmetni nastavnici.

#### 3.1 Polna struktura studenata (Slika 3.)



Slika 3. Polna struktura studenata Univerziteta u Beogradu - Mašinskog fakulteta (MFBG)

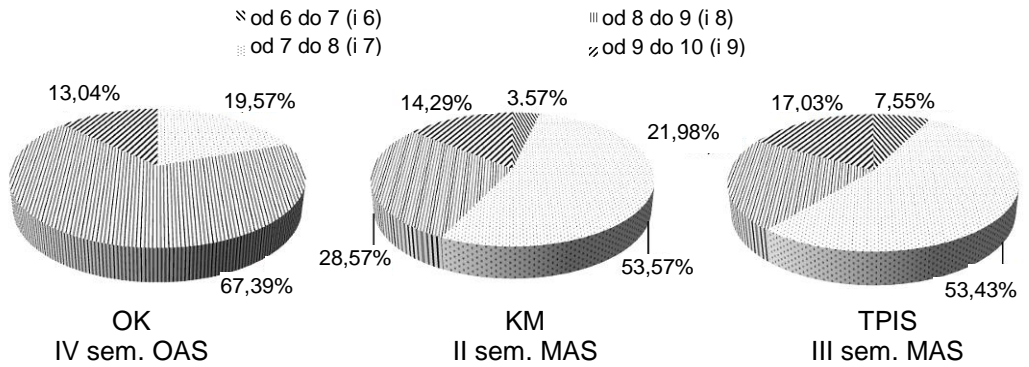
#### 3.2 Prosečna ocena studenata

Na Univerzitetu u Beogradu – Mašinskom fakultetu se koristi sistem ocenjivanja uobičajen za zemlje Zapadnog Balkana, odnosno, najveća ocena je 10, a najmanja 5. U skladu sa navedenim, prosečne ocene po pojedinim predmetima su:

- Osnove konstruisanja (IV sem. OAS) – 8,26;
- Konstruisanje M (II sem. MAS) – 7,90;
- Tehnički propisi i standardi (III sem. MAS) – 7,81.

Ukupna prosečna ocena svih anketiranih studenata je iznosila 7,99, a raspodela prosečnih ocena po pojedinim godinama studija je prikazana na Slici 4.





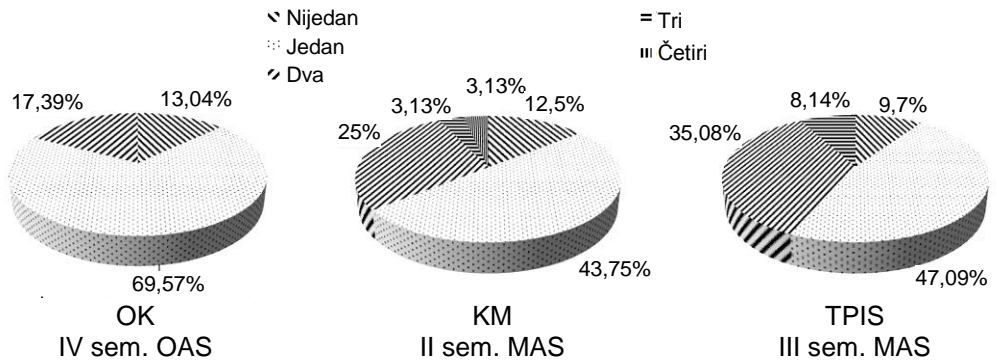
Slika 4. Prosečne ocene studenata MFBG – raspodela po stratumima

### 3.3 Znanje stranih jezika

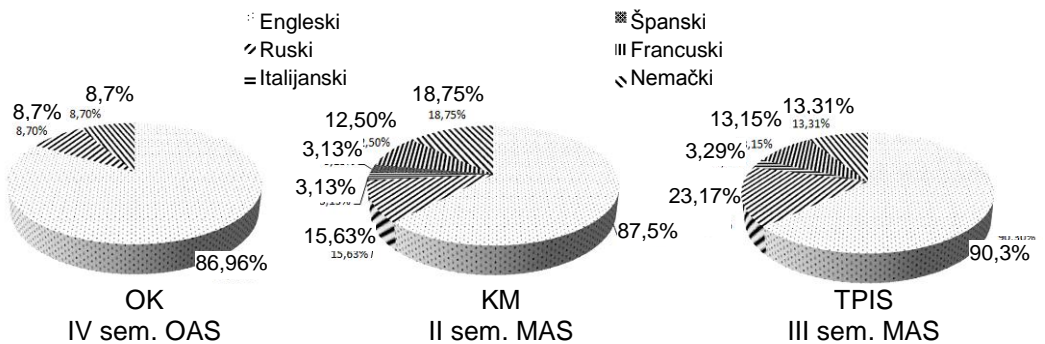
Anketirani studenti su subjektivno znanje stranih jezika ocenjivali ocenama od 1 do 5 (1 min – 5 max) i, prema predmetima, srednje ocene su:

- Osnove konstruisanja (IV sem. OAS) – 3,75;
- Konstruisanje M (II sem. MAS) – 3,09;
- Tehnički propisi i standardi (III sem. MAS) – 2,87.

Raspodela znanja stranih jezika prema broju jezika i specifičnom jeziku koji studenti koriste je prikazana na slikama 5 i 6.



Slika 5. Raspodela znanja stranih jezika studenata MFBG prema broju jezika

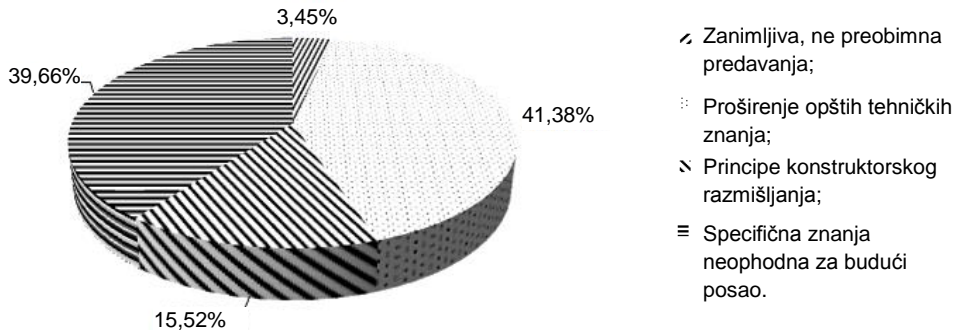


Slika 6. Raspodela znanja stranih jezika studenata MFBG prema specifičnom jeziku

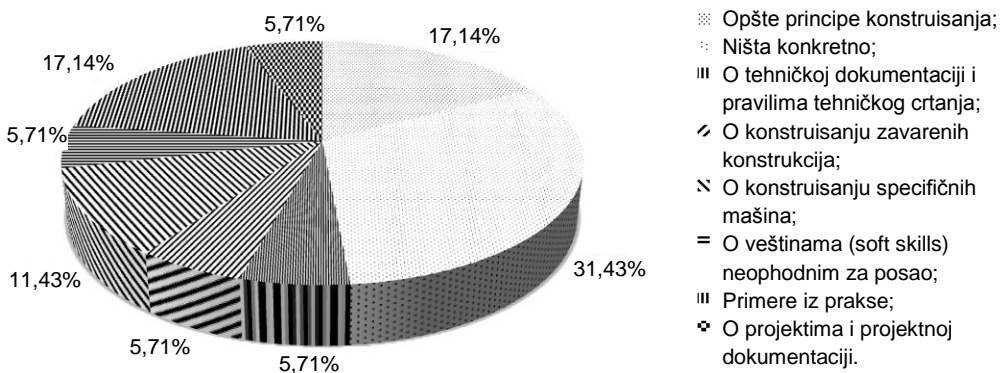
#### 4. MIŠLJENJA I PREDLOZI STUDENATA ZA POBOLJŠANJE KVALITETA KURSEVA U VEZI TEHNIČKOG ZAKONODAVSTVA I KONSTRUISANJA

Predlozi studenata za poboljšanje nastave, kao i informacije o nastavnim celinama za koje studenti smatraju da treba da budu uključene u odgovarajući predmet su takođe prikupljeni kroz pomenute upitnike. Skoro svi ispitanici su odgovorili na sva pitanja (uz par izuzetaka) što značajno doprinosi relevantnosti rezultata istraživanja.

##### 4.1 Osnove konstruisanja (IV sem. OAS) – Slike 7 i 8

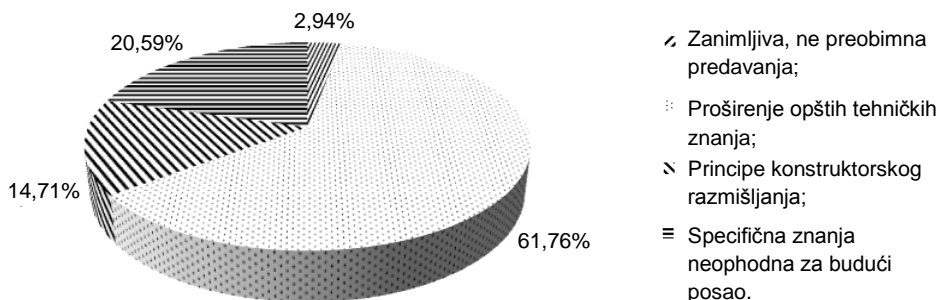


Slika 7. Šta studenti očekuju od predmeta Osnove konstruisanja?

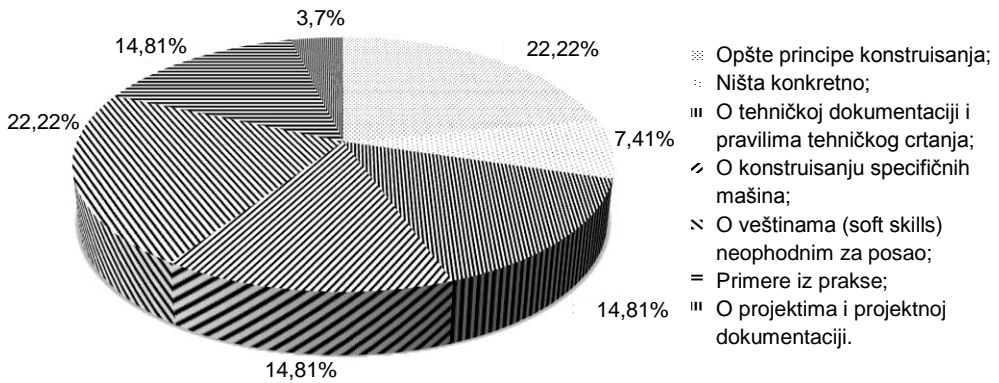


Slika 8. Šta bi studenti posebno želeli da nauče iz predmeta Osnove konstruisanja?

##### 4.2 Konstruisanje M (II sem. MAS) – Slike 9 i 10

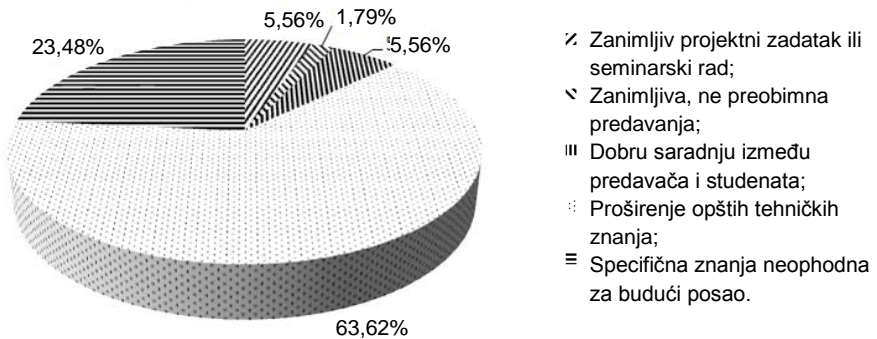


Slika 9. Šta studenti očekuju od predmeta Konstruisanje M?

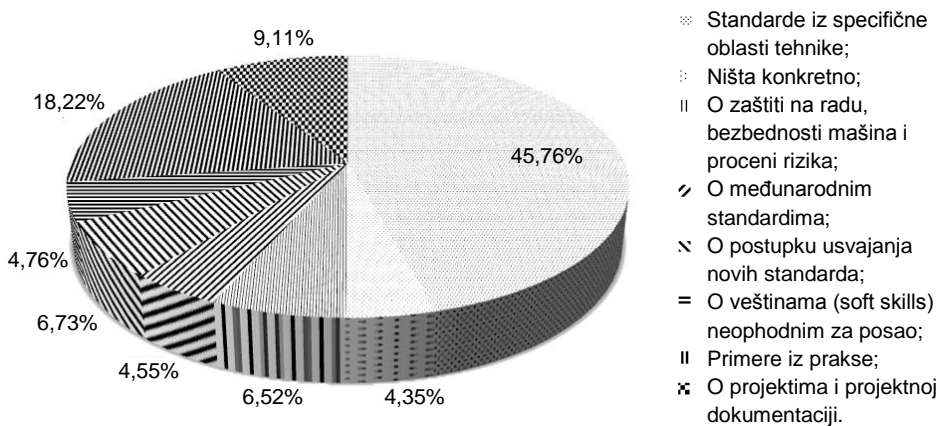


Slika 10. Šta bi studenti posebno želeli da nauče iz predmeta Konstruisanje M?

#### 4.3 Tehnički propisi i standardi (III sem. MAS) – Slike 11 i 12



Slika 11. Šta studenti očekuju od predmeta Tehnički propisi i standardi?



Slika 12. Šta bi studenti posebno želeli da nauče iz predmeta Tehnički propisi i standardi?

## 5. DISKUSIJA REZULTATA

Analiza prosečnih ocena studenata između 2012. i 2014. godine je pokazala da tokom studija dolazi do njihovog blagog opadanja (sa 8,26 na drugoj godini – na 7,81 na petoj). Takođe je primetno da na nižim godinama najveći broj studenata ima prosečnu ocenu između 8 i 9, dok na višim dominiraju prosečne ocene između 7 i 8. U analiziranom periodu (između 2 i 5 godine studija) je takođe primetno i značajno opadanje broja pripadnika lepšeg pola – sa 28% na 15,38%.

Subjektivna ocena znanja stranih jezika tokom studija opada sa 3,75 na 2,87, verovatno zato što se studenti sve više sreću sa kompleksnim stručnim tekstovima na stranim jezicima. Ipak ohrabruje činjenica da opada i broj studenata koji ne govori ni jedan strani jezik, kao i da raste broj studenata koji govori bar dva jezika – što navodi na zaključak da tokom studija studenti značajno napreduju i na ovom polju. Među jezicima kojima se služe studenti Univerziteta u Beogradu – Mašinskog fakulteta apsolutno dominiraju Engleski i Ruski, najverovatnije zato što se još uvek masovno uče u srednjim i osnovnim školama Republike Srbije.

Od svih analiziranih predmeta studenti najvećim delom očekuju proširenje postojećih opštih tehničkih znanja ali i specifična znanja neophodna za buduću karijeru. Na drugoj godini studija, studenti najviše žele da im bude prezentirano što više primera iz prakse i opštih principa inženjerske nauke (17,14%), na četvrtoj bi proširili svoje sposobnosti u oblasti komunikacije i sporazumevanja ('soft skills' – 22,22%), a na završnoj godini Master studija ih zanimaju specifične oblasti tehnike (45,76%) – kojima će se najverovatnije baviti i po završetku studija.

## 6. ZAKLJUČAK

Sve činjenice navedene u prethodnom poglavlju su uzete u obzir pri usavršavanju nastavnih planova i programa svih kurseva koji su bili predmet analize. Sugestije studenata su u najvećoj meri ispoštovane kroz:

- Uvođenje novih nastavnih celina;
- Uvođenje novih projektnih zadataka u okviru kojih studenti samostalno razvijaju nova konstrukciona rešenja;
- Uvođenje obaveznih studijskih poseta i praktičnog rada.

Primenjena poboljšanja već daju vidne rezultate – najviše kroz povećanje broja studenata koji upisuju navedene kurseve iz oblasti tehničkog zakonodavstva i konstruisanja i poboljšanje kvaliteta njihovih znanja, sposobnosti i veština.

## ZAHVALNOST

Predstavljena istraživanja su najvećim delom realizovana u okviru TEMPUS Projekta br. 530577-TEMPUS-RS-TEMPUS-JPCR (IPROD), pa autori koriste priliku da iskreno zahvale na podršci Evropskoj Komisiji i njenim predstavnicima iz TEMPUS kancelarije u Beogradu.

## LITERATURA

- [1] Bing maps, [www.bing.com/maps/](http://www.bing.com/maps/), pristupljeno 18.10.2014.
- [2] Mitrović R., Mišković Ž. (2013.), *Report IPROD 1.2 BU*, Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, Beograd.
- [3] Vodič kroz akademske studije - školska 2014/2015. godina, Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, 2014.



## PRODUCT DEVELOPMENT AT THE FACULTY OF ENGINEERING UNIVERSITY IN KRAGUJEVAC

Mirko Blagojević<sup>1</sup>, Nenad Petrović<sup>2</sup>, Nenad Kostić<sup>3</sup>,  
Miloš Matejić<sup>4</sup>, Nenad Marjanović<sup>5</sup>

*Abstract: Development of new products is one of the most important activities with which modern companies with a goal to stay competitive on the foreign and domestic market are faced. For achieving this goal it is necessary to have trained personnel in the field of product development.*

*At the Faculty of Engineering at the University of Kragujevac on the study program which is accredited in the period from 2008 to 2012, product development has been studied in specific subjects on various modules and levels of study. Within the accreditation from 2013 a redesign of the module for Mechanical Structures and Mechanization based on examples of some of the best universities from Europe in the field of product development,*

*In the following cycle of accreditation, or if possible before that, it is necessary to find possibilities and define one independent module on the master academic studies (one year or two year) which would completely be dedicated to studying product development.*

*Key words: product development, redesign, Mechanical construction and mechanization*

### 1. INTRODUCTION

Modern companies today are faced with rigorous demands in the field of product development in order to maintain a steady business and be competitive on the market, [1,2,3,4]. For that reason there is a large need for qualified experts with sufficient knowledge in the field of product development. Consequently, the technical faculties have to adapt their study programs to modern requirements of the market [5,6,7,8].

<sup>1</sup> Ph.D. Mirko Blagojević, Associate Professor, Kragujevac, Faculty of Engineering, mirkob@kg.ac.rs

<sup>2</sup> Nenad Petrović, Assistant, Kragujevac, Faculty of Engineering, npetrovic@kg.ac.rs

<sup>3</sup> Nenad Kostić, Assistant, Kragujevac, Faculty of Engineering, nkostic@kg.ac.rs

<sup>4</sup> Miloš Matejić, Assistant, Kragujevac, Faculty of Engineering, mmatejic@kg.ac.rs

<sup>5</sup> Ph.D. Nenad Marjanović, Full Professor, Kragujevac, Faculty of Engineering, nesam@kg.ac.rs



## **2. STUDY PROGRAMS AT THE FACULTY OF ENGINEERING - 2008 ACCREDITATION**

The Faculty of Mechanical Engineering in Kragujevac, or today the Faculty of Engineering of the University in Kragujevac was founded October 1st 1960 as a section of the Faculty of Mechanical Engineering in Belgrade and started with work on October 9th 1960. The Faculty of Mechanical Engineering in Kragujevac became an independent faculty of the University of Belgrade December 2nd 1971. Since 1976 the Faculty of Mechanical Engineering has been a part of the University "Svetozar Markovic" in Kragujevac, today the University of Kragujevac.

The study program Mechanical Engineering is adapted to the Law of Higher Learning and the Bologna Declaration, at the Faculty of Mechanical Engineering in Kragujevac was formed on May 5th 2006 and was accredited in 2008.

Within the system of higher learning of the Republic of Serbia, at the Faculty of Mechanical Engineering classes are held on three levels, and they are, [9]:

- Bachelor Academic Studies,
- Master Academic Studies, and
- Doctorate Studies.

Classes are held on the following study programs (accredited 2008-2012):

- Mechanical Engineering (basic, master and doctorate studies),
- Military-Industrial Engineering (bachelor and master studies),
- Automotive Engineering (bachelor and master studies),
- Urban Engineering (bachelor studies),
- Engineering Management (master studies),
- Industrial Engineering-Business Informational Systems (master studies).

The Mechanical Engineering study program is in the field of technical-technological sciences and has the following modules:

- Production engineering,
- Mechanical structures and mechanization,
- Motor vehicles and IC engines,
- Energy and process engineering,
- Applied mechanics and automatic control,
- Industrial engineering,
- Informatics in engineering and
- Road traffic engineering

The field of product development at the study programs of the Faculty of Engineering of the University in Kragujevac accredited in the period from 2008 to 2012 is not defined as independent, however it is represented on all modules through various subjects and content. This field is mostly developed on the module for Mechanical Structures and Mechanization.

The department for Mechanical Structures was formed in 1978, and the first students of the module started classes in 1979/80. Later the department grew into the Department for Mechanical Structures and Mechanization, and module along with it.

### 3. REDESIGN OF THE MODULE MECHANICAL STRUCTURES AND MECHANIZATION - ACCREDITATION 2013

Keeping in mind the timeliness of the topic of product development and the needs to have the study programs at the Faculty of Engineering of the University of Kragujevac adapted to the needs of the market, the Faculty Board has shown a wish to take certain measures and activities in this direction for the reaccreditation of study programs in 2013. Regarding the new tendencies the Faculty of Engineering is a partner on the TEMPUS project named IMPROVEMENT OF PRODUCT DEVELOPMENT STUDIES IN SERBIA AND BOSNIA AND HERZEGOVINA (530577-TEMPUS-1-2012-1-RS-TEMPUS-JPCR). Reviewing available capacities, it has been concluded that there are no realistic ways to create a new and independent study program in the field of product development, however as a compromising solution the redesign of the module for Mechanical Structures and Mechanization master studies has been approved.

The base for achieving this goal was the redesign of the questionnaire "Product development and innovational management" realized in production companies in the region. A detailed analysis of the study programs and fields of product development has also been conducted on the following foreign institutions of higher learning: Karlsruhe Institute of Technology, Technical University of Sofia and Slovak University of Technology.

Table 1 shows the newly implemented courses on the module for Mechanical Structures and Mechanization - master academic studies, [9].

Table 1. *Newly implemented course on the module for Mechanical Structures and Mechanization - master academic studies*

No.	Course Name	Course status	Semester	ESPB
1	Reliability in the Development of Mechanical Systems	Obligatory	1	6
2	Methods of Product Development	Elective	3	6
3	Computer Application in Product Development	Elective	3	6
4	Calculation Methods in Product Development	Elective	3	6

Table 2 shows the courses with changed content in the field of product development.

Table 2. *Courses with changed content*

R.br.	Course Name	Level	Semester	ESPB
1	Industrial Design	Master	1	6
2	Mechanical transmitters 2	Master	1	6
3	Virtual Engineering	Master	3	6
4	Computer Analysis of Constructions	Master	3	6
5	Experiment in Mechanical Engineering	Master	3	6
6	Development of Cutting Tools	Doctoral	1	15
7	Development of Fixtures	Doctoral	2	15
8	Special Power Transmitters	Doctoral	3	15
9	Special Types of Gearing	Doctoral	3	15
10	Selection of Material	Doctoral	1	15

On the redesigned module for Mechanical Structures and Mechanization during 2013-14 a total of 18 students have enrolled.

#### 4. CONCLUSION

At the Faculty of Engineering of the University in Kragujevac on study programs accredited for the period from 2008 to 2012 the field of product development was represented only on certain courses within various study programs and modules.

Within the accreditation in 2013 a redesign of the module for Mechanical Structures and Mechanization on master academic studies has been conducted. The redesign was done based on the results of the questionnaire "Product development and innovational management" as well as the detailed analysis of the study programs in the field of product development on eminent universities in Europe. Four completely new courses have been added. Also, there have been changes to another five subjects on master academic studies, and five subjects on doctorate academic studies.

During the 2013-14 school year on the redesigned module Mechanical Structures and Mechanization a total of 18 students have enrolled.

Regarding the high interest of students for the field of product development, it is necessary to find the possibilities of implementing a new independent study program as soon as possible which would completely be dedicated to the study of product development.

#### REFERENCES

- [1] Miltenović, V. (2003). *Product development: strategy, methods, application*, Faculty of Mechanical Engineering, Niš.
- [2] Kuzmanović, S. (2004). *Industry design*, Faculty of Technical Science, Novi Sad.
- [3] Ognjanović, M. (2003). *Design of machines*, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade.
- [4] Marjanović, N. (1999). *Methods of design*, Faculty of Mechanical Engineering, Kragujevac.
- [5] Sorli, M., Stokić, D. (2011). *Innovating in product/process development*, Springer.
- [6] Eigner, M., R. Stelzer. (2009). *Product lifecycle management*, Springer.
- [7] Manić, M., Miltenović, V., Stojković, M., Banić, M. (2010). Feature Models in Virtual Product Development. *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering*, vol. 56, no. 3, p. 1-10.
- [8] Miltenović, V., Banić, M., Miltenović, A. (2013). The New Engineering Education Model on University of Niš. *Mechanisms and Machine Science*, vol. 13, p. 729-741.
- [9] <http://www.mfkg.rs/sajt/Downloads/akreditacija2013/knjiga-predmeta-masinsko-inzenjerstvomas2013.pdf> , accessed 13.9.2014.





## **MOTIVACIJA ZAPOSLENIH U METALURŠKOM INSTITUTU „KEMAL KAPETANOVIĆ „ ZENICA, KAO DETERMINANTA ORGANIZACIONOG PONAŠANJA U FUNKCIJI POVEĆANJA REZULTATA RADA**

**Azra Emić<sup>1</sup>, Neira Delić<sup>2</sup>**

*Rezime: Organizacija ima potrebu za ljudskim resursima, a istovremeno ljudi imaju potrebu za organizacijom. Ova međusobna potreba organizacije i ljudskih resursa vodi ka uspješnom ostvarivanju ciljeva organizacije, te ciljeva i želja ljudi. Ljudski resurs uključuje iskustvo, vještine, znanja i sposobnosti čime postaje najznačajniji resurs organizacije. Jedna od važnih aktivnosti u organizacijama na koju menadžment ljudskih resursa mora pružiti odgovarajući odgovor, jeste motivacija zaposlenih. Ukoliko zaposlenik nije dovoljno motivisan, on gubi volju što uveliko utiče na loše obavljanje zadataka, a za posljedicu ima direktnu materijalnu štetu u organizaciji. Da bi organizacija funkcionisala i donosila profit, treba biti spremna stalno da razvija i uvodi nove motivacijske strategije, koje će dovesti do veće motivisanosti i zadovoljstva zaposlenika. U ovom radu će biti definisani ljudski resursi i motivacija zaposlenih, kao determinanta uspješnog poslovanja, te prikazani rezultati istraživanja provedenih u Metalurškom institutu "Kemal Kapetanović" Zenica sa ciljem spoznaje u kojoj su mjeri zaposleni motivisani.*

*Ključne riječi: motivacija, ljudski resursi, rezultati rada, zaposleni.*

### **EMPLOYEE MOTIVATION IN METALLURGICAL INSTITUTE "KEMAL KAPETANOVIĆ" ZENICA AS DETERMINANTS OF ORGANIZATIONAL BEHAVIOR, THUS IMPROVING THE RESULTS OF THE WORK**

*Abstract: The organization has a need for human resources, while people are in need of organization. This mutual need of organization and human resources leads to the successful achievement of the organization's objectives and goals and desires of people. Human resource includes experience, skills, knowledge and abilities which makes it the most important resource of the organization. One of the important activities of the organizations to which human resource management must provide an appropriate response, is the motivation of the employees. If an employee is not sufficiently motivated, he loses the will which greatly affects the poor performance of their duties, and results in direct damage to the organization. That the organization functioned and brought profits, should be ready to constantly develops and introduces*

<sup>1</sup> Azra Emić, dipl. ecc., Univerzitet u Zenici, OJ Metalurški Institut „Kemal Kapetanović“ Zenica, miz@miz.ba

<sup>2</sup> Neira Delić, dipl. ecc., Univerzitet u Zenici, OJ Metalurški Institut „Kemal Kapetanović“ Zenica, miz@miz.ba

*new motivational strategies that will lead to higher motivation and job satisfaction. This paper will define the human resources and employee motivation as a determinant of successful business, and presents the results of research carried out in the Metallurgy Institute "Kemal Kapetanovic" Zenica, with the aim of understanding to what extent the employees are motivated.*

*Key words: employees, human resources, motivation, results of operation.*

## 1. UVOD

U savremenom poslovanju, jedan od osnovnih resursa svake organizacije su zaposleni. Da bi se postigli što bolji rezultati poslovanja, potrebno je znanje kako pridobiti, razviti, zadržati i nagraditi prave ljude koji će postići zacrtane ciljeve preduzeća. Jedna od važnih aktivnosti u organizacijama na koju menadžment ljudskih resursa mora odgovoriti, jeste motivacija zaposlenih.

U ovom radu istraživanje je realizirano primjenom različitih naučnih metoda kao što su metoda analize i sinteze, metoda dokazivanja, deskripcije i anketiranja. U okviru ovog rada provedeno je teorijsko i empirijsko istraživanje. Teorijskim istraživanjem analizirani su podaci o organizacionom ponašanju. U empirijskom istraživanju provedeno je prikupljanje primarnih podataka ispitanika metodom ispitivanja. Anonimni anketni upitnik je obuhvatio sedam tvrdnji iz različitih područja motivacije kao što su materijalne i nematerijalne kompenzacije ( plate, sigurnost posla, međuljudski odnosi i sl.). Ispitivanja su se provela sa ciljem spoznaje u kojoj su mjeri zaposleni motivisani u naučnoistraživačkoj instituciji Metalurški institut "Kemal Kapetanović" Zenica, te šta ih najviše motiviše s obzirom na njihov položaj u organizaciji, platu i uslove rada. Cilj je utvrditi da li i u kojoj mjeri faktori motivacije utiču na njihovo ponašanje u organizaciji, u smislu većeg angažovanja u povećanju rezultata rada.

Istraživanjem su obuhvaćeni zaposleni različitog nivoa obrazovanja, oba spola, različite starosne dobi i dužine radnog staža. Izbor uzorka istraživanja su zaposlenici Metalurški institut "Kemal Kapetanović" Zenica. Institut broji ukupno 100 zaposlenih, a u istraživanju je učestvovalo 62% od ukupnog broja zaposlenih što čini reprezentativan uzorak.

## 2. MOTIVACIJA

Preduzeća mogu izabrati da se prema zaposlenima odnose kao prema imovini koja zahtijeva ulaganje resursa ili kao trošku koji treba minimizirati. Pristup koji poduzeće izabere na ovom polju može dovesti do uspješnog ostvarenja kratkoročnih i dugoročnih ciljeva ili do prestanka postojanja.[1] Sama motivacija je zapravo, "spremnost" da se nešto učini, a uvjetovana je pogodnošću te radnje da zadovolji određenu potrebu pojedinca.[2] "Visoka motivacija ljudi je neophodna da bi se osigurala visoka razina kvalitete, inovacija i fleksibilnosti koje zahtijeva savremeno tržište." [3] Cilj motivacije je zadržati postojeće ponašanje, intenzivirati ga ili promijeniti dosadašnje ponašanje i usmjeriti ga prema nečemu novom ili drugačijoj kvaliteti.[4]

Većina autora vidi motivaciju kao proces zadovoljenja individualnih potreba, koji se sastoji od šest koraka i to: (1) prepoznavanje potreba, (2) tenzija, (3) akcija, (4) traganje, (5) zadovoljenje potrebe i (6) smanjenje tenzije.[5] Motivacija je vrlo kompleksna i ličnog je karaktera pa se mogu identificirati osnovne motivacijske tehnike. Motivacione kompenzacije se mogu podijeliti na finansijske i nefinansijske; direktne i indirektne, a motive za rad možemo podijeliti i na *ekstrinzične* (vanjske) kao

npr., plaće, uvjeti rada, rukovođenje te *intrinzične* (unutrašnje) poput obrazovanja i napredovanja.[6]

### 3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

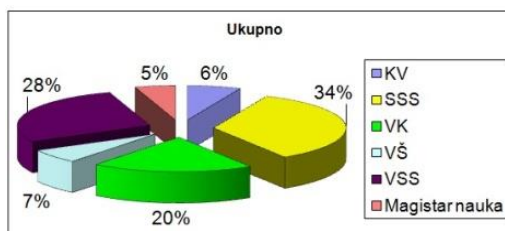
Istraživanje provedeno u naučnoistraživačkoj instituciji Metalurški Institut „Kemal Kapetanović“ Univerziteta u Zenici. Prikupljanje primarnih podataka realiziralo se putem anonimnog anketnog upitnika i to u periodu od 15.09.2012. do 30.09.2012.godine. Na pitanja su ispitanici odgovarali uz primjenu Likertove skale, sa ocjenama o slaganju ili neslaganju sa tvrdnjama od: apsolutno se ne slažem, ne slažem se, niti se slažem niti se ne slažem, slažem se, apsolutno se slažem. Stuktura zaposlenih u Institutu u vrijeme istraživanja sastojala se od različitih obrazovanja i struka, a što je prikazano u tabeli 1.

Tabela 1. *Struktura zaposlenih u Institutu prema formalno-pravnoj kvalifikaciji.* [7]

OBRAZOVANJE	MUŠKARCI	ŽENE	UKUPNO
Doktor nauka	-	-	-
Magistar nauka	8	1	9
Magistar Specijalist	-	-	-
Visoko stručno obrazovanje	16	20	36
Više stručno obrazovanje	1	1	2
Visokokvalifikovani	15	1	16
Srednje stručno obrazovanje	16	13	29
Kvalifikovani	4	1	5
Niže stručno obrazovanje	-	-	-
Priučeni-polukvalifikovani	-	1	1
Nekvalifikovani	1	1	2
<i>UKUPNO:</i>	61	39	100

#### 3.1. Analiza stručne spreme u Institutu

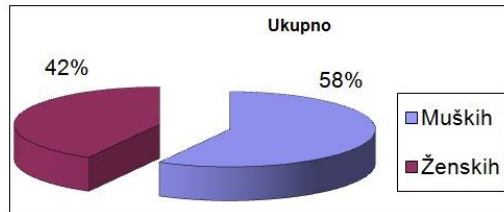
Analizom rezultata istraživanja, koja se odnose na zaposlene prema stručnoj spremi, najveći procenat se odnosi na zaposlene sa SSS spremom (33,87%), odmah iza toga slijedi VSS (27,42 %), zatim VK (19,35%), dok se manji procenat odnosi na zaposlene sa stručnom spremom KV 6,45%, VŠ 6,45%, magistre 4,84%. Sa VSS spremom i magisterijem uglavnom rade zaposleni kao istraživači, ili na mjestima rukovodioca Zavoda, dok zaposleni sa VK, KV i SSS spremom rade kao tehničko, sručno i administrativno osoblje. Ukupan broj ispitanika prema stručnoj spremi prikazan je na grafikonu 1.



Grafikon 1. *Ukupan broj ispitanika prema stručnoj spremi*

### 3.2. Struktura spola ispitanika u Institutu

Na osnovu analize dostavljenih podataka, većinu zaposlenih u organizaciji kao što je Metalurški institut "Kemal Kapetanović" Zenica, čini muška populacija i to 58,06%. Direktorsku funkciju po prvi put u istoriji Instituta, proteklih osam godina je obavljala žena, da bi sadašnju direktorsku funkciju obavljao ponovo muškarac. Analiza spola ispitanika prikazana je na grafikonu 2.

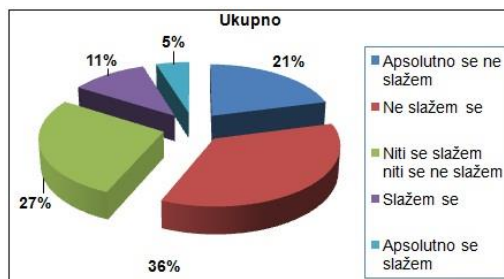


Grafikon 2. Ukupan broj muških i ženskih zaposlenika

### 3.3. Analiza odgovora na postavljene tvrdnje

#### 3.3.1. "Glavni razlog moga rada u Institutu je visina plate."

Na prvo pitanje u prilično visokom procentu (56,45%), anketirani ispitanici su opovrgnuli tvrdnju da je visina plate glavni razlog rada u Institutu. Neodređen stav ima ukupno 27,42% ispitanika, a znatno manji broj ispitanika 16,13% se slaže sa ovom tvrdnjom. Iako je plata u funkciji proizvodnosti rada i najstariji način motivisanja za rad, ipak je činjenica da svako povećanje plate ne vodi i povećanju produktivnosti. Veoma bitni faktori motivacije, čak bitniji nego visina plate mogu biti, odsustvo sukoba, kao i ugodna radna atmosfera, uslovi rada, vrsta posla, stil upravljanja organizacijom i drugi faktori. Grafički prikaz odgovora na prvo pitanje prikazan je na grafikonu 3.

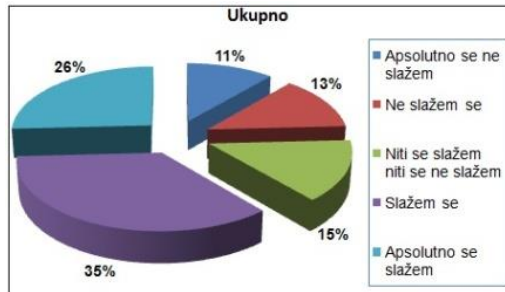


Grafikon 3. "Glavni razlog moga rada u Institutu je visina plate."

#### 3.3.2. "Moj neposredni rukovodilac me podstiče i uključuje u zajedničko rješavanje problema."

U našem drugom anketnom pitanju htjeli smo doći do saznanja da li su zaposleni spremni da se uključe u više različitih zadataka u kojima će imati i više autonomije. Oko 14,52% ispitanika ima neodređen stav prema ovoj tvrdnji dok njih 24,19% smatra da ih neposredni rukovodioci ne uključuju i ne podstiču na zajedničko rješavanje problema, a 61,29% ima pozitivan stav prema ovoj tvrdnji. Na motivaciju utiče i obogaćivanje posla vertikalnim širenjem uključujući u njega više različitih

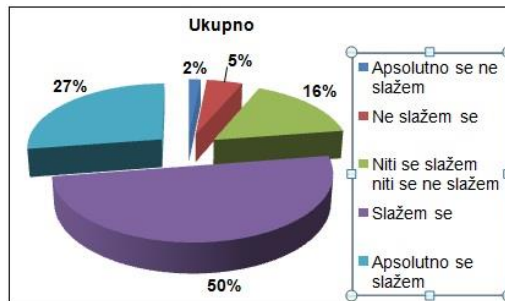
zadataka, odgovornosti i autonomije. U organizacijama gdje zaposleni učestvuju u rješavanju problema, a njihovi naponi se cijene, onda i ostvarenje ličnih i organizacijskih ciljeva vode ka sigurnom uspjehu. Rezultati istraživanja na dugo pitanje prikazani su na grafikonu 4.



Grafikon 4. "Moj neposredni rukovodilac me podstiče i uključuje u zajedničko rješavanje problema."

### 3.3.3. "Bolja organizacija u Institutu bi povećala rezultate mog rada."

Veliki broj ispitanika smatra da bi bolja organizacija u Institutu povećala rezultate rada (77,42%), dok samo njih 6,4% se ne slaže sa ovom tvrdnjom. Ovaj faktor motivisanosti je u direktnoj vezi sa stilom upravljanja. Demokratski stil ima najveći motivacijski potencijal jer u tom stilu menadžeri jačajući zaposlene jačaju i sebe. Boljom organizacijom u Institutu menadžeri bi bolje razumjeli ono što ljudi žele i kroz odgovarajući stil menadžmenta izgradili i bolji motivacijski sistem, što bi opet uticalo na bolje performanse cijele organizacije. Rezultati na treće pitanje predstavljeni su grafikonom 5.

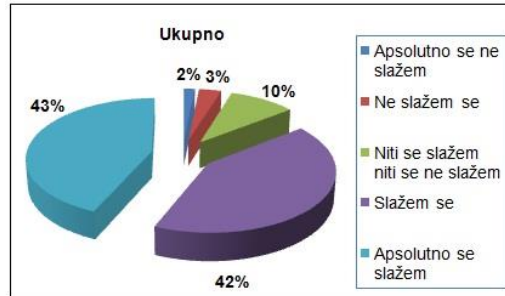


Grafikon 5. "Bolja organizacija u Institutu bi povećala rezultate mog rada."

### 3.3.4. "Sigurnost posla mi je osnova za učinkovit rad"

Ubrzan razvoj tehnologije, internacionalizacija preduzeća, globalizacija tržišta, predstavljaju neke od razloga nesigurnosti posla koji izazivaju posljedice kao što su nezaposlenost, mobilnost radne snage, i dr. Većina ispitanika 85,49% je potvrdio tvrdnju da je sigurnost posla, osnova za učinkovit rad. Potrebe sigurnosti, a time sigurnosti posla su među potrebama koje se prve zadovoljavaju i osnov su za zadovoljenje ostalih potreba višeg reda, pa je i logično da bi većina zaposlenih iz

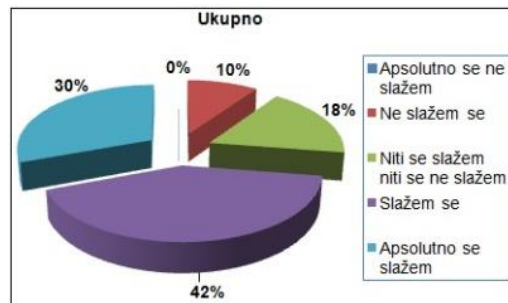
potreba za sigurnosti posla radila i za manju platu. Zaposleni znaju da je stanje u BiH, pa tako i u Ze-Do kantonu alarmantno što se tiče broja nezaposlenih. Zaključno sa 31.05. 2012. godine na evidenciji nezaposlenih Službe za zapošljavanje ZE-DO kantona evidentirano je ukupno 67.094 nezaposlenih osoba. [8] Strah od gubitka posla u institutu je snažan motiv za rad. Shodno tome analiza odgovora na četvrto pitanje prikazana je na grafikonu 6.



Grafikon 6: "Sigurnost posla mi je osnova za učinkovit rad"

### 3.3.5. "Dobri međuljudski odnosi su mi bitni i mogu prevagnuti u odnosu na visinu plate."

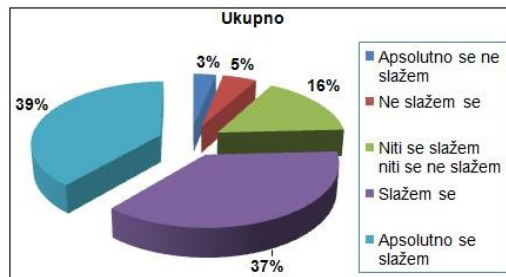
Anketirani ispitanici se slažu sa tvrdnjom (72,59%) da dobri međuljudski odnosi mogu prevagnuti u odnosu na visinu plate. Međusobno razumijevanje, poštenje i uvažavanje, komunikacija i sl., su odnosi s drugim ljudima u preduzeću koji pružaju zadovoljstvo i ispunjenost, jer ljudi su društvena bića. Jedan od najčešćih razloga konflikata u preduzeću su upravo problemi u međuljudskim odnosima. Zaposleni su više motivisani ukoliko rade sa kolegama i rukovodiocima sa kojima imaju prijateljski i korektan odnos. Prijatna radna, fizička i socijalna atmosfera, uslovi rada, odsustvo sukoba, doprinosi boljoj klimi u preduzeću i ispunjenju potrebe pripadnosti i samopoštovanja. Sve su to bitni faktori zadovoljstva poslom u Institutu, čak nekada i bitniji nego visina plate, što se analizom ove tvrdnje i pokazalo tačno. Analiza odgovora na naše peto pitanje prikazana je na grafikonu 8.



Grafikon 8. "Dobri međuljudski odnosi su mi bitni i mogu prevagnuti u odnosu na visinu plate."

### 3.3.6. “Da bih davao/la bolje rezultate u poslu, trebam biti bolje motivisan/a.”

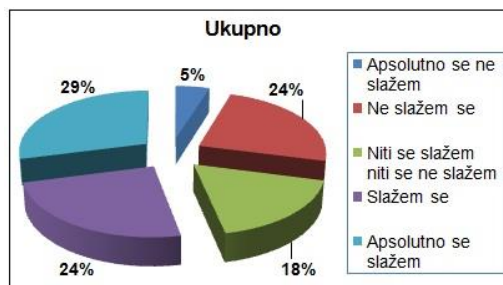
Na tvrdnju, da bih davao/la bolje rezultate na poslu, trebam biti bolje motivisan/a potvrdno je odgovorilo 75,81% ispitanika. Njih 8,07% opovrgnulo je tvrdnju, što pokazuje da je motivacija direktno povezana sa rezultatima poslovanja. Koliki je stepen motivacije toliko mora biti visok i stepen zadovoljstva zaposlenih za ostvarenja ličnih i organizacionih ciljeva. S obzirom da postoje različite metode motivacije, na zaposlene koji imaju izraženu potrebu za dostignućem, ne utiče motivacija nagrađivanjem, jer njih pokreće unutarnji poriv sve dok rade izazovan posao i koji im čini zadovoljstvo. Osim toga ljudi obično vole biti pohvaljeni za nešto što su napravili u svom radu. Na kraju, ljudi bi želili da nešto postignu, ali jednostavno nisu dovoljno motivisani da bi to uradili. Menadžeri su osobe koje trebaju kod ljudi izazvati želju da nešto naprave. Analiza šestog pitanja prikazana na grafikonu 9.



Grafikon 9. “Da bih davao/la bolje rezultate u poslu, trebam biti bolje motivisan/a.”

### 3.3.7. “Materijalni faktori (plata, stimulacije) najviše utiču na dobro obavljen posao.”

Analizom dobijenih odgovora ispitanika 53,22% je potvrdilo tvrdnju da plaća i stimulacije, najviše utiču na dobro obavljen posao, dok tvrdnju je opovrgnulo 29,03% ispitanika, a neodređen stav ima 17,74% ispitanika. Za svakog pojedinca osnovna plata je važan temelj za stimulisanje dobrog rada. Materijalni faktori su veoma bitni za zaposlenike, ali na zaposlene utiču i nematerijalni faktori, jer je cilj zadovoljiti različite ljudske potrebe kao što su: socijalni kontakti, psihološke potrebe, potrebe rasta, razvoja, jednakosti, pravičnosti i dr. Da bi organizacija bila uspješna, znanje i kreativnost zaposlenih sve više postaje njen temelj. Na grafikonu 10. prikazani su rezultati odgovora na naše sedmo pitanje.



Grafikon 10. “Materijalni faktori (plata, stimulacije) najviše utiču na dobro obavljen posao.”



#### 4. ZAKLJUČAK

Istraživanja provedena u Institutu pokazala su da su zaposlenici Instituta motivisani samo jednim dijelom. Većina njih je zadovoljna radom u Institutu bez obzira na visinu plate, kao i neposrednim rukovodiocem koji ih uključuje u rješavanje problema. Sigurnost rada u Institutu im je osnova za učinkovit rad i imaju izraženo dobre međuljudske odnose, koji su im bitniji čak i od visine plate. Međutim u daljnoj analizi su se prepoznala područja mogućih problema na koja bi menadžment Instituta trebao obratiti pažnju i nastojati da ih otkloni, a neki od njih su: kreirati bolju organizaciju u Institutu, koja bi po mišljenju zaposlenih, povećala rezultate rada. Uvažavati svakog zaposlenika pojedinačno i na taj način davati im veći poticaj, pravovremeno dostavljati zaposlenima povratnu informaciju o njihovoj uspješnosti u radu, jer oni žele da znaju kako su uradili posao.

Ljudski potencijali, kao ključni resursi organizacije, uveliko utiču na nivo produktivnosti, uspješnosti, te njene konkurentnosti. Pažnja menadžmenta treba biti usmjerena na motivaciju zaposlenih, kako bi njihovo znanje i kreativnost u punoj mjeri upotrijebili pri izvršavanju zadataka.

#### LITERATURA

- [1] Noe, R.A., Hollenbeck, J.R., Gerhart, B., Wright, P.M., (2006)., Menadžment ljudskih potencijala, Mate, Zagreb, p. 56.
- [2] Kurtić, A., Kulović, Dž., (2011)., Poslovno vođenje, Jordan studio, Sarajevo, p. 243.
- [3] Bahtijarević-Šiber, F., Borovic, S., Buble, M., Dujanić, M., Kapustić, S., (1991)., Organizacijska Teorija, Informator, Zagreb, p. 258.
- [4] Brajša, P., (1995)., Sedam tajni uspješne škole, Školske novine, Zagreb, p. 82.
- [5] Đogić, R., (2008)., Organizovanje kao menadžerska funkcija, Zenica, p. 376-377.
- [6] [http://www.poslovniforum.hr/management/motivacijske\\_tehnike.asp](http://www.poslovniforum.hr/management/motivacijske_tehnike.asp), pristupljeno 28.09.2012.
- [7] *JU Univerzitet u Zenici Metalurški institut „Kemal Kapetanović” Zenica-Pravna služba na dan 31. 07. 2012.*
- [8] Strategija razvoja Zeničkodobojškog kantona za period 2010-2020, [www.zdk.ba/index.php?option=com\\_k2...](http://www.zdk.ba/index.php?option=com_k2...), pristupljeno 28.10.2012.





## CORPORATE RESPONSIBILITY IN CREATING COMPETITIVE ADVANTAGE OF A COMPANY

Ljubica Dudjak<sup>1</sup>, Tatjana Savic-Sikoparija<sup>2</sup>, Sinisa Mitic<sup>3</sup>

*Abstract: Creating competitive advantage is directly linked to the manner which the company does business in and also to the degree the company has incorporated its corporate responsibility principles into its business philosophy. The last few years have been marked by a significant increase in the number of companies that explicitly implement socially responsible policies while promoting responsible corporate practices. In a growing number of companies, corporate social responsibility and sustainability are already deeply integrated in all company activities and strategies.*

*Corporate social responsibility can bring numerous social, environmental and economic goals of the company. Given that corporate responsibility is basically taking care of the society, its importance is particularly evident during the economic crisis.*

*The subject of this paper is corporate responsibility, with particular emphasis on the aspects through which corporate responsibility can contribute to the competitiveness of companies. This paper examines the role and importance of corporate social responsibility in a period of global economic crisis and its impact on the competitiveness of the organisation.*

*Key words: company, competitiveness, corporate responsibility*

### 1. INTRODUCTION

Corporate social responsibility is frequently used concept in modern business practice, because companies take a considerable responsibility for actions and activities of wide social importance. In order to contribute to the solution of issues of the community in which they perform their business activities, companies conduct various corporate social initiatives (Veljkovic and Petrovic, 2011). Global community, facing a number of social, environmental and other issues, being at the same time the place where companies operate, requires from these companies to become actively involved in preservation and improvement of living and working conditions and in the solution of problems of the society in which they exist (Savic-Sikoparija et al., 2012).

There are two basic concepts in the theory of corporate social responsibility. One concept views a company as a pluralistic combination of different stakeholders – Stakeholder Theory. The other concept is known as Resource-Based View, which

<sup>1</sup> dr Ljubica Dudjak, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Serbia, ljuba@uns.ac.rs

<sup>2</sup> mr Tatjana Savic-Sikoparija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Serbia, tanja.sikoparija@gmail.com

<sup>3</sup> mr Sinisa Mitic, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Serbia, smitic@uns.ac.rs

looks at corporate social responsibility through the competitive advantage.

According to Stakeholder Theory, the corporation should be managed for the benefit of its stakeholders, and managing mechanisms should be shaped in such a manner as to provide safety and return of investments.

Resource-Based View theory was developed in different business disciplines – from strategic management through its studying in finances and corporate management. Basic benefits of the resource-based view theory are reflected in its possibility to explain why a strong orientation toward corporate social responsibility can be a source of competitive advantage and why some companies are more dedicated to corporate social responsibility than others (Ljubojevic and Ljubojevic, 2010).

The concept of corporate social responsibility represents one of the key ethical problems that surround the corporate decision making and acting (Branco, Rodrigues, 2006). Corporate social responsibility means the responsibility of a company toward the society, more precisely, the responsibilities toward stakeholders and those who have influence on corporate policies and practices. “Stakeholders” is the name for persons, groups or organisations that are directly or indirectly interested in the organisation, because they can influence or be under the influence of what and how the company performs and aspires (Dudjak, 2010).

Corporate responsibility means that a company has the responsibility to protect and improve the wealth of both the society and the company in the present, as well as in the future (Staples, 2004), by performing various social activities (Sen, Bhattacharya, 2001) and to generate equal and sustainable benefits for different stakeholders (Bogetic, Djordjevic, Randjic, 2011).

Corporate responsibility is an integration of care for social and environmental issues within the range of company operation, manner in which the company performs its everyday operations, deals with its employees, performs manufacturing of the products and marketing. Corporate responsible operation is a notion with very broad meaning, generally looked at through four major components: work position, market, environment and the community (Martino, 2009).

Providing good work conditions, encouraging equality and non-discrimination, respecting human rights, providing the possibility of career development and training for employees, the company becomes an attractive place for the most talented manpower to get employed. By acting with transparency towards its shareholders, respecting their rights, regular reporting, performing the risk management (appropriate corporate management), the company becomes an attractive place for investments. By producing quality, health and safe products and performing the promised after-sales services, the company becomes attractive for consumers, as well. Talented manpower, sufficient capital and secure market are key conditions for a company to acquire the competitive advantage. In this way, the responsible corporate acting towards stakeholders, who possess the resources which are the source of value, has a direct impact on the competitive advantage of the company (Predic, Stefanovic, Ivanovic-Djukic, 2009).

A large number of social and environmental issues are caused by irresponsible behaviour of individuals and irresponsible operation of companies, so that companies and institutions have a wide range of possibilities for their actions and directions of corporate initiatives towards increasing of the consciousness and supporting the solution of defined social issue. (Veljkovic, Petrovic, 2011). Company management has realised that irresponsible acting towards the company surroundings can come back as a boomerang. On the other hand, responsible acting towards stakeholders, the society and living environment, can provide the sustainable competitive advantage to the company (Predic, Stefanovic, Ivanovic-Djukic, 2009).

Connection between competitiveness and social responsibility at company level has been a long-lasting topic both for researchers and business people, who are united under the following slogan: “business takes care of corporate social responsibility” (Martino, 2009).

## **2. CORPORATE RESPONSIBILITY IN TIMES OF ECONOMIC CRISIS**

Every economic crisis has influenced on acting of companies in terms of their maintenance of competitive abilities. The majority of measures that have been taken reflect in decreasing of the costs in order to maintain productivity, or forming strategic partnerships, however, the issue of the price competitiveness, which may have been neglected for a certain period of time, has come in the focus again.

Regardless of the world economic crises, companies should continue investing in local communities and applying, as much as possible, the principles of corporate responsibility in their operation, because it is exactly in times of economic crises that corporate responsibility of companies has the largest importance for the community. For this reason, in times of economic crises, the corporate sector, supported by the government, should develop projects aiming at overcoming of adverse effects on the population (Djuric-Kuzmanovic, Vukovic, 2010).

The crises that has begun, represents a possibility for change, to renew the economy and the society as a whole on the principle of “temperance and farsightedness“ aiming at the realisation of an ambitious and ultimate task to build the society based on basic social well-being, not so much in terms of economic wealth, but also on knowing and accepting the culture, developing education, health service, interpersonal relations, etc., in a protected environment, along with identification of new indicators for measuring of real individual impact on social well-being of the community (La responsabilità sociale: un’opportunità per superare la crisi pensando al futuro, 2009).

Socially responsible operation involves the achievement of elements of competitive responsibility in the region and requires clear obligations and dedication of the company to the generation of social capital, growth of awareness, selection of persons, organisation of trade unions and the presence of companies supporting the sharing of corporate responsibility practice among other companies and in the community as a whole.

Building of new social relationship between business sector and society - through the system of relations with all stakeholders, requires political approval and sharing of values for the sake of affirmation of sustainable development that involves various aspects of social responsibility (La responsabilità sociale: un’opportunità per superare la crisi pensando al futuro, 2009).

## **3. CORPORATE RESPONSIBILITY AND COMPETITIVENESS**

For the increasing number of companies, corporate social responsibility and sustainability have evolved into themes, deeply integrated in all company activities and strategies (Martino, 2009). Modern business environment is getting closer to the phenomenon marked as techno-economic parity (Riderstrale, Nordstrom, 2005) – it starts from the assumption that there are a very small number of products, technologies, services, knowledge, fields of knowledge or procedures that are not available to all interest groups worldwide. Quality becomes the primary development target, expressed through the achievement of business excellence and the world class products and services. The achievement of business excellence goals by a company

requires a developed corporate social responsibility (Bogetic, Djordjevic, Randjic, 2011). Corporate social responsibility represents one of the three pillars of business excellence of a company; other two pillars are the customer satisfaction and operation productivity promotion (Djordjevic, Bogetic, 2008).

A company is competitive if it can produce top quality products or services at lower costs than its domestic or international competitors. Competitiveness can be measured on micro level with indicators of financial operations performances, such as sales development, profit and expenses, as well as shareholders performances. We could also say that competitiveness on micro level does not relate only to production of good quality goods and services at lower prices, but that it can also relate to an attempt to manufacture new and different products and services. Therefore, the ability of products innovation can also be the source of competitiveness at certain sector level (Martino, 2009).

Connection between socially responsible operation and innovations is constantly increasing, representing thus a good example of how companies invest in corporate responsibility, not only to reduce the costs, but also in order to involve the potentials necessary for generation of value and development of new sources of income. Corporate responsibility can lead to innovations as a social, environmental and sustainable initiator of the creation of new management systems, new products, services and processes as well as of new market entry for organizations (Grayson, Hodges, 2006).

Corporate responsibility can contribute to innovations and good performances of the company in three ways:

1. innovations by virtue of the endeavour of all stakeholders,
2. identification of all business opportunities based on challenges confronting the society and
3. creation of work positions suitable for innovations.

Corporate responsibility, as we know, requires a dialogue and cooperation with all stakeholders, both internal and external. Strong dedication of employees and external stakeholders generate an impact on innovation capacities and competitiveness of companies (Martino, 2009).

#### **4. CORPORATE RESPONSIBILITY IN THE FUNCTION OF CREATION OF COMPETITIVE ADVANTAGE OF COMPANIES**

Decisions made by companies must bring benefits, i.e. advantages for both sides. If companies follow the rules that bring benefits for their own sake only, and to the detriment of others, it will result in dangerous policies. Acquiring temporary benefits for certain companies may endanger their long-term prosperity. To be able to implement these principles, companies should integrate the social perspectives into their structures, in order to better understand the aspects of the essence of business strategy (Porter, Kramer, 2006).

Without a careful process of identification of the method of social effects development in the course of time, companies may jeopardise their existence. It is not only that business activities have impact on the society, it is also the external social conditions that may have impact on business, for better or worse (Martino, 2009).

An important aspect that is taken into consideration for the implementation of corporate responsibility is the existence of realistic possibility to create mutual value, which is undoubtedly the most important benefit for the society as a whole, and also the value for the company itself.

Within each category, the social aspect will differ from business unit to business unit, from sector to sector, from place to place. Locating social aspects is important and it is the only way to efficiently reach the final goal: creation of an explicit corporate responsibility plan (Martino, 2009).

The research of Jones and Bartlett points out that the altruistic programs of corporate social responsibility, such as “triple bottom line” (balancing environmental, social and economic responsibility), reporting or participating in social issues, are relatively easy to be copied by companies (Jones, Bartlett, 2009). On the other hand, already built long-term relationships are not easily copiable. Development of a good relationship requires continuous fulfilment of stakeholders' expectations, and even more, if possible. The second key element for building and maintaining the relationships is confidence or readiness of the participants to rely on his partner. The third condition is commitment to company values, which reflects in its readiness to make additional efforts in order to achieve the company goals (Ljubojevic and Ljubojevic, 2010).

Corporate responsibility takes care of community expectations using at the same time possibilities that exist on the market to achieve economic, social and environmental benefits (“triple bottom approach”) for companies (Perrini, 2006), i.e. tries to mitigate negative effects by strengthening the company strategy based on the improvement of social conditions. It creates a symbiotic relationship between the successful company and the results received from the community, which strengthens both sides. (Martino, 2009).

Strategic activities provided in the value chain can be applied so as to intensify the results of social dimension. Simultaneously, investment in competitive environment has the potential to decrease obstacles and negative external effects which may result from the activities of the companies' value chain. After the value chain practices and the investment practices in competitive environment have been completely integrated, corporate responsibility can be hardly differentiated from any other activity and strategy performed in everyday company management (Martino, 2009).

A company must compare its practices with the best ones, and it must also aim at achieving a unique position and performing innovative activities in relation to its competitors in order to decrease costs and achieve better satisfaction of new demands of its customers. Corporate responsible strategy involves both „inside-out” and “outside-in” strategies, which must be conducted simultaneously (Martino, 2009).

## **5. CONCLUSION**

Corporate social responsibility is a complex issue. There is no doubt that social expectations towards companies are growing and are currently higher than ever. Results of various researches suggest that those companies who are developing their reputation through activities and cooperation with socially responsible and ethical interest groups, show higher performances, in general (Slijepcevic, 2011). Corporate responsibility represents intangible assets of a company, having, as such, an impact on the company profitability together with its material assets. For this reason, the long-term need for corporate social responsibility has become a requirement for corporate social integration, incorporation of the company core business in all social dimensions and the impact of all social dimensions upon the company core business (Figar, 2010).

In the course of the last decade, some signals were noticed indicating an increase in contributions by corporations, a more intensive reporting about corporate initiatives related to the public responsibility domain, the establishing of making good

things as the corporate social norm and an obvious transition from contribution as obligation to the contribution as strategy (Kotler, Li, 2009).

Corporate responsibility has positive effects on the company competitiveness. For some companies, their tendency to implement corporate responsibility depends on their competitive position. There are companies with competitive strategies that require only being in accordance with the current laws regarding social and environmental regulations. However, a step further from the law-abiding, they see higher expenses that could jeopardise their competitiveness. It is generally the case with companies whose competitive position depends on the low-cost policy (Martino, 2009). For many companies, currently operating in different sectors, the corporate responsibility has become a competitive necessity, the non-conduction of which they cannot afford. Companies for which the corporate responsibility remains a peripheral concern are mostly limited to public relations activities, and they will probably lose the opportunity to obtain and improve their competitiveness (Martino, 2009).

Today, the corporate social responsibility issue in Serbia, considered both generally and individually, has to be approached as a new concept that was born conditioned and determined to some extent, by pre-transitional and transitional activities that were characterised by slow establishing and development of the private sector in general. In the current phase of development of the corporate social responsibility in Serbia, it is necessary to have understanding for all of its aspects, taking into account that its implementation is, as a rule, conditioned and determined by available financial assets and resources, as well as by the awareness of what is possible and necessary (Bosanac, 2011). The presence of a large number of social issues in Serbia requires much larger engagement of the government and companies. The government should support the establishing of an encouraging environment for all companies to operate in a socially acceptable manner, which means struggle against grey economy, unethical operation, violation of social and labour rights, corruption and disability discrimination, etc. Additionally, by organising the operation of state-owned companies and all public services in socially acceptable manner, a desirable model of operation could be created simulating private companies. A desirable model of corporate responsibility should be promoted through state-owned media, and the best socially responsible practices should be rewarded. Company management should give strategic importance to the corporate responsibility and act according to the corporate responsibility principles recommended by EU Commission (Ivanovic-Djukic, 2010).

Companies can neither take responsibility for all global issues nor have available resources for their solution. Each company can identify a certain group of social issues and try, provided it is competent, to solve them, which can result in a great competitive advantage for the company. In the course of time, corporate responsibility will become more and more important aspect for the competitive success (Martino, 2009).

## **REFERENCES**

- [1] Bosanac, D., (2011), *„Korporativna društvena odgovornost-deklarativno opredeljenje ili stvarno ponašanje - sa osvrtom na stanje u Srbiji“*, Ekonomika, Beograd
- [2] Bogetic, S., Djordjevic, D., Randjic, D., *„Analiza mogućnosti za unapređenje konkurentne sposobnosti domaćih preduzeća“*, Operacioni menadžment u funkciji održivog ekonomskog rasta i razvoja Srbije 2011-2020, VIII Skup privrednika i naučnika,

- [http://www.spin.fon.rs/doc/ret/SPIN%202011/Sekcije/01organizacija%20poslovnih%20sistema-pdf/101\\_AN-1.PDF](http://www.spin.fon.rs/doc/ret/SPIN%202011/Sekcije/01organizacija%20poslovnih%20sistema-pdf/101_AN-1.PDF)
- [3] Branco, M. C. and Rodrigues, L. L., (2006), „*Positioning stakeholder theory within the debate on corporate on corporate social responsibility*“, *Electronic Journal of Business Ethics and Organization Studies*, Vol. 12, No 1, 61–80
- [4] Dudjak, Lj. (2010), „*Razvoj korporativne i lične odgovornosti u industrijskim sistemima*“, doktorska disertacija, FTN, Novi Sad, Serbia.
- [5] Djordjevic D., Bogetic S., (2008), „*Uloga korporativne društvene odgovornosti u savremenom poslovanju*“, *Megatrend revija*, vol 5, br. 1/2008., Megatrend univerzitet, Beograd, str. 151-165.
- [6] Djuric-Kuzmanovic, T., Vukovic M., (2010), „*Društvena odgovornost kompanija u Srbiji u uslovima svetske krize*“, pregledni rad, *Škola biznisa*, Broj 3/2010, UDC 005.35/.4(497.11), <http://www.scribd.com/doc/44522682/DRU%C5%A0TVENA-ODGOVORNOST-KOMPANIJA-U-SRBIJI>
- [7] Figar, N., (2010), „*Društvena odgovornost preduzeća - od neprihvatanja do integrisanja u poslovnu strategiju*“, pregledni rad, *Ekonomski fakultet, Niš, Serbia*.
- [8] Grayson, D., Hodges, A., (2006), „*Corporate Social Opportunity! Seven steps to make Corporate Social Responsibility work for your business*“, Greenleaf Publishing, UK, 2004; A.D. LITTLE, *The Innovation highground-winning tomorrow's Customers using Sustainability Driven Innovation*, *Strategic Direction*.
- [9] Ivanovic-Djukić, M., (2010), „*Promovisanje društveno odgovornog poslovanja preduzeća u Srbiji*“, *Ekonomski fakultet, Univerzitet u Nišu, Pregledni naučni članak*, UDK: 316.334.2(497.11)
- [10] Jones, K., and Bartlett, J. L., (2009), „*The strategic value of corporate social responsibility: a relationship management framework for public realtionship practice*“, *PRism 6 (1)* <http://praxis.massey.ac.nz/prisonlinejournal.html>
- [11] Kotler, F., Li, N., (2009), „*Korporativna društvena odgovornost - učiniti najviše za svoju kompaniju i izabrani društveni cilj*“, *HESPERIA, Serbia*
- [12] Ljubojevic, C., Ljubojevic, G., „*Konkurentska prednost i socijalna odgovornost kompanija*“, *Škola biznisa*, Broj 1/2010, UDC 005.5:174
- [13] Porter, M. E., Kramer, M. R., (2006), „*Strategy & Society, The link between Competitive Advantage and Corporate Social Responsibility*“, *Harvard Business School*, December 2006.
- [14] Perrini, F., (2006), „*Corporate Social Responsibility: nuovi equilibri nella gestione d'impresa*“, *Economia e Management*, n.2.
- [15] Predic, B., Stefanovic, S., Ivanovic-Djukic M., (2009), „*Strategija društvene odgovornosti preduzeća*“, pregledni članak, *Teme*, vol. 33, br. 4, str. 1501-1516, Univerzitet u Nišu, Ekonomski fakultet, <http://scindeks.nb.rs/article.aspx?artid=0353-79190904501P>
- [16] „*La responsabilità sociale: un'opportunità per superare la crisi pensando al futuro*“, (2009), *Impronta Etica, Bologna*
- [17] Riderstrale, J., Nordstrom, K., (2005), „*Funky Business*“, *Plato, Beograd*
- [18] Savic-Sikoparija, T., Cabrilo, S., Hristic, D. (2012), „*Uloga korporativne odgovornosti preduzeća u periodu ekonomske krize*“, *Treći naučni skup Univerziteta Edukons sa međunarodnim učešćem: Drugi talas ekonomske krize – posledice na privredu regiona i moguća rešenja*, *Zbornik Univerziteta Edukons*, knjiga 3., *Sremska Kamenica*, 24 – 25. maj 2012., ISBN 978-86-87785-36-6, str. 391-403
- [19] Staples, C., (2004), „*What does corporate social responsibility mean for charitable fundraising in the UK?*“, *International Journal of Non-Profit and Voluntary Sector Marketing*, Vol. 9, No. 2, pp. 154–158

- [20] Sen, S. and Bhattacharya, C. B., (2001), „Does doing good always lead to doing better? Consumer reactions to corporate social responsibility“, *Journal of Marketing Research*, Vol. 38, No. 2, May, pp. 225–243
- [21] Slijepcevic, M., (2011), „Savremeni model integrisane korporativne komunikacije“, doktorska disertacija, FTN, Univerzitet u Novom Sadu
- [22] Martino, A., (2009), „Responsabilità Sociale d’Impresa e Stakeholder View“, *Tesi di Dottorato, Anno Accademico 2008 – 2009, Università degli studi di Milano – Bicocca*
- [23] Veljkovic, D., Petrovic D., (2011), „Korporativna društvena odgovornost i značaj njene promocije“, pregledni rad, *Marketing, Singipedia*, ISSN: 0354-3471, str. 29-4





## PRODUCT DEVELOPMENT AT THE FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING AT THE UNIVERSITY OF EAST SARAJEVO

Biljana Marković<sup>1</sup>, Dejan Jeremić<sup>2</sup>

*Abstract: Product development is the process of designing, creating and marketing new products or services to benefit customers. Development of new products involves either improving an existing product or its presentation, or developing a new product to target a particular market segment or segments. To create a new product in a company's product line a design team goes through product development process steps. Starting with a product idea, the team moves through several stages (concept, ideation, design, test and release) to generate all the details and documents needed to get the product built. To realize this goal it is necessary to have trained personnel in the field of product development.*

*Key words: product development, production engineering, product design*

### 1. INTRODUCTION

Product development is the process by which a company does one of two things:

- creates an entirely new product that either adds to an existing product line or occupies an entirely new niche or
- modifies or updates an existing product. Successful product development is essential for any business if it hopes to exist for any length of time.

"Everyone in industry knows that new products are essential for viability: If we do not continue to grow, we die. To grow, a company must continue to learn (research) and to make a difference in its industry (pioneer).... Business, whether itself waste management or interstellar communications, janitorial services or gene-splicing, lives through new growth—not through clones of the past" wrote George Gruenwald in *New Product Development: Responding to Market Demand* [10]. For that reason there is a large need for qualified experts with sufficient knowledge in the field of product

---

<sup>1</sup> Ph.D. Biljana Marković, Associate Professor, University of East Sarajevo, Faculty of Mechanical Engineering, biljanamarkovic@yahoo.com

<sup>2</sup> M. Sc. Dejan Jeremić, Master of science, University of East Sarajevo, Faculty of Mechanical Engineering, dejan.jeremic@yahoo.com

development. Consequently, the technical faculties have to adapt and modernized their study programs to modern requirements of the market [2,3,4].

## 2. STUDY PROGRAMS AT THE FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

The University of East Sarajevo (UES) is an independent and self-governing institution, consisting of the 15 faculties and the two academies, established in 1992. UES has become a promoter of the educational, economic, social and cultural development of the entire region, providing scientific and technical support, as well as establishing of intellectual and cultural links with the world. UES has significant experience in education in the field of Industrial Product Development. Education in that field is primarily provided by Faculty of Mechanical Engineering.

The study program Mechanical Engineering at the Faculty of Mechanical Engineering in East Sarajevo was formed and accredited in 2012. Classes are held on two levels, and they are:

- Bachelor Academic Studies,
- Master Academic Studies.

Classes are held on the following study programs (accredited 2012):

- Mechanical Engineering (bachelor and master studies),
- Mechanical technology of wood processing [5] (bachelor studies-accredited 2014),
- Sustainable Energy and Environmental Protection in the Western Balkans countries (master studies).

The Mechanical Engineering study program [6] has the following modules (Fig. 1):

- Production mechanical engineering,
- Thermonergetic and mechanical process engineering,
- Product design.

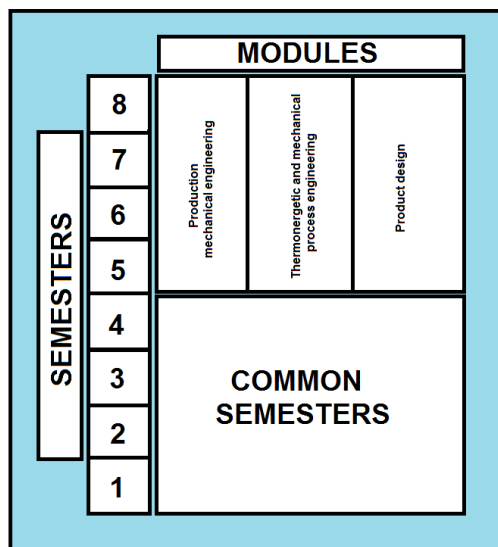


Figure 1. *The Mechanical Engineering study program*

The field of product development at the study programs is not defined as independent. It is represented on three modules through various subjects and content. This field is mostly developed on the module for Production engineering and Product design.

### **3. INDUSTRIAL PRODUCT DEVELOPMENT**

Faculty of Mechanical Engineering has established the new educational model in field of Industrial Product Development since 2006. The new education model is based on KaLeP (The Karlsruhe education model for integrated product development) developed at Institute for Product Development, IPEK, which is a part of Karlsruhe Institute of Technology (KIT). That model takes into account cultural and social characteristics of Western Balkans Countries region and previous experience in product development education. Implementation of new education model was preformed through several subjects related to product development education already existing in the curriculum of Mechanical Engineering Faculty, University of East Sarajevo since year 2006. Table 1 gives an overview of directly and indirectly related subjects to the core module "Production mechanical engineering" at the bachelor (BA), master (MSc) studies in which the implementation of the new educational model was performed.

In order to prepare future engineers to their industrial positions a special focus is given to subjects that offer a broad basic understanding of development-related aspects. The basic subjects in the bachelor degree program "Production mechanical engineering" represent a good base for a structured and methodical development of products. The electoral subjects depend of personal interests and preferences of students. Theoretical education is contributed with practical experience and this knowledge is implemented during seminars and praxis with real examples from industry.

Table 1. *Selected subjects related to Industrial Product Development from curriculum of University of East Sarajevo – Faculty of Mechanical Engineering*

<b>SUBJECTS</b>				
<b>BACHELOR STUDIES</b>				
<b>Title of subjects</b>	<b>Semester</b>	<b>Number of hours/ semester</b>		<b>Credits</b>
		<b>L</b>	<b>W/E</b>	
<b>Engineering graphics</b>	<b>1</b>	<b>30</b>	<b>45</b>	<b>6</b>
<b>Strength of Materials 1</b>	<b>2</b>	<b>45</b>	<b>30</b>	<b>6</b>
<b>Mechanical Materials 1</b>	<b>1</b>	<b>45</b>	<b>30</b>	<b>6</b>
<b>Mechanical Materials 2</b>	<b>2</b>	<b>30</b>	<b>15</b>	<b>4</b>
<b>Mechanical Elements 1</b>	<b>3</b>	<b>45</b>	<b>30</b>	<b>6</b>
<b>Mechanical Elements 2</b>	<b>4</b>	<b>45</b>	<b>30</b>	<b>6</b>
<b>Strength of Materials 2</b>	<b>3</b>	<b>45</b>	<b>30</b>	<b>6</b>
<b>Basic of Management</b>	<b>4</b>	<b>30</b>	<b>15</b>	<b>4</b>

<b>Production technologies</b>	<b>4</b>	<b>45</b>	<b>30</b>	<b>6</b>
<b>Numerical Methods in Engineering</b>	<b>4</b>	<b>45</b>	<b>30</b>	<b>6</b>
<b>CAD – Computer Aided Design</b>	<b>6</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>5</b>
<b>Engineering Design</b>	<b>6</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>5</b>
<b>Finite Elements Method</b>	<b>6</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>5</b>
<b>Computer Simulation</b>	<b>6</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>5</b>
<b>Development of Machine Systems</b>	<b>7</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>5</b>
<b>Project Management</b>	<b>7</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>5</b>
<b>Integrated Management Systems</b>	<b>7</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>5</b>
<b>Integrated Product Development</b>	<b>8</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>5</b>
<b>Virtual Product Projecting</b>	<b>8</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>5</b>
<b>MASTER STUDIES</b>				
<b>Methodology of Science and research Work</b>	<b>1</b>	<b>45</b>	<b>45</b>	<b>6</b>
<b>Project Management</b>	<b>2</b>	<b>45</b>	<b>30</b>	<b>6</b>
<b>Virtual Product Development</b>	<b>2</b>	<b>45</b>	<b>30</b>	<b>6</b>
<b>Usage of Finite Elements Method</b>	<b>2</b>	<b>45</b>	<b>30</b>	<b>6</b>
<b>Structural analysis of Construction</b>	<b>2</b>	<b>45</b>	<b>30</b>	<b>6</b>

The courses integrate theoretical and methodological knowledge aimed to make a decisive contribution to the promotion of theoretical and methodological competence.

Courses programs are designed to promote the development of creativity and the potential to elaborate by combining the lecture with independent development work of the students. The main lectures related to education in field of Industrial Product Development according to KaLeP are located in the 8.semester of Bachelor studies. Those courses are organized as one large integral divided into three different components:

- Lectures,
- Workshops,
- Student work on development project.

These components cover different educational goals. The lecture, always the major component of the education concept, provides the theoretical fundamentals for both the other educational components. Purpose of other components is to enable students to in practice implement their knowledge because in that way best education results are achieved.

### **3.1 Lectures**

In Lectures students are introduced to product development of industrial enterprises with particular reference to the requirements of small and medium sized companies. Based on practical experiences and examples from industry, the theory of planning, design, cost control and management of the development and innovation process knowledge is introduced and discussed. Problem solving processes, system analysis, team leading, product life-cycle and development strategies are presented and discussed, as well. Students are taught how to define profile of the product and product concept from ideas and how to efficiently evaluate different concepts and variant solutions. During lectures teacher actively communicate with the students by discussing of all the topics presented during lectures. The lecture is designed for a limited number of students (maximally 30) to ensure interactive contact of professor and students.

### **3.2 Workshops**

In the workshops knowledge is actively built up and developed with the first real application experiences. This is achieved through:

- a direct and practical translation of the learnt methods directed to the industrial product development process,
- simulation of team work during solving of practical problems on the workshop.

A total of 13 Workshops cover and expand knowledge in the following topics:

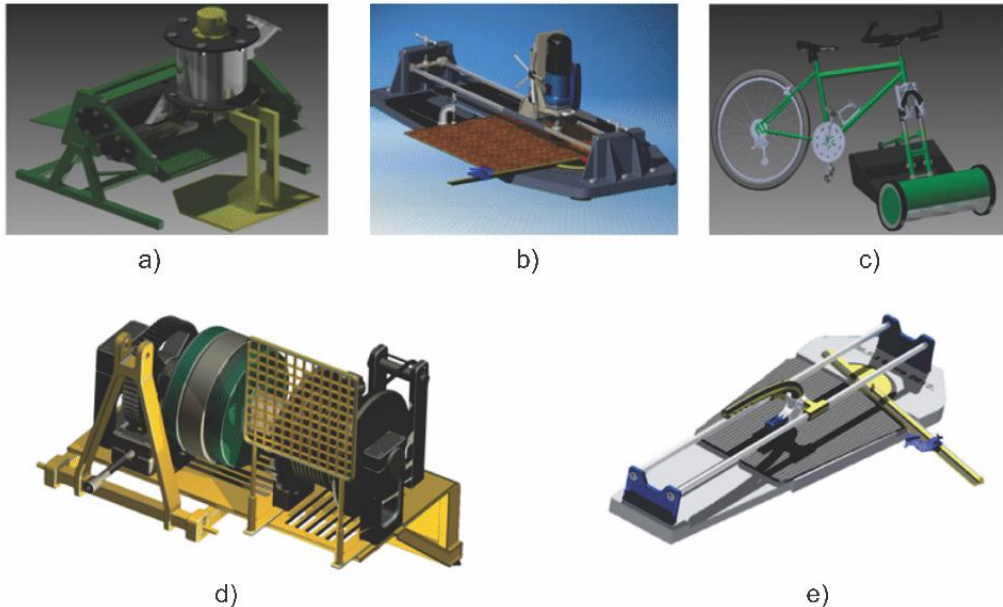
- Team processes,
- Product life-cycle,
- Project management,
- Definition of product profile, check list, design process,
- Presentation technique,
- Evaluation of concepts and variant problem solution,
- CAD,
- Simulation,
- Organization processes in enterprises, procurement process and
- Validation of mechanical systems.

### **3.3 Student development project**

The aim of student project is the development of realistic industrial product from product profile up to the virtual prototype (3D-Cad Model) or from the idea up to the validation of manufactured prototype (Fig. 2) by independent student team.

Provider of the development task is possible an industrial company which defines either the development area (if projects start from product profile) or an idea (if project starts from the idea). But, present situation is – development task is student's idea or their wish – product which they want to develop.

The number of participants in the project work, and by that in the course, is limited to 30. The project work is so extensive, that it can only be solved by division of labor within the team. On project start, based on set of predefined tests, course professor and his assistants select candidates for the course. Teams are formed by course professor based on the results which determine personal profile of the students from the aspect of team work.



a) fruit extractor machine, b) electric powered tile cutter, c) bike mower, d) log puller machine, e) manual tile cutter

Figure 2. *Examples of Student projects: from product profile to virtual prototype or from idea to validation of actually manufactured prototype*

Student teams are located into separated virtual offices in which they dispose with all hardware and software tools necessary for project work. Students have to think about the whole project when they generate a solution for a small part, they have to think about system correlations and interfaces and the problems that they have to solve are mostly evolved from the project itself and not given in the task itself. So they get a very high self-reliance of their learning process and the motivation for understanding and learning is quite high. This requires a bigger autonomy of the students than a “classical” way of education as it is practiced in most fields of academic studies, but it gives the students the best chance to understand the things they are learning.

The basic task of management is to control and evaluate student's project work. The project is divided into three phases. At the end of each phase a milestone is predicted in which students present their project work to virtual management which decides on future course of the project based on these presentations. On the project end student teams present the whole development project to virtual management or to representatives of regional industrial companies, if possible. In certain cases the management awards prizes for the best solutions. Each team makes an evaluation of their group performance and their individual team members in a feed-back briefing. The results are handed to the management for an assessment.

#### **4. MODERNIZATION OF THE MODULE PRODUCTION MECHANICAL ENGINEERING**

Regarding the new tendencies the Faculty of Mechanical Engineering of East Sarajevo is a partner on the TEMPUS project named IMPROVEMENT OF PRODUCT DEVELOPMENT STUDIES IN SERBIA AND BOSNIA AND HERZEGOVINA (530577-TEMPUS-1-2012-1-RS-TEMPUS-JPCR). Reviewing available capacities, it has been concluded that there are no realistic ways to create a new and independent study program in the field of product development, however as a solution the modernization of structure and content of curriculum at basic and master Mechanical Engineering studies has been approved. The base for achieving this goal was the results of the questionnaire "Product development and innovation management" realized in production companies in the region. Table 2 shows the courses with changed content in the field of product development on the Mechanical Engineering basic studies.

*Table 2. Courses with changed content*

No.	Course Name	Course status	Semester	ESPB
1	Engineering graphics	Obligatory	1	6
2	Mechanical elements 1	Obligatory	3	6
3	Mechanical elements 2	Obligatory	3	6
4	Integrated product development	Electoral	3	4

Table 3 shows the newly implemented course on the Mechanical Engineering master studies.

*Table 3. New course, in accordance with IPROD requirements*

No.	Course Name	Course status	Level	Semester	ESPB
1	Product development and technical legislative	Electoral	Master	2	10

On the modernized module for Mechanical Engineering during school year 2013-14, 4 students and during school year 2014-2015, 3 students have enrolled on master's studies. Assessment of students work, in accordance with new curriculum, shows much better results in understanding methods of product development, based on EU technical standards and specifications.

#### **5. CONCLUSION**

The aims of the European projects, supported by the TEMPUS funds, enable the increase of the level of knowledge of the students on bachelor and master studies in the Western Balkan countries, which is presented in the practical examples in this paper. Knowledge transfer, modernization of the existing subjects at Mechanical Engineering basic studies, implementation of new subjects at Mechanical Engineering master studies at the Faculty of Mechanical Engineering, the University of East Sarajevo, will enable students to acquire and implement the knowledge and positive experiences from the developed countries within European Union, and to demonstrate their understanding, creativity and inventiveness in the specific tasks. The result of this education module is employment of students immediately after graduation because they are trained to demonstrate their skills and competences, in comparison to the competition, particularly in foreign companies. In that way, the companies become competitive, faster and more inventive market outbreak in the world market, which is

the top priority aim. A special task, which is expected to be realized in the future, is to increase the interest of the local companies in education of the engineers with longer working experience in the field of product development by presenting the example of “good practice”.

## REFERENCES

- [1] Gruenwald, G., *New Product Development: Responding to Market Demand*. NTC Publishing, 1995.
- [2] Sorli, M., Stokić, D., *Innovating in product/process development*, Springer, 2011.
- [3] Eigner. M., Stelzer. R., *Product lifecycle management*, Springer, 2009.
- [4] Manić, M., Miltenović, V., Stojković, M., Banić, M., *Feature Models in Virtual Product Development*, *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering*, vol. 56, no. 3, p. 1-10, 2010.
- [5] Marković B., Jeremić D., *Tehnicki report for TEMPUS project IMPROVEMENT OF PRODUCT DEVELOPMENT STUDIES IN SERBIA AND BOSNIA AND HERZEGOVINA (530577-TEMPUS-1-2012-1-RS-TEMPUS-JPCR)*, 2014.
- [6] Miltenović V., Marković B., Banić M., Miltenović A., “*FUTURE TECHNOLOGY AND EDUCATION OF ENGINEERS*”, *Proceedings of COMET-a 2012, 1<sup>st</sup> International Scientific Conference, “Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications”*, 53-62., Jahorina 28<sup>th</sup> – 30<sup>th</sup> November 2012.
- [7] [www.maf.unssa.rs.ba/index.php/obrazovanje/i-ciklus-studija/mehanicka-tehnologija-obrade-drвета](http://www.maf.unssa.rs.ba/index.php/obrazovanje/i-ciklus-studija/mehanicka-tehnologija-obrade-drвета)
- [8] [www.maf.unssa.rs.ba/index.php/obrazovanje/i-ciklus-studija/masinstvo/npp-novi](http://www.maf.unssa.rs.ba/index.php/obrazovanje/i-ciklus-studija/masinstvo/npp-novi)





## M2M KOMUNIKACIJA U SLUŽBI PREDIKTIVNOG ODRŽAVANJA

Olivera Janković<sup>1</sup>

*Rezime: Mogućnost komunikacije između uređaja M2M (Machine to Machine) otvara neslućeno mnogo mogućnosti praktične primjene u raznim životnim i poslovnim područjima. Dostupnost korisnih podataka u realnom vremenu predstavlja izvor novih informacija i omogućava i olakšava donošenje kvalitetnijih poslovnih odluka u mnogim sferama poslovanja. U ovom radu biće prikazana aplikacija M2M rješenja u kontekstu prediktivnog održavanja.*

*Gljučne riječi: M2M komunikacija, prediktivno održavanje.*

### **M2M COMMUNICATION IN THE SERVICE OF PREDICTIVE MAINTENANCE**

*Abstract: Communication between devices M2M (Machine to Machine) offers undreamed many possibilities of practical application in various areas of life. The availability of useful data in real time is a source of new information and it enables and facilitates quality of the business decisions making in many areas of business. In this paper will be presented the application of M2M solutions in the context of predictive maintenance.*

*Key words: M2M communication, predictive maintenance.*

### **1. UVOD**

Većina poslova, bez obzira na baznu djelatnost, danas se oslanja na neku vrstu mreže za razmjenu podataka, između zaposlenih sa jedne i kupaca sa druge strane, na primjer. Paralelno sa tim svijetom, u pozadini kao podrška, egzistira svijet raznih uređaja i mašina, opremljenih senzorima, mikroprocesorima i kontrolerima na primjer, koji sadrže mnogo informacija vezanih za njihov status, performanse, korištenje, ... Mogućnost da se izvuku sirovi podaci iz ovih mašina, uređaja, aparata, ... i da se u krajnjem pretvore u korisne informacije omogućava donošenje odluka novog kvaliteta. Zahvaljujući komunikacionim mogućnostima današnjice (Internet, Wi-Fi, mobilni telefoni,...) željene informacije je moguće prenijeti bilo kada i bilo gdje. Svi ovi faktori zaslužni su za moćnu M2M paradigmu, prostor i vrijeme u kome je omogućena komunikacija između mašina/uređaja, koja opet omogućava jedan novi svijet, sa neslućeno mnogo kombinacija i mogućnosti primjene.

Ono što je sasvim izvjesno, što će biti prikazano i u ovom radu, je to da M2M

---

<sup>1</sup> Mr Olivera Janković dipl.ing.el, Bijeljina, ORAO a.d., janolja@yahoo.com

koncept otvara novu značajnu fazu i u području održavanja. Praćenje stanja opreme i dijagnostika, sposobnost da se zna status opreme bez obzira gdje se nalazite uključujući razna upozorenja (korištenjem mobilnih telefona ili Internet čitača na primjer), mogućnost analize i praćenja »istorije« mašine kako bi se uočili trendovi, samo su neki elementi koji mogu uticati na performanse i preciznije predvidjeti zahtjeve održavanja.

## 2. PREDIKTIVNO ODRŽAVANJE

Tradicionalne, uobičajene i najpoznatije vrste održavanja svakako su korektivno i preventivno održavanje [1]. Korektivno održavanje je reaktivna metoda upravljanja koja djeluje tek kada se kvar opreme desi (doslovno interpretirano moglo bi se reći da je ovo pristup u kome u suštini nema održavanja). Preventivno održavanje je popularna - široko zastupljena, periodična, u osnovi vremenski vođena (*time-driven*), strategija održavanja. Preventivno održavanje koje je bazirano na stvarnom stanju mašine a ne na nekom unaprijed definisanom rasporedu, vođeno uslovima (*condition-driven* tj. *Condition-Based-Maintenance (CBM)*) naziva se prediktivno održavanje (Slika 1.) i predstavlja alternativu u nastajanju pomenutim održavanjima [2] [3].



Slika 1. Ilustracija poređenja preventivnog i prediktivnog održavanja

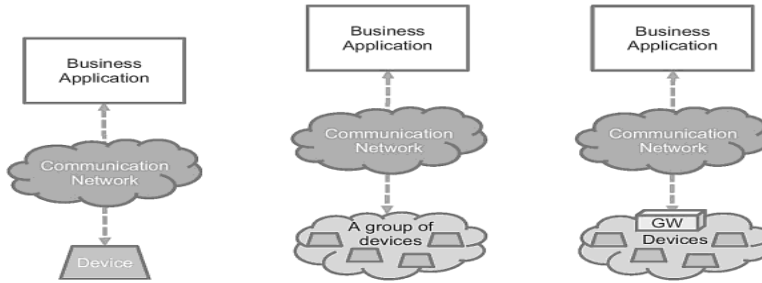
Troškovi zastoja opreme (mašina, uređaja, ...) u većini grana industrije su značajni. Za industrije sa velikom i specijalizovanom opremom, kao što su transport, avijacija ili proizvodnja mogu da predstavljaju veliki dio budžeta. Dragocjenu i vrijednu opremu i vozila potrebno je čuvati u dobrom stanju kako ne bi došlo do zastoja koji pak potencijalno može značiti velike i nenadoknadle gubitke za neku kompaniju. Neka od istraživanja o efektivnosti upravljanja održavanjem govore da se jedna trećina troškova održavanja odnosi na nepotrebno i nepropisno obavljeno održavanje. Jedan od aktuelnih načina poboljšanja efikasnosti i eliminisanja zastoja, omogućen novim senzorskim i bežičnim tehnologijama, daje i industrija M2M rješenja.

## 3. M2M KOMUNIKACIJA

Tehnologija koja u svojoj osnovi ima komunikaciju između mašina potencijalno predstavlja revolucionaran pristup gotovo svih sfera poslovanja. Velike količine korisnih podataka, brzo prenosive i dostupne u realnom vremenu mogu tako doprinijeti boljem razumjevanju potreba kupaca, pojednostaviti lance snabdjevanja, i u osnovi olakšati i ubrzati donošenje kvalitetnih odluka u mnogim područjima.

Najosnovniji način kako da se opiše M2M je ilustrovan Slikom 2.a. gdje je uloga M2M da obezbjedi uslove koji omogućavaju uređaju (bidirekcionu) komunikaciju sa nekom poslovnom aplikacijom, putem komunikacione mreže [4]. U mnogim slučajevima M2M komunikacija uključuje grupu sličnih uređaja (Slika 2.b.) ili postoje slučajevi (Slika 2.c.) kada uređaji (zbog ograničenih mogućnosti na primjer) za

interakciju sa aplikacijom koriste druge uređaje (tzv. gateway uređaj).

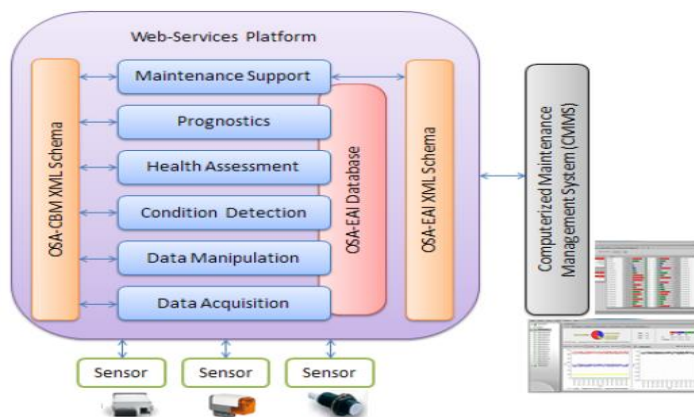


Slika 2. a) bazni M2M b) grupa uređaja i M2M c) M2M sa posredovanjem

#### 4. M2M KONCEPT U KONTEKSTU PREDIKTIVNOG ODRŽAVANJA

Suočeni sa ubrzanim razvojem i primjerima efikasne primjene M2M rješenja u praksi, proizvođači i pružaoci raznih servisnih usluga počinju da se okreću ka tendencijama prediktivnog održavanja koje su bazirane na preciznim podacima sa mašina/uređaja, raspoloživih u realnom vremenu, kako bi se utvrdilo stvarno činjenično stanje i na osnovu toga odredilo održavanje. Ovaj postupak pored ostalog potencijalno nudi uštede troškova u odnosu na rutinsko ili vremenski bazirano preventivno održavanje jer se određene aktivnosti obavljaju u skladu sa potrebama odnosno stanjem mašine/uređaja.

Većina mašina je već i sada instrumentalizovana sa raznim vrstama senzora: temperaturnim, infracrvenim, akustičnim, sensorima vibracije i nivoa baterije, ...; sa ciljem da se monitorišu određeni uslovi i stanja koji opet, potencijalno mogu biti rani indikatori potrebe za održavanjem. Ovi senzori su ulaz u sofisticirana pravila za utvrđivanja potrebe servisiranja. Mnoge kompanije povezuju svoju opremu da analiziraju podatke sa mašine i omoguće prediktivno održavanje. Koooperativna poslovna pravila se integrišu sa određenim alarmima softverskih sistema da bi se automatizovalo područje servisa, raspoređivanje rezervnih dijelova i drugi poslovi preventivnog održavanja.



Slika 3. Upravljanje prediktivnim održavanjem - arhitektura sistema

Prema [5] tipična solucija upravljanja prediktivnim održavanjem treba da ima administrativnu konzolu koja omogućava operateru da definiše i ažurira različite parametre (kritična ograničenja, razne notifikacije, korektivne akcije,...) i u naprednijim verzijama opciju daljinskog praćenja (*remote monitoring*) putem Interneta na primjer. Pri tome arhitektura sistema (Slika 3.) (uz primjenu standarda, npr. otvoreni standardi za razmjenu informacija i podataka u vezi sa održavanjem promovisani od strane neprofitnog udruženje MIMOSA) treba da omogući integraciju softverskih i hardverskih komponenti različitih proizvođača u cilju maksimalne iskoristivosti imovine i opreme

Poznavajući koja oprema traži održavanje samo održavanje i rad mogu biti bolje planirani. Ključ uspjeha je imati pravu informaciju u pravo vrijeme i tako koliko je to moguće izbjeći neočekivane kvarove na opremi. Koristeći preventivno održavanje bazirano na stanju mašine i konceptu povezanih mašina/uređaja [6] može pored ostalog da:

- Stvori uslove za veći up-time raspoložive opreme,
- Doprinese optimizaciji zamjene i upravljanja rezervnih dijelova,
- Smanji »neplanirano zaustavljanje« i doprinese kraćem i rjeđem »planiranom zaustavljanju«
- Poboljša performanse mašine
- Olakša servise izvještavanja o usaglašenosti - za potrebe regulatornih izvještavanja ili sistema menadžmenta kvalitetom na primjer moguća su automatska periodična izvještavanja i odgovarajući zapisi kvaliteta.

## 5. ZAKLJUČCI

U ovom radu je konceptualno prikazano mjesto i potencijali M2M rješenja u oblasti prediktivnog održavanje od kojeg se očekuje da doprinese smanjenju troškova, čuvanju mašina u odličnom radnom stanju, zadovoljavajući pri tome stroge sigurnosne i operativne zahtjeve.

M2M tehnologija, zajedno sa tehnologijama u nastajanju, svakako će (neki smatraju i do neprepoznatljivosti) promijeniti mnoge naše poglede i do sada uobičajene načine života i rada. U kontekstu omogućavanja M2M komunikacije su i zahtjevi na razvoj novih proizvoda (mašina, uređaja, razne druge opreme, ...) - novih familija uređaja specifičnih karakteristika, stoga je jasno da je iskoristivost potencijala M2M rješenja u oblasti prediktivnog održavanja izvjesna i moglo bi se reći i neminovna.

## LITERATURA

- [1] Gross, J.M. (2002). *Fundamentals of Preventive Maintenance*, AMACOM, New York.
- [2] Mobley, R. K. (2002). *An Introduction to Predictive Maintenance*, Elsevier Science USA.
- [3] Levitt, J. (2003). *Complete Guide to Predictive and Preventive Maintenance*, Industrial Press, New York.
- [4] Boswarthick, D., Elloumi, O., Hersent. O. (2012). *M2M Communications: A Systems Approach*, John Wiley&Sons, United Kingdom.
- [5] Palem, G. (2013). *Condition-Based Maintenance using Sensor Arrays and Telematics*, International Journal of Mobile Network Communications & Telematics, 3(3):19–28.
- [6] Huff, M., M2M Device Networking: Enabling New Possibilities for Preventive Maintenance, [http://bin95.com/Preventive\\_Maintenance\\_Technology.htm](http://bin95.com/Preventive_Maintenance_Technology.htm) pristupljeno 11.7.2014



## CMMS: SMJERNICE SELEKCIJE I PRIKAZ APLIKACIJE

Olivera Janković<sup>1</sup>

*Rezime: Računarski sistemi za podršku procesima održavanja CMMS mogu u značajnoj mjeri da doprinesu efikasnosti menadžmenta održavanjem. U ovom radu biće date neke smjernice u kontekstu odabira adekvatnog od na tržištu dostupnog CMMS softvera. Pored toga, u kontekstu boljeg razumjevanja okvirnih potencijala CMMS softverskih paketa, kao praktičan prikaz aplikacije, kroz testne primjere biće prikazane bazne mogućnosti FastMaint CMMS softvera.*

*Ključne riječi: CMMS, FastMaint, računarski sistemi.*

### CMMS: SELECTION AND REVIEW OF APPLICATIONS

*Abstract: Computers systems to support the process of maintenance CMMS can significantly contribute to the efficiency of maintenance management. This paper will give some guidance in the context of the selection of the appropriate commercially available CMMS software. In addition, in the context of better understanding the potential of the framework CMMS software packages, as a practical presentation applications, through the test examples will be presented core capabilities FastMaint CMMS software.*

*Key words: CMMS, Computers systems, FastMaint.*

## 1. UVOD

Posmatrano generalno, troškovi održavanja su zavisni i variraju od konkretne grane privrede što izraženo u procentima, u odnosu na ukupne troškove, iznosi od 15% za prehrambenu industriju pa do 60% ukupnih proizvodnih troškova u oblasti teške industrije. U skladu sa tim, za uspješnu realizaciju planiranog poslovanja jasan je imperativ uspješnosti procesa održavanja [1] [2], koji se u tom kontekstu treba mjeriti vremenom raspoloživosti opreme a ne brojem riješenih kvarova.

Živimo u svijetu kada su računari i računarski sistemi raznih vrsta i namjena dio naše svakodnevice, kada su stvar potrebe a ne prestiža, i predstavljaju svojevrsnu i nezaobilaznu podršku u mnogim sferama poslovanja. Tako su bilježenje aktivnosti preventivnog održavanja, popis zaliha i sitnog inventara, praćenje radnih naloga samo neke od stvari koje su nužne da se »preživi« u današnjem poslovnom okruženju a pokušaj da se iste realizuju, zabilježe i prate, bez adekvatne podrške računarskih

---

<sup>1</sup> Mr Olivera Janković dipl.ing.el, Bijeljina, ORAO a.d., janolja@yahoo.com

sistema i programa je veoma teško, moglo bi se reći i neizvodljivo.

Prilikom izbora računarskih sistema za podršku održavanju CMMS (*Computerized Maintenance Management System*) potrebno je izabrati pouzdan program, pouzdanog dobavljača, koji pri tome u najvećoj mogućoj mjeri odgovara potrebama korisnika. U radu će biti prikazan jedan praktičan način, korištenjem web servisa, izbora CMMS rješenja (dobavljača) koji je baziran na korisničkim procjenama vlastitih potreba, a za potrebe ilustracije okvirnih i tipičnih mogućnosti CMMS softvera biće prikazani i određeni slučajevi korištenja, nastali testiranjem FastMaint CMMS softverskog paketa.

## 2. NEKE SMJERNICE ZA IZBOR CMMS

Moderni CMMS softverski paketi, u skladu sa mogućnostima današnjih alata za razvoj softvera, nude širok spektar moćnih funkcionalnosti koje se često nikada neće koristiti. Dakle moćne, specificirane funkcionalnosti same po sebi nisu siguran indikator kvaliteta niti dovoljan razlog za odabir softvera. Problem odabira potrebno je pored ostalog posmatrati iz ugla stepena njegove iskoristivosti u nekoj organizaciji.

U mnogim situacijama mjerilo uspješnosti predstavlja uspješnost implementacije koja opet zavisi od same organizacije i mogućnosti konfigurisanja CMMS paketa u svjetlu optimizacije procesa održavanja što najčešće traži i povlači za sobom neophodne promjene u samoj organizaciji. Ono što u principu pored ostalog treba da prethodi izboru CMMS softvera je određena analiza stanja održavanja koja treba da omogući da se kvalitetnije definišu vlastite potrebe i ciljevi koji žele da se postignu korištenjem računarskih sistema za upravljanje održavanjem CMMS, a koja je korisna i sa aspekta kasnije faze implementacije CMMS sistema.

Relativno veliki broj CMMS rješenja dostupnih na tržištu povlači za sobom i veliki broj dobavljača CMMS softverskih paketa. Pitanje se dakle svodi na izbor pouzdanog dobavljača, odnosno adekvatnog softverskog rješenja (mogućnosti, kvalitet, cijena, podrška, ...). Jednostavan i koristan način pri izboru i procjeni je uvid u dostupna poređenja i rejtinge dobavljača i softverskih paketa na Internetu [3].

Jedna od mogućnosti koja se može koristiti pri odabiru CMMS sistema jeste i mogućnost korištenja dostupnih, u tu svrhu namjenjenih, specijalizovanih web servisa. Jedan od takvih je *PlanetServices* [4] koji raspolaže rastućom bazom CMMS softverskih paketa. Sama aplikacija je dizajnirana da obezbjedi upoređivanje proizvoda zadovoljavajući pri tome širok spektar važnih aspekata u industriji. Sam akcenat pretraživanja je na korisniku koji odlučuje koliko u dubinu želi da ide u kontroli poređenja proizvoda; od jednostavnog pretraživanja anketnih podataka dobavljača do kreiranja vlastitih, prilagođenih mjerila i rezultata - za svaki proizvod na osnovu najvažnijih aspekata samog korisnika (opcije: *simple, customized, advanced*). Pri tome je za potrebe poređenja navedeno 29 softverskih aspekata (implementacija, integracija, korisnički interfejs, unos podataka, analize i izvještavanja, ...) za koje je potrebno specificirati procentualni iznos (od ukupno 100%) u skladu sa korisničkim viđenjem važnosti datog aspekta. Svaki od aspekata ima pridružen određen broj kriterijuma koji se pak rangiraju izborom jedne od ponuđenih pet »važnosti« datog kriterijuma (Veoma važan - *Very Important*, Važan - *Important*, Pomalo važan - *Somewhat Important*, Neznatno važan - *Slightly Important*, Nije važan - *Not Important*).

Krajnji rezultat je rang lista CMMS rješenja sa pridruženim brojem bodova, izračunatim u skladu sa prethodno opisanim procentualnim načinom vrednovanja određenih aspekata softvera i željenim rangiranjem pridruženim mu kriterijuma. Na Slici 1. je prikazana lista CMMS rješenja (vodeći na listi IBM (inače spada u kategoriju tzv. vodećih – *Leaders* dobavljača) je ocjenjen sa 89 bodova za proizvod »*IBM Maximo*

Asset Management«) pri čemu je zbog jednostavnosti ilustracije sa 100 % vrednovan samo jedan aspekt - aspekt sigurnosti (dakle ostali aspekti nisu uopšte razmatrani) a svi kriterijumi tog aspekta označeni kao veoma važni (*Very Important*). Selektovane dobavljače je dalje moguće paralelno upoređivati po svakom aspektu odnosno dalje po svakom kriterijumu.

Category	Vendor: IBM	Score: 89
User Interface	<b>Product:</b> IBM Maximo Asset Management <b>Review Date:</b> 10/25/2012 <b>Annual Sales:</b> More than \$260 million <b>Customers:</b> More than 10,000 <b>Pricing:</b> \$4890.00 for IBM Asset Management; minimum pricing = 5 registered users for approx. \$23,500; enterprise pricing = 50 registered users for \$150,000-175,000; add-on modules extra <b>Annual Maintenance:</b> 20% <b>Website:</b> <a href="http://www.ibm.com/tivoli/maximo">http://www.ibm.com/tivoli/maximo</a>	
Look-ups and Searches	<b>Vendor: IFS</b>	<b>Score: 77</b>
Data Entry	<b>Product:</b> IFS Maintenance Module <b>Review Date:</b> 11/01/2012 <b>Annual Sales:</b> \$150 - \$200 million <b>Customers:</b> More than 2,000 <b>Pricing:</b> Starts at \$2,500 per named user <b>Annual Maintenance:</b> 18%	<a href="#">GO TO KNOWLEDGE CENTER</a>
Help Features	<b>Vendor: Infor Global Solutions, Inc.</b>	<b>Score: 64</b>
Workflow and Business Logic	<b>Product:</b> Infor10 EAM Enterprise Edition <b>Review Date:</b> 08/28/2012 <b>Annual Sales:</b> More than \$120 million <b>Customers:</b> More than 15,000 <b>Pricing:</b> Starts at \$11,320 per concurrent user, Starts at \$3,840 per named user, SaaS starts at \$958 per named user per year/\$1,764 per concurrent user per yr. Hosted/ASP starts at \$504 per	<a href="#">GO TO KNOWLEDGE CENTER</a>
Analysis and Reporting		
Work Order Control		
Preventive and Condition-Based Maintenance		
Safety		
Priorities		
Planning and Scheduling		
Inventory Control and Purchasing		
Budgeting and Cost Reporting		
Equipment History		
Mobile Technology		
HR Management		
Fleet Maintenance		
Infrastructure Maintenance		
Service and Technology Asset Management		
Calibration		
Engineering Design to Maintenance		

Slika 1. Primjer rang liste dobavljača CMMS softvera

### 3. PRIKAZ PRIMJENE FastMaint CMMS

Program FastMaint [5] dolazi u četiri verzije. Verzije *Basic* i *Standard* su jednokorisničke (*single user*) a verzije *Professional* i *Web* su višekorisničke (*multiple users*). U radu za testiranje biće korištena Web verzija, online putem browsera. Ovaj CMMS u osnovi upravlja poslovima preventivnog i neplaniranog održavanja, bilježi korištenje zaliha, rada i materijalnih troškova, omogućava kreiranje raznih vrsta izvještaja, i ...



Slika 2. Prijavna (login) stranica

#### 3.1 Osnovi elementi

Nakon uspješne prijave, kojoj prethodi kreiranje vlastitog korisničkog naloga za rad (Slika 2.), osnovni elementi FastMaint softvera, dostupni na glavnoj stranici (kartica *Main*) su:

- Kalendari (*Calendars*) - koriste se iz više razloga, npr.: za raspoređivanje poslova vodeći računa o praznicima i trajanju radnog vremena; pri obračunu očitavanja baziranog za procjenjeno korištenje opreme, za specifikaciju dostupnosti zaposlenih,...



- Kategorije (*Categories*) – koristan način za, na vlastiti način viđeno, grupisanje i klasifikaciju zadataka, opreme, ljudi ili dijelova. (npr. na Slici 3. se može vidjeti korištenje prethodno definisane kategorije MECH (mehanička kategorija)).
- Oprema (*Equipment*) – služi za definisanje osnovnih elemenata opreme (naziv, opis, dobavljač, kategorija, lokacija gdje se nalazi, ...) i dodatnih elemenata vezanih za korištenje (definisanje uslova alarma, zadaci, neradni dani, ...). Na Slici 3. se osim osnovnih detalja može vidjeti da je za opremu (GLODALICA ALG-200) definisan mjerač (*Meter*) očitavanja - određen iznos i mjera procjenjenog korištenja (180 radnih dana).

FastMaint Web 6.1.5 User: pgayvs/oljaj 2014/07/10: 462X1007: e

**Equipment Details**

Home > Equipment > Equipment Details

Name: GLODALICA ALG-200 Description: glodalica Location: El. rem. radionica: Hangar - radi  
 Category: MECH: Mehanička kategorija Vendor: CNC MACHO, s. r. o.: Isporuka Ch. Part Of: None  
 Model #: 235z Serial #: 4401220255  
 Work Order Tag: (Lock out data, shutdown information, etc. to put on work order)

Comments Alarm Log **Meter** Non-Working Days Parts Tasks Work Orders Custom Fields

Has Meter Unit: work-days e.g. kW, run-hours Schedule Tasks By  Estimated Use  Actual Use  
 Estimated Use: 180 / work-day

Create Work Orders Clone Save Delete Quit

Slika 3. Prikaz detalja elemenata opreme

- Lokacija (*Locations*) – koristi se za specifikaciju lokacija u kompaniji: zgrade, hale, skladišta, sobe,.. (ugnježden koncept) za potrebe lakšeg izvršavanja i praćenje radnih naloga, klasifikaciju i izvještavanje podataka o održavanju (na Slici 3. se na primjeru opreme vidi korištenje predhodno definisane lokacija).
- Dijelovi (*Parts*) - Dijelovi su razne vrste stavki koje su neophodne da bi se neki posao/zadatak izvršio (filteri, gumeno zaptivni materijal, ulja, ...). Nakon što se zadatak markira kao kompletiran stanje odgovarajućih dijelova u skladu sa istim se po automatizmu umanjuje.
- Dobavljači (*Vendors*) – omogućava evidenciju i praćenje dobavljača - osnovne i kontakt informacije, sa mogućnošću ocjenjivanja istih (Slika 4.) što se može koristiti u kontekstu zapisa kvaliteta (npr. zahtjevi sistema menadžmenta kvalitetom QMS).

FastMaint Web 6.1.5 User: pgayvs/oljaj 2014/07/09: 505X1007: ei

**Vendors**

Home > Vendors

Filters: Only show items with the following values (click 'Filter' to apply changes) (Help):  
 -None- [ ] [ ] Filter

6 Vendors: Click on a column heading to sort items by that column value in ascending or descending order.

Vendor	Description	Our Account	Rating	
ABCD Korp.	Isporuka rez. dijelova	178/45	New/Unknown	Edit
CNC MACHO, s. r. o.	Isporuka CNC masina		Good	Edit
SIEMENS (Siemens Austria AG)	Isporuka i servisiranje el. i dr. opreme		Preferred	Edit
TTK	Proizvodnja parnih turbina, pumpi, ...	REM/2348	Good	Edit
Unimet d.o.o.	Mašinska obrada skidanjem strugotine na CNC	PRO-543	Good	Edit
XYZ	Isporuka reprom.	PRO-123 (tražiti Marka M.)	Average	Edit

Slika 4. Prikaz dobavljača sa ocjenom



- Ljudi (*People*) – evidencija ljudi koji na bilo koji način rade za kompaniju (zaposleni, na ugovor, ...). Pored ličnih podataka svakom zaposlenom moguće je pridružiti iznos satnice, fotografiju, određeni zadatak, (ne)radno vrijeme, ...
- Narudžbenice (*Purchase Orders*) – koristi se za kreiranja narudžbenice tj. potrebe naručivanja dijelova (*parts*) od nekog dobavljača. Nakon zaprimanja dijela stanje istog se po automatizmu uvećava.
- Zadaci (*Tasks*) - Zadatak opisuje posao ili akciju koja može biti specificirana u radnom nalogu (npr. sedmično održavanje, održavanje izazvano kvarom ili održavanje nakon očitavanja specificiranog broja radnih sati/dana za neku opremu). Mogu se kreirati neplanirani zadaci (npr. promjena sijalice) ali poželjno je i preporučljivo kreiranje određenih zadataka unaprijed za različite tipove održavanja na primjer (npr. zadaci specifični za sisteme grijanja/hlađenja, zadaci preventivnog održavanja, ...). Generalno mogu se kreirati zadaci različitih uslova periodičnosti (dnevni, mjesečni, godišnji, pokrenuti alarmom, ...), a primjer pokazan na Slici 5. je radni zadatak (Provjera čvrstih sjedišta svih vijčnih klema) koji se izvršava mjesečno - svakog prvog utorka u mjesecu.

FastMaint Web 6.1.5 User: ppayvs/oljaj 2014/07/10: 462X1007: e

### Task Details

Home>Tasks>Task Details [Lo](#)

Name:  Description:  Class:

Category:  Priority:  Start Time:  Duration:  Hours: Mir

Effective Period (time period during which task is enabled and work orders can be created):

Start Date:  Task Ends:  Never ends  Ends after  Work Orders  Ends by

Work Order Options:  Create separate work orders for each equipment and location associated with this task  
(Otherwise all equipment and locations associated with the default frequency (Frequency tab) will be on one work order)

**Frequency (when to create work orders from task): Can be changed for each equipment/ location on equipment/ location tab**

Daily  Weekly  Monthly  Yearly  Unplanned  Meter  Alarm  Relative

Every  month(s) on day

Every  month(s) on the

Calendar:  If specified, task planned dates & completion time will be adjusted for Calendar working hours  
working days & off days

Slika 5. Prikaz detalja određenog zadatka – mjesečna učestalost izvršavanja

- Radni nalozi (*Work Orders*) – u osnovi se koriste da se, za određeni datum i vrijeme, dodjele i rasporede zadaci održavanja. Osnovni podložak (*template*) za kreiranje radnog naloga (Slika 3. i Slika 5.) je zadatak, pri čemu se tako kreiran radni nalog može naknadno u skladu sa potrebama u potpunosti modifikovati.
- Zahtjev za posao (*Work Requests*) - omogućava evidenciju zahtjeva za neplanirane poslove. Zadužena osoba naknadno, nakon uvida u zahtjev i procjene situacije, promjenom statusa zahtjeva za posao, može da mu dodijeli radni nalog ili da ga otkáže.

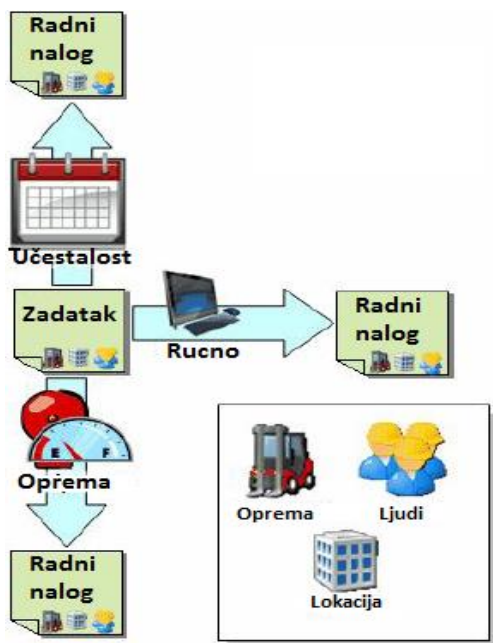
### 3.2 Bazni radni tok upravljanja održavanjem

Kao što je već pomenuto, u FastMaint programu se za zadatke (*tasks*) održavanja kreiraju određeni šabloni, podlošci (*template*) koji kasnije po potrebi mogu da se koriste za kreiranje radnih naloga (*work orders*) poslova preventivnog ili neplaniranog održavanja. Neki zadaci pak mogu biti jednokratni i mogu se tretirati kao »bilo koje drugo održavanje«. Međutim većina poslova će zahtjevati više radnih

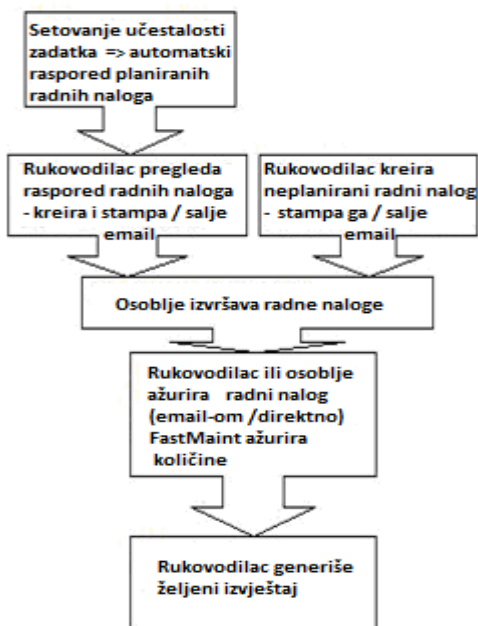
naloga. Inicijalno svaki radni nalog sadrži podatke prozvanih zadataka – moguće je urediti te podatke naknadno u skladu sa potrebama radnog naloga (po defaultu se nasleđuje od zadatka). Uobičajeno je, kao što se može vidjeti na Slici 6., da se radni nalog kreira na jedan od tri načina:

- automatski – na osnovu setovane periodičnosti zadatka dobija se automatski raspored radnih naloga – dovoljno je pokrenuti opciju *Planing reports* (dobijene naloge moguće je naknadno modifikovati);
- manuelno – moguće je ručno kreirati radne naloge, za zadatke kod kojih je frekvencija specificirana kao neplanirana (*unplanned*) na primjer;
- zahtjevima opreme – neki alarm ili neki brojač (radnih dana, radnih sati,...) postavljen za neku opremu može biti okidač nekih zadataka (zavisno opet od setovanog perioda) za radni nalog.

U suštini FastMaint ima jednostavan tok rada upravljanja procesom održavanja čiji elementarni dijelovi i osnovne instrukcije su dati na Slici 7. pri čemu se za praćenje održavanja može koristiti niz gotovih ili prilagođenih izvještaja.



Slika 6. Opcije kreiranja radnog naloga



Slika 7. Tok menadžmenta održavanjem

### 3.3 Praćenje i izvještavanje

FastMaint softverski paket omogućava dodjeljivanje radnih naloga odgovornim licima i bilježi napredak realizacije istih. Pri tome se moguća kolizija dostupnosti ljudi/opreme može izbjeći čekiranjem opcije provjere dostupnosti ljudi i opreme (opcija dostupna u okviru *Planning*).

FastMaint za potrebe praćenja održavanja posjeduje niz korisnih, ugrađenih izvještaja i mogućnost kreiranja i korištenja prilagođenih izvještaja (opcije *Report* i *Report Designer*). Za izgled izvještaja koriste se odgovarajući predhodno definisani šabloni (*template*). Moguće je dakle, u skladu sa vlastitim potrebama, izvršiti modifikaciju predefinisanih šablona izvještaja. Kastomizacija izvještaja moguća je i kreiranjem vlastitih polja (opcija *Administration/Custom fields*). Pored toga u okviru

izvještaja moguće je ubaciti tabelu, kolone, promjeniti font i sl. (Sva polja parametara izvještaja nalaze se u dvostrukim uglastim zagradama npr.  $[[avg(wo.laborcost)]]$  – korištenje funkcije srednje vrijednosti neke numeričke kolone). Zahvaljujući ovim mogućnostima neki izvještaj, izborom različitih šablona, moguće je u skladu sa namjenom predstaviti na više načina.

Na Slici 8. je zbirni pregled radnih naloga vezanih za određeni zadatak (mjesečno održavanje struga SCHAUBLIN 125-CNC) sortiran po datumima.

FastMaint Web 6.1.5 User: pgojvs/oljaj 2014/07/16: 505X1007: ei

**Work Orders**

Home>Tasks>Task Details>Work Orders [Log](#)

Task: Schaublin 125 - mjesečni pregled: Preventivno održavanje SCHAUBLIN 125-CNC  
Next Due: 8/4/2014

Work Order #	Status	For	Date	Time	Day	
R.N.224	Planned		8/4/2014	8:00:00 AM	Monday	<a href="#">Edit</a>
			9/1/2014	8:00:00 AM	Monday	<a href="#">Edit</a>
			10/6/2014	8:00:00 AM	Monday	<a href="#">Edit</a>
			11/3/2014	8:00:00 AM	Monday	<a href="#">Edit</a>
			12/1/2014	8:00:00 AM	Monday	<a href="#">Edit</a>
			1/5/2015	8:00:00 AM	Monday	<a href="#">Edit</a>
			2/2/2015	8:00:00 AM	Monday	<a href="#">Edit</a>

Note: Work orders marked with "\*" were created previously from prior task settings

[Previous](#) [Next](#) [Quit](#)

Slika 8. Zbirni prikaz radnih naloga (svaki prvi ponedjeljak u mjesecu)

Željeni radni nalog (odabran radni nalog od 4.8.2014) moguće je dalje editovati i prikazati u formi obrazca kao na Slici 9. (opcija *Report*, prilagođen šablon originalnog izvještaja). Izborom ponuđenih opcija, koje se mogu vidjeti ispod naloga na Slici 9., isti je moguće sačuvati u PDF/HTML formatu, odštampati ili poslati putem email-a.

"Nasa firma" d.o.o 76 300 Bijeljina RS, BiH		<b>Radni nalog</b> Radni nalog br.: R.N.224	
Zadatak: Schaublin 125 - mjesečni pregled: Preventivno održavanje SCHAUBLIN 125-CNC			
Datum: 8/4/2014 Vrijeme: 8:00 AM Trajanje: 003:00 (hr:min)		Prioritet: Medium Kategorija: MECH Klasa: Preventive	Status: Planned Kompletnost: Postoji problem: N
Lokacija: El. rem. radionica: Hangar - radionica			
Oprema: Schaublin 125: Struga Lokacija: El. rem. radionica			
Djelovi:		Opis	Kolicina Lokacija
Filter			1
Ljudstvo:	Trajanje (sat:min)	Ime i prezime	Br. telefona Lokacija (sklad.)
	002:00	Milan Peric	055 121-258 RJPRO zgrada
	001:00	Miso Zaric	055 555-1212 SGHZ zgrada
Instructions: Provjera ležajeva i varijatora, njihovo čišćenje i podmazivanje - Provjera filtera - Provjera nivoa ulja u reduktoru - Održavanje osnovnih parametara i kretanja mašine			
<a href="#">Save (PDF)</a>		<a href="#">Save (HTML)</a>	<a href="#">Print</a> <a href="#">Email</a> <a href="#">Quit</a>

Slika 9. Primjer obrazca radnog naloga

### 3.4 Zapažanja

Zbirno se može reći da su osnovne mogućnosti testirane web verzija FastMaint CMMS rješenja:

- Rad više korisnika i definisanje različitih prava korištenja za različite korisnike ili grupe korisnika,

- korištenje baze podataka (MS Access ili MS SQL Server ) i web način rada,
- upotrebu email/SMS komunikacije za razne vrste upozorenja i obavještanja,
- definisanje i kreiranje vlastitih kategorija i radnih kalendara,
- kreiranje šablona za planirano i neplanirano održavanje, te automatsko generisanje radnih naloga,
- kreiranje rasporeda održavanja po automatizmu (određeno datumom, zadatiom metrikom očitavanja ili alarmima na primjer) uz uvažavanje pridruženih kalendara rasporeda radnog vremena,
- prilagođavanje izgleda izvještaja i radnog naloga,
- mogućnost ubacivanje crteža (slika) i linkova u radne naloge i slogove opreme,
- mogućnost Import/Export opcije za zadatke, opremu, dijelove,... (.xls format ili .txt fajl u kome su polja odvojena zarezima (*Comma-separated*)),
- upravljanje dijelovima (stanje, narudžba, ...),
- praćenje troškova rada i materijala,
- ...

Nakon testiranja, može se reći da je FastMaint intuitivno i lako za korištenje (dizajniran je da bude jednostavan i brz za setovanje, bez neophodnosti posebnih treninga za korištenje) softversko rješenje pogodno za upravljanje radnim nalogima u slučaju neplaniranog i planiranog održavanja. Kao takvo zaslužuje pažnju potencijalnih korisnika malih i srednje velikih timova za održavanje (moguće je, nakon registracije putem emaila, testirati demo verziju sa svim funkcionalnostima, u trajanju od 30 dana).

#### 4. ZAKLJUČCI

Jasno je da preživljavanje u današnjem poslovnom svijetu ne dozvoljava i ne oprašta prekide u radu, stoga je u službi procesa razvoja efikasnog programa preventivnog održavanja potrebno obezbjediti valjanu svijest o mjestu i značaju održavanja, kod svih učesnika lanca radnog okruženja (od menadžera do zaposlenih). Kao svojevrsna podrška u tom procesu svakako su i računarskih sistemi za podršku održavanju CMMS.

U tom kontekstu u radu su date neke smjernice, sugerisan jedan praktičan način, u službi odabira CMMS softverskih paketa/dobavljača i predstavljen FastMaint CMMS program koji može naći svoje mjesto primjene u slučajevima malih i srednje velikih timova za održavanje.

#### LITERATURA

- [1] Gross, J.M. (2002). *Fundamentals of Preventive Maintenance*, AMACOM, New York.
- [2] Levitt, J. (2003). *Complete Guide to Predictive and Preventive Maintenance*, Industrial Press, New York.
- [3] Compare Computerized Maintenance Management Systems, Compare and Buying Guide, <http://cmms.findthebest.com/>, pristupljeno 14.7.2014
- [4] Plant Services, CMMS/EAM Review, <http://www.cmms-eam.com/>, pristupljeno 15.7.2014.
- [5] FastMaint CMMS Software, Homepage, <http://www.smglobal.com/>, pristupljeno 16.7.2014



## RAZVOJ METODOLOGIJE ZA EVALUACIJU I SMANJENJE STVARNIH GUBITAKA VODE ZA VODOVODNE SISTEME ZEMALJA U TRANZICIJI - MJERENJA, PRAĆENJE I ODRŽAVANJE

Goran Orašani<sup>1</sup>, Branko Vučijak<sup>2</sup>, Dragana Ristić<sup>3</sup>

*Rezime: U radu je prikazan dio prijedloga metodologije za smanjenje stvarnih gubitaka vode za vodovodne sisteme zemalja u tranziciji. U ovom dijelu metodologije prikazane su mogućnosti analize noćnog protoka, aktivna kontrola curenja kao i praćenje i održavanje vodovodnog sistema. U zaključku je definisana procedura odnosno slijed radnji za uspješnu kontrolu gubitaka vode.*

*Ključne riječi: metodologija, stvarni gubici vode, analiza noćnog protoka, aktivna kontrola curenja, praćenje i održavanje*

### **DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR EVALUATION AND REAL WATER LOSS REDUCTION IN WATER SUPPLY SYSTEMS IN TRANSITION COUNTRIES - MEASUREMENT, MONITORING AND MAINTENANCE**

*Abstract: The paper presents part of the proposed methodology for reduction of real water losses in water supply systems in transition countries. This part of the methodology presents the opportunities for analysis of the night flow, active leakage control and water supply system monitoring and maintenance. Paper conclusion defines procedure or sequence of actions for the successful control of water losses.*

*Key words: methodology, real water losses, night flow analysis, active leakage control, monitoring and maintenance*

## 1. UVOD

Prijedlog metodologije za smanjenje stvarnih gubitaka vode za vodovodne sisteme zemalja u tranziciji se može izvesti kroz sljedeće korake [1]:

- (i) Organizovanje službe za kontrolu gubitaka vode;
- (ii) Proračun bilansa vode;
- (iii) Određivanje (ograničenih i razdvojenih) mjernih oblasti (DMA);
- (iv) Aktivna kontrola gubitaka i održavanje sistema.

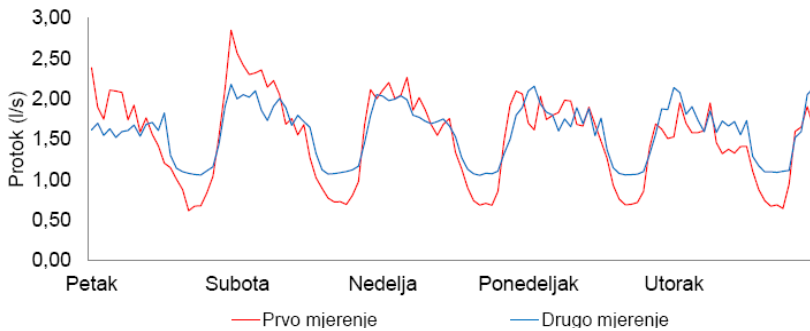
1Mr Goran Orašani, KP „Vodovod i kanalizacija“ a.d. Istočno Sarajevo, goranorasani@yahoo.com

2 Prof. Dr. Branko Vučijak, Mašinski fakultet, Univerzitet u Sarajevu, vucijak@mef.unsa.ba

3Dragana Ristić dipl. maš. ing., REIC Sarajevo, dragana.reic@gmail.com

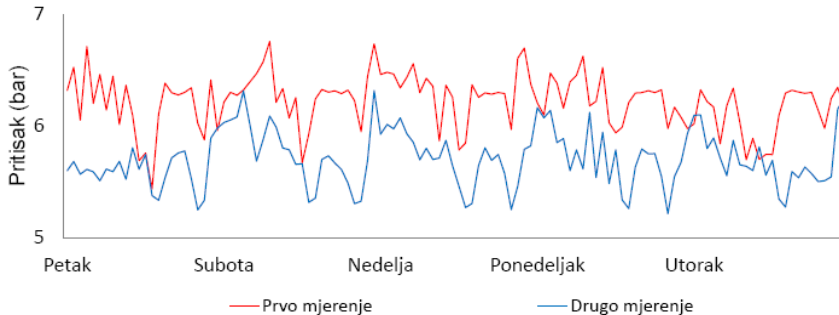
Prva tri koraka predložene metodologije za smanjenje stvarnih gubitaka vode za zemlje u tranziciji su prikazana u radu "Development of Methodology for Evaluation and Real Water Loss Reduction in Water Supply System in Transition Countries" objavljenom u časopisu Tehnika u februaru 2014. godine. Rezultati koji su postignuti na ograničenoj mjernoj oblasti [2] su prikazani na sljedećim slikama.

Rezultati prvog i drugog mjerenje su pokazali da je prosječni protok u prvih 7 dana mjerenja iznosio 1,5 l/s, a prosječni protok u drugih 7 dana mjerenja iznosio 1,54 l/s. Povećanje protoka je uslovljeno povećanjem potrošnje vode kod potrošača (Slika 1).

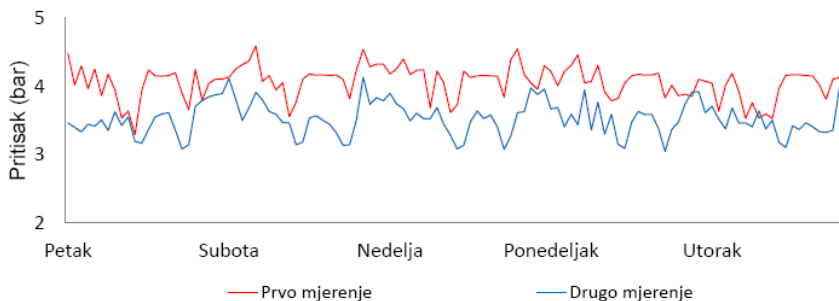


Slika 1. Dijagram prosječnih protoka

Minimalni pritisak na ulazu u sistem (mjerno mjesto 1) smanjen je sa 5,5 bara na 4,76 bara, a maksimalni sa 7,5 bara na 6,87 bara (Slika 2).

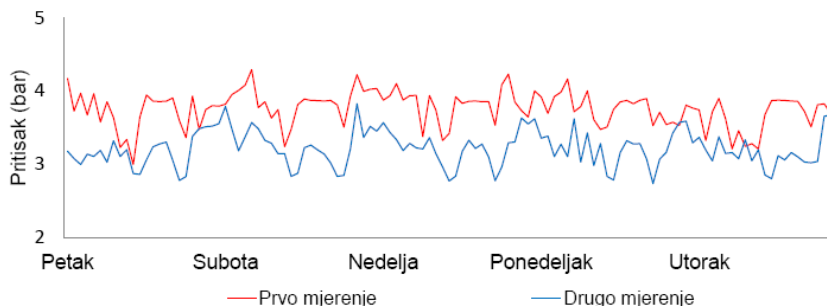


Slika 2. Dijagram prosječnih pritisaka na mjernom mjestu 1



Slika 3. Dijagram prosječnih pritisaka na mjernom mjestu 2

Minimalni pritisak na mjernom mjestu 2 je smanjen sa 2,9 bara na 2,57 bara, a maksimalni sa 5,36 bara na 4,68 bara (Slika 3).



Slika 4. Dijagram prosječnih pritisaka na mjernom mjestu 3

Minimalni pritisak na mjernom mjestu 3 je smanjen sa 2,3 bara na 1,94 bara, a maksimalni sa 5,08 bara na 4,54 bara (Slika 4).

Proračun bilansa vode sa uporednim mjerenjima (Tabela 1) pokazuju da je procenat neprihodovne vode (NRW) za 5,1 manji u drugom mjerenju. Pokazatelj infrastrukturnog indeksa curenja (ILI) je smanjen za 0,1, a smanjenjem pritiska neizbježni godišnji stvarni gubici (NGSG) su manji za 6,3 litara/priključak/dan. Popravka kvarova, smanjenje pritiska i povećana potrošnja su prouzrokovali da su trenutni godišnji stvarni gubici (TGSG) manji za 29,98 litara/priključak/dan, a potencijal poboljšanja (razlika između TGSG i NGSG) je manji za 59,68 litara/priključak/dan. Smanjenjem TGSG vode, ekonomska ili finansijska ušteda na ovoj ograničenoj mjernoj oblasti je: i) 205,72<sup>4</sup> evro/god. – za cijenu proizvodnje vode; ii) 1542,92<sup>5</sup> evro/god. - za cijenu snabdijevanja vodom i odvodnje otpadne vode.

Tabela 1. Poređenje pokazatelja stanja

	TGSG (litar/pri/dan)	NGSG (litar/pri/dan)	Potencijal poboljšanja (litar/pri/dan)	ILI	NRW (%)
Mjerenje 1	218,2	53,6	164,6	4,1	36,1
Mjerenje 2	188,22	47,3	104,92	4	31
Rezultat	- 13,7 %	- 11,7 %	- 36,3 %	- 2,4 %	- 5,1

Nakon izvršenih mjerenja, tačnijeg proračuna bilansa vode, utvrđenog faktičkog stanja u podsistemu vrši se analiza noćnog protoka, pronalaze i popravljaju greške u sistemu. Kada se poprave greške vrši se aktivna kontrola i održavanje sistema, praćenje i upravljanje pritiscima te održavanje dostignutog nivoa stvarnih gubitaka vode kako je i opisano u nastavku rada.

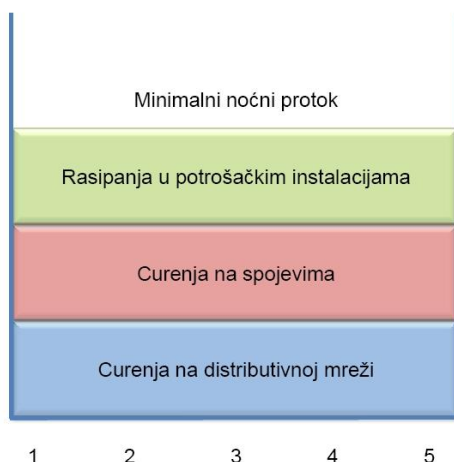
4 Procjenjena je cijena proizvedene vode na 0,10 Evra/m<sup>3</sup>.

5 Procjenjena je cijena vode i odvodnje na 0,75 Evra/m<sup>3</sup>.



## 2. ANALIZA NOĆNOG PROTOKA

Nakon mjerenja u ograničenoj mjernoj oblasti (DMA), proračuna bilansa vode [3] i utvrđene količine neprihodovne vode pristupa se analizi noćnog protoka. Daljijm istraživanjem mjerne oblasti (analiza noćnog protoka) po dionicama se utvrđuje koja dionica mreže ili priključak ima najveće gubitke. Analiza noćne potrošnje je jedan od osnovnih alata u praćenju gubitaka vode u mreži. Minimalni noćni protok obično se javlja u ranim jutarnjim časovima (obično između 1:00 i 5:00). Generalno se može smatrati da skoro sva izmjerena potrošnja u tom periodu predstavlja gubitke vode i rasipanja vode u potrošačkim instalacijama. Procjenjena količina stvarnih gubitaka u minimalnom noćnom protoku se vrši oduzimanjem procjenjene legitimne noćne potrošnje u mjernoj oblasti za svaki od priključenih potrošača u mjernoj oblasti i količine vode koja je ušla u sistem. Razlika između minimalne količine vode (vode koja ulazi u sistem u noćnom vremenu) i legitimne potrošnje potrošača se sastoji pretežno od stvarnih gubitaka u vodovodnoj mreži.



Slika 5. Gubici vode i rasipanja u minimalnom noćnom protoku

Cilj noćnog mjerenja je određivanje tri komponente u sistemu (Slika 5) na kojima su mogući gubici vode [4], i to:

- Rasipanje vode iza vodomjera (instalacije u domaćinstvu),
- Curenja na priključcima i
- Curenja na distributivnoj mreži.

Metoda noćnog mjerenja se vrši nakon izvršenih mjerenja i proračuna bilansa vode, gdje se ustanovilo da postoji određena količina stvarnih gubitaka vode u toj mjernoj oblasti. Takođe, na osnovu mjerenja se ustanovilo i vrijeme u toku noći kada je potrošnja vode minimalna, jer je noćno mjerenje potrebno sprovoditi isključivo kada je potrošnja vode najmanja.

Prije početka noćnog mjerenja, potrošači se klasifikuju (mala privreda, zgrade, kuće i sl.) i odredi se tačan broj potrošača kojima će se zatvarati voda. Na primjer, pekarama, mljekarama ili industriji koja radi noću ne smije se zatvarati voda. Mjerenja noćnog protoka moraju početi i završiti se u vremenu minimalne noćne potrošnje, da bi se što tačnije mogle odrediti razlike u protoku prilikom zatvaranja i otvaranja ventila.



Noćno mjerenje počinje tako što se na mjerno mjesto ulaza u mjernu oblast postavi prenosni mjerač protoka i ustanovi da trenutni protok vode odgovara ranije ustanovljenom minimalnom noćnom protoku. Postupak mjerenja je sljedeći [4]:

- Zatvaraju se potrošački ventili jedne (iste) klase potrošača. Razmak između zatvaranja ventila u istoj klasi potrošača treba da bude 5 minuta. Prilikom svakog zatvaranja upisuje se tačno vrijeme zatvaranja ventila. Kada se zatvori jedna kategorija potrošača pravi se pauza 10 do 15 minuta i počinje se sa zatvaranjem sljedeće kategorije potrošača. Na isti način, sa pauzama, se zatvaraju sve kategorije određenih potrošača. Pad protoka koji se mjeri na uređaju predstavlja direktno rasipanje vode kod potrošača.
- Nakon zatvaranja svih potrošačkih ventila pravi se pauza 10 do 15 minuta i započinje se sa zatvaranjem ventila na priključcima (potrošački ventili ostaju zatvoreni). Zatvaranje ventila na priključcima takođe se vrši po kategorijama potrošača, sa zapisivanjem tačnog vremena zatvaranja i sa vremenom zadržavanja između dva zatvaranja. Na taj način se dobije količina gubitaka vode od priključka do vodomjera.
- Sljedeća faza je zatvaranje uličnih ili sekcionih ventila u mjernoj oblasti. Zatvaranje se izvodi od najudaljenijeg ventila od mjernog mjesta ka najbližem. Sekcioni ventili se moraju zatvarati sporo, sa kratkim pauzama, da se izbjegne pojava jačeg hidrauličkog udara. Vremensko rastojanje između dva zatvaranja ventila ne smije biti manje od 15 minuta. Na ovaj način se na mjeracu ustanovljava pad protoka i utvrđuju gubici na određenoj dionici.
- Kada su zatvoreni svi ventili, nakon pauze od 10 minuta, svi ventili se trebaju i otvoriti. Postupak otvaranja ventila je obrnut u odnosu na postupak zatvaranja ventila. Prvo se otvara ventil koji je zadnji zatvoren, i tako redom do najudaljenijeg ventila. Sekcioni ventili se otvaraju polako, a ukoliko ima vremena prave se vremenski razmaci kao i kod zatvaranja ventila.

Rezultatima noćnog mjerenja se ustanovljava rasipanje kao i gubici vode u mjernoj oblasti. Nakon ustanovljavanja gubitaka vode kreće se u detekciju i lociranje mjesta kvarova u mjernoj oblasti.

### **3. AKTIVNA KONTROLA CURENJA - ALC**

Kada se prvi put primjenjuje tehnika otkrivanja curenja i izvrše popravke, procurivanja i gubici vode se relativno lako pronalaze. Razlog je nedovoljno angažovanje i investiranje u održavanje mreže, što rezultuje pronalaženjem i popravljanjem većeg broja kvarova nego što je uobičajeno. Međutim, kada se u početnoj fazi veća oštećenja relativno lako pronađu, dalje je potrebno uložiti dodatne napore kako bi se gubici vode održali i dodatno smanjili.

Glavne metode aktivne kontrole curenja su redovni pregledi i monitoring curenja. Redovno istraživanje je metoda koja počinje na jednom kraju distributivnog sistema, a završava se na drugom koristeći razne tehnike:

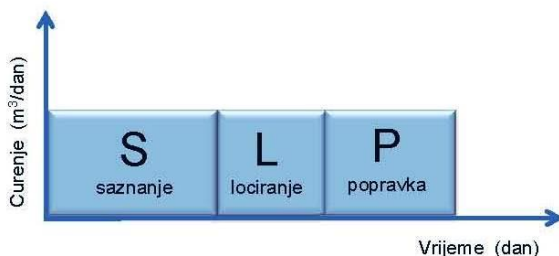
- Slušanje curenja na cijevi i fitinzima;
- Očitavanje mjerača protoka u DMA za identifikaciju povećanja protoka (posebno noćnog);
- Upotreba logera šuma.

Monitoring curenja je praćenje tokova u DMA, kvantifikovanje curenja i otkrivanja lokacije curenja. To je jedna od najekonomičnijih aktivnosti za smanjenje stvarnih gubitaka vode. U većini zemalja u tranziciji metode kontrole gubitaka vode su

obično pasivne ili nisko aktivne, što podrazumijeva popravke samo vidljivih curenja ili vršenja redovnog pregleda mreže sa zvučnim ili elektronskim uređajima.

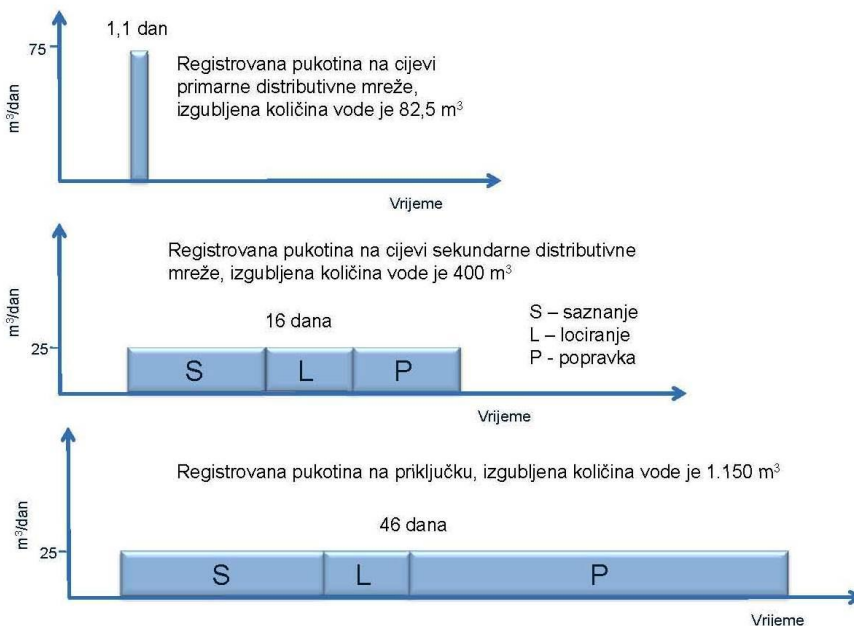
Zapremina vode koja se izgubi od pojedinačnih curenja ne zavisi samo od protoka, nego je i u funkciji vremena izvršavanja (Slika 6). Put od curenja vode do popravke curenja se sastoji od tri komponente:

- Vrijeme saznanja - vrijeme saznanja da postoji curenje;
- Vrijeme lociranja - vrijeme provedeno da se precizno locira curenje, tako da se može izdati nalog za popravku;
- Vrijeme popravke - vrijeme između izdavanja naloga za popravku i završetak popravke.



Slika 6 Uticaj vremena na količinu izgubljene vode

Najveću ukupnu količinu vode izgubljenu na curenje imaju 'pozadinska' (mala) curenja koja se često ne prate i otkriju se tek kada izađu na površinu i stoga dovode do velikih gubitaka vode (Slika 7). Neprijavljena curenja koja se otkriju u toku kampanje detekcije curenja (u zavisnosti od intervala i metodologije) često imaju srednje protoke i dovode do srednjih ili visokih gubitaka. S druge strane, prijavljena curenja obično imaju visoke protoke, ali zbog kratkog vremena popravke kvara ukupna količina gubitaka je relativno mala [5].



Slika 7 Uticaj protoka i vremena na količinu izgubljene vode

Tehnika monitoringa curenja je primjenljiva na svim mrežama i daje glavni doprinos isplativosti i efikasnosti upravljanja gubicima vode. Osnovni cilj ALC je da se smanji vrijeme otkrivanja curenja. Redovna istraživanja utiču na vrijeme saznanja da postoje curenja u distributivnoj mreži ili u DMA. Proces ALC se može podijeliti na tri glavna koraka:

- Spoznaja – Kontinualno praćenje i analiza protoka je od suštinske važnosti da se stekne saznanje u ranoj fazi nastajanja novog curenja. DMA kao diskretna oblast distributivne mreže olakšava rano otkrivanje curenja čak i kod malih curenja.
- Detekcija curenja – To je proces sužavanja curenja na određenom području ili određenom dijelu mreže u DMA (makro lokacija).
- Lokacija curenja – Korišćenjem raznih tehnika i aparata tačno se locira mjesto u DMA gdje postoji curenje (mikro lokacija).
- Tri metode koje mogu da se koriste za aktivnu kontrolu curenja su:
  - Praćenje protoka;
  - Praćenje pritiska;
  - Monitoring šuma (buka).

#### **a. Kontrola pritiska**

Upravljanje pritiskom u vodosnabdijevanju nije jednostavan zadatak, jer postoje razni faktori koje treba razmotriti. Isti program upravljanja pritiskom ne može se primijeniti na svim sistemima vodosnabdijevanja, jer se vodovodni sistemi razlikuju jedan od drugog. Mora se imati na umu da kada se smanjuju curenja kroz upravljanje pritiskom neophodno je da se održi nivo usluga za potrošače, kao i potreban pritisak u mreži za gašenje požara (hidrantska mreža) [6, 7].

U distributivnoj mreži uvijek mora biti obezbjeđen minimalni pritisak za uredno vodosnabdijevanje kritičnih tačaka sistema. Vodovodi sami po sebi definišu minimalne pritiske u vodosnabdijevanju. Takođe, propisani uslovi za obezbjeđenje dovoljnog pritiska u hidrantskoj mreži (u slučaju požara) diktiraju minimalni pritisak. Minimalni pritisak takođe, zavisi i od razlike visina i zahtjeva potrošača.

Smanjenju pritiska se može pristupiti korišćenjem različitih tehničkih rješenja, međutim postignuti optimalan pritisak nije uvijek jednostavan zadatak. Svaki podsistem vodovodnog sistema je drugačiji i ima svoja specifična ograničenja, što znači da u svakom podsistemu se upravljanje pritiskom mora prilagođavati [8]. Generalno, načini kontrole pritiska su:

- Fiksni ventil za regulaciju pritiska,
- Ventil zasnovan na vremenu,
- Ventil na bazi protoka,
- Daljinski kontrolisan ventil i
- Kontrola pumpe (podešavanje minimalnog i maksimalnog pritiska).

#### **b. Održavanje vodovodne mreže**

Iz perspektive smanjenja gubitaka vode, održavanje infrastrukture je neophodno, jer generalno stanje cjevovoda i korisničkih priključaka, kao i rezervoara i pumpnih stanica je najznačajniji faktor koji utiče na stepen gubitaka u vodovodnom sistemu. Ako je zamjena cjevovoda jedna od komponenti seta mjera u programu smanjenja gubitaka vode mora se pažljivo isplanirati. Poznavanje mreže i stanja u vodovodnom sistemu je jedan od preduslova za identifikovanje dijelova cjevovoda na kome su se dešavali najveći gubici i havarije, dijelova mreže na kojima je frekvencija

kvarova učestala i onih dijelova mreže gdje su velika nevidljiva curenja da se finansijski ne isplati popravljati dio po dio cijevi. Istraživanje i pronalaženje takvih dijelova mreže u vodovodnom sistemu iziskuje i vrijeme i troškove, te je stoga zamjena cjevovoda dugoročna mjera u upravljanju gubicima vode.

U principu za zamjenu cjevovoda potrebno je provesti sljedeće korake:

**Korak 1** Analiza vodovodnog sistema - Prvi korak je pregled stanja vodovodne mreže pregledom podataka o registrovanim (prijavljenim i neprijavljenim, popravljenim i nepopravljenim) kvarovima na cjevovodu. Saradnjom sa službom za održavanje, identifikovati dijelove vodovodne mreže sa učestalim kvarovima i neprimjetnim curenjima gdje su se redovno obavljale popravke. U obzir treba uzeti cijenu izgubljene vode (cijenu proizvodnje vode), količine izgubljene vode kroz kvarove i troškove popravke cjevovoda. Kroz ove analize se prikazuje dio vodovodne mreže, odnosno cjevovod koji ima najveće troškove održavanja.

**Korak 2** Identifikovanje dijelova vodovodnog sistema sa velikom stopom gubitaka - Kada su definisane ograničene mjerne oblasti (DMA) i njihovi pokazatelji gubitaka vode, potrebno je da se klasifikuju po prioritetima u skladu sa gubicima vode i stanjem infrastrukture. Za svaku DMA na osnovu pokazatelja postoje stvarni gubici vode po priključku i one koje imaju najveće stvarne gubitke stavljaju se na vrh liste prioriteta. U toj DMA potrebno je vršiti mjerenja i detekciju gubitaka na što je moguće manjim dijelovima sistema (ako je moguće od čvorišta do čvorišta). Cilj ovog postupka je ustanovljavanje gubitaka vode na pojedinim dijelovima mreže.

**Korak 3** Studija ekonomske isplativosti - Kada se pronađu dijelovi mreže sa najvećim nedostacima u DMA, pristupa se provjeri isplativosti zamjene cijevi. Intenzitet curenja se razlikuje od dionice do dionice. U toku ispitivanja dionica, može se desiti i da se otkrije veliki kvar koji se ranije nije identifikovao. Popravkom jednog kvara, ta se dionica može isključiti iz postupka mjenjača cjevovoda.

**Korak 4** Drugi efekti - Kada se sprovodi studija isplativosti zamjene cjevovoda, mogu se odrediti i druge koristi kao i njihova vrijednost. Na primjer, zamjenom cjevovoda se izbjegavaju troškovi popravki. Indirektno, zamjenom cjevovoda korist za potrošače je poboljšana kvaliteta vode, kvaliteta usluge, a time i zadovoljstvo potrošača da na vrijeme izmiruje svoje obaveze prema vodovodnom preduzeću.

#### **4. PRAĆENJE I ODRŽAVANJE**

Kada se postigne napredak, odnosno dostignu zacrtani ciljevi, postavlja se pitanje kako da se održi postignuti nivo poboljšanja. Curenja je skoro nemoguće eliminisati, i to je pojava koja iziskuje stalne aktivnosti ili će se nivo curenja vremenom povećavati i dostići isti ili veći nivo nego prije sprovođenja akcije za smanjenje gubitaka vode. Na taj način se obezvrjeđuju, kako uložena sredstva, tako i uloženi rad.

Održavanje poboljšanog nivoa gubitaka vode je od presudnog značaja za uspješno upravljanje i održivost vodovodne mreže, bez obzira na nivo tehnologije, infrastrukture kao i institucionalnog razvoja [9]. Održavanje treba da se odnosi na cijeli vodovodni sistem, što zahtijeva planiranje unaprijed, obuku i osposobljavanje da se rutinski radi i održava. Stoga obuhvata izbor opreme i instrumenata, procedure istraživanja, i primjenu dobrih iskustava u radu i održavanju sistema. Efikasne procedure za upravljanje gubicima vode se moraju uspostaviti prije i u toku sprovođenja smanjenja gubitaka, da bi se dostignuti zacrtani ciljevi smanjenja gubitaka održavali na postignutom nivou i narednih godina. Procedure koje treba primjenjivati za uspješno održavanje smanjenog nivoa gubitaka su:

- Proračunom godišnjeg bilansa vode su izračunati opšti pokazatelji uspješnosti upravljanja gubicima vode. Međutim, nije potrebno čekati 12 mjeseci da bi se

ustanovili sljedeći pokazatelji efikasnosti. Važno je da se posmatra trend tokom cijele godine u cijelom sistemu i podsystemima i da se preduzimaju korektivne mjere, ako pokazatelji odstupaju od planiranih godišnjih ciljeva gubitaka vode. Preporučuje se proračun bilansa vode kvartalno, ili mjesečno ako postoji opasnost od neispunjenja zacrtanih ciljeva. Takođe, za podsysteme (dijelove cijelog sistema) je potrebno vršiti poređenja pokazatelja efikasnosti i upoređivati ih međusobno, a i zasebno kroz mjesece (trend u pojedinačnoj zoni).

- Oprema i uređaji koji se postavljaju tokom procesa smanjenja gubitaka vode, kao i prenosni uređaji moraju se kontrolisati i održavati. Kontrola i održavanje opreme se može svesti na sljedeće:
  - Tačnost mjerača u ograničenim mjernim oblastima u redovnim intervalima treba kontrolisati;
  - Periodično provjeravati granice oblasti, ispravnost graničnih ventila;
  - Održavati mjerna mjesta;
  - Održavati i kontrolisati ventile za smanjenje pritiska;
  - Sva mjerna oprema i prenosni uređaji se trebaju redovno kalibrisati i periodično servisirati.
- Provjera uspješnosti smanjenja i održavanja gubitaka vode na ciljanom nivou treba da se vrši kontinualno. Vodovodno preduzeće treba da ustanovi transparentnu formu izrade godišnjih izvještaja, kako bi se poboljšanja mogla pratiti svake godine. Provjeru izvještaja može obavljati upravljačka struktura vodovodnog preduzeća. Generalno izvještaj treba da sadrži:
  - Postignuti napredak u poređenju sa postavljenim ciljevima;
  - Promjena postavljenih ciljeva u skladu sa stečenim iskustvom;
  - Promjene polaznih pretpostavki korišćenih podataka;
  - Troškovi.

## **5. ZAKLJUČAK**

U predloženoj metodologiji prikazanoj u radu razvijen je pristup korak po korak koji treba da bude zasnovan na mjerenju i podjeli vodovodnog sistema na manje podsysteme (DMA). Primjena ove metodologije na bilo koji vodovodni sistem može da se definiše procedurom, odnosno slijedom radnji kroz sljedeće korake:

- Organizovanje službe za kontrolu gubitaka vode (određivanje zaposlenih koji će se baviti ovim problemom);
- Procijeniti bilans vode za vodovodni sistem (razvijanje svijesti šta se može očekivati u vodovodnom sistemu po pitanju gubitaka vode);
- Određivanje ograničenih mjernih oblasti i mjerenja u tim oblastima (utvrđivanje faktičkog stanja u podsystemima);
- Popravka kvarova, mjere poboljšanja i mjerenja (utvrđivanje uspjeha mjera poboljšanja) i
- Aktivna kontrola gubitaka i održavanje infrastrukture u ograničenim mjernim oblastima i cijelom sistemu (održavanje dostignutog nivoa smanjenja stvarnih gubitaka vode i rad na poboljšanju).

## LITERATURA

- [1] Orašanin G., Ristić D., Vlaški D., Vučijak B., (2014), Development of Methodology for Evaluation and Real Water Loss Reduction in Water Supply Systems in Transition Countries, Tehnika 69 (1), 167-174.
- [2] Morrison J., Tooms S., Rogers D., (2007). District Metered Areas, Guidance Notes, International Water Association.
- [3] Lambert A., Hirner W., (2000). IWA BLUE PAGES, Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures, London.
- [4] Koldžo Đ., (2004). Priručnik za efikasno mjerenje i otkrivanje gubitaka u vodovodnim sistemima, Institut za hidrotehniku Građevinskog fakulteta u Sarajevu, Sarajevo.
- [5] Đukić A., Vodni bilans u vodovodnim sistemima i metode kontrole gubitaka vode, Savjetovanje: Metodologija smanjenja gubitaka vode i povećanja efikasnosti vodovodnih sistema, Beograd 2010.
- [6] McKenzie, R., Wegelin, W. (2009). Implementation of Pressure Management in Municipal Water Supply Systems. IWA pres paper 0309.
- [7] McKenzie, R., Wegelin, W. (2010). Pressure Management in South Africa. Proceedings of the WISA Conference, Durban, South Africa.
- [8] Thornton, J. (2003). Managing leakage by managing pressure: a practical approach. Water 21, No. 43-44.
- [9] Farley M., Liemberger R., (2005). Developing a non-revenue water reduction strategy: planning and implementing the strategy, Water Science and Technology: Water Supply Vol. 5 No. 1 pp. 41-50, IWA Publishing.



## POUZDANOST ROTORNOG BAGERA ER-1250 17/1,5 PRIJE I NAKON REVITALIZACIJE

Vojin Vukotić<sup>1</sup>, Rajko Tanasijević<sup>2</sup>

*Rezime: Veliki tehnički proizvodni sistemi se razvijaju u zonama intenzivne eksploatacije mineralnih sirovina, a prate ih velika kapitalna ulaganja. U održavanju velikih tehničkih sistema, veoma značajnu ulogu predstavlja revitalizacija, tj. modernizacija opreme. Predmet istraživanja u ovom radu je da se odredi pouzdanost rotornog bagera ER-1250 17/1,5 prije i nakon revitalizacije.*

*Cljučne riječi: pouzdanost, rotorni bager, revitalizacija*

### **ANALYSIS OF THE EXISTING SITUATION AND FLOW REVITALIZATION OF BUCKET WHEEL EXCAVATOR ER-1250 17/15**

*Abstract: Great technical production systems are being developed in areas of intensive exploitation of mineral resources, followed by large capital investments. The maintenance of large technical systems, an important role is the revitalization, ie. Modernization of equipment. The research presented in this paper is to analyze the current state of the bucket wheel excavator ER-1250 17/1,5 with a proposal for rehabilitation, and to show the algorithm flow revitalization bucket wheel excavator.*

*Key words: analysis, revitalization, bucket wheel excavator*

## 1. UVOD

Dugo vremena održavanje tehničkih sistema se prikazivalo isključivo kao mjesto troškova, kao pomoćna, neproizvodna djelatnost u reproduktivnom lancu u preduzeću. Sa takvim stavom proizilazilo je mnoštvo problema, kao što su tehničko – tehnološki, ekonomski, organizacioni itd. Međutim, situacija u današnje vrijeme je dosta bolja, jer se danas u preduzećima o održavanju sve više govori i poklanja mu se veća pažnja.

Brz razvoj tehnike danas je učinio da društvo raspolaže sa mnoštvom tehničkih sistema, mašinama i uređajima koji se razlikuju po svojoj konstrukciji i nemjeni, a vrlo su zahtjevni u smislu održavanja.

Na svaki sistem, pa i na tehničke sisteme, djeluju razni poremećaji iz okruženja, koji sistem u određenom vremenskom periodu dovode do pojave stanja

<sup>1</sup> Doc. dr Vojin Vukotić, Trebinje, Fakultet za proizvodnju i menadžment Trebinje

<sup>2</sup> Mr Rajko Tanasijević, Trebinje, Fakultet za proizvodnju i menadžment Trebinje, rajko.raja@yahoo.com

neispravnosti. Da bi se te neželjene posljedice preduhitrile, potrebno je pratiti ponašanje tehničkih sistema u toku njihovog životnog vijeka. Pogotovo se to odnosi na velike složene tehničke sisteme, kao što su rotorni bageri.

Kod rotornih bagera od izuzetnog značaja je defektaža koja treba da posluži kao osnova za revitalizaciju (modernizaciju) opreme i konstrukcije u cilju povećanja raspoloživosti i pouzdanosti kako konstrukcije tako i opreme, zatim poboljšanja tehničkih karakteristika i sigurnijeg rada, kao i produžetka radnog (životnog) vijeka bagera i opreme.

Revitalizacija treba da obabzbedi odvijanje sigurne, stabilne i ekonomične eksploatacije uz [1]: minimiziranje troškova zbog zastoja u radu uslijed neplaniranih kvarova na opremi, produžavanje životnog vijeka postojeće opreme i samim tim smanjenje troškova proizvodnje, smanjenje troškova rada i materijala u proizvodnji koji nastaju uslijed povećanih kvarova i zastoja u procesu rada.

## **2. ROTORNI BAGER ER-1250 17/1,5**

### **2.1 Opis rotornog bagera**

Rotorni bager ER-1250 17/1,5 je vrlo složen tehnički sistem, sastavljen od mnoštva elemenata dijelova, sklopova i podsistema koji su tako uklopljeni da zadovolje određene funkcije bagera kao cjeline.

Rotorni bager ER-1250 17/1,5 predstavlja samohodnu mašinu kontinualnog dejstva namjenjenu za otkopavanje jalovine vedricama koje su ravnomjerno raspoređene i pričvršćene po obodu rotornog točka (najkarakterističiji konstruktivni dio bagera, po kome je i dobio ime) i korisne supstance na površinskim kopovima [2].

Ovaj bager spada u grupu: bagera za površinske kopove, pogon električni, jednomotorni pogon radnog točka i jednobrzinski radni točak, vedrice na rotornom točku sa zubima za kopanje, srednjeg teorijskog kapaciteta, sa normalnim specifičnim otporom kopanju, radi dubinski i visinski blok, ima gusjenični način kretanja, ima istovarni uređaj u obliku istovarne strijele, vješanje katarke putem užeta [3,4].

Na slici 1. je prikazan rotorni bager ER-1250 17/1,5 u završnoj fazi montaže, nakon revitalizacije.



Slika 1. Rotorni bager ER-1250 17/1,5 u završnoj fazi, nakon revitalizacije



Glavne tehničke karakteristike rotornog bagera ER-1250 17/1,5 su [3,4]:

- Teoretski kapacitet u rastresitoj masi 1600 (m<sup>3</sup>/h).
- Maksimalni težinski kapacitet 2300 (t/h).
- Dokazani kapacitet 480(m<sup>3</sup>/h).
- Broj vedrica 9 (kom.).
- Prečnik rotora po zubima vedrice 6,52 (m).
- Broj obrtaja rotora 8,5 (o/min).
- Snaga elektromotora pogona rotora 315 (kW).
- Širina trake transporterera 1200 (mm).
- Brzina kretanja trake utovarnog transporterera 4,32 (m/s).
- Brzina kretanja trake istovarnog transporterera 4,45 (m/s).
- Težina bagera (bez rezervnih dijelova) 690 (t).
- Visina otkopne etaže 17 (m).

### **3. REVITALIZACIJA I PRIPREMNI RADOVI ZA POČETAK REVITALIZACIJE**

#### **3.1. Revitalizacija**

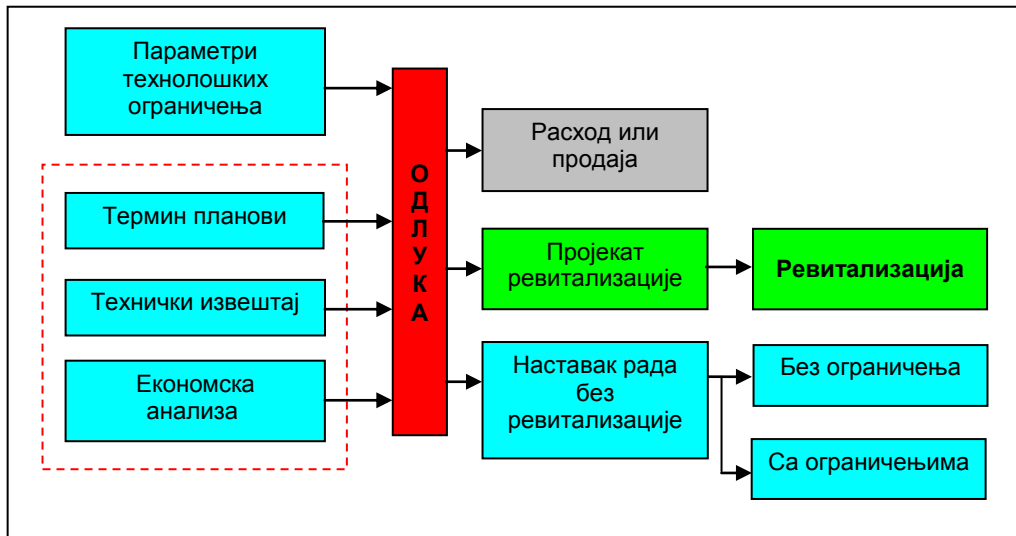
Revitalizacija je proces ili skup tehničkih zahvata na mašini kojom se vrši zamjena svih dotrajalih ili oštećenih dijelova metalne konstrukcije i njihova zamjena, kao i modernizacija zastarjele elektro – mašinske opreme [1,5].

Ona (revitalizacija) predstavlja veoma složen i kompleksan proces koji nije precizno definisan ni po obimu, ni po strukturi, niti su jasno definisane granice ovog procesa, naročito u odnosu na veće godišnje opravke. Složenost ovog procesa dolazi od složene strukture samog sistema kontinualnog otkopa (rotorni bager, samohodna traka, transporter sa trakom i odlagač), koji se sastoji iz određenog broja grupa gradnji, mašinske, elektro i druge opreme. Svaki dio može da ima neki svoj poseban vijek trajanja, tako da dijagrami koji pokazuju radni vijek svake pojedine cjeline imaju različite krive [1]. Ovaj problem se najbolje razjašnjava poslije demontaže i defektaže dijelova.

Jedan od bitnih uslova da bi se pristupilo revitalizaciji (modernizaciji) su i rokovi za izvođenje.

Prema [6] revitalizacija je održavanje onih veličina koje su značajne za mašinu kao cjelinu. Ovo može biti ili pojedinačna veličina ili set veličina koje se odnose na sljedeće oblasti [1]: otklanjanje defekta/oštećenja, produžavanje radnog vijeka, poboljšanje performansi, poboljšanje ekonomske efikasnosti, poboljšanje ergonomskih uslova, prevencija rizika, prilagođavanje radnim uslovima, prilagođavanje socijalnim standardima, prilagođavanje zakonskoj regulativi, povećanje bezbjednosti i sigurnosti za personal na mašini itd.

Da bi se pristupilo revitalizaciji potrebno je da se prethodno ocjene kako ekonomski tako i tehnički parametri za datu opremu, kao što je prikazano na slici 2.



Slika 2. Parametri za donošenje odluke o revitalizaciji [1]

Procesom revitalizacije vrši se zamjena ili opravka neispravnih elemenata (dijelova) i sagledavaju se svi nedostaci koji su se u manjoj ili većoj mjeri ispoljavali u prethodnoj eksploataciji rotornog bagera, a nakon revitalizacije raspoložemo saznanjem kakvom mašinom raspoložemo u narednom periodu, tj. znatno objektivnije bi sagledali radne sposobnosti mašine za naredni period eksploatacije [1,7].

### 3.2. Revitalizacija rotornog bagera ER-1250 17/1,5

U sklopu površinskog kopa „Gračanica“ rudnika „Gacko“, bager ER-1250 17/1,5 je bio u redovnoj eksploataciji na PK Gacko od 1979. godine i našao se na kraju radnog vijeka, jer je vremenski i kapacitivni koeficijent iskorišćenja došao ispod dozvoljenih granica [8].

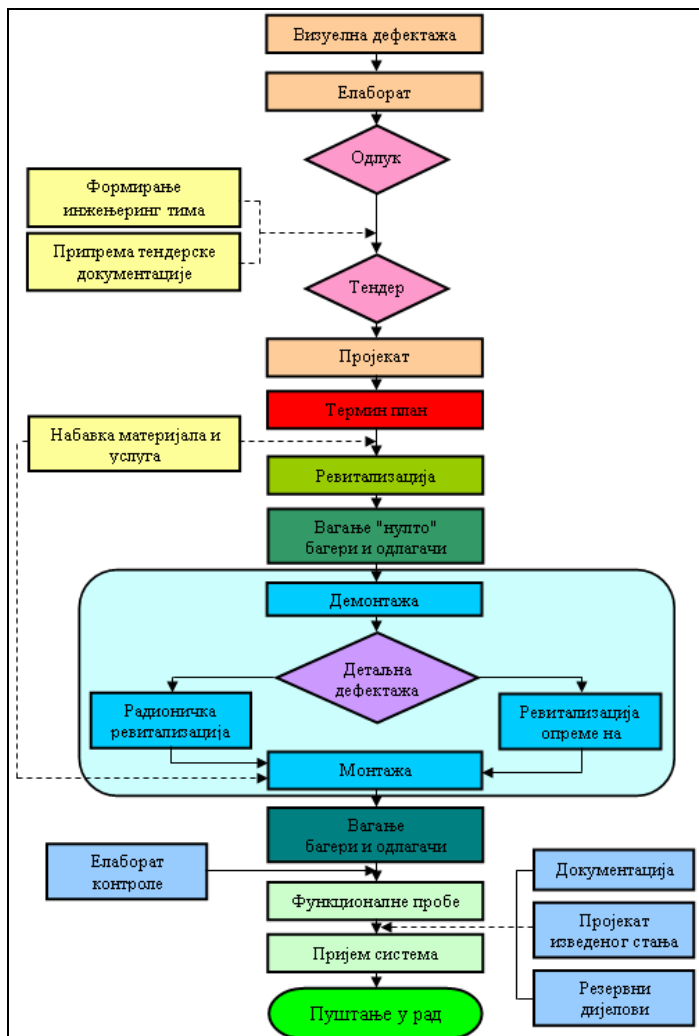
Krajem 2010. početkom 2011. godine menadžment rudnika „Gacko“ je bio u dilemi šta da radi sa bagerom ER-1250 17/1,5 čiji je radni vijek bio na isticanju. Najgore rješenje koje se tada moglo donijeti je bilo da se rotorni bager otpiše. Da bi se kupio novi rotorni bager iz ove klase bagera, on bi koštao znatno više od finansijskih sredstava neophodnih za revitalizaciju (oko pet puta), a rok nabavke i instaliranje novog bagera je oko tri ..., što je bilo neprihvatljivo u tom trenutku.

Tada je odlučeno da se pristupi revitalizaciji postojećeg bagera sa sljedećim ciljevima: povećanje raspoloživosti i pouzdanosti bagera, poboljšanje tehničkih karakteristika i sigurnost bagera i produženje radnog vijeka bagera [4].

Ovakav pristup podrazumijeva uključivanje novih i savremenih tehničkih rješenja, rekonstrukciju slabih i oštećenih mjesta uočenih na bageru tokom prethodne eksploatacije, kao i modernizovanje pogona i sklopova na bageru.

### 3.3. Pripremni radovi za početak revitalizacije rotornog bagera ER-1250 17/1,5

Da bi se projekat revitalizacije bagera ER-1250 17/1,5 odvijao efikasno i kvalitetno predložen je algoritam toka revitalizacije (slika 3) [9].



Slika 3. Algoritam toka revitalizacije rotornog bagera ER-1250 17/1,5

Navedene su sve aktivnosti koje treba da se sprovedu u toku samog procesa revitalizacije, kao i one što joj predhode. Takođe, navedene aktivnosti su posložene hronološki, što i podrazumijeva algoritamski prikaz, pregledno je prikazano šta od poslova predhodi a šta slijedi poslije konkretne aktivnosti.

#### 4. UPOREĐIVANJE REZULTATA ISTRAŽIVANJA FUNKCIJE POUZDANOSTI NA ROTORNOM BAGERU ER-1250 17/1,5 PRIJE I NAKON REVITALIZAVIJE

Jedan od najznačajnijih zadataka koji se stavlja pred svaki tehnički sistem, jeste njegova produktivnost. Produktivnost u znatnoj mjeri zavisi od pouzdanosti tehničkog sistema u ovom slučaju rotornog bagera ER-1250 17/1,5.

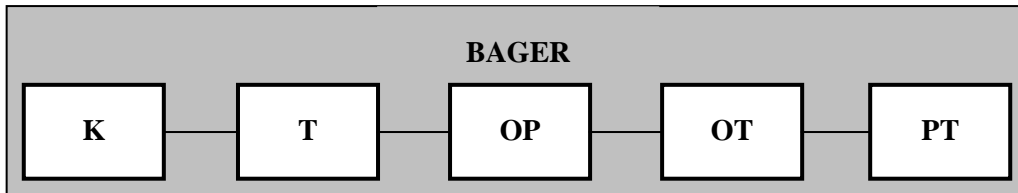
Poznato je da sa dužinom određenog vremenskog perioda pouzdanost rotornog bagera znatno opada. Nivo do koga se može dopustiti taj pad pouzdanosti zavisi od mnogo faktora: nivoa logistike, usvojene strategije održavanja, ekonomskih mogućnosti, itd.

Dužina perioda rada rotornog bagera do tako definisanog nivoa zavisi od brzine opadanja nivoa pouzdanosti. Ako je ta brzina opadanja manja, tj. ako kriva pouzdanosti sporije opada rotorni bager je kvalitetniji u odnosu na slučaj kad kriva pouzdanosti brže opada.

Kako je rotorni bager dosta složen i komplikovan tehnički sistem, time je integralno istraživanje pouzdanosti veoma složen i komplikovan zadatak. Zbog toga se u ovom radu izvršilo pojednostavljivanje bagera kao sistema u odgovarajuće podsisteme koji su bitni sa aspekta razmatranja pouzdanosti.

Tokom istraživanja je utvrđeno da su se kod sljedećih podsistema identifikovali i pratili otkazi za: podsistem kopanja (K), podsistem transporta (T) podsistem obrtne platforme (OP), podsistem odlagajućeg transportera (OT) i podsistem prijemnog transportera (PT). Ostali podsistemi nisu uzimani u razmatranje, jer kod njih nisu indentifikovani otkazi, pa je pouzdanost tih podsistema jednaka jedinici, i zbog toga ne utiču na ukupnu pouzdanost rotornog bagera.

Na slici 4. je prikazana šema strukture rotornog bagera ER-1250 17/1,5 kao sistema [3,4], sastavljenog od prethodno navedenih podsistema.



Slika 4. Šema strukture rotornog bagera ER-1250 17/1,5 kao sistema

Sa slike 4. se vidi da rotorni bager ima rednu vezu između navedenih podsistema. Ako otkaze bilo koji od podsistema dolazi do zastoja cjelokupnog sistema, tj. rotornog bagera.

Na osnovu ponašanja svakog od podsistema a na bazi dnevnih izvještaja o zastojima (prije i nakon revitalizacije), formirana je vremenska slika stanja (na osnovu broja pojava „stanja u radu“ i „stanja u otkazu“) za svaki podsistem rotornog bagera. Evidenciju tih podataka je vodila dispečerska služba rudnika „Gacko“.

Pokazatelji pouzdanosti su izračunati pomoću sljedećih izraza:

- Srednje vrijeme u radu:  $\overline{T_{ur}} = \frac{1}{n_r} \sum_{i=1}^n t_{uri}$
- Srednje vrijeme u otkazu:  $\overline{T_{uo}} = \frac{1}{n_o} \sum_{i=1}^m t_{uo_i}$
- Koeficijent spremnosti:  $K_s = \frac{\overline{T_{ur}}}{\overline{T_{ur}} + \overline{T_{uo}}}$

▪ Koeficijent kvara: 
$$K_K = \frac{\sum_{i=1}^n t_{uoi}}{T_{ur}}$$

gdje je:

$n_r$  - broj intervala u radu,

$t_{uri}$  - dužina trajanja  $i$  - tog intervala u radu,

$n_0$  - broj intervala u otkazu,

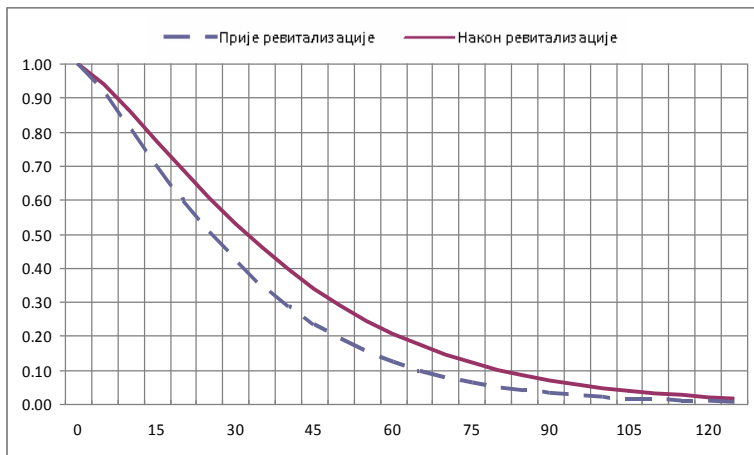
$t_{u0i}$  - dužina trajanja  $i$  - tog intervala u otkazu.

Na osnovu formiranih vremenskih slika stanja za svaki od pet pomenutih podsistema u okviru rotornog bagera ER-1250 17/1,5, te na osnovu navedenih izraza za srednje vrijeme u radu, srednje vrijeme u otkazu, koeficijenta spremnosti i koeficijenta kvara, izračinati su parametri pouzdanosti za navedene podsisteme rotornog bagera prije i nakon revitalizacije. To je urađeno pomoću programskog paketa Microsoft Excel.

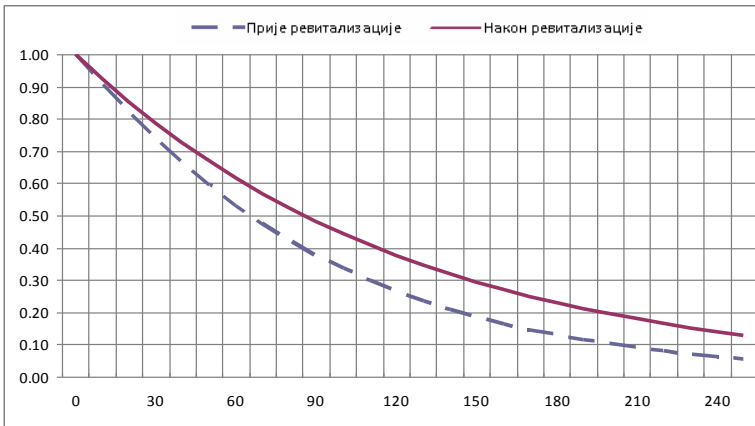
Za izračunavanje funkcije pouzdanosti koristio se dvoparametarski Weibulov zakon raspodjele. Funkcije pouzdanosti navedenih podsistema izračunate su pomoću

izraza: 
$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

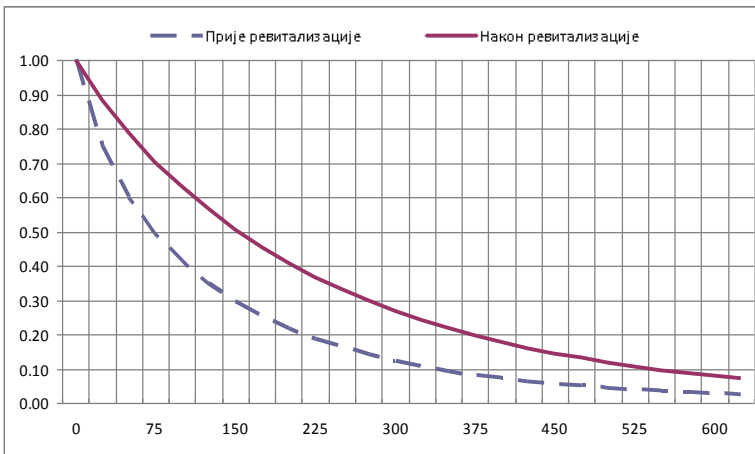
Na slikama 5 - 9 su prikazane funkcije pouzdanosti posmatranih podsistema prije i nakon revitalizacije, tj. na dijagramima je prikazano upoređivanje funkcija pouzdanosti posmatranih podsistema prije i nakon revitalizacije [3,4].



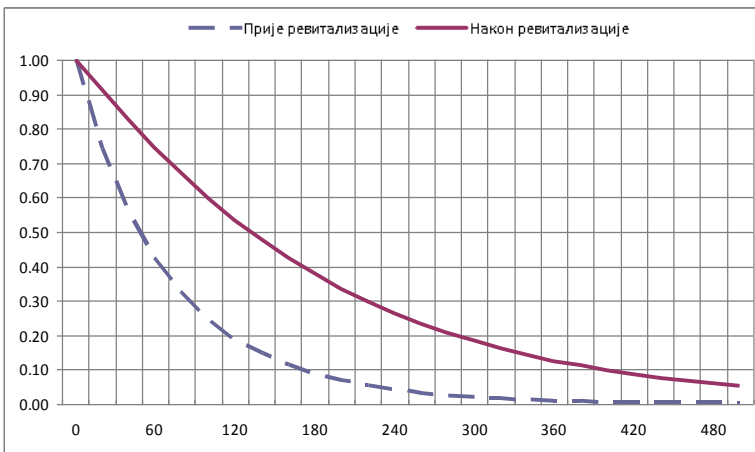
Slika 5. Funkcija pouzdanosti podsistema kopanja prije i nakon revitalizacije



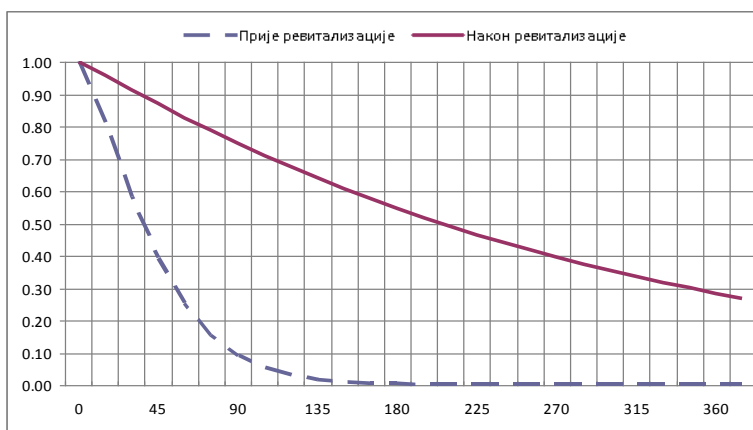
Slika 6. Funkcija pouzdanosti podsistema transporta prije i nakon revitalizacije



Slika 7. Funkcija pouzdanosti podsistema obr. platforma prije i nakon revitalizacije



Slika 8. Funkcija pouzdanosti podsistema odl. transport prije i nakon revitalizacije



Slika 9. Funkcija pouzdanosti podsistema pri. transport prije i nakon revitalizacije

Sa slika 5-9 vidimo da funkcija pouzdanosti prije revitalizacije dosta brže opada, što znači da rotorni bager relativno brzo gubi svojstvo radne sposobnosti, dok nakon revitalizacije, kao što se vidi na prikazanim slikama, funkcija pouzdanosti dosta sporije opada, a to znači da rotorni bager sporije gubi svojstvo radne sposobnosti.

Na osnovu navedenog može se zaključiti da se pouzdanost rotornog bagera povećava kad se izvrši revitalizacija istog.

## 5. ZAKLJUČCI

U sklopu provedenih istraživanja na rotornom bageru ER-1250 17/1,5 koji je u eksploataciji na površinskom kopu „Gračanica“ u sklopu rudnika „Gacko“ izvršeno je istraživanje na rotornom bageru sa ciljem da se kod istog odredi pouzdanost prije i nakon revitalizacije.

Osnovni cilj ovog rada je bio da prikaže pouzdanost rotornog bagera prije i nakon revitalizacije, i da se utvrdi da li se nakon revitalizacije pouzdanost bagera povećava.

Na osnovu provedenih istraživanja mogu se donijeti sljedeći zaključci:

- Velike i složene tehničke sisteme, a koji su skupi, ne treba nikada olako otpisivati iz proizvodnje na kraju projektovanog radnog vijeka. Radni vijek takvih sistema, može se produžiti primjenom revitalizacije, kao što je to postignuto na rotornom bageru ER-1250 17/1,5.
- Jednu od osnovnih karakteristika pri pristupanju revitalizaciji, predstavlja analiza postojećeg stanja bagera i pripremni radovi za početak revitalizacije sa algoritmom toka revitalizacije.
- Nakon revitalizacije raspolaže se znanjem kakvom mašinom raspolažemo u narednom periodu sa aspekta pouzdanosti i produktivnosti.
- Iako se postižu dobri rezultati, proces revitalizacije nije precizno definisan ni po obimu, ni po strukturi, niti su jasno definisane granice ovog procesa.
- Dokazano je obavljenim istraživanjem da su parametri pouzdanosti bagera znatno veći nakon revitalizacije.

## LITERATURA

- [1] Daničić D., Kovačev S., Pantelić M. (2010). *Model organizovanja procesa revitalizacije mašinske i elektro opreme na kontinualnim sistemima površinskog kopa Gračanica Gacko*, OMC 2010., Zbornik radova, IX Međunarodna naučna konferencija o površinskoj eksploataciji, Vrnjačka Banja, 20-23. oktobar.
- [2] Игњатовић Д. (2009). *Машине за површинску експлоатацију*, Скрипта за студенте Рударског одсека, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, Београд.
- [3] Vukotić V., Tanasijević R. (2014). *Revitalizacija i pouzdanost rotornog bagera ER-1250 17/1,5*, Časopis Tehnika br. 1, Beograd.
- [4] Tanasijević R. (2014). *Prilog istraživanju revitalizacije velikih tehničkih sistema sa ciljem produženja radnog vijeka na primjeru rotornog bagera ER-1250 17/1,5*, Završni rad na drugom ciklusu studija, Fakultet za proizvodnju i menadžment Trebinje.
- [5] Daničić D. (2004). *Metodologija ispitivanja konstrukcije bagera u cilju utvrđivanja stanja za njihovu revitalizaciju*, magistarska teza, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.
- [6] Manfred M.: *Refurbishment of opencast mine equipment*, Theoretical Discourse and Case Studies.
- [7] Ignjatović D., Maneski T., Laković D., Daničić D. (2003). *Revitalizacija kapitalne mašinske opreme na površinskim kopovima Srbije, Mineralno sirovinski kompleks Srbije i Crne Gore na razmeđu dva milenijuma*, Monografija, Beograd.
- [8] Vukotić V., Čabrilo D. (2013). *Reinženjering mašinske opreme na rotornom bageru ER-1250/17 na rudniku „Gacko“*, Simpozijum na Jahorini.
- [9] Kolubara Metal (2011). *Elaborat revitalizacije mašinske i elektro opreme na kontinualnim sistemima PK „Gračanica“*, Gacko, Vreoci.



# COMET<sub>a</sub> 2014

2nd INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

2nd - 5th December 2014  
Jahorina, B&H, Republic of Srpska



University of East Sarajevo  
Faculty of Mechanical Engineering  
Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications

---

## ***STUDENT PAPERS***





## **MJERENJE BUKE FONOMETROM U CNC LABORATORIJI MAŠINSKOG FAKULTETA U ISTOČNOM SARAJEVU**

**Mihailo Radojičić<sup>1</sup>, Aleksija Đurić<sup>2</sup>, Nikola Vučetić<sup>3</sup>**

*Rezime: Kroz ovaj rad biće predstavljeni osnovni principi mjerenja i analize buke pomoću fonometra danskog proizvođača Bruel&Kjaer u CNC laboratoriji Mašinskog fakulteta u Istočnom Sarajevu. Ispitivana je buka koju proizvodi CNC obradni centar u praznom hodu, zatim buka koja nastaje pri obradi materijala i buka koju proizvodi sam motor mašine. Cilj je prikazati primjenu fonometra i ispitati da li je buka koju proizvodi odabrana mašina u dozvoljenim granicama, odnosno da li ima štetna dejstva na čovjeka. Rezultati su dati pomoću tabele, dok je diskusija objašnjena tekstualno. Jedan ovakav rad ima značaj jer praktično pokazuje široku primjenu fonometra, a data mjerenja potvrđuju da je buka u laboratoriji nema štetnih dejstava na studente i osoblje fakulteta.*

*Cljučne riječi: buka, CNC obradni centar, fonometar*

## **THE NOISE MEASUREMENT USING SOUND LEVEL METER IN CNC LABORATORY OF FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING IN EAST SARAJEVO**

*Abstract: In this paper will be present basic principles of measurement and analysis of noise using sound level meter Danish manufacturer Bruel & Kjaer in CNC laboratories of Mechanical Engineering in East Sarajevo. There will be tested noise produced by CNC machine at idle, then the noise that occurs when processing materials and the noise that is produced by the CNC engine itself. The main aim is to show the appliance of phonometer and to examine whether the noise produced by the selected machine within allowed limits, or whether it has harmful effects on humans. The results are presented with tables, while discussion will be explained with text. A work like this is very important because it practically shows us the wide appliance of photometers, while already given measurements shows us that the noise in the lab doesn't have any harmful effects on students and personnel.*

*Key words: noise, CNC lathe, sound level meter*

<sup>1</sup> Mihailo Radojičić, Mašinski fakultet Istočno Sarajevo, Istočno Sarajevo, bbaatto@gmail.com

<sup>2</sup> Aleksija Đurić, Mašinski fakultet Istočno Sarajevo, Istočno Sarajevo, aleksijadjuric@gmail.com

<sup>3</sup> Nikola Vučetić, Mašinski fakultet Istočno Sarajevo, Istočno Sarajevo, vuceticnikola@yahoo.com

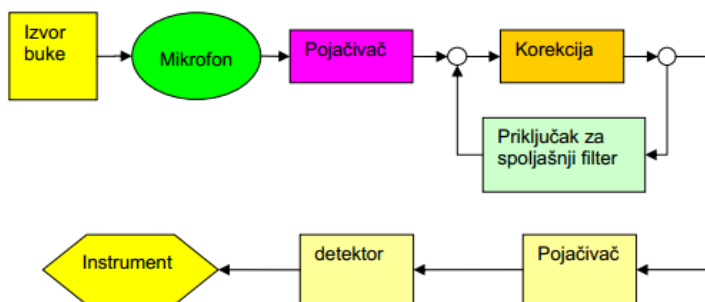
## 1. UVOD

Buka je specifični oblik zagađenja u savremenom svijetu. Sa fizičkog aspekta buku čini svaki zvuk jačeg intenziteta. Zvuk je fizička pojava koja nastaje usljed vremenski promjenjivih mehaničkih poremećaja stacionarnog stanja elastične sredine. Vremenska zavisnost poremećaja je ključni uslov za nastajanje zvuka i pratećih pojava. Preduslov za pojavu zvuka je postojanje elastične sredine, odnosno čestica koje osciluju i učestvuju u pojavi kretanja svojom inercijom i postojanje unutrašnjih elastičnih sila koje teže da čestice elastične sredine vrate u početno stanje kakvo je bilo pre poremećaja. Promjene položaja čestica usljed pojave zvuka, odnosno vremenski promjenjivih mehaničkih poremećaja, predstavljaju zvučne oscilacije koje su praćene promjenama pritiska i gustine elastične sredine oko njihovih ravnotežnih vrednosti. Zvuk može djelovati umirujuće i prijatno, ali može i izazivati buku. Ocjena da li je neki zvuk buka ili nije, sasvim je subjektivna: ono što je jednom čovjeku buka, to nekom drugom ne mora biti, iako se radi o istom zvuku. Pod određenim uslovima čak i relativno tihi zvuci mogu da predstavljaju buku, tako da ona sadrži pored fizičkih i psihološke, tj subjektivne elemente [1].

Po definiciji sa subjektivnog aspekta buka je svaki neželjeni zvuk. To znači da svaka zvučna pojava (zujanje, šum, galama, lupa, govor i sl.) koja ometa rad ili odmor predstavlja buku. Buka je naročito posljednjih decenija, jedan od osnovnih uzroka kompleksnog oštećenja zdravlja.

Dokazano je da buka djeluje negativno na neurovegetativni i endokrini sistem i te se promjene manifestuju povećanom nervnom napetosti, a napetost uzrokuje poremećaj cirkulacije, što ima za posljedicu porast pritiska i usporavanje rada probavnih organa. Takođe se javljaju i psihičke smetnje kao što su smanjenje koncentracije, posebno kod diskontinuirane buke. Takođe se javlja razdražljivost, osjećaj umora, često i pospanost, posebno ako je Buka ritmična. Ovakve psihičke smetnje mogu se odraziti na preciznost obavljanja radnji, pravljenja grešaka, broj ozljeda i drugo.

Danas je u upotrebi veoma širok dijapazon mjernih instrumenata namijenjenih za mjerenje parametara buke u amplitudnom, vremenskom i frekvencijskim domenu. Iako mjerni instrumenti mogu biti po prirodi veoma različiti (analogni, digitalni ili zasnovani na softverskom rešenju), u suštini se svaki mjerni sistem sastoji iz nekoliko osnovnih karika prikazanih na slici 1.



Slika 1. Shema mjerača buke [2]

Mjerenje buke fonometrom biće predstavljeno i u ovom radu za konkretan slučaj obrade CNC mašinom. Značaj mjerenja ogleda se u utvrđivanju nivoa buke kako bi se preduzele određene mjere zaštite ukoliko je buka iznad dozvoljenih odnosno optimalnih vrijednosti.

## 2. DOZVOLJENI NIVOI BUKE

Najviši dopušteni ekvivalentni nivoi buke određeni su prema namjeni područja i dati su u tabeli 1 [3].

Tabela 1. *Maksimalno dozvoljeni nivoi buke s obzirom na vrstu radova [3]*

R. br.	Opis posla	Najviši dopušteni nivo buke $L_{A, eq}$ u dB(A)	
		(a)*	(b)*
1	Najzahtjevniji umni rad, vrlo velika koncentracija, rad vezan za veliku odgovornost, najsloženiji poslovi upravljanja i rukovođenja	45	40
2	Pretežno umni rad koji zahtijeva koncentraciju, kreativno razmišljanje, dugoročne odluke, istraživanje, projektovanje, komuniciranje sa grupom ljudi	50	40
3	Zahtjevniji kancelarijski poslovi, ordinacije za liječenje, dvorane za sastanke, školska nastava, neposredno govorno i/ili telefonsko komuniciranje	55	45
4	Manje zahtjevni kancelarijski poslovi, pretežno rutinski umni rad koji zahtijeva koncentraciju ili neposredno govorno i/ili telefonsko komuniciranje, komunikacijske centrale	60	50
5	Manje zahtjevni i uglavnom mehanizovani kancelarijski poslovi, prodaja, vrlo zahtjevno upravljanje sistemima, fizički rad koji zahtijeva veliku pažnju i koncentraciju, zahtjevni poslovi montaže	65	55
6	Pretežno mehanizovani kancelarijski poslovi, zahtjevno upravljanje sistemima, upravljačke kabine, fizički rad koji zahtijeva stalnu koncentraciju, rad koji zahtijeva nadzor sluhom, rad koji se obavlja na temelju zvučnih signala	70	60
7	Manje zahtjevni fizički poslovi koji zahtijevaju koncentraciju i oprez, manje zahtjevno upravljanje sistemima	75	65
8	Pretežno rutinski fizički rad sa zahtjevom na tačnost, praćenje okoline slušanjem	80	65

a) nivo buke na radnome mjestu koja potiče od proizvodnih izvora

b) nivo buke na radnome mjestu koja potiče od neproizvodnih izvora (ventilacija, klimatizacija, promet i dr).

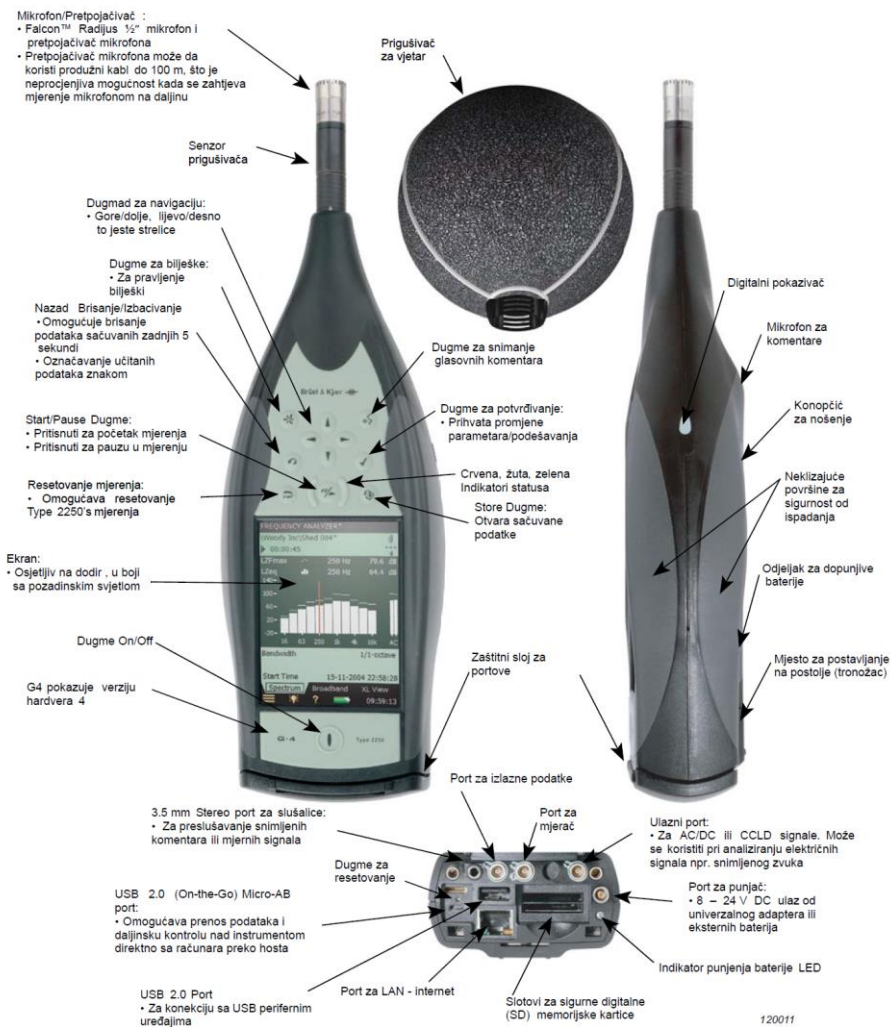
S obzirom da se buka mjeri u laboratoriji i da su poznati izvori iste može se zaključiti da je za taj slučaj potrebno posmatrati kolonu a) iz tabele 1.

## 3. METODE MJERENJA I INSTRUMENT ZA MJERENJE BUKE

Mjerenje intenziteta ukupnog ekvivalentnog nivoa buke, izvršeno je na definisanim mjernim tačkama (M1, M2 i M3), a normiranje izvršeno u skladu sa pravilnikom o dozvoljenim granicama intenziteta zvuka.

### 3.1 Podaci o mjernom instrumentu i opremi

Nivo buke je mjereno instrumentom fonometar - prenosni analizator koji posjeduje laboratorija za primjenjenu mehaniku i mehatroniku Mašinskog fakulteta u Istočnom Sarajevu (slika 2). Proizvođač fonometra je Danska firma Bruel & Kjaer, a tip uređaja je 2250 Light. Mikrofon koji se nalazi na uređaju je takođe proizveden od strane firme Bruel & Kjaer, a njegov tip je 4189.



Slika 2. Fonometar tipa 2250 [4]

Prenosni analizator tip 2250 podržava veliki broj programskih modula za različite vrste mjerenja: mjerenje ternih i oktavnih spektara, prikupljanje podataka sa vremenskim profilom buke (logging), snimanje zvučnog zapisa mjenenog signala, mjerenje vremena reverberacije, građevinska akustika, FFT analiza, itd. Različite kombinacije programskih modula i napredni hardver instrumenta omogućavaju precizna i pouzdana mjerenja u životnoj i radnoj sredini ali i u industrijskom okruženju.

### **3.2 Mjerne tačke**

Mjerenja su vršena u novoj laboratoriji za mašine alatke i CIM sisteme Mašinskog fakulteta u Istočnom Sarajevu, a mjerenja je buka koju proizvodi CNC obradni centar (slika 3). Poznato je da se pri obradi metala veoma često koristi uzdužno grubo struganje za koje se predpostavlja da proizvodi veću buku u odnosu na fino struganje. Shodno tome odlučeno je da se mjeri taj nivo buke, te da se on uporedi sa bukom mašine koju ona proizvodi u praznom hodu. Pored navedenog još je vršeno mjerenje buke i samog motora mašine alatke nakon završetka procesa rezanja. Dakle, buka je mjerena u tri karakteristične tačke:

- Mjerna tačka M1 - fonometar se nalazio na udaljenosti 19 mm od zaštitnog stakla CNC mašine koja je izvodila prazan hod po prethodno definisanom programu obrade,
- Mjerna tačka M2 - fonometar se nalazio na udaljenosti 19 mm od zaštitnog stakla CNC mašine koja je rezala aluminijum prečnika  $\Phi=55$  mm. Režimi rezanja za uzdužno grubo struganje na dužinu  $L=100$  mm kojim je vršena obrada su  $s=180$  o/min i  $F=0.1$  mm,
- Mjerna tačka M3 - fonometar se nalazio na udaljenosti 30 mm od motora CNC mašine alatke, a ovaj slučaj mjerenja izveden je nakon samog procesa rezanja za miran rad mašine.



*Slika 3. Prikaz mjernog mjesta i fonometra*

## **4. REZULTATI I DISKUSIJA**

U ovom radu buka će biti izražena samo preko ekvivalentnog nivoa buke  $L_{Aeq}$ , kojeg fonometar automatski očitava. Rezultati dobijenog mjerenja prikazani su u tabeli 2. Ukupno vrijeme mjerenja sa pauzama i priprema iznosilo je 8 minuta.

Tabela 2. Rezultati mjerenja nivoa buke

Mjerno mjesto	Datum i vrijeme mjerenja	Leq(dBA)
M1	24.10.2014 t=20 s	62.5
M2	24.10.2014 t=trajanje obrade	77
M3	24.10.2014 t=1 min	68.5

Na osnovu prethodno predstavljenih rezultata može se vidjeti da buka ni u jednom slučaju ne utiče štetno na zdravlje ljudi. Kao što je i očekivano, najveći nivo buke izmjeren je za mjernu tačku M2, tj. pri obradi aluminijuma. Kako nivo buke koji je najveći izmjereni ne prelazi 80 dB, a veći je od 75 dB, pa posao opsluživanja CNC obradnog centra pripada koloni 8 tabele 1, odnosi se na pretežno rutinski fizički rad sa zahtjevom na tačnost, praćenje okoline slušanjem.

## 5. ZAKLJUČAK

U ovom radu izvršili smo mjerenje buke CNC obradnog centra i njegovog pogonskog elektromotora za tri različita načina rada pomoću fonometra (prenosni analizator Tip 2250). Mjerenje je izvršeno u skladu sa propisanim načinom mjerenja. Osnovni cilj mjerenja je bio da ustanovimo da li izmjereni ekvivalentni nivoi buke prelaze dozvoljene vrijednosti propisane pravilnikom i da se pokaže značaj primjene fonometra na konkretnom primjeru.

Na osnovu izmjerenih vrijednosti nivoa buke zaključeno je u skladu s pravilnikom da ti nivoi ne prelaze optimalne vrijednosti, odnosno da nemaju negativan uticaj na čovjeka u neposrednoj okolini mašine. Ovo mjerenje izvršeno je samo za slučaj uzdužne obrade aluminijuma i ne može se generalno posmatrati nivo buke koji se može proizvesti u laboratoriji. Da bi se metodom generalizacije potpuno odredili nivoi buke potrebna su dugoročna i detaljna mjerenja što će biti predmet budućeg istraživanja.

## LITERATURA

- [1] Fizički parametri radne i životne sredine, <http://www.znrfak.ni.ac.rs/>
- [2] Zaimović Uzunović, N. (2006). Mjerna tehnika, *Univerzitet u Zenici, Mašinski fakultet Zenica*.
- [3] Pravilnik o najvećim dopuštenim razinama buku u sredini u kojoj ljudi rade i borave <http://www.propisi.hr/print.php?id=255>, 20.10.2014.
- [4] Bruel & Kjaer (2012). Technical Documentation, *Hand-held Analyzers Types 2250 and 2270, User Manuel*.





## MOGUĆNOST ISKORIŠĆAVANJA ENERGIJE SUNCA PRIMJENOM FOTONAPONSKIH PANELA U BOSNI I HERCEGOVINI

Ratko Joksimović<sup>1</sup>

*Rezime: Električna energija je postala neizostavan dio života. Skoro svi kućanski uređaji, industrijske mašine, rasvjeta i drugi električni sistemi koriste električnu energiju. Najveće učešće u svjetskoj proizvodnji električne energije pripada termoelektranama koje koriste fosilna goriva. Zbog ograničenosti korišćenja fosilnih goriva i brzorastuće potrošnje energije, a paralelno i opasno rastućeg ekološkog zagađenja planete, nastoji se na porastu korišćenja obnovljivih izvora energije. Jedan od najperspektivnijih izvora obnovljive energije jeste energija Sunca. Posebna pažnja se posvećuje na tehnologiju pretvaranja energije Sunca u električnu energiju uz pomoć solarnih ćelija (fotonaponski paneli). U radu su prikazane karakteristike elemenata fotonaponskog sistema. Bosna i Hercegovina je veoma perspektivna kada je riječ o mogućnosti iskorišćavanja Sunčevog zračenja. Rad, takođe, sadrži tabelarni prikaz proizvodnje električne energije u deset gradova BiH primjenom fotonaponskih panela instalirane snage od 1kW.*

*Ključne riječi: Energija Sunca, električna energija, fotonaponski panel, solarna ćelija*

### **THE POSSIBILITY OF USING SOLAR ENERGY WITH PHOTOVOLTAIC PANELS IN BOSNIA AND HERZEGOVINA**

*Abstract: Electrical energy has become an indispensable part of life. Almost all household products, industrial machines, lighting and other electrical systems use electrical energy. The largest share in production of electricity belongs to thermal power stations that use fossil fuels. Because of the limited use of fossil fuels and a rapidly growing energy demand and on the other side a dangerously increasing environmental pollution of the planet, people seek to increase the use of renewable sources of energy. One of the most promising renewable sources of energy is the energy of the Sun. Special attention is given to the technology of converting solar energy into electrical energy by means of solar cells (photovoltaic panels). This paper describes the characteristics of the elements of the photovoltaic system. Bosnia and Herzegovina is very promising when it comes to the possibilities of utilization of solar radiation. This paper also contains a tabulation of electricity production in ten cities of Bosnia and Herzegovina by applying photovoltaic panels with the installed power of 1 kW.*

*Key words: solar energy, electrical energy, photovoltaic panel, solar cell*

<sup>1</sup> Student, Ratko Joksimović, Istočno Sarajevo, Mašinski fakultet Istočno sarajevo, joxim92@gmail.com

## 1. UVOD

Fotonaponski sistemi imaju brojne prednosti kao što su: Sunčeva energija je besplatna i praktički neiscrpna, tehnologija pretvaranja energije je čista, moguće je napajanje potrošača na mjestima gdje nema izgrađenog elektroenergetskog sistema, karakteriše je visoka pouzdanost i mali pogonski troškovi, a osigurava se dugogodišnji vijek trajanja fotonaponskih modula (>25 godina). Nedostatci fotonaponskog sistema su ti što proizvodnja zavisi od osunčanosti, potrebne su velike površine za veće elektrane, tehnologija pretvaranja Sunčeve energije u električnu energiju je još uvijek skupa, a sve to uz malu efikasnost. Snaga zračenja koja dopire do Zemljine površine, a koja bi se mogla iskoristiti, mijenja se tokom dana i godine, a zavisna je i od položaja površine na koju dolazi zračenje. Prema istraživanjima, potencijali solarne energije u BiH su 70,5 miliona GWh godišnje (EVD, 2009). BiH se nalazi u južnoj zoni i ima odlične uslove za iskorišćavanje solarne energije. [6]

## 2. O SUNCU

Sunce je Zvijezda u centru našeg Sunčevog sistema. Životni vijek ove Zvijezde je oko 10 milijardi godina, a budući da je Sunce staro oko 5 milijardi godina, nalazi se u središtu svog životnog ciklusa. U središtu Sunca u termonuklearnim reakcijama vodonik se pretvara u helijum. Oslobođena energija biva izračena sa Sunčeve površine u obliku elektromagnetnog zračenja i neutrina, te u manjim dijelovima kao kinetička i toplotna energija čestica Sunčevog vjetra i energija Sunčevog magnetnog polja. Sunce se izdvaja od ostalih Zvijezda zbog toga što je bogato teškim elementima i metalima (zlato i uranijum). [2]

### 2.1 Osnovne karakteristike o Suncu

Hemijski sastav Sunca je  $\frac{3}{4}$  vodonika, 24% helijuma i 2% zauzimaju svi ostali elementi. Osnovni fizički podaci o Suncu su dati u tabeli 1.

Table 1. Osnovni podaci o Suncu

Poluprečnik	$6,69 \cdot 10^5 \text{ km}$
Masa	$1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
Prosječna gustina	$1,411 \text{ kg/m}^3$
Ukupna snaga	$3,86 \cdot 10^{26} \text{ W}$
Površinska temperatura	$5800 \text{ }^\circ\text{C}$

## 3. SUNČEVO ZRAČENJE

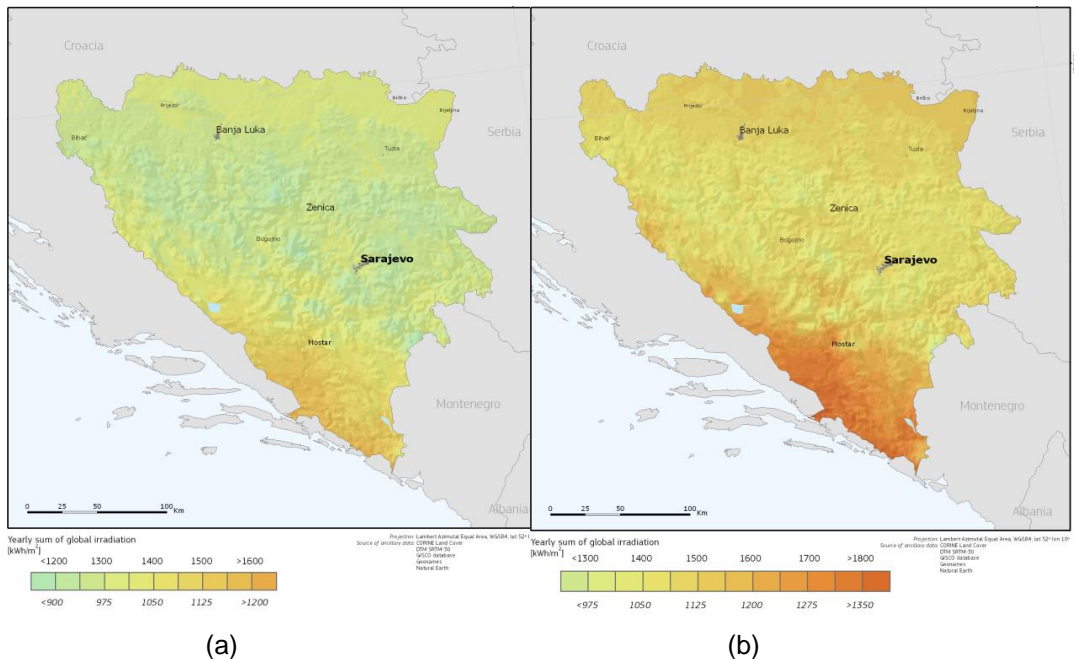
Pri prolazu kroz atmosferu jedan dio Sunčeva zračenja apsorbiraju gasovi (kiseonik, vodena para, ugljen dioksid), jedan dio se reflektuje (na molekulima plinova, česticama prašine), a jedan dio se reemituje. Prema tome smanjenje energije direktnog Sunčevog zračenja pri prolasku kroz atmosferu zavisi od atmosferskih prilika (vedro, poluoblačno, oblačno), od zagađenosti atmosfere i od nadmorske visine. [2]

Količina solarne energije koja dođe do površine zavisi od lokacije na površini. Prolaskom kroz Zemljinu atmosferu Sunčeva energija se apsorbiruje i samo preostali dio padne po  $1\text{m}^2$  Zemljine površine.

### 3.1 Sunčevo zračenje na nagnutu ploču

Sunčevo zračenje na nagnutu ploču se sastoji iz direktne i raspršene komponente kao i od zračenja reflektovanog od okolnih površina. Direktno Sunčevo zračenje je ono zračenje koje dolazi do nagnute ploče direktno iz prividnog smjera Sunca. Raspršeno zračenje predstavlja zračenje koje nastaje raspršenjem Sunčevih zraka u atmosferi i dolazi na ploču iz svih smjerova [1].

Ploča (fotonaponski panel) se postavlja pod optimalnim uglom kako bi se energija Sunca koja dolazi do fotonaponskog panela što više iskoristila za dobijanje električne energije. Optimalni ugao varira tokom cijele godine, minimalan je u zimskom periodu, dok je maksimalan u ljetnom periodu. Za Bosnu i Hercegovinu godišnji optimalni ugao je od 32°-36°. Pri ovom uglu, kod fiksni prijemnika, iskorišćenje je najveće. Postoje značajne razlike solarnog zračenja na horizontalno postavljen fotonaponski panel i fotonaponski panel postavljen pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalu. Slika 1 (a) i (b) prikazuju razliku u solarnom zračenju na horizontalnu površinu i površinu pod optimalni uglom. Prema dostupnim podacima Sunce godišnje preda, na 1m<sup>2</sup> horizontalne ploče, na sjeveru BiH oko 1.240 kWh energije, a na jugu zemlje oko 1.600 kWh energije [6].



Slika 1 – Karta BiH sa solarnim zračenjem na (a) horizontalnu površinu i (b) nagnutu površinu

Pored postavljanja fotonaponskog panela pod optimalni ugao, solarno zračenje se može povećati i korišćenjem prijemnika sa mogućnošću praćenja pozicije Sunca (slika 2).



Slika 2. Fotonaponski panel sa mogućnošću praćenja pozicije Sunca [1]

Sistemi koji imaju mogućnost praćenja pozicije Sunca imaju veću efikasnost nego fiksni sistemi, međutim, i ovi sistemi imaju svojih nedostataka, kao što su:

- Poskupljuju instalaciju,
- Otežavaju održavanje,
- Povećavaju masu samog sistema.

#### 4. PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U GRADOVIMA BIH PRIMJENOM FOTONAPONSKIH PANELOVA

Korišćenjem PVGIS baze podataka dobija se tabelarni i grafički prikaz proizvodnje električne energije na mjesečnom i godišnjem nivou primjenom kristalnih Si ćelija, pod optimalnim uglom fiksnih panela. Baza (slika 3) se koristi tako što se unese lokacija fotonaponskih panela, tj. geografska širina i dužina, podaci o panelu, materijal ćelija, iskorišćenje, snaga instaliranih fotonaponskih panela je 1kW. Dobijeni podaci za deset gradova iz BiH su tabelarno prikazani u tabeli 2.

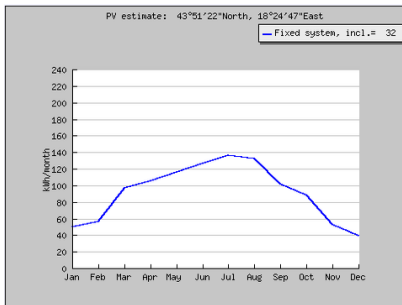
Slika 3. Izgled PVGIS baze podataka

Tabela 2. Prikaz proizvodnje električne energije

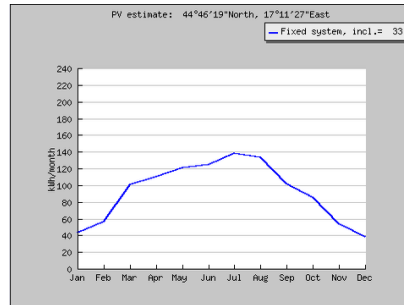
Gradovi	$E_m$ (kWh)	$E_g$ (kWh)	Optimalni ugao (°)
Sarajevo	92	1100	32
Banja Luka	92,3	1110	33
Brčko	95,5	1145	33

Gradovi	$E_m$ (kWh)	$E_g$ (kWh)	Optimalni ugao (°)
Bijeljina	95,9	1150	33
Doboj	92,8	1115	33
Mostar	107	1290	35
Prijedor	94,5	1130	33
Tuzla	89,9	1080	32
Zenica	92,6	1110	32
Trebinje	114	1360	34

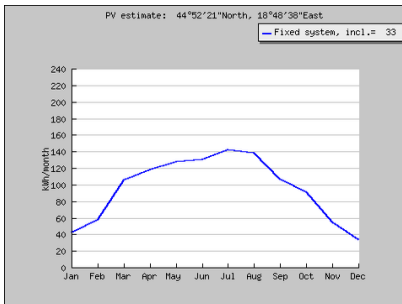
$E_m$  – Prosječna mjesečna proizvodnja električne energije  
 $E_g$  – Godišnja proizvodnja električne energije



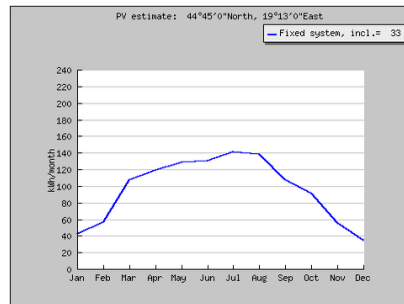
(a)



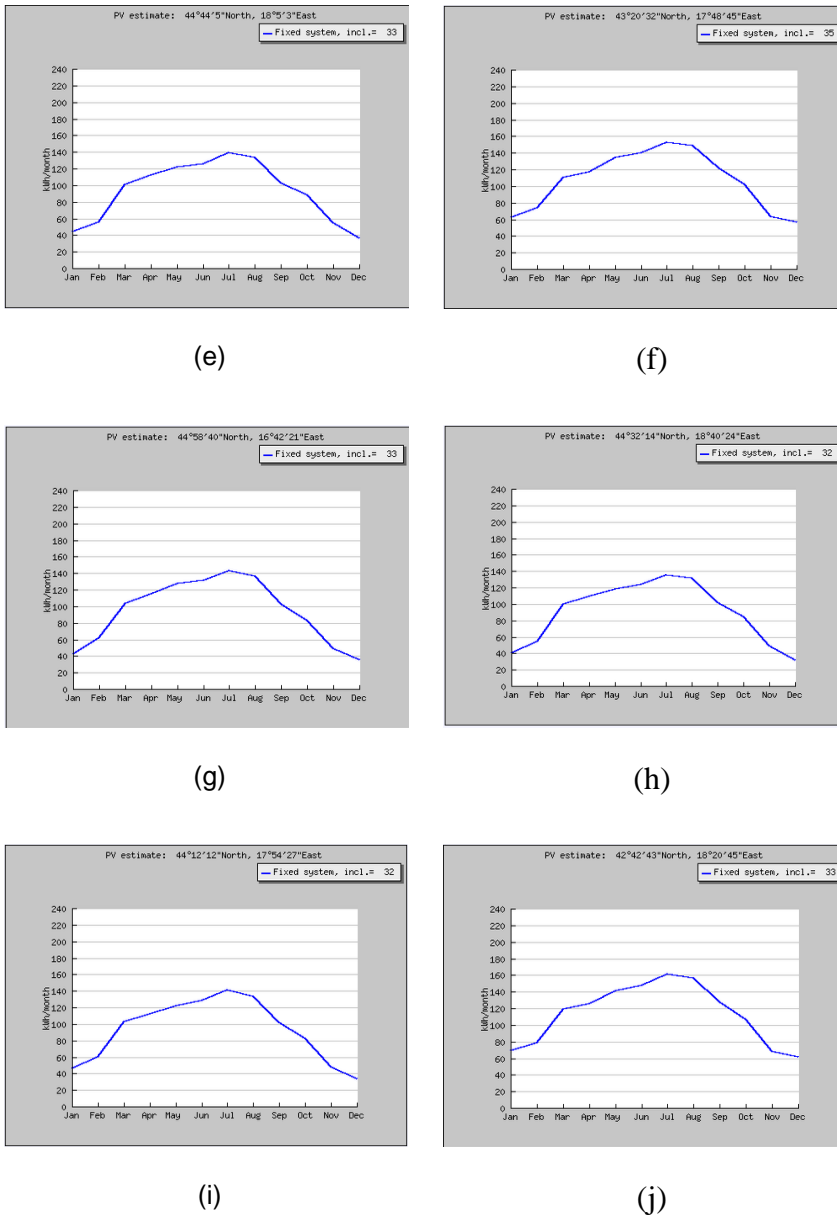
(b)



(c)



(d)



Slika 4. Grafički prikaz mjesečne proizvodnje električne energije u gradovima BiH (a) Sarajevo, (b) Banja Luka, (c) Brčko, (d) Bijeljina, (e) Doboј, (f) Mostar, (g) Prijedor, (h) Tuzla, (i) Zenica, (j) Trebinje

Na osnovu podataka prikazanih u tabeli 3 može se zaključiti da Trebinje i Mostar predstavljaju najperspektivnije gradove za proizvodnju električne energije primjenom fotonaponskih panela. Sama BiH predstavlja perspektivnu zemlju za iskorišćavanje Sunčeve energije za proizvodnju električne energije.

## **5. FOTONAPONSKI PANELI**

Fotonaponski paneli su sastavljeni od više fotonaponskih modula, koji su sastavljeni od skupa solarnih ćelija. Pojavu da svjetlost određene talasne dužine kada obasjava neki metal (npr. cink ili natrijum) iz njega izbije elektron otkrio je Becquerel 1839. Objašnjenje ove kvantnomehaničke pojave, kojom se može proizvoditi električnu energiju, dao je Einstein 1905. Prva moderna izvedba fotonaponske ćelije, koja iskorištava opisani efekt, ostvarena je 1954. u Bell Labs [4].

### **5.1 Princip rada solarne ćelije**

Osnovni princip rada je taj da se energija Sunčevog zračenja koju čine fotoni u solarnom modulu pretvara u istosmjerni DC napon. Tako dobijena energija se može akumulirati u baterijama i koristiti za napajanje istosmjernih potrošača. U slučaju potrebe za napajanjem naizmjeničnih (AC) potrošača tada se u solarni sistem implementira pretvarač, tj. inverter. Inverter vrši pretvaranje istosmjernog DC napona u naizmjenični AC, te na taj način direktno omogućava napajanje kućnih potrošača koji rade na mrežnom naponu 220V / 50Hz. [5]

Za prikupljanje FN struje, metalni kontakti su postavljeni na obje strane ploče da bi prikupljali struju indukovanu fotonima na ćelijama. Kontakt je omogućen preko donje površine i na jednom dijelu gornje površine. Tanka provodljiva žica na preostaloj gornjoj površini skuplja struju i pušta prolaz svjetla. Razmaci provodljivih vlakana u žici je stvar kompromisa između povećanja električne provodljivosti i smanjivanja nepropustljivosti svjetla. Prednje lice ćelije ima antirefleksirajući sloj da bi se što je više moguće umanjila refleksiju, a mehanička zaštita je zaštitno staklo s providnim ljepljivom. [5]

### **5.2 Tipovi solarnih ćelija**

Korisnost fotonaponskih solarnih ćelija kreće se od nekoliko do 40%. Ostala energija, koja se ne pretvori u električnu, uglavnom se pretvara u toplotnu i grije ćeliju. Monokristalne Si ćelije mogu pretvoriti  $1.000 \text{ W/m}^2$  Sunčevog zračenja u 140 W električne snage s površinom ćelija od  $1 \text{ m}^2$ .

Polikristalne Si ćelije mogu pretvoriti  $1.000 \text{ W/m}^2$  Sunčevog zračenja u 130 W električne snage s površinom ćelija od  $1 \text{ m}^2$ .

Amorfne Si ćelije mogu pretvoriti  $1.000 \text{ W/m}^2$  Sunčevog zračenja u 50W električne snage s površinom ćelija od  $1 \text{ m}^2$ .

Ukoliko se tanki film silicijuma stavi na staklo ili neku drugu podlogu to se naziva amorfnu ili tankoslojnu ćeliju. Debljina sloja iznosi manje od  $1 \mu\text{m}$ , pa su troškovi proizvodnje manji u skladu sa niskom cijenom materijala. Prvenstveno se koristi u opremi gdje je potrebna mala snaga (satovi, digitroni) ili kao elementi fasade.

Galij arsenidne (GaAs) ćelije imaju visoku apsorpciju pa je potrebna debljina od samo nekoliko  $\mu\text{m}$  da bi apsorbivale sunčeve zrake. Zbog visoke cijene koristi se u svemirskim programima i u sistemima s koncentrisanim zračenjem gdje se štedi na ćelijama. Kadmij telurijev (CdTe) ćelije su pogodne za upotrebu u tankim PV modulima zbog fizikalnih svojstava i jeftinih tehnologija izrade. Efikasnost im je 8%. [6]

## **6. PRETVARAČ - INVERTOR**

Električna energija koja se proizvodi unutar fotonaponskog sistema je jednosmjernog karaktera. Funkcija invertora je pretvaranje jednosmjernog (DC) napona u naizmjenični (AC) mrežni napon. Oni služe kao veza između jednosmjernih izvora električne energije (fotonaponskih modula/panela) i naizmjeničnih potrošača.

## 7. ZAKLJUČAK

Poznato je da se zalihe fosilnih goriva smanjuju, u skladu s time potrebno je unaprijed razmišljati o novim vidovima dobijanja energije – o obnovljivoj energiji. Jedan od izvora obnovljive energije jeste solarna energija. Solarna energija je vid „čiste“ energije, ne zagađuje okolinu, troškovi održavanja su mali, energija je neograničena i besplatna. Problem pri korišćenju solarne energije su visoka početna novčana ulaganja u solarni sistem. Radni vijek solarnog sistema je preko 25 godina, a sistem se isplati između 5-10 godina. Zbog višestruke korisnosti primjene solarne energije vlade razvijenih zemalja daju podsticaje za izgradnju solarnih sistema.

Teoretski potencijal sunčeve energije u BiH (koja ima prosječno oko 2.000 sunčanih sati godišnje) iznosi oko 70,5 TWh što predstavlja višestruko veću količinu energije od potrebne u BiH. Može se reći da BiH predstavlja jednu od povoljnijih lokacija u Evropi kada je radijacija Sunčeve energije u pitanju. Gradovi koji su prikazani u radu imaju veliku perspektivu za iskorišćavanje Sunčeve energije, ali da bi se intezivnije izgrađivali solarni sistemi potrebni su određeni podsticaji od Vlade.

## LITERATURA

- [1] Lubura, S., Prodanović, S. (2013). Solarna energija, (rukopis)
- [2] [sh.wikipedia.org/wiki/Sunce](http://sh.wikipedia.org/wiki/Sunce), pristupljeno 17.02.2014
- [3] [www.rc.jrc.ec.europa.eu](http://www.rc.jrc.ec.europa.eu), pristupljeno 10.10.2014.
- [4] Šljivac, D., Šimić, Z. (2009). Obnovljivi izvori energije, Zagreb.
- [5] Šekelja, J. (2010). Usporedba procjene i stvarne proizvodnje električne energije, završni rad, Zagreb.
- [6] Agić, S., Stiff, G. (2009). Uvod u obnovljive energije, Tuzla.





## VRSTE, NAMJENA I TESTOVI KOČIONIH SISTEMA NA ŽIČARI »OGORJELICA 1«

Marko Šolaja<sup>1</sup>

*Rezime: Prilikom projektovanja sistema kosog transporta prvi pojam od koga se kreće je bezbjednost. Nadzorni sistemi za kontrolu sigurnosti rada žičare su tu da bi pratili radne parametre. U slučaju da neki od sistema zakaže i pojavi se kvar, kao i u slučajevima normalnih zaustavljanja žičare, bilo zbog ljudskog ili nekog drugog faktora, najbitniju ulogu će odigrati kočioni sistemi. Zavisno od tipa žičare može postajati više vrsta kočionih sistema kojifunkcionišu istovremeno ili određenim redosledom zavisno od namjene. U ovom radu biće predstavljen kočioni sistemi na šestosjednoj isklopivoj žičari Ogorjelica 1 na Jahorini. njihova vrsta, namjena kao i testovi ispitivanja kočionih sistema, na praznoj žičari kao i na žičari sa opterećenjem.*

*Ključne riječi: analiza, kočnice, sigurnost, testovi, žičare*

### **TYPES, PURPOSE, AND REPORT OF MECHANICAL AND BRAKES PROOF ON DETACHABLE CHAIRLIFT »OGORJELICA 1«**

*Abstract: During the designing of ropeways system the first term from which we start is security. Diagnostic systems on the chairlifts monitor all operating parameters in the case of any of system fails and the failure occurs, or in the case of normal stopping chairlift, either due to human or other factors. The most important role will make brake systems. Depending on the chairlift, can become more types of brake systems which operate simultaneously or in a specific order depending on the purpose. In this work will be presented braking systems on six-seat detachable chairlift "Ogorjelica 1" on Jahorina, their type, purpose, and report of break proof with an empty and full loaded chairs.*

*Key words: analysis, brakes, chairlifts, safety, testing.*

## 1. UVOD

Za siguran i kvaliteta rad žičare neophodni su kočioni sistemi. Zavisno od vrste žičare može biti više vrsta kočionih sistem, koji mogu da rade paralelno, ili određenim redosledom. Kočioni sistemi se dijele u dvije osnovne grupe Radne i Sigurnosne kočione sisteme, zavisno od njihove namjene, ali mogu biti dodati i drugi kočioni

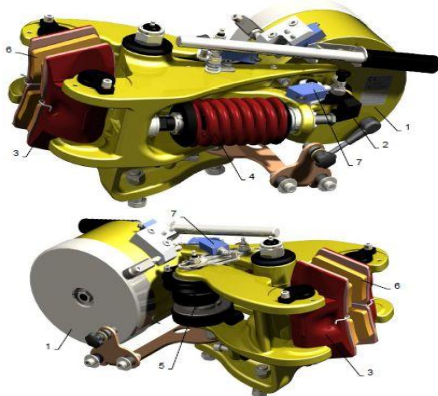
---

<sup>1</sup>Dipl. Inž. Maš., Marko Šolaja, Istočno Novo Sarajevo, A.D. Olimpijski centar "Jahorina", marko.solaja@hotmail.com

sistemi, čija je uloga da upotpunjuju jedan od dva osnovna dijela sistema. Radni kočioni sistemi se koriste prilikom normalnog rada žičare, za zaustavljanje i kočenje žičare. Sigurnosni kočioni sistemi služe za vanredna blokiranja i zaustavljanja žičare u situacijama kada je potrebno naglo zaustaviti žičaru, ili ukoliko je potrebno blokirati žičaru i onemogućiti slučajno pokretanje. Dodatni sistemi vrše obično sigurnosnu funkciju na pomoćnim pogonima žičare, ali obično zavise od konstrukcija žičara. Žičara »Ogorjelica 1« na Jahorini je šestosjeda razdvojiva žičara i proizvod je italijanske kompanije LEITNER. Osnovni i pomoćni pogon su odvojeni i nezavisni jedan od drugog, što je uslov za postojanje tri tipa kočionih sistema. Osnovna radna kočnica priprada glavnom pogonu, dok je sigurnosni kočioni sistem sastoji iz dvije kočnice, sigurnosnom na obrtnom točku koji je podjednako vezan i za glavni i za pomoćni pogon, i sigurnosne kočnice na pomoćnom pogonu. U ovom radu će biti predstavljene sve kočnice, kao i testovi kočenja sa pojašnjenjem parametara testa.

## 2. RADNA KOČNICA

Radna kočnica na žičari »Ogorjelica 1« je elektromagnetna kočnica na principu kličešta. Pozicionirana je na kočionom disku koji se nalazi između glavnog pogonskog elektromotora i glavnog reduktora koji pokreće obrtni disk žičare. Njena namjena je radna, odnosno da usporava kretanje žičare, ili da zaustavlja žičaru u toku rada, kada nije potrebno hitno zaustavljanje. Obično su to planaska zaustavljanja ili smanjenja brzine žičare, čiji uzrok mogu biti ljudski faktor, vremenske prilike, ili neki manji poremećaj koji ne remeti rad žičare.

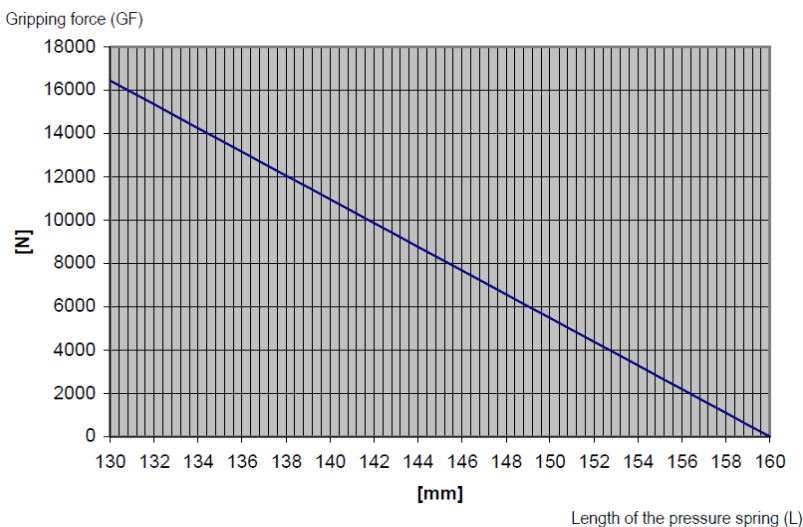


Slika 1. Radna kočnica

U stanju mirovanja (kada kočnica nije u pogonu) kočnica je zatvorena. Kočnica se otvara kroz pobuđivanje (djelovanje) elektromagneta (1). Kočnicu je moguće ručno otvoriti uz pomoć koljenaste poluge (2). Potisna sila na čeljust kočnice (3) nastaje kroz jednu potisnu oprugu (4). Kočnica posjeduje automatski podešavač čeljusti (5) preko koga se ostvaruje konstantni razmak između obloga kočnice (6) i kočne površine. Ručno otvaranje kao i istrošenost obloga kočnice se kontrolišu električno preko jednog električnog graničnika (7).

Tabela 1. Parametri radne kočnice

Parametar	Vrijednost	Jedinica mjere
Sila kočenja	0-16440	N
Debljina kočionog diska	30	mm
Napajanje	24	V
Težina	108	kg



Slika 2. Sila kočenja

Sila kočenja je definisana dužinom opruge na kočnici. Kočioni momen se računa u odnosu na dužinu opruge na kočnici i prečnika kolionog diska po sledećoj formuli:

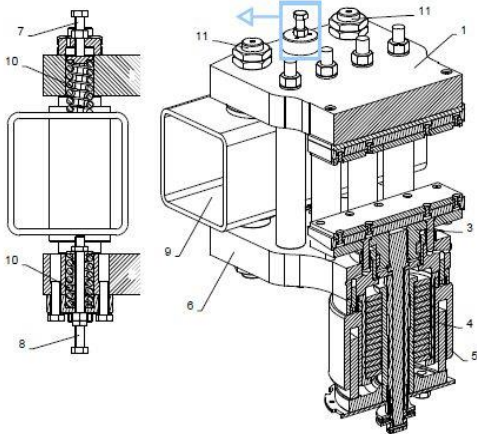
$$KM=458*(160 - L)*0.32*[(PKD - 100)/1000] \quad (1)$$

Gdje je:

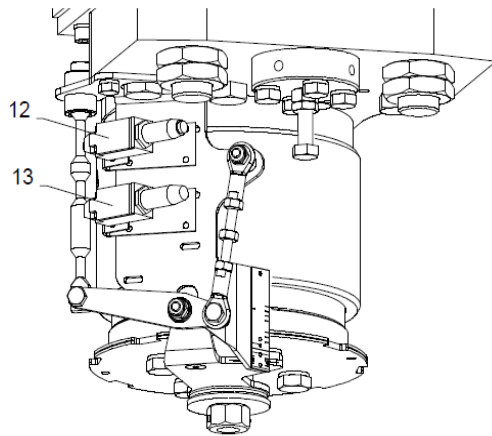
- KM – kočioni moment
- L – dužina kočione opruge
- PKD – prečnik kočionog diska

### 3. SIGURNOSNA KOČNICA

Sigurnosna kočnica je sedlasta kočnica, i pozicionirana je direktno na obrtnom točku žičare i prilikom aktiviranja direktno prenosi silu kočenja na obrtni točak, zaustavljajući žičaru skoro momentalno, što će biti prikazano u testovima kočenja u nastavku rada. Kočnica je hidraulična, i ima nezavisni sistem napajanja, koji se aktivira usljed nestanka struje, ljudskih aktivnosti (HITNI STOP), kao i usled kvarova koji prouzorkuju zaustavnje rada žičare, i naravno u slučajevima kada se obavljaju radovi na žičari pa je neophodno osigurati žičaru od pokretanja. Kliješta kočnice su fleksibilno pričvršćena za ram. Ona se sastoji od jedne gornje glavne ploče (1) koja ujedno stvara čvrstu čeljust kočnice i jedne donje glavne ploče (6) na kojoj je pričvršćeno kućište kočnice sa pokretnim čeljustima (3). Kroz prenapregnuti stub tanjirastih opruga (4) stvara se potrebna sila kočenja. Da bi se ostvarila podjednaka snaga pritiska čeljusti kočnice, kliješta kočnice su pomoću povratnih opruga (10) i pomoću dva vijka (11) fleksibilno pričvršćena za ram kočnice (9). Ram kočnice (9) je povezan sa ostalom strukturom stanice. Pomoću jednog, u kućištu kočnice integrisanog hidrauličnog cilindra (5) otvaraju se čeljusti kočnice odnosno drže se čeljusti otvorene pri radu žičare. Gore navedene, centralno postavljene povratne opruge (10) omogućuju podizanje obloga kočnice pri djelovanju hidrauličnog pritiska. Pomoću podešavajućih vijaka (7, 8) moguće je podesiti geometrijski položaj kliješta na ramu kočnice.



Slika 3. Klijesta kočnice FE100



Slika 4. Položajni prekidači

Klijesta kočnice FE100 su opremljena sa dva položajna prekidača: *Prekidač (13) "kočnica otvorena-kočnica zatvorena"*. Pri otvorenim klijestima kočnice je prekidač (13) isključen. Upravljačka jedinica dobija signal "kočnica je otvorena". Ako su klijesta kočnice zatvorena onda je prekidač (13) uključen. Upravljačka jedinica dobija signal "kočnica je zatvorena". *Prekidač "pohabanost obloga kočnice" (12)*. Ovaj prekidač se uključuje kada su obloge kočnice pohabane (potrošene) i samim tim kada je razmak između obloga kočnice i kočione površine prevelik.

Hidraulični sistem sigurnosne kočnice se sastoji od centralne hidraulične jedinice i od klijesta kočnice. Zavisno od modela žičare, može da postoji više klijesta kočnice, koja se aktiviraju istovremeno. Na žičari "Ogorjelica 1" postoje jedna klijesta kočnice. Aktiviranje kočnice moguće je izvršiti i ručno i automatski zavisno od situacije. Ručno pokretanje klijesta kočnice koristi se samo u slučaju nestanka električne energije ili u slučaju mehaničkog kvara nekog dijela žičare.

#### 4. KOČNICA NA POMOĆNOM POGONU

Na šestosjedoj isklapivoj žičari »Ogorjelica 1« pomoćni pogon je nezavisan od glavnog pogona žičare. Da bi se pokrenu pomoćni pogon, neophodno je, bilo ručno ili automatski da bude otvorena sigurnosna kočnica. Pošto pri otvaranju sigurnosne kočnice, ništa više ne zaustavlja žičaru od pokretanja, neophodno je da postoji kočnica koja će držati žičaru dok ne startuje pomoćni pogon. Tu ulogu preuzima lamelarna kočnica koja se nalazi u sklopu pomoćnog pogona između hidrauličkog agregata i pomoćnog reduktora. Sam sklop kočnica-pomoćni motor-reduktor je zatvorenog tipa.

#### 5. TESTIRANJE KOČIONIH SISTEMA NA CD6 »OGORJELICA 1« JAHORINA

Kao jedna od najvažnijih sigurnosnih elemenata žičare, kočioni sistem je neophodno da bude provjeren i funkcionalan. Prije svakog puštanja u rad žičare, obavezno je izvršiti provjeru kočionih sistema žičare. Provjere kočionih sistema vrše se tako što se aktiviraju kočnice i provjerava njihova funkcionalnost na osnovu dijagrama koje se kreiraju na osnovu parametara koje dostavljaju senzorski sistemi na žičari, odnosno, upoređuje sila kočenja i zaustavni put za svaku kočnicu pojedinačno. Zavisno od vremenskih prilika, potrošenosti kočionih obloga, kao i vrste inspekcije, iz

tabela proizvođača se određuju potrebni parametri. Ukoliko dobijeni rezultati ne odgovaraju podacima koji su pronadjeni u tabelama, neophodno je izvršiti provjeru testova, a potom ukoliko se dokaž da postoje razlike, pristupa se inspekciji i provjeri razloga nastanka razlika u rezultatima dobijenih testom i onih iz tabela proizvođača.

Primjer testova:

### Sila kočenja – 1

Postrojenje „Ogorjelica 1” ima:

- 1 kočnicu tipa FR100 70 – 107 kN (Sigurnosna hidraulična kočnica)
- 1 kočnicu tipa SB16 (Radna kočnica)

Kočnice ne mogu raditi zajedno istovremeno. Hitna kočnica je kalibrisana sa silom 75 kN. Ova sila omogućava da postrojenje smanji brzinu sa  $0,39 \text{ m/s}^2$  (pod opterećenjem: sve korpe pune (6 ljudi u korpi), postrojenje ide unazad.

Radna kočnica je kalibrisana na elastičnu dužinu od 147 mm. Ova sila omogućava da postrojenje smanji brzinu sa  $0,37 \text{ m/s}^2$  (pod opterećenjem: sve korpe pune (6 ljudi u korpi), postrojenje ide unazad.

Tabela 2. Testovi za kočnice sa punim korpama koje idu uzbrdo

Vrsta kočenja	Brzina (m/s)	Zaustavni put (m)	Vrijeme (s)	Smanj.br ( $\text{m/s}^2$ )
Radna kočnica (modulisana) opterećenje 25%	5,00	20,60	8,30	-0,66
Radna kočnica (hitna) opterećenje 25%	5,00	14,90	6,10	-0,78
Hitna kočnica (bez SK) opterećenje 25%	5,00	13,80	5,20	-0,91
Radna kočnica (rezervna, bez RK) opterećenje 100%	5,00	12,20	4,90	-0,97
Hitna kočnica (bez RK) opterećenje 100%	5,00	12,20	4,70	-1,03
Prirodno zaustavljanje opterećenje 25%	5,00	26,90	10,80	-0,47
Prirodno zaustavljanje opterećenje 100%	5,00	19,10	7,60	-0,65
Hitna kočnica + rezervna SK sa opterećenjem 100%	5,00	9,10	3,60	-1,32
Gubitak hidrauličnog pritiska kod hitne kočnice	Funkcija OK			

Tabela 3. Testovi za kočnice sa punim korpama koje idu nizbrdo

Vrsta kočenja	Brzina (m/s)	Zaustavni put (m)	Vrijeme (s)	Smanj.br ( $\text{m/s}^2$ )
Radna kočnica (modulisana) opterećenje 25%	- 5,00	2,70	10,20	-0,48
Radna kočnica (hitna) opterećenje 25%	-5,00	23,30	9,50	-0,51
Hitna kočnica (bez SK) opterećenje 25%	- 5,00	22,00	8,70	-0,57
Radna kočnica (rezervna, bez RK) opterećenje 100%	- 5,00	38,0	16,20	-0,29
Hitna kočnica (bez RK) opterećenje 100%	- 5,00	31,50	12,50	- 0,3
Hitna kočnica (hidraulična bez RK) opterećenje 100%	- 5,00	32,80	13,20	-0,37
Postrojenje staje kada su obje kočnice otvorene	- 1,00	5,00	-	-
Hitna kočnica + rezervna SK sa opterećenjem 100%	- 5,00	17,10	6,60	-0,72
Gubitak hidrauličnog pritiska kod hitne kočnice	Funkcija OK			

U tabeli su navedeni parametri koji su mjereni u prilikom testova kočenja. Kolona Brzina predstavlja brzinu kojom se kretala žičara u prilikom aktiviranja kočnice. Zavisno od vrste testa, određena je i brzina žičare za test. Brzina je u ovom slučaju preuzeta iz Tabela tehničke dokumentacije proizvođača. Zaustavni put predstavlja dužinu koju pređe žičara prilikom aktiviranja kočnice. Na osnovu tabela proizvođača i testova kočenja, zaključeno je da se zaustavni put, kada je žičara opterećena 100%, od 31.50 m, što je blizu granične vrijednosti od 34 m, prema tabeli proizvođača. Iz navedenog, kao i iz upoređivanja rezultata testova sa tablema, zaključeno je da su kočione oblog skoro potrošene i da je neophodna zamjena. Testovi radne kočnice su u zadovoljavajućim okvirima.

## 6. ZAKLJUČAK

Zbog ekstremnih uslova i posla koji obavlja sistem kosog transporta, kočioni sistemi imaju veoma veliko opterećenje zbog nagle promjene atmosferskih prilika, i temperaturnih dilatacija. Sve to utiče na rad kočionih sistema, pa je neophodno obavezno pratiti radi i kvalitet kočnica. Kočione površine je neophodno držati čistim i odmašćenim, a u određenim vremenskim rokovima provjeravati i kontrolisati vizuelno potrošenost kočionih obloga. Takođe zbog prirodne posla, neophodno bi bilo, u vremenskom periodu od 5 godina da se izvrši provjera dijelova kočnice nekom od metoda bez razaranja, da bi se utvrdilo da li postoje mikronaprslina ili deformacije, i ukoliko je potrebno reagovati na vrijeme, zamjenom oštećenog dijela, da bi se spriječio otkaz kočnice. Za siguran rad žičare neophodno je da svi kočioni sistemi budu ispravni i funkcionalni.

## LITERATURA

- [1] Priručnik za održavanje žičara – Leitner Ropeways
- [2] Preliminary report of mechanical proof Ogorjelica 1– Leitner Ropeways
- [3] Tabele za provjeru testova kočenja – Leitner Ropeways
- [4] Leitner Hydraulics – Hidrauličke šeme žičare Ogorjelica 1
- [5] <http://en.leitner-ropeways.com>



## UTICAJ RASHLADNOG FLUIDA NA ENERGETSKU EFIKASNOST TOPLOTNE PUMPE

Ranka Gojković<sup>1</sup>, Marija Kunarac<sup>2</sup>, Vladimir Gojković<sup>3</sup>

*Rezime: Energetska efikasnost je upotreba manje količine energije (energenata) za obavljanje istog posla. Imajući u vidu cijenu električne energije, to takođe predstavlja i finansijsku uštedu. U ovom radu je prikazan uticaj rashladnog fluida na efikasnost toplotne pumpe u zgradarstvu. Izvršena je optimizacija rada toplotne pumpe u cilju povećanja energetske efikasnosti, poboljšanja sistema i smanjenja potrošnje energije u zgradi.*

*Ključne riječi: energetska efikasnost, rashladni fluid, toplotna pumpa*

### **THE INFLUENCE OF REFRIGERANT TO ENERGY EFFICIENCY OF THE SYSTEM**

*Abstract: Energy efficiency is the use of less energy (energy) for the same job. Bearing in mind the price of electricity, it is also a financial saving. In this paper the impact of the refrigerant in the efficiency of the heat pump in buildings. The optimization of the heat pump in order to increase energy efficiency, improve the system and reduce energy consumption in the building.*

*Key words: energy efficiency, refrigerant, the heat pump*

### 1. UVOD

U ovome radu prikazani su rezultati analize sistema za hlađenje i grijanje zgrade koja je prikazana na slici 1. Zgrada ima 16 200 m<sup>2</sup> grijne površine i nalazi se u Trondhajmu, gdje je spoljna projektna temperatura -19 °C, a prosječna spoljna temperatura je 6 °C.



Slika 1. Poslovna zgrada u Trondhajmu

<sup>1</sup>Ranka Gojković, Master mašinstva, Masinski fakultet Istočno Sarajevo, rankagojkovic@gmail.com

<sup>2</sup>Marija kunarac, dipl.inž.maš., Masinski fakultet Istočno Sarajevo, kunaracmarija@hotmail.com

<sup>3</sup>Vladimir Gojković, Master mašinstva, ZP RiTE Gacko a.d Gacko, vlado.1989@yahoo.com



Zgrada se koristi od septembra 2009. kao poslovni objekat. Grijanje u zgradi je radijatorsko, dok je hlađenje obezbjeđeno fan-coil uređajima. Toplotna energija za potrebe sistema ventilacije, grijanja i tople vode dobija se iz sistema daljinskog grijanja i toplotnih pumpi. Energija za hlađenje dobija se iz dva sistema za hlađenje. Toplota oslobođena na kondenzatoru sistema za hlađenje koristi se kao dodatna energija za grijanje. Na taj način sistem za hlađenje je istovremeno i toplotna pumpa. Jedan sistem za hlađenje koristi se samo za potrebe sistema ventilacije, dok drugi sistem snabdjeva energijom za hlađenje fancoil uređaje.

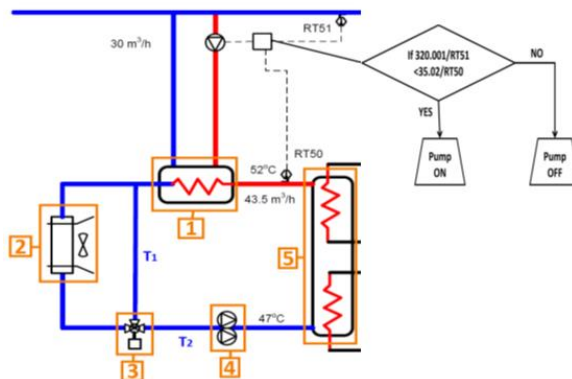
## 2. OPIS I ANALIZA SISTEMA

Studija je fokusirana na rashladom postrojenju ovog sistema, ali da bi se izvršila detaljnija studija svih komponenata, sistem je podijeljen na tri dijela:

- Topla strana toplotne pumpe
- Toplotna pumpa
- Hladna strana toplotne pumpe

### 2.1. Topla strana toplotne pumpe

Topla strana toplotne pumpe povezana je sa glavnom granom magistralnog toplovoda i predstavljena je na slici 2.



Slika 2. Šema tople strane toplotne pumpe

Stanje rada izmjenjivača toplote (1) sa slike 2., prikazano je na dijagramu. Neophodan uslov za pokretanje cirkulacione pumpe i na taj način pokretanje izmjenjivača toplote je da temperatura povrata vode (RT51) u glavnoj grani grijanja, bude niža od temperature vode (RT50) [1]. Ako je ispunjen ovaj uslov, hidrauličke pumpe će cirkulisati vodu u izmjenjivaču toplote i topla strana kola će se ohladiti. Inače, pumpa će ostati isključena sve dok se ovaj uslov ne ispuni.

Cilj izmjenjivača toplote je da ohladi izlaznu vodu iz kondenzatora (5) na slici 2. Ovaj kondenzator radi samo ako povratna voda iz daljinskog grijanja može ohladiti toplu stranu, tako da temperatura (RT51) mora biti niža. Povratna temperature u glavnoj grani grijanja će se takođe povećati. Kao rezultat toga, tečnosti u glavnoj grani grijanja će biti potrebno manje energije da dostigne istu temperaturu isporučene vode. Konačno, ovaj sistem omogućava uštedu energije korišćenjem opterećenja kondenzatora.



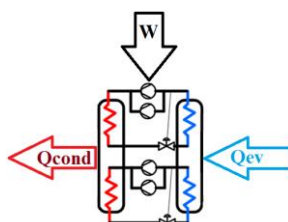
Vazdušni kondenzator (2) se koristi za hlađenje vode nakon izmjenjivača toplote. Ovaj sistem se koristi kao dopuna izmjenjivaču toplote i hladi vodu ako je potrebno. Korišćenje izmjenjivača toplote u odnosu na vazduh kondenzator treba da bude favorizovano, da toplota i dalje ostaje u kolu i ne ide napolje.

Dvije paralelne pumpe (4) su instalirane da cirkulišu vodu u kondenzatoru (5), što dozvoljava da se poveća protok bez povećanja pritiska u sistemu.

## 2.2. Toplotna pumpa

Osnovni cilj toplotne pumpe je da prenese količinu toplote iz emitovane strane (IT sobe) na stranu prijemnika (topla strana) zahvaljujući sredstvu za hlađenje. IT soba je soba u kojoj se nalazi računarska oprema i koja je posvećena neprekidnom radu računarskih servera.

Toplotna pumpa se sastoji od rashladnog kruga i koristi specijalni fluid (rashladni fluid) koji, u zavisnosti od temperature i pritiska pod kojima se nalazi, može biti u tečnom ili gasovitom stanju. Teorijska šema rada toplotne pumpe prikazana je na slici 3.



Slika 3. Šema rada toplotne pumpe

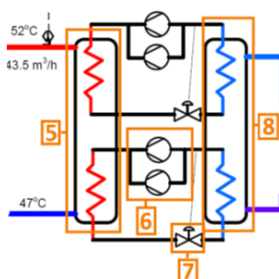
U idealnom slučaju formula koja povezuje snagu kompresora ( $P_{comp}$ ), opterećenje kondenzatora ( $Q_{cond}$ ) i rashladno opterećenje ( $Q_{ev}$ ) je:

$$P_{comp} + Q_{ev} = Q_{cond} \quad (1)$$

Energetska efikasnost toplotnih pumpi se izražava preko koeficijenta performansi (COP). Ovaj koeficijent predstavlja odnos između energije koja je uložena i energije koju dobijamo na izlazu, za grijanje ili hlađenje. Koeficijent performansi je definisan sljedećom jednačinom:

$$COP = \frac{Q_{ev}}{P_{comp}} \quad (2)$$

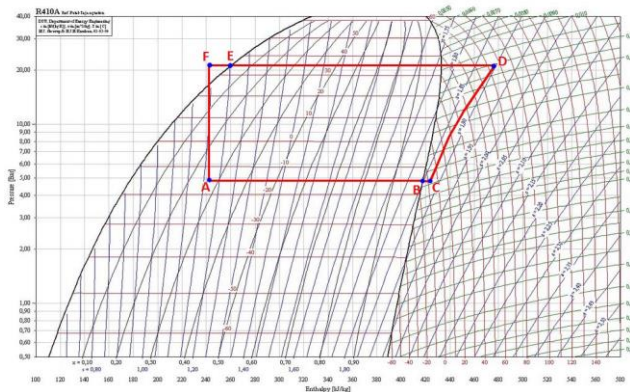
Analizirana toplotna pumpa je prikazana na slici 4.



Slika 4. Šema komponenti toplotne pumpe

Kao što se vidi na slici (slika 4.) toplotna pumpa ima dva različita paralelna kola, koji služe za poboljšanje učinka toplotne pumpe.

Kako bi operacije toplotne pumpe bile preciznije objašnjene, korišćen je p-h dijagram, (slika 5.) koji je dobijen pomoću softvera Cool Pack.



Slika 5. Ciklus toplotne pumpe (dijagram pritisak/entalpija)

Zahvaljujući ovom dijagramu bilo je moguće objasniti ulogu svake komponente sa slike 5. za prenos toplote sa jedne strane (hladna strana) na drugu (toplu stranu) i definisati pretpostavke koje su korišćene za dalji proračun.

- U isparivaču (8)

Od A do B: je proces isparavanja rashladnog fluida u isparivaču. Taj proces je izotermски i izobarski, zato se tačka B nalazi na izobari na kojoj i tačka A koja siječe liniju zasićene pare.

*Pretpostavka:* Pretpostavili smo da je temperatura isparavanja  $T_{ev}=8^{\circ}\text{C}$ . [2]

Od B do C: Para je pregrijana kako bi smo bili sigurni da samo para odlazi u kompresor.

*Pretpostavka:* Nakon isparivača para će biti pregrijana (oko  $2^{\circ}\text{C}$ ) i sa niskim pritiskom.

- U kompresoru (6)

Od C do D: Radni medijum se komprimuje u kompresoru usled čega dolazi do povećanja pritiska, a sa povećanjem pritiska, povećava se i temperatura.

- U kondenzatoru (5)

Od D do E: Tečnost oslobađa svoju energiju kroz kondenzator i prolazi u tečnom stanju.

Od E do F: Tečnost se hladi da bi bili sigurni da je samo tečnost i da nema gasa u tečnosti.

*Pretpostavka:* Pritisak tečnosti ostaje konstantan. Nakon pothlađivanja temperatura je oko  $2^{\circ}\text{C}$ .

Pritisak u kondenzatoru je manji od 40 bara što predstavlja optimalnu vrijednost. Maksimalna temperatura kondenzacije je  $62.49^{\circ}\text{C}$ . [2]

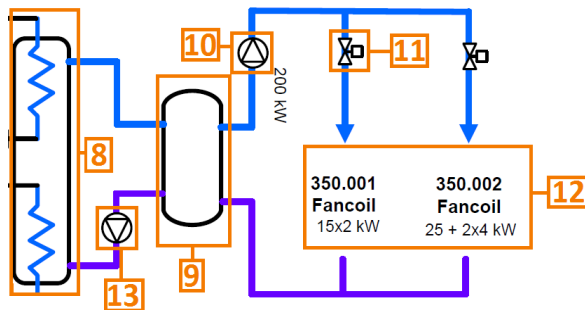
- U ekspanzionom ventilu (7)

Od F do A: Tečnost prolazi kroz ventil i počinje da isparava, zbog pada pritiska od strane ventila.

*Pretpostavka:* Entalpija fluida ostaje konstantna.

## 2.3 Hladna strana toplotne pumpe

U hladnoj strani, toplotna pumpa obezbeđuje rashladno opterećenje za fankoil kako bi se ohladila IT soba. Slika 6. prikazuje kružni put vode između isparivača i fankoila.



Slika 6. Šema hladne strane toplotne pumpe sa fankoilom

Isparivač (8) vrši dovođenje hladne vode. Skladište vode (9) omogućava da hladna voda bude dostupna za fankoil. Pumpa (10) vrši cirkulaciju vode u fankoilu, dok ventil (11) vrši regulaciju protoka. Fankoili su uređaji koji u kombinaciji sa toplotnom pumpom ostvaruju veliki i brz učinak grijanja i hlađenja prostorija u objektu. Ventilatorom se ostvaruje prisilno strujanje vazduha iz prostorije, čime se vazduh hladi ili grije, ovisno o tome struji li kroz izmjenjivač hladna ili topla voda.

U ovom slučaju, fankoil (12) izbacuje (oslobađa) hladan vazduh u IT sobe kako bi ih ohladio. Princip funkcionisanja je sljedeći: hladna voda cirkuliše u cijevima, fankoil uduvava vazduh koji se hladi, a zatim ga šalje unutar IT sobe. Pumpa (13) šalje vodu, zagrijanu na fankoilu, isparivaču.

Maksimalni instalirani efekat hlađenja fankoila je 200 kW. Međutim, samo 63 kW je instalirano za ventilatore kao što je prikazano na slici 7., jer je sadašnjoj zgradi hlađenje potrebno u IT sobama. U slučaju izgradnje, proširenja i povećanja korisnika, postoji mogućnost instalacije novih fankoila za hlađenje IT soba. Zbog ovoga niskog rashladnog opterećenja, pod uslovom toplotne podrške kondenzatora toplote glavnoj grani grijanja je takođe niska i niske temperature. To znači da je maksimalno rashladno opterećenje fankoila 63 kW, a maksimalni instalirani efekat hlađenja je 200 kW, koji ostavlja rezervu da se stavi više kompjuterske opreme u sobu.

Skladištenje vode je veoma važno, jer čak i ako je snaga fankoila skoro konstantna, toplotna pumpa ne radi stalno i time ograničava vrijeme rada. Toplotna pumpa ponovo radi kada temperatura vode u skladištu dostigne određenu temperaturu.

Značaj dvije pumpe (10 i 13) takođe je veoma važan, one vrše regulaciju protoka sa obje strane skladišta za vodu, prateći potrebe za hlađenjem IT soba.

## 3. UTICAJ RASHLADNOG FLUIDA NA ENERGETSKU EFIKASNOST SISTEMA

Kada je riječ o rashladnim fluidima, u većini slučajeva se radi o fluorougljovodoniku, pri čemu se, posebno u kućnim instalacijama, mogu koristiti povoljnije osobine tih materija. Odomaćeni naziv fluorougljovodonika je freon, koji se po međunarodnoj klasifikaciji označava slovom R, iza koga stoji odgovarajući broj.

Rashladni fluidi se mogu podijeliti na pet osnovnih grupa. To su CFC (potpuno halogenizovani hlorofluorougljenici), HCFC (djelimično halogenizovani hidrohlorofluorougljenici), FC (potpuno halogenizovani fluorougljenici), HFC (djelimično halogenizovani hidrofleurougljenici) i prirodni rashladni fluidi. Freoni (CFC, HCFC, FC i HFC) su sintetički dobijena jedinjenja sa pogodnim termodinamičkim osobinama da bi se koristili kao rashladni fluidi. Prirodni rashladni fluidi predstavljaju hemijska jedinjenja ili elemente koji se mogu naći u prirodi. Da bi rashladni sistem mogao da radi sa što boljim efektom uz što manji utrošak energije, da nema opasnosti od štetnog dejstva na ljudski organizam i na materijalna dobra koja se nalaze u blizini rashladnog sistema, rashladni fluid mora da ispunjava određene termičke, fizičke i hemijske uslove, kao i da ima određene osobine praktične primjene.

Dobre termodinamičke osobine sintetičkih rashladnih fluida potisnute su u drugi plan zbog štetnog uticaja na životnu sredinu. Freoni CFC grupe koji sadrže hlor oštećuju ozonski omotač i utiču na globalno zagrijavanje. Freoni iz HCFC grupe koji su proizvedeni kao zamjena za freone CFC grupe imaju manji uticaj na oštećenje ozonskog omotača i na globalno zagrijavanje. Pošto sadrže hlor i oštećuju ozonski omotač freoni iz HCFC grupe su se takođe našli na listi nepoželjnih. Nova vrsta freona koja spada u HFC grupu i ne sadrži hlor proizvedena je kao zamjena za freone iz HCFC grupe.

U tabeli 1. dati su faktori oštećenja ozonskog omotača (ODP – **O**zone **D**epletion **P**otential) i faktor globalnog zagrijavanja (GWP – **G**lobal **W**arming **P**otential) za različite freone. Faktor oštećenja ozonskog omotača pokazuje uticaj na oštećenje ozonskog omotača ostalih freona u odnosu na freon R11, čiji je ODP faktor uzet kao referentna vrijednost (ODPR11=1). Faktor globalnog zagrijavanja pokazuje koliki je uticaj GHG (**G**reen **H**ouse **G**ases) gasova na globalno zagrijavanje u odnosu na ugljen dioksid. Faktor globalnog zagrijavanja za ugljen dioksid je uzet kao referentna vrijednost (GWPCO<sub>2</sub>=1).

Tabela 1. *Faktor oštećenja ozonskog omotača ODP i faktor globalnog zagrijavanja GWP za različite freone*

Grupa freona	Freon	ODP	GWP
CFC	R11	1	4000
	R12	1	8500
HCFC	R22	0.05	1500
HFC	R134A	0	1300
	R404A	0	3260
	R410A	0	1525
	R407C	0	1725

Kvalitet rashladnog fluida za toplotnu pumpu ogleda se prije svega u veličini odnosa pritisaka (temperatura) isparavanja i kondenzacije i veličine toplote isparavanja i kondenzacije, da bi se obezbijedio visoki koeficijent grijanja uz mali protok mase i u fizičko-hemijskim podobnostima u sprezi sa ostalim komponentama sistema.

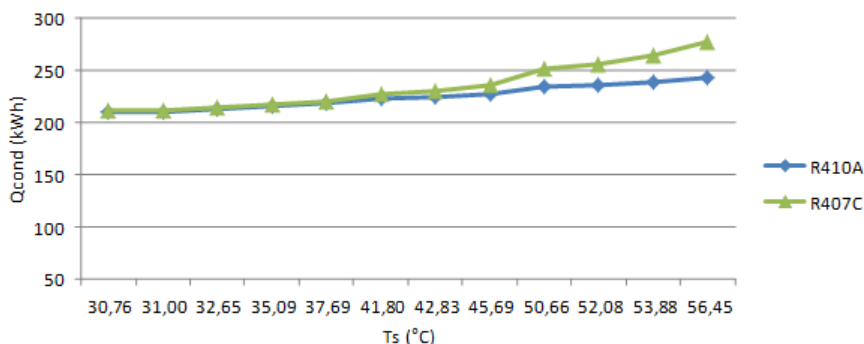
Umjesto rashladnog fluida R410A izabran je rashladni fluid R407C.

Karakteristike fluida se mogu odrediti iz Molijerovog log p-h dijagrama i to u

zavisnosti od oblika granične krive zasićenja i razlike pritisaka isparavanja i kondenzacije. Kvalitet utiče na relativni nagib krive zasićenja i krive konstantne entropije, što ima uticaja na manju snagu kompresora, potrebnu za ostvarivanje datih temperatura kondenzacije i isparavanja.

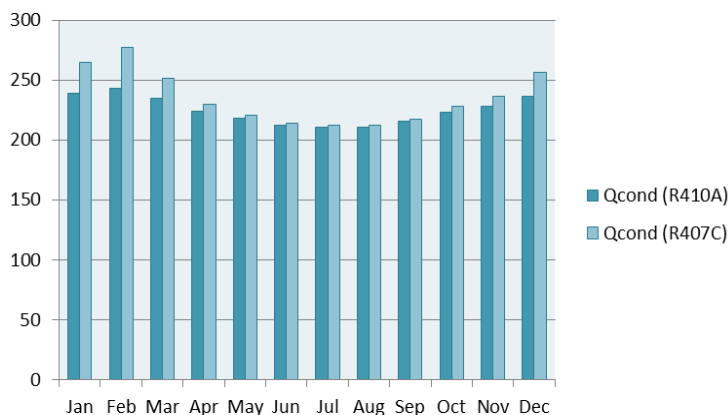
Nakon mnogo godina testiranja i istrage, rashladno sredstvo sa oznakom R407C je prepoznato kao pogodno alternativno rashladno sredstvo za R22, za srednje i visoke temperature, kao naprimjer za stambenu i laku komercijalnu klimatizaciju. R407C je trojni spoj hidro fluorougļjovodonika ili HFC jedinjenja, koji čine 23% od R32, 25% od R125 i 52% od R134a.

Na dijagramu (slika 7.) je prikazana promjena opterećena kondenzatora ( $Q_{cond}$ ) u zavisnosti od temperature vode u potisnom cjevovodu ( $T_s$ ).



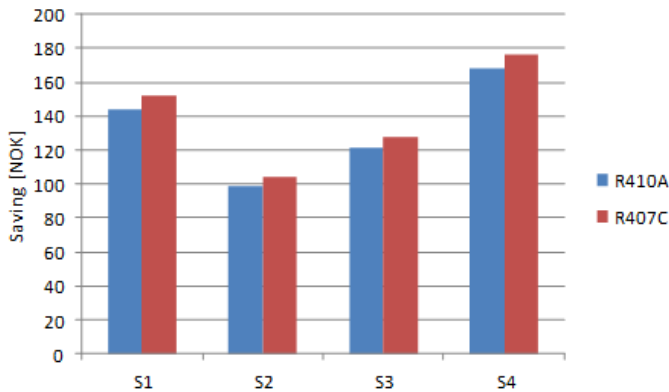
Slika 7. Promjena  $Q_{cond}$  u zavisnosti od  $T_s$  za različita rashladna sredstva

Sa dijagrama se vidi da promjena rashladnog fluida ima najveći uticaj na dosadašnji proračun, za ovaj rashladni fluid dobija se veće opterećenje kondenzatora, što se vidi i na sljedećem dijagramu (slika 8).



Slika 8. Promjena  $Q_{cond}$  za različita rashladna sredstva

Na dijagramu (slika 9.) su prikazane uporedne vrijednosti za dva rashladna fluida R410A i R407C, pri istoj temperaturi okoline, temperaturi kondenzacije i pri istoj temperaturi isparavanja, kao i pri opterećenju kondenzatora  $Q_{cond} = 200$  kWh.



Slika 9. Prosječna ušteda energije za rashladne fluide

Iz ove analize se može vidjeti da pri promjeni rashladnog sredstva dolazimo i do veće uštede energije.

#### 4. ZAKLJUČCI

U radu je razmatrana mogućnost poboljšanja energetske efikasnosti sistema za grijanje i hlađenje zgrade korišćenjem toplotnih pumpi promjenom različitih rashladnih fluida.

Značajan uticaj na efikasnosti ovog sistema ima i rashladni fluid. Da bi rashladni sistem mogao da radi sa što boljim efektom uz što manji utrošak energije, da nema opasnosti od štetnog dejstva na ljudski organizam i na materijalna dobra koja se nalaze u blizini rashladnog sistema, rashladni fluid mora da ispunjava određene termičke, fizičke i hemijske uslove.

U ovom radu je posmatran uticaj različitih parametara rashladnog fluida na energetske efikasnost. Bilo je lako zaključiti da se izborom odgovarajućeg rashladnog fluida može povećati efikasnost sistema, kao i smanjiti potrošnja električne energije u zgradi.

#### LITERATURA

- [1] Gojković, R. (2013). Povećanje efikasnosti primjenom otpadne toplote u zgradarstvu primjenom toplotne pumpe, Master rad, Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Mašinski fakultet Istočno Sarajevo.
- [2] Liu X., Ni L., et al.: Performance analysis of a multi-functional Heat pump system in heating mode, Applied Thermal Engineering 51: 698-710.
- [3] Beart Q., Buet A., et al. : Operation analysis of the heat pump performance in a low energy building.

# COMET<sub>a</sub> 2014

2nd INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

2nd - 5th December 2014  
Jahorina, B&H, Republic of Srpska



University of East Sarajevo  
Faculty of Mechanical Engineering  
Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications

---

## ***APPENDIX***







## PROCEDURA REALIZACIJE MALIH HIDROELEKTRANA I MOGUĆE MJERE ZA NJENO UPROŠĆAVANJE

Vladimir Gojković<sup>1</sup>, Ranka Gojković<sup>2</sup>, Nedeljko Mijović<sup>3</sup>

*Rezime: Republika Srpska posjeduje veliki potencijal za izgradnju malih hidroelektrana. Postoje uradjeni projekti ili studije i date su koncesije za veliki broj malih HE, ali njihova realizacija ide vrlo sporim tempom zbog više razloga što tehničke, ekonomske ili administrativne prirode. U ovom radu dat je prikaz potencijala i izdatih koncesija za male hidroelektrane, kao i proces pripreme i izgradnje male hidroelektrane koji je vrlo složen proces koji je uslovljen društvenim, ekonomskim, pravnim, tehnološkim, ekološkim i drugim razlozima koji potencijalni investitor mora da prodje. Na kraju rada autori predlažu moguća rješenja za uprošćavanje te procedure kao i mjere koje bi mogle date koncesije da ucine rentabilnijim i privlačnijim za potencijalne investitore.*

*Ključne riječi: male hidroelektrane, potencijal, Republika Srpska, procedura.*

### PROCEDURES FOR IMPLEMENTATION OF SMALL HYDRO POWER PLANTS AND EXTENT OF ITS SIMPLIFICATION

*Abstract: Serbian Republic holds great potential for the construction of small hydro power plants. There are a complete project or study and were given a concession for a large number of small hydro power plants, but their implementation is going very slow pace due to several reasons which the technical, economic or administrative nature. This paper outlines the potential and issued concessions for small hydro power plants as well as the process of preparation and construction of small hydro power plants, which is a very complex process which is conditioned by the social, economic, legal, technological, environmental and other reasons that a potential investor has to pass. At the end of the paper the authors propose possible solutions for simplifying and procedures as well as measures that could give concessions to do so cost-effective and more attractive for potential investors.*

*Keywords: small hydropower, hydrpotential, Republic of Srpska, procedures.*

<sup>1</sup>Vladimir Gojković, Master mašinstva, ZP RiTE Gacko a.d Gacko, vlado.1989@yahoo.com

<sup>2</sup>Ranka Gojković, Master mašinstva, Mašinski fakultet Istočno Sarajevo, rankagojkovic@gmail.com

<sup>3</sup>Nedeljko Mijović, dip.inž.maš nedeljko.mijovic@gmail.com

## 1. UVOD

Male hidroelektrane kumulativno gledano emituju manje od svih elektrana štetne gasove u atmosferu (13,5-60 grama CO<sub>2</sub> po kilovatu), imaju najveći stepen transformacije energije (95%) i period energetske amortizacije je relativno kratak (oko godinu dana). Mana im je nestalno snabdijevanje (zavisi od padavina) ali to se može ublažiti izgradnjom akumulacija. [1] RS je je bogata hidroenergetskim potencijalom za male hidroelektrane i taj potencijal je skoro potpuno neiskorišćen. Vlada RS je dala veliki broj koncesija za njihovu izgradnju ali do realizacije tih koncesija nije došlo, prije svega zbog vrlo komplikovane administrativne procedure i nedovoljno istraženih vodotoka i prestrogih tehničkih zahtjeva. U ovom radu dat je prikaz procedura i problema s kojim se investitori suočavaju kao prijedlozi za uprošćavanje te procedure i mjere koje bi koncesije učinile rentabilnijim i privlačnijim za investitore.

## 2. HIDROENERGETSKI POTENCIJAL ZA MHE U REPUBLICI SRPSKOJ

U Republici Srpskoj, pored hidropotencijala za velike hidroelektrane postoji i značajan potencijal za hidroelektrane snaga ispod 10 MW, a to su objekti koje nazivamo male hidroelektrane. Ova vrsta hidropotencijala kod nas je skoro u potpunosti neiskorišćena. Procjenjuje se da u RS ostaje mogućnost za izgradnju MHE od oko 350 MW instalisane snage i oko 1500 GWh/godišnje proizvodnje na slivnim područjima rijeka Vrbasa, Bosne, Drine, Sane i Trebišnjice, od kojih je najznačajniji sliv rijeke Drine. U tabeli 1 dat je pregled tehnički iskoristivog potencijala za male hidroelektrane po slivovima Republike Srpske.

Tabela 1. Prikaz tehnički iskoristivog hidropotencijala za MHE u Republici Srpskoj [2]

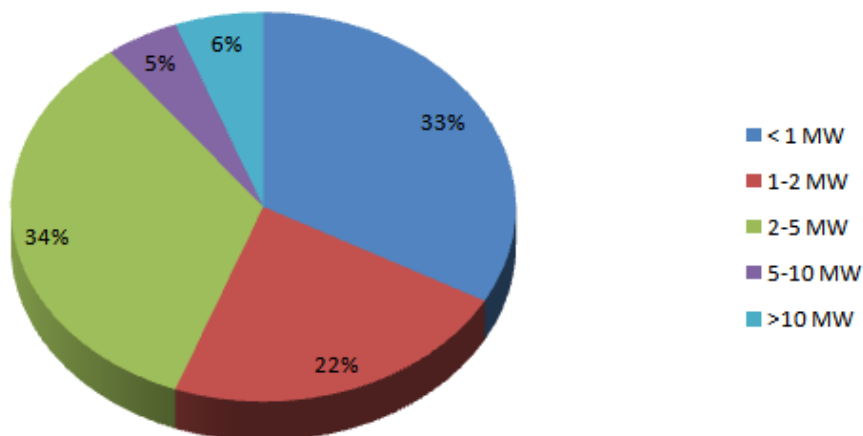
Slivno područje	Vodotok	Instalisana snaga	Pros. god. proizv.
		MW	GWh
Drina	Sutjeska	57.2	249.5
	Bistrica	79.3	327.8
	Škopotnica	6.07	25.34
	Janjina	10.16	44.88
	Radojna	12.51	44.27
	Vrbnica (Bjelava)	22.56	73.79
	Drinjača	14.90	78.30
	Rzav	10.20	41.60
	Prača	30.1	176.10
Žepa	10.7	35.30	
<b>UKUPNO DRINA</b>		<b>253.7</b>	<b>1096.88</b>
Vrbas	Janj	1.4	7.6
	Vrbanja	61.8	210.7
	Ugar	6.7	30.5
	Pliva	2.6	18.8
	Crna rijeka	4.4	14
<b>UKUPNO VRBAS</b>		<b>76.9</b>	<b>281.6</b>
<b>TREBIŠNJICA</b>		<b>0.5</b>	<b>0.4</b>
<b>SANA</b>		<b>7</b>	<b>45</b>
<b>UKUPNO BOSNA</b>		<b>17</b>	<b>100</b>
<b>UKUPNO REPUBLIKA SRPSKA</b>		<b>355</b>	<b>1524</b>

### **3. STANJE RAZVOJA NOVIH MHE U REPUBLICI SRPSKOJ**

Trenutno postoji veliki broj idejnih projekata za realizaciju malih hidroelektrana u Republici Srpskoj. Republika Srpska trenutno ima samo šest malih hidroelektrana sa ukupnom godišnjom proizvodnjom od 80 GWh, što predstavlja samo oko 5% tehnički iskoristivog hidroenergetskog potencijala.

Vlada Republike Srpske je do 2009 godine dala koncesije za izgradnju 107 malih hidroelektrana ukupne instalisane snage 280 MW i prosječne godišnje proizvodnje oko 1400 GWh (ovdje spadaju i nekoliko hidroelektrana sa instalisanom snagom preko 10 MW, ali vlada RS ih smatra malim hidroelektranama).

Koncesije su dodjeljene na svim slivovima RS, a najviše na slivu rijeke Drine (52 MHE), zatim na Vrbasu (38 MHE), preostalih 17 se nalaze na slivovima rijeka Bosne, Sane i Trebišnjice. Uzimajući u obzir snagu od ukupnog broja dodjeljenih koncesija: 35 su male hidroelektrane snage do 1 MW, 24 su snage od 1 do 2 MW, 36 su snage od 2 do 5 MW, 5 su snage od 5 do 10 MW i 6 malih hidroelektrana je snage veće od 10 MW [3]. Ovo je prikazano na dijagramu (slika 1).



Slika 1. Prikaz dodijeljenih koncesija po snazi male hidroelektrane

Većina ovih malih hidroelektrana se nalazi u slabo naseljenim planinskim područjima i derivacionog su tipa. Iako je Vlada Republike Srpske dala veliki broj koncesija za izgradnju malih hidroelektrana, do sada je realizovano samo nekoliko malih hidroelektrana, prije svega zbog: relativno visokih troškova po instalisanom kW, neadekvatnih hidroloških podataka i tehničkih rješenja, nepostojanja prostorno planske dokumentacije, nepostojanja adekvatne prenosne mreže, male cijene električne energije, ograničenog ili nedovoljnog učešća u finansiranju od strane države, ne postoje domaći proizvođači opreme, većina potrebne opreme se uvozi, (uvozna oprema je oko 20 % skuplja), komplikovane administrativne procedure i sl. Da bi došlo do realizacije ovih koncesija neophodno je aktivno učešće države i Elektroprivrede Republike Srpske.

#### 4. PRIPREMA, IZGRADNJA I USLOVI ZA PRIKLJUČENJE MALIH HIDROELEKTRANA NA ED MREŽU RS

Na mrežu ED može da se priključi mala hidroelektrana: koja ispunjava tehničke uslove; koja je opremljena zaštitnim i drugim uređajima kojima se štiti generatori i druga oprema MHE od oštećenja i havarija zbog kvarova u mreži, ili zbog nedozvoljene razlike napona, frekvencije i/ili faznog stava u maloj elektrani i mreži ED kod priključenja na mrežu ED; koja ispunjava zahtjeve propisa o zaštiti životne sredine.

Tehnički uslovi koje mora da zadovolji mala hidroelektrana su: kriterijum dozvoljene snage MHE, kriterijum flikera, kriterijum dozvoljenih struja viših harmonika, kriterijum snage kratkog spoja. U skladu sa Zakonom o električnoj energiji i Opštim uslovima za isporuku i snabdijevanje električnom energijom, vlasnik male hidroelektrane-investitor je dužan da: pribavi elektroenergetsku saglasnost za priključenje male hidroelektrane na mrežu ED; izradi projektnu dokumentaciju za izgradnju objekta, prema definisanim tehničkim uslovima i pribavi odobrenje za upotrebu objekta.

Elektroenergetska saglasnost potrebna je za dobijanje urbanističke saglasnosti i odobrenja za građenje. Elektroenergetska saglasnost sadrži tehničke i elektroenergetske uslove za priključenje male hidroelektrane na mrežu ED. Elektroenergetski uslovi određuju napon mjesta priključenja (tačke napajanja), instalisanu snagu male hidroelektrane i maksimalnu jednovremenu snagu koja može da se preuzme iz mreže ED. Tehnički uslovi utvrđuju vrstu, način i mjesta priključenja (mjesto priključenja male hidroelektrane i mjesto priključenja na mrežu ED) u skladu sa propisima, standardima i normama kvaliteta. Postupak za pribavljanje elektroenergetske saglasnosti je sljedeći [4]:

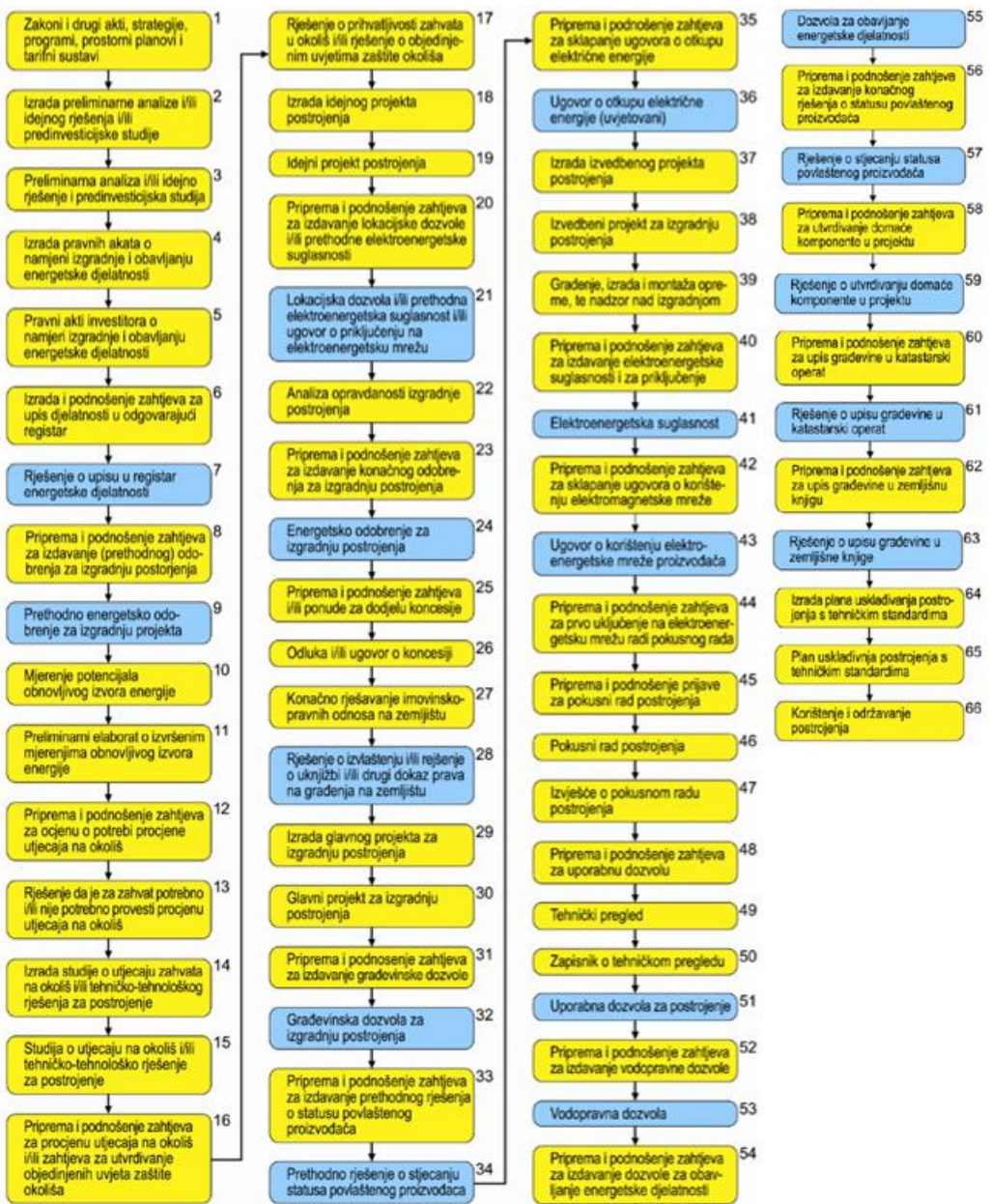
a) Vlasnik male hidroelektrane - investitor na odgovarajućem obrascu ED podnosi Zahtjev za izdavanje elektroenergetske za priključenje male elektrane na mrežu ED i uz ovaj zahtjev nadležnoj ED predaje sljedeća dokumenta: situacioni plan (katastarski plan) sa ucrtanim objektima MHE; kopiju idejnog projekta male hidroelektrane; podatke o zaštitnim uređajima generatora i pripadajućih transformatora; podatke potrebne za proračun struja kratkih spojeva; podatke o očekivanim strujama viših harmonika; kopija ugovora o koncesiji (ako je predviđeno njegovo zaključivanje).

b) Nadležni organ ED u roku od 30 dana od podnošenja zahtjeva donosi Rješenje o elektroenergetskoj saglasnosti ako na lokaciji na kojoj treba da se izgradi mala hidroelektrana postoje izgrađeni elektroenergetski objekti koji imaju tehničke mogućnosti za priključenje i paralelan rad male hidroelektrane i mreže ED.

Period važenja elektroenergetske saglasnosti po pravilu nije ograničen, pri čemu izdata saglasnost prestaje da važi ako podnosilac zahtjeva u roku od dvije godine ne zaključi ugovor o priključenju (s tim da se ovaj rok može produžiti za još dvije godine).

Pored svega ovoga da bi dobio energetske licencu investitor mora da ispuni sljedeće uslove: upis u registar privrednih subjekata, ispunjenost tehničkih uslova za MHE, kadrovska osposobljenost, raspolaganje finansijskim sredstvima (dokaz o bonitetu, bilans stanja), neoduzimanje licence u posljednje tri godine, neosuđivanost za krivična djela iz oblasti privrede članova uprave.

Proces pripreme i izgradnje male hidroelektrane je vrlo složen proces koji je uslovljen društvenim, ekonomskim, pravnim, tehnološkim, ekološkim i drugim razlozima. Ovaj proces je prikazan u dijagramu toka na slici 2 [2].



Slika 2. Proces pripreme i izgradnje male hidroelektrane

#### 4.1 Prepreke za dobijanje neophodnih dozvola

Tačan broj odluka i dozvola neophodnih za izgradnju i puštanje u rad MHE zavisi od instalisane snage MHE kao i njene lokacije. Određene dozvole i odluke nisu propisane kao obavezne, ali ih nadležni organi republike i lokalne samouprave mogu zahtijevati, tako da tačan broj ne može biti precizno određen i zaokružen. Prosječno neophodno je prikupiti 20-tak odluka i dozvola. Prikupljanje svake dozvole zahtijeva vrijeme, novac, komplikovanu proceduru pripreme dokumentacije. Vrijeme za



prikupljanje svih dozvola je duže od jedne godine. Kako je izgradnja MHE relativno nova stavka u pravnim procedurama Republike Srpske, mogućnost greške činovnika u javnim ustanovama se ne može zanemariti što može rezultovati odbijanjem određenih dozvola, ili neplaniranim ili nenadoknadivim gubitkom vremena i novca. U ovom slučaju vrijeme je bitniji faktor od novca pošto određene dozvole imaju definisani rok važenja. Ukoliko građevinski radovi ne počnu za vrijeme dok važi ta dozvola, dozvola se ukida. Takođe, u slučaju da je više investitora, ne može se isključiti mogućnost lobiranja u lokalnim samoupravama ili u javnim ustanovama od strane određenog investitora.

#### 4.2 Otkupna cijena energije proizvedene u malim hidroelektranama u RS

Vlada Republike Srpske je donijela odluku o otkupu električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije po povlašćenim cijenama. Otkupna cijena za energiju proizvedenu u malim hidroelektranama prikazana je u tabeli 2.

Tabela 2. Prikaz garantovane otkupne cijene i premije za električnu energiju dobijenu iz malih hidroelektrana u Republici Srpskoj [5]

Tip elektrane prema vrsti izvora energije	Prodaja u obaveznom otkupu po garantovanim otkupnim cijenama			Prodaja na tržištu	
	Garant. otkupna cijena KM/kWh	Referen. cijena KM/kWh	Premija KM/kWh	Referen. cijena KM/kWh	Premija KM/kWh
<b>Hidroelektrane</b>					
do uključivo 1 MW	<b>0,1541</b>	0,0541	0,1000	0,0851	<b>0,0690</b>
od 1 MW do 5 MW	<b>0,1327</b>	0,0541	0,0786	0,0851	<b>0,0476</b>
od 5 MW do 10 MW	<b>0,1245</b>	0,0541	0,0704	0,0851	<b>0,039</b>

Kao što se može vidjeti sa tebele 2, što je instalisana snaga male hidroelektrane manja to je premija za otkup električne energije veća.

### 5. MOGUĆE MJERE ZA UPROŠĆAVANJE PROCEDURE PRIPREME, IZGRADNJE I PRIKLJUČIVANJA MALIH HIDROELEKTRANA NA ED RS

Tokom realizacije kocesije tj male hidroelektrane potencijalni investitor se susreće sa mnogobrojnim problemima različite prirode. Sve ove probleme možemo svrstati u tri glavne grupe i to: ekonomsko-finansijski, pravno-regulativni i tehničko-tehnološki problemi.

#### 5.1 Ekonomsko-finansijske prepreke i preporuke za njihovo uklanjanje

Iako je Vlada Republike Srpske donijela odluku o otkupu električne energije po povlašćenim cijenama, ta povlašćena cijena nije dovoljna za male hidroelektrane sa instalisanom snagom manjom od 5 MW. Razlog je to, što je poznato, da je cijena izgradnje male hidroelektrane po kilovatu veća ukoliko je instalisana snaga manja.

Kod većine koncesija ne postoji odgovarajuća pristupna infrastruktura (saobraćajnice), velika udaljenost dalekovoda i sl. Izgradnja te infrastrukture iziskuje velike novčane troškove. Veliki problem je i to što kod nas ne postoje domaći

proizvođači potrebne elektromašinske opreme, što dodatno poskupljuje cijenu izgradnje male hidroelektrane.

Vlada Republike Srpske bi raznim mjerama da ukoni ili da ublaži ove barijere i to na sljedeći način: povećanjem premije za energiju dobijenu od malih hidroelektrana sa instalisanom snagom manjom od 1 MW i od 1 do 5 MW, davanjem subvencionisanih kredita potencijalnim investitorima, ukidanjem carine za svu uvoznu opremu koja se koristi za izgradnju i eksploataciju, podsticanjem lokalnih samoprava za pomoć investitorima prilikom izgradnje pristupne infrastrukture tamo gdje je to potrebno, podsticanjem međunarodne saradnje kojom se mogu obezbijediti nove tehnologije i znanja kao i pristup sredstvima iz odgovarajućih fondova za razne pilot projekte. Dobijena električna energija bi bila namijenjena izvoznim tržištima na kojim je prosječna prodajna cijena električne energije znatno veća nego kod nas pa bi se na taj način nadoknadili troškovi subvencionisanja investitora i gradnje malih hidroelektrana.

## **5.2 Pravno-regulativne prepreke i preporuke za njihovo uklanjanje**

Osnovni problem što je i danas Vlada Republike Srpske ili nadležne institucije nisu postavile jasan pravno-regulativni okvir koji bi omogućio investitoru transparentan postupak pri procesu ulaganja. I dalje je potrebno izvaditi preko dvadeset različitih dozvola u raznim institucijama u lokalnim samoupravama do državnih organa. Ne postoji jasna regulativa sa obrazloženim procedurama u slučajevima različitih stepena uređenosti dokumentacije ili različitog tumačenja na koje investitor nalazi u opštinama.

Značajan problem je nedovoljna stručnost nadležnih organa za izdavanje koncesija i potrebnih dozvola za izgradnju male hidroelektrane. Regulisanje pravnog okvira je najkrupnija prepreka bržoj izgradnji malih hidroelektrana. Nadležne institucije bi sljedećim mjerama mogle značajno da ublaže pravne barijere i to na sljedeći način: smanjivanjem i pregrupisanjem svih odluka i dozvola na naprimjer tri glavne dozvole i to: elektroenergetska saglasnost, tehničko-tehnološka dozvola i ekološka dozvola, osnivanjem Agencije za male hidroelektrane koja bi koordinisala sve postojeće institucije nadležne za izdavanje dozvola za male hidroelektrane, što bi značajno smanjilo vrijeme neophodno za prikupljanje potrebnih dozvola, i pružala usluge informisanja i konsaltinga za potencijalne investitore.

## **5.3 Tehničko tehnološki problemi i preporuke za njihovo uklanjanje**

Kod nas postoji veliki nedostatak stručnog kadra u ovoj oblasti i što je posebno važno i iskustva posebno zbog toga što investitori zahtijevaju da tehnološka rješenja budu optimalna i najisplativija u najvećoj mogućoj mjeri. Inženjeri koji su radili na velikim hidroelektranama kao prioritet nisu imali ekonomsku isplativost. Neki tehnički zahtjevi kao što su ugradnja raznih mjernih uređaja, hidroloških stanica, ugradnja razne pomoćne i prateće opreme koje se traže kod malih hidroelektrana čak i kod mikro i mini hidroelektrana nema nikakvog smisla, kao što je slučaj sa velikim hidroelektranama. Ispunjavanje ovih zahtjeva iziskuje mnogo vremena i novčanih troškova. U katastru malih hidroelektrana Republike Srpske postoji veliki broj lokacija za male hidroelektrane, ali kod velikog broja tih lokacija su nedovoljno precizne ili zastarele hidrološke i geografske podloge pa njihovo nadopunjavanje uzrokuje velike probleme potencijalnim investitorima. Ovi probleme vlada Republike Srpske ili nadležne institucije bi mogli riješiti na sljedeći način: organizovanjem raznih kurseva i predavanja za prekvalifikovanje potrebnog kadra ili angažovanjem stranih stručnjaka, uvođenje monitoringa korišćenja hidropotencijala koji je neohodan za ažuriranje podataka vezanih za Katastar malih hidroelektrana, a zatim ažuriranje podataka

vezanih za apliciranje ili direktno korišćenje tih potencijala, ukidanjem nepotrebnih tehničkih zahtjeva za mini i mikro hidroelektrane.

## 6. ZAKLJUČAK

Republika Srpska je zahvaljujući svojim prirodnim karakteristikama bogata hidroenergijom. Bruto tehnički iskoristiv hidropotencijal koji pripada RS-oj za male hidroelektrane iznosi preko 1500 GWh godišnje. Taj potencijal je skoro u potpunosti neiskorišćen. Izgradnja malih hidroelektrana bi značajno doprinijela stabilnosti elektroenergetskog sektora Republike Srpske i dovela bi do otvaranja novih preko potrebnih radnih mjesta. Posebna prednost je to što se većina planiranih malih hidroelektrana nalazi na demografski ugroženim i privredno nerazvijenim ruralnim dijelu RS gdje su investicije preko potrebne. Potencijalni investitori se suočavaju sa raznim ekonomskim, pravno-regulativnim i tehničkim barijerama. Zbog ovih barijera realizacija izdatih koncesija ide vrlo spori tempom. Potrebne su razne hitne mjere za ublažavanje ili uklanjanje tih barijera. To se može uraditi primjenom seta različitih mjera kao što su povećanje premije i otkupne cijene električne energije, davanjem subvencionisanih kredita, uprošćavanjem administrativnih procedura, osnivanjem Agencije za hidroelektrane kao glavno nadležno tijelo za izgradnju malih hidroelektrana i slično. U sličaju primjene ovih mjera može se očekivati realizacija većine izdatih koncesija u periodu do pet godina.

## LITERATURA

- [1] Kalea, M. (2006) Opšta svojstva obnovljivih izvora energije
- [2] Gojković, V. (2014) Master rad: Tehničko rješenje male hidroelektrane u Republici Srpskoj, Mašinski fakultet Istočno Sarajevo,
- [3] Milovčević, N. (2009) Stanje projekta male hidroelektrane u Republici Srpskoj, [www.vladars.net](http://www.vladars.net).
- [4] Elektroprivreda Republike Srpske (2009) Pravilnik o priključenju malih elektrana na mrežu elektrodistribucije Republike Srpske,
- [5] Regulatorna komisija za energetiku Republike Srpske (2013), <http://www.reers.ba/lat/node/1246>



# COMET<sub>a</sub> 2014

2nd INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

2nd - 5th December 2014  
Jahorina, B&H, Republic of Srpska



University of East Sarajevo  
Faculty of Mechanical Engineering  
Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications

---

## ***INDEX OF AUTHORS***



## INDEX OF AUTHORS

<b>A</b>	
Agić Dragana	629
Antunović Dragan	243
Antunović Ranko	381
Arsenijević Dragan	227
Ašonja Goran	251
Atanasovska Ivana	389

<b>B</b>	
Bajić Nikola	129
Banić Milan	529
Bašić Hazim	69
Blagojević Milan	321, 365, 459
Blagojević Mirko	437, 513, 697
Blanuša Vladimir	41
Bojanić Mirjana	49, 59
Božičković Zdravko	539
Bratić Dejan	481
Bundalo Zoran	429

<b>C</b>	
Cvijić Milan	639

<b>Č</b>	
Čiča Đorđe	539
Čudić Saša	603
Čukanović Dragan	459
Čojbašić Žarko	149

<b>Ć</b>	
Ćojbašić Žarko	
Ćosić Predrag	17
Ćurić Srđan	203

<b>D</b>	
Daut Denjo	81
Dedić Remzo	407
Delibašić Dino	589
Delić Neira	633, 701
Desnica Eleonora	135
Dimitrov Lubomir	9
Dobraš Dragoslav	539
Dobrnjac Mirko	281
Dučić Nedeljko	149
Dudjak Ljubica	709
Duraković Jusuf	629

**Dž**

Džaferović Ejub 189

**Đ**

Đindo Haris 407

Đorđević Zorica 437

Đukić Himzo 81

Đurić Aleksija 471, 571, 579, 757

Đurović Davorin 645

**E**

Emić Azra 701

Erić Jelena 321

**G**

Gavrilović Branislav 429

Gavrilović Savo 429

Geramitchioski Tale 357

Gojković Ranka 621, 777, 785

Gojković Vladimir 777, 785

Golubović Dušan 281, 307, 313

Grubiša Luka 481

Grujičić Rade 481, 547

Grujić Miodrag 169

Grujović Nenad 103

Gvero Petar 251, 259

**H**

Hadžikadunić Fuad 89

Halač Almin 189

Halep Amir 381

Halilović Velid 251, 259

Hasanbegović Suad 89

Hodžić Atif 141

Hozdić Elvis 653

Hozdić Emine 653

Hut Igor 155

**I**

Ikić Marko 219, 251

Imamović Emir 589

Ivanisević Aljosa 75

Ivanović Gradimir 497

Ivanović Lozica 505

Ivezić Dejan 169

**J**

Janković Olivera 725, 729,

Janošević Dragoslav 415, 521

Jeremić Dejan 327, 339, 717

Jocanović Mitar 195

Joksimović Ratko 763

Jovanović Ivica 111

Jovanović Relja	371
Jovanović Saša	437
Jovanović Vesna	415, 521
Jovičić Goran	49, 59

## K

Kacmarcik Igor	75
Karanović Velibor	195
Klarić Smail	597
Knežević Darko	397
Knežević Ljubica	321
Knežević Mladen	121
Kostić Nenad	513, 697
Košarac Aleksandar	347
Kraišnik Milija	161, 195
Krajišnik Maja	297
Krstić Vladislav	563
Kunarac Marija	777
Kuzmanović Igor	103
Kuzmanović Siniša	443

## L

Lakić-Globočki Gordana	539
Lale Srđan	219
Laloš Saša	397
Lemeš Samir	69
Lubura Slobodan	219
Lukač Duško	95

## M

Mančić Marko	175, 211
Manjgo Mersida	235
Marić Bogdan	539
Marjanović Nenad	513, 697
Marković Biljana	571, 579, 613, 717
Maslo Merima	235
Mastilo Veljko	267, 273
Matejić Miloš	437, 505, 513, 697
Medaković Vlado	251, 259, 639, 645
Mesarović Siniša	365
Mijanović Ognjen	481
Mijanović Zoran	481
Mijanović Markuš Marina	481
Mijović Nedeljko	785
Milić Davor	259, 281, 307, 313
Milić Predrag	415
Milovanović Vladimir	365
Miltenović Aleksandar	529
Miltenović Vojislav	529,
Milutinović Miroslav	347, 471
Mirjanić Dragoljub	155
Mišić Mihajlović Snežana	589
Mišković Žarko	491, 497, 681, 689

Mitic Sinisa	709
Mitrović Radivoje	389, 491, 497, 681, 689
Moljević Slaviša	621
Movrin Dejan	75
Muhamedagić Sulejman	629
Musa Dalibor	621

## N

Nedić Novak	421
Nešović Jovan	227
Nezirović Ekrem	141
Nikolić Aleksandar	365
Nojner Vojkan	555, 563
Nožić Mirna	81

## O

Ognjanović Milosav	1
Orašanin Goran	737
Oruč Mirsada	629

## P

Padbidri Jagan	365
Palinkaš Ivan	135
Panić Luka	141
Pašalić Zorana	103
Pavlović Jovan	415, 521
Pekez Jasmina	129, 135
Pelemiš Svetlana	155
Pelkić Srđan	571, 579
Petković Darko	69
Petrović Marija	669
Petrović Mina	669
Petrović Nenad	505, 513, 697
Petrović Predrag	669
Petrović Žarko	161
Plancak Miroslav	75
Plančić Ibrahim	69
Pobrić Senada	597
Popović Mihajlo	25
Prodanović Saša	421
Puzić Nijaz	371

## R

Rackov Milan	443
Radić Nebojša	327, 339, 347
Radojičić Mihailo	757
Radovanović Ljiljana	135
Ristić Dragana	737,
Ristić Miloš	1
Ristivojević Mileta	463
Rogić Miroslav	95
Rupar Miljan	407

**S**

Savic – Sikoparija Tatjana	709
Savić Milan	243
Savić Miljan	663
Sekulić Lana	327
Simić Stojan	281, 307, 313
Slavković Radomir	149
Soldat Nataša	389
Sorak Miloš	603
Spaić Obrad	203
Spasov Spas	9
Sredojević Jovan	297
Stameniće Zoran	463, 491, 497, 681
Stanojević Mićo	103
Stefanović Milentije	161
Stijačić Novica	281, 307, 313
Stijačić Sanja	281, 307, 313
Stojadinović Slobodan	129
Stojilković Mile	289

**Š**

Šehovac Savo	645
Šiđanin Leposava	161
Šljivić Milan	103, 161
Šoja Milomir	219
Šolaja Marko	771

**T**

Tabaković Slobodan	59
Talić-Čikmiš Amra	89
Tanasijević Rajko	747
Tanović Ljubodrag	25
Tarahija Fahrudin	633
Tasić Marko	463
Tasić Milan	497
Temeljkovski Dragana	183
Terzović Jefto	491
Tešanović Duško	371
Tešanović Goran	663
Tihaček Šojić Ljiljana	321
Todorović Milena	175, 211
Tomović Radoslav	481, 547
Topalović Marko	365
Tovarović Alojz	267, 273
Trajceovski Ljupco	357
Trifković Spasoje	347, 471

**V**

Vasilić Goran	33
Vasiljević Marko	371
Vasin Sanja	1
Vasković Srđan	219, 251, 259, 645
Velimirović Ana	669

Vereš Miroslav	443
Vilotić Dragiša	75, 161
Vučetić Nikola	347, 471, 757
Vučijak Branko	589, 737
Vučina Adisa	407
Vučinić Radivojka	571
Vučković Goran	183
Vukoja Božo	621
Vukojević Nedeljko	89
Vukotić Vojin	747
Vulović Snežana	459

## Z

Zeljковић Milan	41, 49
Zuvić Miloš	437

## Ž

Živanović Saša	33,
Živković Dragoljub	175, 211
Živković Marija	169
Živković Miroslav	321, 365, 459
Živković Predrag	451



# COMET<sub>α</sub> 2014

2nd INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

2nd - 5th December 2014  
Jahorina, B&H, Republic of Srpska



University of East Sarajevo  
Faculty of Mechanical Engineering  
Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications

---

## ***PRESENTATIONS OF PARTICIPANTS***





# SHIMADZU

## Excellence in Science

Shimadzu je poznati svjetski proizvođač uključen u istraživačke aktivnosti najsuvremenijih znanstvenih područja; od ekologije i medicine, preko zračne i automobilske industrije pa sve do proizvodnje industrijske, analitičke, mjerne i biotehnoške opreme.

Osnovan davne 1875. godine svoje sjedište danas ima u Kyotu, Japan, a mreža proizvodnih, R&D i prodajno-servisnih centara obuhvaća SAD, Europu, Aziju, Kinu te u novije vrijeme i nova izlazeća tržišta Brazila, Indije i Rusije.

Shimadzu tehnologija je izgrađena prema kupcu, služi na dobrobit ljudima i u skladu je s etičkim vrijednostima, okolišem i prirodom te je glavni cilj svih aktivnosti je postići apsolutno zadovoljstvo kupaca kroz stvaranje superiornih proizvoda i usluga.

To podrazumijeva najmodernije tehnologije odličnog omjera cijene i kvalitete, najbolje savjete i podršku, kao i stalna preventivna održavanja opreme te treninge za kupce. Shimadzu sustavi i servis u potpunosti su sukladni sa svim međunarodnim standardima.

Ovo sve je dostupno i kupcima u Bosni i Hercegovini.

**Prodaja i servis Shimadzu d.o.o. Sarajevo, ulica Tešanjka 7**

**Tel: +38733 550 515**

**Fax: +387 33 550 518**

**<http://www.shimadzu.com.ba/>**

**e-mail: [shimadzu@shimadzu.com.ba](mailto:shimadzu@shimadzu.com.ba)**





Naše znanje traje...



**SCADA DCS SISTEMI**  
INSTITUTA "MIHAJLO PUPIN"

**Pouzdanost**  
**Robustnost**  
**Trajanje**



**View SCADA sistemi za:**

- Upravljanje u prenosnim i distributivnim mrežama električne i toplotne energije
- Upravljanje tehničkim sistemima
- Sistemi upravljanja u komunalnim delatnostima
- Sistemi obaveštavanja i uzbunjivanja
- Upravljanje industrijskim procesima

**DCS sistemi za:**

- hidroelektrane
- termoelektrane
- na kopovima uglja

Volgina 15, 11060 Beograd, Srbija Telefon: +381 11 6771 017  
automatika@pupin.rs www.pupin.rs www.view4.rs www.atlas-max.rs



● **BIOPROIZVODI**

- Dvotakfol bio
- Testerol bio
- Biohidraulik- HEES
- Biorazgradive mazive masti

- **Motorna ulja**
- **Ulja za mjenjače i diferencijale**
- **Ulja za automatsku transmisiju**
- **Tečnosti za hlađenje i zaštitu motora**
- **Maziva i tečnosti za industrijska postrojenja**
- **Ulja za obradu metala**
- **Mazive masti**
- **Bazna ulja Grupa II i Grupa III**
- **Bijeljeni parafini**

**58** godina iskustva u proizvodnji baznih ulja i maziva

**32** godina iskustva u proizvodnji hidrokrekovanih baznih ulja

RAFINERIJA ULJA MODRIČA; Vojvode Stepe Stepanovića 49; 74480 Modriča, Bosna i Hercegovina  
Tel: +387 53 810 111; Fax: +387 53 812 541 info@modricaoil.com www.modricaoil.com







ГРАД ИСТОЧНО САРАЈЕВО  
GRAD ISTOČNO SARAJEVO



Olimpijski centar  
**JAHORINA**



tehničko razvojni centar

---

**Opština Istočno Novo Sarajevo**

CIP - Каталогизација у публикацији  
Народна и универзитетска библиотека  
Републике Српске, Бања Лука

621.03(082)

МЕЂУНАРОДНА научна конференција "Примијењене технологије у машинском инжењерству" COMET a (2 ; 2014 ; Источно Сарајево)  
Zbornik radova / 2. Međunarodna naučna konferencija  
"Primijenjene tehnologije u mašinskom inženjerstvu" COMETA 2014, Istočno Sarajevo - Jahorina 2014. = Proceedings / 2nd International Scientific Conference "Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications" COMETA 2014, East Sarajevo - Jahorina 2014. ; [urednici, editors Biljana Marković, Ranko Antunović, Milija Kraišnik]. - 1. izd. - Istočno Sarajevo : Mašinski fakultet, 2014 (Istočno Sarajevo : Kopikomerc). - VIII, 798 str. ; 25 cm

Tekst na srp. i engl. jeziku. - Tiraž 100. - Napomene i bibliografske reference uz tekst. - Bibliografija uz svaki rad. - Rezimei na engl. i srp. jeziku.

ISBN 978-99976-623-1-6

COBISS.RS-ID 4642584