



University of Novi Sad  
Faculty of Technical Sciences  
Department of Production Engineering

---



# **ETIKUM 2013**

## **PROCEEDINGS**

---

Novi Sad, 12-13 June 2013

PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE  
**ETIKUM 2013 - METROLOGY AND QUALITY IN PRODUCTION ENGINEERING AND  
ENVIRONMENTAL PROTECTION**

**Novi Sad 2013**

---

*Publisher:* **FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES  
DEPARTMENT OF PRODUCTION ENGINEERING  
21000 NOVI SAD, Trg Dositeja Obradovica 6  
SERBIA**

---

*Organization of this Conference was approved by Educational-scientific Council of Faculty of Technical Sciences in Novi Sad*

---

*Editor:* Dr Rade DOROSLOVACKI, professor, dean

*Reviewer's team:* Dr Bogdan SOVILJ, professor  
Dr Dragisa VILOTIC, professor  
Dr Djordje VUKELIC, assistant professor  
Dr Igor BUDAK, assistant professor  
Dr Janko HODOLIC, professor  
Dr Miodrag HADZISTEVIC, associate professor  
Dr Miroslav PLANCAK, professor

*Technical treatment and design:* MSc Branislav MILANOVIC  
MSc Branislava CRNOBRNJA  
MSc Boris AGARSKI, assistant  
MSc Darko MILANKOVIC  
MSc Ivan MATIN, associate  
MSc Milana ILIC

*Manuscript submitted for publication:* June 26, 2013

*Printing:* 1<sup>st</sup>

*Circulation:* 200 copies

*CIP classification:*

CIP-

621:658.562(082)  
502.175(082)

**INTERNATIONAL Scientific Conference "Metrology and Quality  
in Production Engineering and Environmental Protection"  
(2013 ; Novi Sad)**

Proceedings / International Scientific Conference  
"Metrology and Quality in Production Engineering and  
Environmental Protection", ETIKUM 2013, Novi Sad, June  
12-13, 2013 ; [editor Rade Doroslova ki]. - Novi Sad :  
Faculty of Technical Sciences, Department of Production  
Engineering, 2013 (Novi Sad : Grid). - 2012 str. : ilustr. ;  
27 cm

Radovi uporedo na engl. i srp. jeziku. - Tiraž 200. -

ISBN 978-86-7892-512-2

) M - - - )

COBISS.SR-ID 279515911

*Printing by:* FTN, Graphic Centre  
GRID, Novi Sad

---

*Financing of the Proceedings was sponsored by the Provincial Secretariat for Science and Technological Development of AP Vojvodina.*

---

## CONFERENCE ORGANIZER

---

University of Novi Sad  
Faculty of Technical Sciences  
Department of Production Engineering  
Novi Sad, Serbia

## PROGRAMME COMMITTEE

---

*Assist. Prof. dr Aco Antic*  
*Prof. dr Aleksandar Todorovic, SF Beograd*  
*Prof. dr Bogdan Sovilj, FTN Novi Sad*  
*Prof. dr Borut Kosec, FS Ljubljana*  
*Assist. Prof. dr Branka Nakomcic-Smargdakis, FTN*  
*Dr Branka Trifkovic, SF Beograd*  
*Prof. dr Branko Skoric, FTN Novi Sad*  
*Assist. Prof. dr Djordje Vukelic, FTN Novi Sad*  
*Prof. dr Dragisa Vilotic, FTN Novi Sad*  
*Prof. dr Drazan Kozak, SF Slavonski Brod*  
*Prof. dr Dubravka Markovic, MF Novi Sad*  
*Dr Ferenc E. Kiss, TF Novi Sad*  
*Prof. dr Goran Stojanovic, FTN Novi Sad*  
*Prof. dr Goran Vujic, FTN Novi Sad*  
*Assist. Prof. dr Igor Budak, chairman*  
*Prof. dr Ilija Cosic, FTN Novi Sad*  
*Prof. dr Janko Hodolic, FTN Novi Sad*  
*Assist. Prof. dr Jelena Radonic, FTN Novi Sad*

*Prof. dr Klara Szita Toth, EF Miskolc*  
*Prof. dr Larisa Blazic, MF Novi Sad*  
*Assist. Prof. dr Maja Turk-Sekulic, FTN Novi Sad*  
*Assist. Prof. dr Milovan Lazarevic, FTN Novi Sad*  
*Assoc. Prof. dr Miodrag Hadzistevic, FTN Novi Sad*  
*Prof. dr Mira Govorcin, MF Novi Sad*  
*Prof. Emeritus dr Mirjana Vojinovic-Miloradov, FTN*  
*Prof. dr Mirko Sokovic, FS Ljubljana*  
*Prof. dr Miroslav Plancak, FTN Novi Sad*  
*Prof. dr Petar Petrovic, MF Belgrade*  
*Prof. dr Slavko Arsovski, MF Kragujevac*  
*Prof. dr Tatjana Puskar, MF Novi Sad*  
*Prof. dr Viktor Till, MF Novi Sad*  
*Assist. Prof. dr Viktorija Vucaj-Cirilovic, MF Novi Sad*  
*Prof. dr Zbigniew Klos, PP Poznan*  
*Prof. dr Zdravko Krivokapic, MF Podgorica*  
*Prof. dr Zeljko Ivandic, SF Slavonski Brod*  
*Assist. Prof. dr Zivana Jakovljevic, MF Beograd*

## ORGANIZING COMMITTEE

---

*Prof. dr Bogdan Sovilj, FTN Novi Sad*  
*MSc Boris Agarski, assistant*  
*MSc Branislav Milanovic, Secretary*  
*MSc Branislava Crnobrnja*  
*MSc Branko Strbac, assistant*  
*MSc Darko Milankovic*  
*Assist. Prof. dr Djordje Vukelic*

*Assist. Prof. dr Igor Budak*  
*MSc Ivan Matin, associate*  
*MSc Ivan Sovilj-Nikic, assistant*  
*Prof. dr Janko Hodolic, chairman*  
*MSc Milana Ilic*  
*Assoc. Prof. dr Miodrag Hadzistevic*  
*MSc Sanja Kojic*

## **ACKNOWLEDGEMENT**

Organisation of International Scientific Conference ETIKUM 2013 was made possible with understanding and financial help of following sponsors:

- **PROVINCIAL SECRETARIAT FOR SCIENCE AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT OF AP VOJVODINA** – Novi Sad
- **FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES** - Novi Sad
- **DEPARTMENT FOR PRODUCTION ENGINEERING AT THE FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES** - Novi Sad
- **BEOTOK DOO** - Pancevo
- **FKL** – Temerin
- **HITARD ENGINEERING** – Novi Sad
- **JKP PARKING SERVIS** - Novi Sad
- **MAJEVICA HOLDING** – Backa Palanka
- **MANZAN 98 OC DOO** - Petrovaradin
- **NOVUM** - Kikinda
- **RT-RK** - Novi Sad
- **TEHNOEXPORT** - Indjija
- **VOJVODINA METAL CLUSTER** - Temerin

# **Predgovor**

*Naučno stručna konferencija sa međunarodnim učešćem ETIKUM 2013 se održava po sedmi put i može se reći da je već postala tradicionalna. Kada je koncipirana 2006. godine, konferencija je osmišljena kao informativno-edukativna i naučno-stručna. Informativno-edukativna dimenzija se oslikava kroz učešće predavača iz redova stručnih predstavnika eminentnih proizvođača opreme koja se koristi u edukativnim i istraživačkim procesima na našem Fakultetu. Pri tome je akcenat na diseminaciji informacija i edukaciji u vezi sa tehnološkim novitetima u oblasti hardverskih i softverskih komponenti. Naučno-stručna dimenzija konferencije se ostvaruje kroz predstavljanje naučnih i stručnih rezultata, pre svega, iz oblasti koje pokriva Katedra za metrologiju, kvalitet, pribore, alate i ekološko inženjerske aspekte. Pored toga, zahvaljujući razvoju interdisciplinarnе saradnje, konferencija je ove godine obuhvatila i srodne naučno stručne oblasti, u okviru kojih članovi Katedre realizuju naučno-istraživačke i stručne projekte.*

*U kontekstu navedene koncepcije ove godine je konferencija strukturirana u četiri tematske celine:*

- 1. Metrologija i kontrola kvaliteta u proizvodnom mašinstvu*
- 2. Metrologija i kontrola kvaliteta u biomedicinskom inženjerstvu*
- 3. Metrologija i kvalitet u zaštiti životne sredine*
- 4. Ocenjivanje životnog ciklusa proizvoda.*

*Prva tematska oblast je, pored klasičnih aspekata metrologije i kvaliteta u oblasti proizvodnog mašinstva, obuhvatila i precizno inženjerstvo, odnosno nano metrologiju i srodne tehnologije. U kontekstu toga je na konferenciji prezentovan deo rezultata ostvarenih u okviru projekta TR32016 "Innovative electronic components and systems based on inorganic and organic technologies embedded in goods and consumer products".*

*U okviru druge tematske oblasti su, prevashodno, predstavljeni rezultati istraživanja na nacionalnom projektu u oblasti tehnološkog razvoja TR35020 „Istraživanje i razvoj metoda modeliranja i postupaka izrade dentalnih nadoknada primenom savremenih tehnologija i računarom podržanih sistema“.*

*Treća tematska oblast je obogaćena rezultatima ostvarenim u okviru realizacije projekta od značaja za nauku i tehnološki razvoj AP Vojvodine "Kontinualno unapređenje kvaliteta proizvoda i procesa tokom celokupnog životnog ciklusa".*

*Četvrta tematska oblast je posvećena prezentaciji edukativno-naučno-stručnih rezultata u oblasti ocenjivanja životnog ciklusa proizvoda, i to pre svega partnera sa mreže CASE-LCA, ali i drugih eminentnih stručnjaka iz te oblasti. Takođe, deo rezultata koji je prezentovan u okviru ove sekcije je realizovan kroz multilateralni projekat "The platform for building the network of LCA centers and R&D institutes from Central and Southeastern Europe" u okviru kojeg je i formirana pomenuta CASE-LCA mreža.*

*Na konferenciji ETIKUM 2013 je prezentovano 48 naučnih i stručnih radova, a održane su i tri informativno edukativne prezentacije stručnih predstavnika Ministarstva energetike, zaštite životne sredine i razvoja Republike Srbije, odnosno renomiranih kompanija GOM mbH iz Nemačke i Bruel and Kjaer iz Danske. U radu konferencije je učestvovalo preko 100 predavača i slušalaca iz akademskih institucija i privredne iz osam evropskih zemalja.*

*Prethodno pomenute činjenice predstavljaju, sa jedne strane, potvrdu koncepcije konferencije, a sa druge strane, garanciju da će konferencija ETIKUM i narednih godina figurisati kao značajan informativno-edukativni i naučno-stručni događaj na ovim geografskim prostorima.*

# Foreword

*Scientific-Expert Conference with International Participation ETIKUM 2013 will be held for the seventh time and one can say that it has become a traditional. When established in 2006, the conference is designed as informative-educational and scientific-expert. Informative and educational dimension is reflected through the participation of lecturers from among expert representatives of the eminent manufacturers of equipment connected to educational and research processes at the Faculty. Moreover, the emphasis are on the dissemination of information as well as on education in relation to technological innovations related to both - hardware and software components. Scientific and expert, i.e., professional dimensions of conference are achieved through the presentation of scientific and expert results, primarily from the field of the Chair of metrology, quality, fixtures, tools and ecological engineering aspects. In addition, thanks to the development of interdisciplinary cooperation, the conference this year included the related scientific and technical fields, in which members of the Chair implement research and professional projects.*

*In the context of this conception, the conference was divided into four thematic sections:*

- 1. Metrology and quality control in production engineering;*
- 2. Metrology and quality control in biomedical engineering;*
- 3. Metrology and quality in environmental protection and*
- 4. Life cycle assessment of products.*

*The first thematic area, in addition to the classical aspects of metrology and quality in the field of production engineering, included subjects related to precision engineering and nano metrology and related technologies. In relation to this, within this section a part of the results achieved within the project TR32016 "Innovative electronic components and systems based on inorganic and organic technologies embedded in goods and consumer products" was presented.*

*The second thematic area was focused on presenting the research results obtained in the framework of a national project from the program of technological development TR35020 "Research and development of modelling methods and processes of manufacturing of dental restorations using modern technology and computer aided system".*

*The third thematic area was enriched by the results achieved within the project important for science and technological development of AP Vojvodina "Continuous quality improvement of products and processes throughout the entire life cycle".*

*The fourth thematic area was dedicated to the presentation of educational and scientific-expert results in the field of life cycle assessment, mainly of the partners from CASE-LCA network, but as well as of other eminent experts in the field. In addition, some of the results presented in the section had been obtained through multilateral project "The platform for building the network of LCA centres and R&D institutions from Central and South-Eastern Europe", in which is formed the aforementioned CASE-LCA network.*

*At ETIKUM 2013 conference 48 scientific-expert papers were presented, as well as three informative-educational presentations of expert representatives from the Ministry of Energy, Environmental Protection and Development of the Republic of Serbia, and from reputable companies GOM mbH from Germany and Bruel and Kjaer from Denmark. The conference was attended by over 100 speakers and listeners from academia and business from eight European countries.*

*The previously mentioned facts are, on the one hand, the confirmation of the conference's concept, and on the other hand, a guarantee that the ETIKUM conference will be considered as important informative and educational, scientific and professional event in these region.*

**CONTENTS****SESSION 1: METROLOGY AND QUALITY CONTROL IN THE PRODUCTION  
ENGINEERING**

<b>Kosec, B., Soković, M., Karpe, B., Gojić, M., Nagode, A., Kosec, G.: FAILURE ANALYSIS OF DIES FOR ALUMINIUM ALLOYS DIE-CASTING AS THE KEY TO THE QUALITY .....</b>	<b>1</b>
<b>Nadarević, D., Soković, M.: JEDAN PRISTUP MERENJU KLIPOVA U PROIZVODNJI HERMETIČKIH KOMPRESORA ZA FRIŽIDERE.....</b>	<b>5</b>
<b>Kanjevac Milovanovic, K., Arsovski, S.: JUSTIFICATION OF INVESTMENTS IN THE CE MARK .....</b>	<b>9</b>
<b>Petrovic, P. B., Hodolic J., Budak, I., Danilov, I., Lukic, N.: SENZORSKI SISTEMI BAZIRANI NA OPTICKOJ TRIANGULACIJI I NJIHOVA PRIMENA U TEHNOLOGIJI ROBOTSKOG ZAVARIVANJA .....</b>	<b>15</b>
<b>Škorić, B., Schrittwieser, R., Cavaleiro, A.: NANOSCALE DIMENSIONAL METROLOGY AND PHYSICAL CHARACTERIZATION .....</b>	<b>23</b>
<b>Kojić, S., Bednar, N., Vasiljević, D., Radovanović, M., Samardžić, N.: MERENJE I KONTROLA MATERIJALA U NANOTEHNOLOGIJAMA .....</b>	<b>27</b>
<b>Antić, A., Bojanić, M., Milošević, M.: DEKOMPOZICIJA SIGNALA VIBRACIJA U FUNKCIJI GENERISANJA PROSTORA OBELEŽJA ZA PREPOZNAVANJE STANJA POHABANOSTI ALATA.....</b>	<b>31</b>
<b>Kojić, S., Stojanović, G., Vasiljević, D., Samardžić, N.: MOGUĆNOSTI INK-JET ŠTAMPANE ELEKTRONIKE.....</b>	<b>35</b>
<b>Ol'khovik, E.O., Chulkin, S.G.: DEVELOPMENT QUALITY ENGINEERING PRODUCTION AT STAGE OF TECHNOLOGICAL DESIGN .....</b>	<b>39</b>
<b>Sovilj-Nikic, I., Sovilj, B., Sovilj-Nikic, S., Pajkić, B., Živić, Z.: UTICAJ NANOŠENJA PREVLAKE METCO 461 NA TOPOGRAFIJU POVRŠINE.....</b>	<b>43</b>
<b>Nemedi, I., Hadžistević, M., Hodolić, J., Sekulić, M., Štrbac, B.: PRIKAZ PROGRAMA ZA SIMULACIJU ODSUPANJA OD KRUŽNOSTI.....</b>	<b>47</b>
<b>Vrba, I.: UTICAJ STRATEGIJE MERENJA I METODE OCENJIVANJA NA GREŠKU MERENJE CILINDRA NA KOORDINATNOJ MERNOJ MAŠINI.....</b>	<b>51</b>

**SESSION 2: METROLOGY AND QUALITY CONTROL IN THE BIOMEDICAL  
ENGINEERING**

<b>Trifković, B., Budak, I., Vukelić, Đ., Puškar, T., Todorović A., Jevremović D., Hodolić J.: POUZDANOST STOMATOLOŠKIH CAD/CAM SISTEMA ZA INTRAORALNU DIGITALIZACIJU .....</b>	<b>55</b>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------

<b>Spasić, A., Movrin, D., Budak, I., Vučaj Ćirilović, V., Govorčin, M., Till, V.: KOMPJUTERIZOVANA TOMOGRAFIJA U IZRADI DENTALNIH NADOKNADA .....</b>	<b>59</b>
<b>Šokac, M., Santoši, Ž., Spasić, A., Till, V., Vučaj-Ćirilović V., M. Govorčin, Budak, I.: RE MODELIRANJE DENTALNIH NADOKNADA NA BAZI MS CT U PROGRAMSKOM SISTEMU 3D DOCTOR .....</b>	<b>63</b>
<b>Movrin, D., Kačmarčik, I., Plančak, M.: MOGUĆNOST IZRADE DENTALNIH HIRURŠKIH VOĐICA PRIMENOM RP METODA .....</b>	<b>67</b>
<b>Ivanišević, A., Lainović, T., Vilotić, D., Blažić, L., Gerić, K.: TEST POPREČNOG SABIJANJA - METODA ZA TESTIRANJE KRTIH STOMATOLOŠKIH MATERIJALA .....</b>	<b>71</b>
<b>Štrbac, B., Potran, M., Hadžistević, M., Trifković, B., Vuletić, J., Hodolić, J.: OBEZBEĐENJE KVALITETA I IZBOR POSTUPAKA ZA IZRADU RADNIH MODELA U FIKSNOJ PROTETICI .....</b>	<b>75</b>
<b>Matin, I., Potran, M., Hadžistević, M., Hodolić, J., Vukelić, Đ., Puškar, T.: RAZVOJ SIMULACIONOG MODELA METALNE SUBSTRUKTURE ZA METALOKERAMIČKU KRUNICU .....</b>	<b>79</b>
<b>Agarski, B., Budak, I., Puškar, T., Vukelić, Đ., Marković, D., Hodolić, J.: OBJEKTIVNI PRISTUP ODREĐIVANJU TEŽINA KRITERIJUMA PRI VIŠEKRITERIJMSKOM VREDNOVANJU KVALITETA MERA ZAŠTITE NA RADU U DENTALNIM LABORATORIJAMA .....</b>	<b>83</b>
<b>Petrović, P.B., Hodolić, J., Danilov, I., Lukić, N., Vukelić, Đ.: ROBOTSKI ASISTIRANA 3D ULTRAZVUCNA MEDICINSKA DIJAGNOSTIKA - NOVI Co-x KONCEPTUALNI OKVIR ZA LEKAR-ROBOT-PACIJENT KOLABORATIVNI RAD .....</b>	<b>87</b>
<b>Milekić, B., Trifković, B., Vuletić, J., Potran, M., Marković, D.: PRIMENA ALGOMETRA U STOMATOLOGIJI .....</b>	<b>97</b>

### SESSION 3: METROLOGY AND QUALITY IN THE FIELD OF ENVIRONMENTAL PROTECTION

<b>Nakomčić-Smaragdakis, B., Čepić, Z., Dragutinović, N., Šljivac, D.: KORIŠĆENJE KOGENERATIVNOG BIOGAS POSTROJENJA U CILJU SMANJENJA ZAGAĐENJA ŽIVOTNE SREDINE .....</b>	<b>101</b>
<b>Vojinović Miloradov, M., Španik, I., Radonić, J., Turk Sekulić, M., Milovanović, D., Mihajlović, I.: NALAŽENJE EMERGENTNIH SUPSTANCI U POVRŠINSKIM VODAMA DUNAVA KOD N. SADA .....</b>	<b>107</b>
<b>Hodolić, J., Komad, R., Lalić, N., Agarski, B., Brkić, M.: UTICAJ POSTROJENJA ZA PROIZVODNJU BIOGORIVA NA KVALITET ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE .....</b>	<b>111</b>
<b>Jovanović, J., Krivokapić, Z., Vujović, A.: EFFECTIVENESS OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SYSTEM .....</b>	<b>115</b>
<b>Lazarević, M., Ćosić, I., Sremčev, N., Lazarević, Đ., Ostojić, G.: POVEĆANJE EFIKASNOSTI RADA SISTEMA ZA DEMOTAŽU PROIZVODA PRIMENOM IDENTIFIKACIONIH TEHNOLOGIJA .....</b>	<b>121</b>
<b>Košiková, A., Ladomerský, J., Hroncová, E.: GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN THE MANAGEMENT OF MUNICIPAL WASTE IN THE MODEL REGION .....</b>	<b>129</b>
<b>Maoduš, N., Vujić, G., Ubavin, D., Zoraja, B.: SAKUPLJANJE DEPONIJSKOG GASA NA DEPONIJI U NOVOM SADU – STUDIJA SLUČAJA .....</b>	<b>133</b>
<b>Blanuša, V., Štrbac, B., Živković, A., Hadžistević, M.: DIAGNOSIS THERMAL SOURCE ON CNC MACHINES USING INFRARED THERMOGRAPHY .....</b>	<b>139</b>
<b>Sovilj-Nikic, I., Sovilj-Nikic, S., Hodolić, J., Hadzistevic, M., Sovilj, B., Gajic, V.: ANALYSIS OF IMPLEMENTATION OF DIRECTIVE ON WASTE IN ELECTRICAL AND ELECTRONIC EQUIPMENT IN EUROPEAN COUNTRIES .....</b>	<b>143</b>
<b>Ilić, M., Budak, I., Agarski, B.: GRAVIMETRIC ANALYSIS OF INHALABLE DUST FRACTIONS IN DENTAL LABORATORIES .....</b>	<b>147</b>
<b>Živančev, M., Batinić, B., Tot, B.: TRENUTNO STANJE U OBLASTI UPRAVLJANJA OTPADNIM VODAMA U SRBIJI .....</b>	<b>151</b>
<b>Medić, V.: MOGUĆNOSTI KORIŠĆENJA BIOMASE PRIKAZANE NA PRIMERU JEDNE OPŠTINE .....</b>	<b>156</b>
<b>Mandić, A., Hodolić, J.: RECIKLAŽNE TEHNOLOGIJE U KOMPANIJI CIMOS-LIVNICA KIKINDA .....</b>	<b>169</b>
<b>Sovilj-Nikic, I., Radujkov, D., Sovilj-Nikic, S., Mudrinić, K., Sovilj, B., Kukić, G.: UTICAJ NIVOVA BUKE NA LJUDSKI ORGANIZAM, UZROKOVANE RADOM UREĐAJA U ŠTAMPARIJI .....</b>	<b>163</b>



## SESSION 4: SCIENTIFIC PRESENTATIONS OF CASE-LCA NETWORK PARTNERS

<b>Szita Toth, K., Roncz, J.:</b> LCA ACTIVITY IN HUNGARY .....	177
<b>Tichá, M.:</b> LCA ACTIVITY OF UJEP ENVIRONMENTAL FACULTY .....	171
<b>Klos, Z., Koper, K.:</b> APPLICATION OF LIFE CYCLE ASSESSMENT FOR THE CHOICE OF MATERIALS IN THE ECODESIGN PROCESS .....	173
<b>Kosec, B., Nagode A., Kosec, G., Hribar, A., Gojić, M., Vidic, E., Soković, M., Karpe, B.:</b> SLOVENIAN STEEL PRODUCERS AND LIFE CYCLE ANALYSIS.....	177
<b>Kiss, F.:</b> INFLUENCE OF INVENTORY MODELLING CHOICES ON THE LCA RESULTS – CASE STUDY WITH BIODIESEL.....	181
<b>Kočí, V.:</b> TWO EXAMPLES OF LCA IN CONSTRUCTION INDUSTRY .....	185
<b>Kočí, V.:</b> ENVIRONMENTAL DECLARATION OF PRODUCTS IN CZECH REPUBLIC.....	190
<b>Vlčej, J., Košíková A.:</b> LCA MODEL APPLICATION IN SLOVAK REPUBLIC .....	191
<b>Crnobrnja, B., Budak, I., Ostojić, R.:</b> TYPE I ENVIRONMENTAL LABELLING: DEVELOPMENT OF SERBIAN ECOLABELING PROGRAMME .....	195
<b>Marković, V., Vukelić, Đ., Milanković, D., Milanović, B.:</b> REVIEW OF METHODOLOGIES FOR SUPPORTING LIFE CYCLE ASSESSMENT - ECODESIGN AND LIFE CYCLE COSTING .....	199
<b>Ivandić, Ž., Kozak, D., Baškarić, T., Damjanović, D.:</b> ENVIRONMENT-BASED APPROACH TO THE CONCEPTUAL DESIGN AND EVALUATION OF DESIGN PARAMETERS .....	203
<b>Budak, I., Milanković, D., Milanović, B., Hodolič, J.:</b> NOMINATION OF NOVI SAD FOR SETAC EUROPE 20th LCA CASE STUDY SYMPOSIUM 2014.....	207



INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE  
ETIKUM 2013

# PROCEEDINGS

**Session 1:**

## **METROLOGY AND QUALITY CONTROL IN THE PRODUCTION ENGINEERING**

Novi Sad, 12-13 June 2013



*Invited paper:*

Kosec, B., Soković, M., Karpe, B., Gojić, M., Nagode, A., Kosec, G.

**FAILURE ANALYSIS OF DIES FOR ALUMINIUM ALLOYS DIE-CASTING AS THE KEY TO THE QUALITY**

**Abstract:** *For economical production of die castings it is of great importance to ensure high quality of die manufacture and long working life. The repair or replacement of a die has a high cost in time and money. Dies for aluminium alloys die-casting fail because of a great number of a different and simultaneously operating factors. Die design, material selection, and thermal stress fatigue due to the cyclic working process, as well as to low and inhomogeneous initial die temperature contribute to the failures and cracks formation on/in dies. In the presented work the intensity and homogeneity of the temperature fields on the working surface of the testing die were checked through thermographic measurements, and failures and cracks on the working surface of the die were analysed by the non-destructive metallographic examination methods.*

**Keywords:** *die-casting, die, aluminium alloy, temperature field, thermographic measurements, failure analysis, quality*

**1. INTRODUCTION**

Die-casting is the most economical and technical easy process of casting very sophisticated and precise aluminium products of big-scale series.

Comparison of nine parameters of the die-casting versus stamping, forging, sand casting, permanent mold casting and plastic molding is presented in Table 1.

Table 1. Comparison of nine parameters of the die-casting vs other processes [1]

Nine points of comparison		Compared with				
		Stampings	Forgings	Sand castings	Permanent mold castings	Plastic molding
1	Cost	Lower machining	Lower final	Lower production and machining	Lower labor, production and machining	Generally higher
2	Design flexibility	More complex shapes	More complex shapes	Thinner wall sections possible	Thinner wall sections possible, less draft required	Much greater
3	Functional versatility	Better designs possible	More versatile with less machining	More versatile with less machining	More versatile with less machining	Many more uses
4	Tolerances	Closer	Closer	Closer	Closer	Closer
5	Wall thickness	Greater variations	Thinner sections	Thinner sections	Thinner sections	Thinner sections for the same strength
6	Surface finish	Wider variety	Smoother	Smoother	Smoother	Wider variety
7	Material waste	Less	Less	Less	Less	Less
8	Strength	Depends on design	Lower tensile	Greater with same alloy	Greater with same alloy	Much greater
9	Weight	Depends on design	Lighter	Lighter	Less	Less

Aluminium die-castings are made for final installation and need very little machining. They are used in automotive industry, household appliances, electrical industry and installations, fittings, etc. [2]. Aluminium die-casting dies fail because of a number of different and simultaneously operating stresses. The stresses are of two basic kinds the first which are created during the manufacturing of the die, and the second which are produced during exploitation process. For economical production of aluminium and its alloys die-castings it is important that the dies have a long working life. The replacement of a die is expensive in both: money and production time. The most frequent failures of aluminium die-casting dies are [1]:

- heat checking,
- gross cracking or cleavage cracking,
- cracking in corners, sharp radii, or sharp edges, and
- wear or erosion.

It is generally agreed that one of the principal causes of termination of die life is heat checking, which occurs through a process of crack initiation and propagation from the thermal stress fatigue induced on a die surface [3]. Some of the factors that affect die failures may be controlled to some extent by the die-casting experts (designers, manufacturers and operators). These factors include [4]:

- design,
- materials selection,
- heat treatment,
- finishing operations, and
- handling and use.

When hot aluminium or its alloy strikes the active working surface of the die, the die expands and then contracts during cooling, as the heat in the casting is conducted into the steel below the surface of the die. The greater difference between the temperature of the die and that of the hot aluminium shot into the die, the greater will be the expansion and contraction of the die surface, and sooner the die surface will be heat check.

Since the stresses produced on the die surface are inversely proportional to the die temperature, it is good practice to run the dies as hot as is practical and/or economical. Aluminium die-casting dies should be preheated to approximately 240 to 300 °C. Experiences have shown that by increasing the die operating temperature from 205 to 315 °C, die production may be doubled [5].

## 2. INVESTIGATION

In the frame of our investigation work a complex analysis of a typical dies for aluminium alloys die-

casting has been carried out. The fixed half of the testing die-casting die is shown in Figure 1.



Fig. 1. Fixed half of the investigated die-casting die.

The investigated die was made from the well known BOEHLER W300 ISODISC [6] hot work tool steel. This steel is mostly applied and considered material for all kinds of hot working dies. The chemical composition of the steel is given in the Table 2. It can be seen that the steel corresponds to AISI H11 and DIN X40CrMoV5-1 steel [7].

Table 2. Chemical composition of BOEHLER W300 ISODISC steel [6]

Element	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
(mass. %)	0.38	1.10	0.40	5.00	1.30	0.40

Thermal and mechanical properties of BOEHLER W300 ISODISC steel are well known [6,7]. Liquidus temperature of aluminium alloy AlSi9Cu3 is approximately 593 °C, therefore the properties in the temperature interval from 20 up to the 700 °C are important for the analysis of the discussed case. The density of BOEHLER W300 ISODISC steel at 20 °C is approximately equal of 7800 kg/m<sup>3</sup>, and it decreases with higher temperature. Up to the temperature of 700 °C it drops for about 200 kg/m<sup>3</sup>. It is very interesting that this steel has relatively low and nearly linear increasing heat conductivity (19.2 to 26.3 W/m·K), and proportionally constant thermal diffusivity (the whole time approximately 5·10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s). Specific heat is increased with higher temperature to its values of 456 or 587 J/kg·K, respectively for the boundary values of the chosen temperature range. Linear coefficient of elongation slowly increases from 10.7·10<sup>-6</sup> /K (at 20 °C) to 13.2·10<sup>-6</sup> /K (at 700 °C), while modulus of elasticity, with boundary values of 211 and 168 GPa, decreases with the higher temperature.



Fig. 2. Position of the thermographic camera.

By thermographic measurements the required intensity and homogeneity of the initial

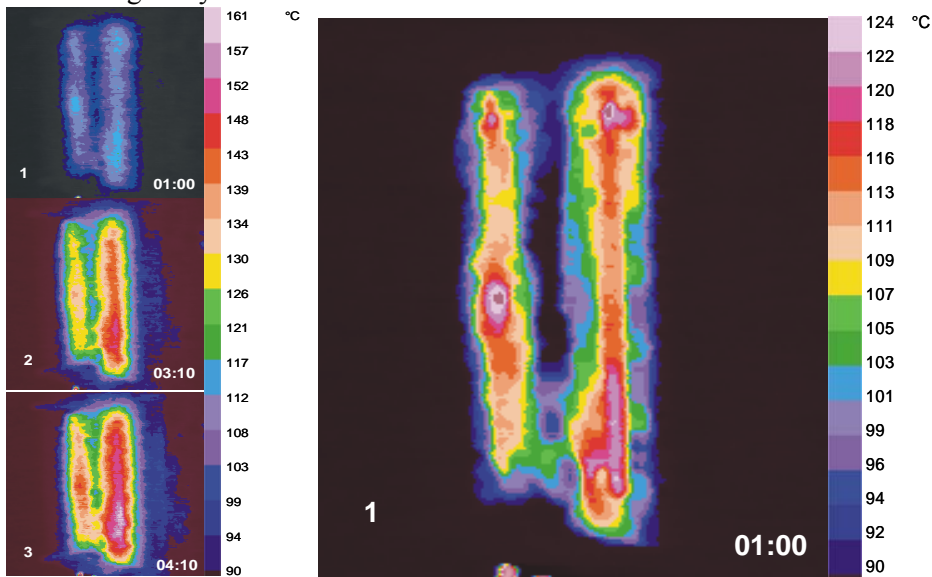


Fig. 3. Thermographs. Working surface of the fixed part of die-casting die: at the beginning (1), after approx. 2 hours (2), and at the end (3 – initial temperature field) of the die preheating process (left). Working surface of the fixed part of die-casting die at the beginning (1) represented in the temperature range between 90 and 124 °C (right).

The temperature fields between the working process have been measured, too. And two typical sequences of the die-casting process are presented in Figure 4. Thermographs (temperature images) in Figure 3 are represented in the temperature range between 90 and 161 °C and 90 and 124 °C, and in Figure 4 in the range between 90 and 195 °C, in both cases black (uncoloured) regions are below 90 °C.

The cracks which appeared on the working surface of the fixed die half after less than thousand shots were revealed and identified by the use of penetrants. Some of them were also clearly seen by the use of magnifying glass or even by naked eye]. In the frame of our experimental work also non-destructive metallographic examination by optical microscopy (OM) and by scanning electron microscopy (SEM) of polymeric replicas was applied.

temperature field on the working surface of the fixed die half have been examined (Figure 2). Testing thermographic measurements on the chosen die have been carried out due to the relatively simple geometry of the discussed die, so the simple heat images (thermographs) analysis have been performed.

On the working surface of the fixed die half thermographic measurements have been carried out in the preheating period (Figure 3) of the die heating to its initial operating temperature (expected 240 °C and homogeneous through the whole working surface of the die).

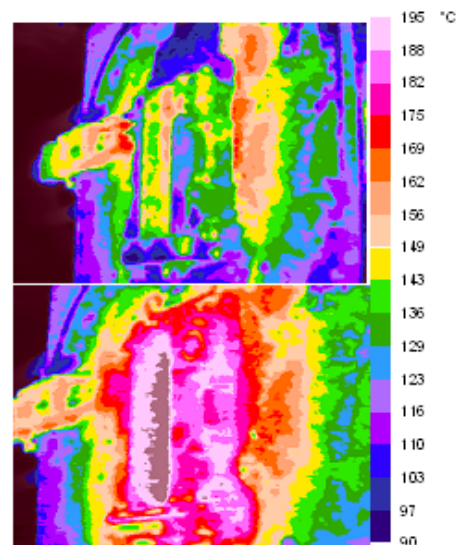


Fig. 4. Working process. Thermographs. The fixed part of the die-casting die: working surface and casting (above), working surface without casting (below).

The failures observed on the working surface (Figure 5) belong to heat checking initiated at identification marks, and cracking in corners, sharp edges and transitions.

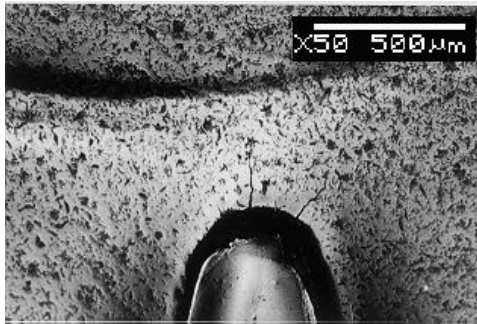


Fig. 5. Working surface of the testing die-casting die. Surface cracks and pits. OM.

At the process of the die-casting of aluminium alloys are the temperature and cyclic temperature loading respectively the main load of the die. The influence of the other loads is practically negligible. For the engineering praxis the stress in the individual points of the die surface can be determinate successful by the following expression:

$$\sigma = \frac{E \cdot \alpha \cdot \Delta\vartheta}{1 - \nu}$$

where:  $\sigma$  is stress [N/mm<sup>2</sup>], E is Young's modulus [GPa],  $\alpha$  is coefficient of linear expansion [K<sup>-1</sup>],  $\Delta\vartheta$  temperature difference [K], and  $\nu$  Poisson's ratio [-].

Calculation of the die strain and stress state is logical following step at the solution of the dies for aluminium alloys die-casting complex quality improvement problematic.

### 3. CONCLUSIONS

Cracking on/in die-casting dies for aluminium alloys is caused by a number of different and simultaneously operating factors. Some of them that affect die failures may be controlled to some extent by the die-casting experts.

In the experimental part of our work the failures on the working surface of the fixed half of the testing die for die-casting of aluminium alloys were observed with the use of non-destructive testing (NDT) methods: such as thermographic analysis, penetrants, and metallographic examination of polymeric replicas.

The failures observed on the working surface of the discussed fixed die half for die-casting of aluminium alloys belong to heat checking initiated at identification marks, and cracking in corners,

sharp edges and transitions. Calculation of the die strain and stress state is logical following step at the solution of the dies for aluminium alloys die-casting quality improvement.

### 4. REFERENCES

- [1] S. Kalpakjian: *Tool and Die Failures - Source Book*, ASM International, Metals Park, Ohio, 1982.
- [2] B. Kosec: *Failures of Dies for Die-Casting of Aluminium Alloys*, Metallurgy, 47 (2008) 1, 51 – 55.
- [3] F. Kosel, L. Kosec: *Heat Checking of Hot Work Tools*, Journal of Mechanical Engineering, 29 (1983) 7-9, 151 - 158.
- [4] Handbook of Case Histories in Failure Analysis, Vol. 1, ASM International, Materials Park, Ohio, 1992.
- [5] B. Kosec, G. Kosec, M. Soković: *Temperature Field and Failure Analysis of Die-Casting Die*. Archives of Materials Science and Engineering, 28 (2007) 3, 182-187.
- [6] Böhler Edelstahlhandbuch auf PC V2.0, Kapfenberg, 1996.
- [7] B. Jocić: *Steels and Cast Irons*, BIO-TOP d.o.o., Dobja Vas, 2008.

**Authors: Prof. Dr. Borut Kosec, Dr. Blaž Karpe, Assist. Prof. Dr. Aleš Nagode**, University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenia, Phone.: +386 1 2000410, Fax: +386 1 4771214.

**Prof. Dr. Mirko Soković**, University of Ljubljana, Faculty of Mechanical Engineering, Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana, Slovenia, Phone.: +386 1 477114, Fax: +386 1 4771218.

**Prof. Dr. Mirko Gojić**, University of Zagreb, Faculty of Metallurgy, Aleja narodnih heroja 3, 44103 Sisak, Croatia, Phone.: +385 43 533378, Fax: +385 43 533379.

**Assist. Prof. Dr. Gorazd Kosec, ACRONI d.o.o.**, c. Borisa Kidriča 44, 4290 Jesenice, Slovenia, Phone.: +386 4 5841016, Fax: +386 4 5841003.

E-mail: borut.kosec@omm.ntf.uni-lj.si  
 blaz.karpe@omm.ntf.uni-lj.si  
 ales.nagode@omm.ntf.uni-lj.si  
 mirko.sokovic@fs.uni-lj.si  
 mgojic@simet.hr  
 gorazd.kosec@acroni.si



Nadarević, D., Soković, M.

## JEDAN PRISTUP MERENJU KLIPOVA U PROIZVODNJI HERMETIČKIH KOMPRESORA ZA FRIŽIDERE

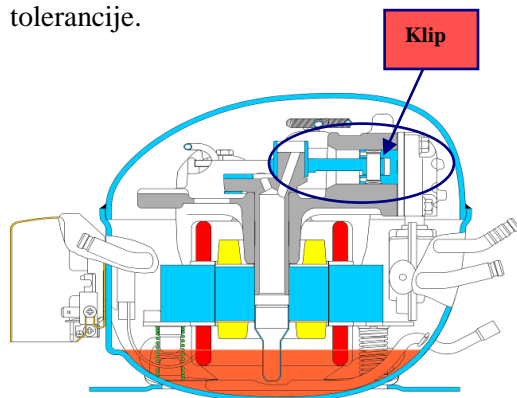
**Rezime:** Radne karakteristike hermetičkih kompresora za frižidere u velikoj meri zavise od tačnosti obrade vitalnih delova a to su: klip, kolenasto vratilo i pločica ventilskog sistema. U vreme recesije je, zbog manje potražnje po količini proizvoda, izuzetna prilika za poboljšanje kvaliteta izrade sastavnih delova a posledično i kompresora. U radu će biti prikazani rezultati projekta na temu poboljšanja dimenzijske tačnosti u procesu finog brušenja klipa. U realizaciji projekata je bilo upotrebljeno znanje vođenja projekata po metodologiji DMAIC, analizirana sposobnost pojedinih procesa i uveden način timskog rada, što je na kraju dovelo do poboljšanja kvaliteta procesa finog brušenja klipa.

**Ključne reči:** klipovi, hermetički kompresori, fino brušenje, metodologija DMAIC

### 1. UVOD

Kupcu pored cene kompresora mnogo znači kvalitet kompresora. Vreme recesije je odlična prilika da preduzeće više vremena posveti kvalitetu. Poznato je da su troškovi jednog kompresora, reklamiranog sa tržišta, ogromni. Zbog toga se isplati već u osnovi imati u vidu značaj kvaliteta u proizvodnji [1].

U radu je predstavljena problematika sposobnosti procesa na operaciji finog brušenja klipa hermetički zatvorenog kompresora za frižidere (slika 1). To je veoma kompleksna operacija, zato je za rešavanje problematike upotrebljena metodologija DMAIC, kojom se rešavaju kompleksni projekti, gde su ciljevi veoma visoki, dok su rešenja za unapređenje stanja nepoznata [2]. Ako govorimo o 1,5  $\mu\text{m}$  širokom području tolerancije za prečnik klipa, možemo slobodno tvrditi da je fino brušenje klipa uistinu kompleksna operacija obrade. Za obezbeđenje sposobnosti procesa je potrebno obratiti pažnju na više faktora koji mogu u trenutku proces promeniti i učiniti ga nesposobnog za postizanje predviđene tolerancije.



Sl. 1. Presek hermetički zatvorenog klipnog kompresora tipa NL

Preniska sposobnost procesa obrade klipa prouzrokuje probleme pri parenju klipa i cilindra na montažnoj liniji. Međutim ista ne utiče na zazor odnosno debljinu uljnog filma između klipa i cilindra, jer se na montažnim linijama izvodi 100 % merenje tih parametara. Propisana širina tolerancije zazora između klipa i cilindra je bila od 8 do 12  $\mu\text{m}$ . Cilj projekta je suziti područje tolerancije zazora sa 8-12 na 6-10  $\mu\text{m}$ , zato je potrebno u procesu obrade klipa i cilindra obezbediti sposobnost procesa, koji će olakšati rad na montažnoj liniji. Drugim rečima, mora važiti matematičko pravilo da su upareni klip i blok ( $Y$ ) funkcija procesa obrade klipa i bloka ( $x$ );  $Y = f(x)$ .

Posledice premalog zazora su povećano trenje i posredno habanje klipa. U slučaju kada je zazor između klipa i cilindra prevelik pa može doći do mešanja ulja i rashladnog sredstva. Istovremeno, prevelik zazor između klipa i cilindra smanjuje snagu hlađenja kompresora.

### 2. METODOLOGIJA DMAIC

#### 2.1 Faza Define (definisanje)

U fazi Define smo upotrebili tri standardna alata (Projektni obrazac, SIPOC dijagram i Glas kupca) za definisanje problema, cilja, vremenskog toka projekta, tima, ključnih pokazatelja projekta i njihove povezanosti sa zahtevima kupca.

#### 2.2 Faza Measure (merenje)

Pred samim izvođenjem merenja trenutne sposobnosti procesa potrebno je odraditi veći broj aktivnosti (Mapa procesa, Ishikawa dijagram, postavljanje hipoteza [3], plan prikupljanja podataka). Zbog obširnosti faze Measure u radu smo se fokusirali na deo analize mernog sistema i na trenutnu sposobnost procesa finog brušenja.

Iz dobijenih rezultata merenja kalibra pri konstantnim uslovima se izračuna indeks sposobnosti  $C_g$  elektro-pneumatskog mernog uređaja STOTZ (s mernim obručem, slika 2) i kritična sposobnost mernog uređaja – indeks performansi  $C_{gk}$ . Kod izračuna indeksa sposobnosti ( $C_g$ ) je dozvoljena variabilnost unutar 10 % tolerancije, uz 95 %-ni nivo pouzdanja. Za indeks  $C_{gk}$  mora biti dozvoljeno odstupanje od ciljne vrednosti unutar 5 % tolerancije, smanjeno za odstupanje ( $Bias = B_i$ ), uz 68 %-ni nivo pouzdanja.

U našem primeru smo izračunali vrednosti za oba indeksa:  $C_g = 3,89$  i  $C_{gk} = 3,74$ . Za sposobnost mernog uređaja se zahteva faktor  $C_{gk} \geq 1,33$ . Obzirom na izračunane vrednosti možemo zaključiti da je pneumatski merni uređaj za merenje prečnika klipa po finom brušenju sposoban za merenje. Time smo proverili verodostojnost naših merenja i kroz njih dobijenih rezultata.

Kod analize sposobnosti specialne mašine za fino brušenje KOYO smo analizirali 50 zaporedno fino brušenih klipova, koje smo izmerili i na osnovu rezultata izračunali sposobnost. U preduzeću se zahteva sposobnost mašine  $C_{pk} \geq 1,67$  što odgovara nivou  $5\sigma$ . Na slici 3 se vidi da je izračunata sposobnost mašine  $C_{pk} = 1,45$ ; to znači da je manja od zahtevane. Obzirom na mali broj

uzoraka to se smatra kao kratkoročna sposobnost ( $C_{pk}$ ).

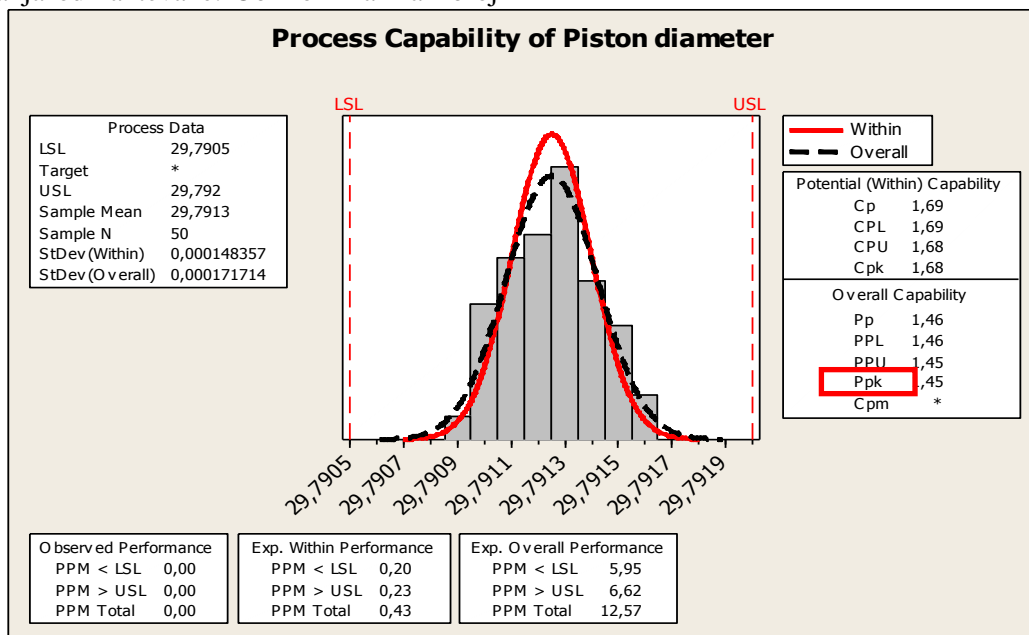


Sl. 2. Elektro-pneumatski merni uređaj STOTZ

### 2.3 Faza Analyze (analiza)

Zbog nedostizanja zahtevane ponovljivosti i obnovljivosti (Gage R&R) sposobnosti mernog sistema je veći deo faze Analyze bio namenjen poboljšanju procesa merenja [4,5]. Našu pozornost smo usmerili na postupak merenja:

- učestalost kalibrisanja mernog sistema,
- preciznost kalibracije,
- čistoća mernog sistema itd.



Sl. 3. Analiza sposobnosti mašine za fino brušenje KOYO

Za pravilnu kalibraciju mernog sistema mora biti temperatura kalibra, s kojim se kalibriše merni obruč, jednaka temperaturi klipa po brušenju. Kalibri se moraju temperirati sa istom emulzijom, koja je prisutna između brusnih kolutova, gde se odvija proces brušenja klipova. U slučaju, da se

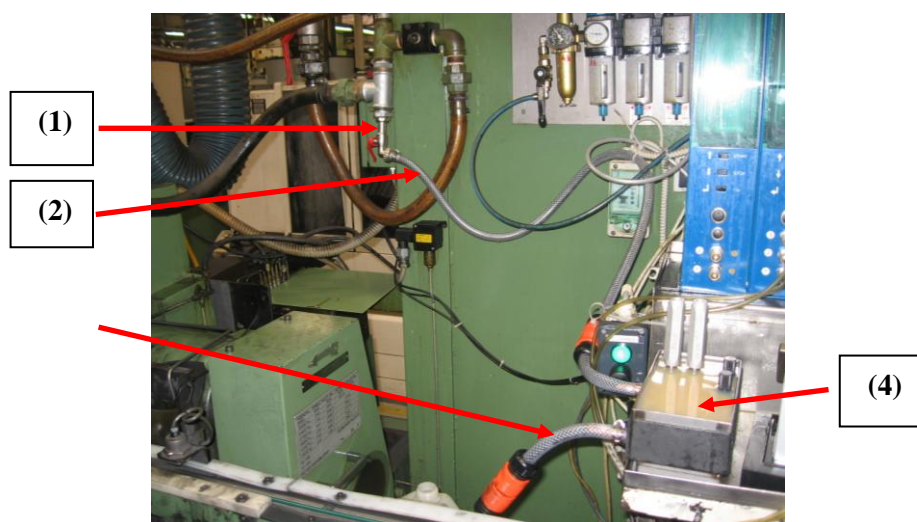
odvija temperiranje kalibara pri temperaturi okoline, može se pojaviti temperaturna razlika između klipa i kalibra i do 8 °C (zimski ili letnji meseci). To dovodi do 1,5  $\mu$ m odstupanja rezultata merenja (a toliko je ujedno vrednost same tolerancije prečnika klipa).

Pored svih tolerancija i propisa ima ljudski faktor velik uticaj na proces merenja. Kvalitet rada operatera zavisi od motivacije, ličnosti, obrazovanja, znanja, iskustva, kako se trenutno oseća, radne okoline, nivoa komunikacije i verovatno još ponečega. Toliko koliko budemo uložili u operatere toliko će nam se i vratiti u obliku kvalitetnog proizvoda.

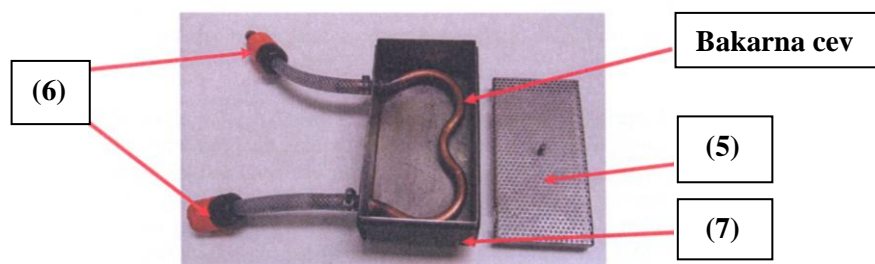
## 2.4 Faza Improve (unapređenje)

Za obezbeđenje jednakosti temperatura klipa i kalibra smo upotreabili kružni protočni sistem (slika 4), koji je priključen na cev sa emulzijom (1), koja se dovodi neposredno iz procesa brušenja. Emulzija kruži kroz gumenu cev (2) do bakrene cevi i dalje po drugoj gumenoj cevi (3) u rezervoar mašine. Bakrena cev se nalazi na dnu posude sa kalibrima (4), slika 5. Ta služi za temperiranje emulzije u posudi sa kalibrima. Nad

bakrenom cevi u posudi je perforiran stalak (5), na kojeg se polože kalibri. S stalkom sprečimo mogućnost nečistoća (sedimenta) na kalibru. Za lakše čišćenje posude smo na gumene cevi dodali brzo otklapajuće priključke (6), koji omogućuju brzo otklapljanje od sistema, čime je omogućeno jednostavno pranje posude. Po zameni stare emulzije sa novom, bakrena cev relativno brzo temperira emulziju u posudi. Da bi smanjili uticaj temperature okoline na posudu (7), istu smo u nastavku izolovali. Na taj način obezbeđujemo jednakost temperature emulzije na mašini i u posudi za kalibre, što daje manje od jednog stepena temperaturne razlike između klipa i kalibra. U prošlosti je bila ta temperaturna razlika bar 5 °C, u najgorim slučajevima (u zimskom periodu) i do 8 °C, što je davalo čak do 1,5 μm odstupanja na prečnik klipa (celokupno područje tolerancije).



Sl. 4. Kružni sistem temperiranja kalibara



Sl. 5. Posuda sa bakrenom cevi za temperiranje kalibara

Obzirom na postignute sposobnosti procesa, koje su bile od 0,5 do 0,8 i uzku toleranciju, sa postojećim resursima bilo je nemoguće postići željenu dugoročnu sposobnost procesa  $Ppk \geq 1,33$ . Zato smo se odlučili da uz minimalne troškove povećamo frekvenciju merenja a time i nadzor nad procesom. Predhodno smo merili prečnik svakog 30 klipa, sada merimo prečnik svakog 2 klipa, koji

izađe iz mašine za fino brušenje. Merenje se izvodi automatsko tako da možemo izključiti uticaj operatera na merenje [6].

Klipove fino brusimo u četiri grupe, pri čemu je područje tolerancije jedne grupe 1,5 μm. U slučaju kada je rezultat merenja van ciljne grupe prečnika klipa automatsko se pomiče ploča za razdvajanje, koja razdvaja neodgovarajuće klipove

od klipova ciljne grupe i to tako, da klipove večega prečnika premakne na desnu, a manjšega na levo stranu sortirnoga stola.

Što se tiče sposobnosti procesa bilo je izvedenih niz ostalih aktivnosti, koje su sumirane u nastavku:

- Eliminacija mogućnosti osciliranja vazduha u mernom sistemu.
- Povećanje frekvencije merenja, automatizacija merenja, razdvajanje klipova po prečnicima.
- Intenzivna saradnja sa operaterima (podešavanje mašina). To ne znači da predhodno te saradnje nije bilo, već da smo na tom segmentu napravili pozitivan iskorak.
- Saradnju smo okrepili takođe i sa odeljenjem "Fino merenje" sa kojim brinemo za kvalitetno stanje kalibara i merne opreme.
- Na sposobnost procesa utiču takođe i brusni kolotovi. Povećali smo frekvenciju poravnavanja vodećeg i brusnog koluta. Time smo malo izgubili na količini, ali smo puno pridobili na kvalitetu proizvoda.

## 2.5 Faza Control (upravljanje)

Za kontrolu podataka prečnika fino brušenog klipa smo uveli automatsko beleženje podataka u računar. Po merenju prečnika klipa se izmerena vrednost zapiše na disk računara, koji je povezan sa elektro-pneumatskom mernom napravom STOTZ. Rezultati merenja se prikazuju u kontrolnoj karti, gde operater može videti tendenciju rezultata merenja i na temelju viđenog primerno odreagovati.

Program može da prikaže tok merenja obzirom na:

- područje tolerancije,
- vrednosti merenja pojedinačnih mernih mlaznica M1 i M2 mernog obruča,
- prosečnu vrednost merenja med mernim mlaznicama M1 i M2 mernog obruča,
- razlike vrednosti merenja med mernim mlaznicama M1 i M2,
- histogram vrednosti merenja,
- tip klipa,
- rezultate merenja sortira u zavisnosti od vremena izvođenja merenja itd.

Nadzor nad sposobnošću procesa je moguć takođe iz kancelarije, gde se svakodnevno prati tok procesa finog brušenja klipa. Svakodnevno se održavaju sestanci na kojima se analizira tekuća problematika, a kompleksnijim problemima se bave dva puta mesečno. Mesečno se takođe obrađuju podaci o sposobnosti procesa i prikazuju rezultati tako da mogu svi zaposleni da vide sliku

kvaliteta procesa u proizvodnoj jedinici "Klip".

## 3. ZAKLJUČCI

U datom projektu nije postignut postavljeni cilj: sposobnost procesa 1,33, ali su ipak postignuta određena poboljšanja i znatno povećana frekvencija merenja prečnika klipa i na taj način povećan nadzor nad procesom. Utvrđeno je da imaju veliki uticaj na sposobnost procesa kod finog brušenja sledeći faktori:

- obezbeđenje jednake temperature klipa i kalibra,
- odklanjanje uticaja operatera na merenje,
- konstantnost merenja klipova,
- orijentacija klipova na ulazu med brusne kolotove,
- jednako vreme merenja,
- elementi za zaprečavanje mogućnosti mešanja klipova različitih ciljnih grupa itd.

Sledeći cilj preduzeća je održati proces pod nadzorom, napraviti dodatne analize i potražiti dodatne uticaje na smanjenu sposobnost procesa i iste odkloniti.

## 4. REFERENCE

- [1] Kraševac, B., *Zagotavljanje kakovosti obrade bata, Specialistično delo št. 61*, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 2009.
- [2] Hohnjec, M., Kraševac, B., Soković, M., *Poboljšanje kvaliteta obrade klipa kompresora upotrebom metodologije Šest sigma*, Menadžment totalnim kvalitetom & izvrsnost, Vol. 38, no. 1-2, str. 229-235. UASQ, Belgrade, 2010.
- [3] O'Connor, P. D. T. *Practical Reliability Engineering*, Fourth Edition, John Wiley & Sons, 2006.
- [4] Nadarević, D., *Optimization model for fine machining*, PhD. Thesis in accomplishing, FS, University of Ljubljana, Ljubljana, 2013.
- [5] Montgomery, D.C., Runger, G.C., *Applied statistics and probability for engineers*, 3rd ed., Wiley, 2000.
- [6] Juran, J.M., *Quality Handbook*, McGraw-Hill, 1999.

**Autori: Dijana Nadarević, PhD student, Prof. Dr. Mirko Soković**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Aškerčeva 6, SI-1000 Ljubljana, Slovenija.

E-mail: [djnnadarevic@gmail.com](mailto:djnnadarevic@gmail.com)  
[mirko.sokovic@fs.uni-lj.si](mailto:mirko.sokovic@fs.uni-lj.si)

*Invited paper:*

Kanjevac Milovanovic, K., Arsovski, S.

## JUSTIFICATION OF INVESTMENTS IN THE CE MARK

**Abstract:** *The main object and purpose of this paper is to show the justifiability of investing in the CE marking. The research was carried out in three directions. The first explores the impact of the CE mark on the competitiveness of the product, and then the sign will influence the level of customer satisfaction. Finally, we analyzed the rate of return of investment in the CE mark. This paper presents some of the obtained solutions, which have a dominant influence.*

**Key words:** *CE mark, competitiveness, safety, quality*

### 1. INTRODUCTION

The big problem which our companies are faced is the quality, safety and the competitiveness of a product. The low price of a product is not a factor of competitiveness of developed countries for a long time. What sells the product is its design, safety and build quality. For example, on the market of the European Union certain categories of the product can be qualified only if they are made by so-called harmonized standards and if they have CE mark.

The CE mark is "proof" that the product is designed and manufactured in accordance with the requirements of all applicable EU directives. The CE mark indicates that the product meets the essential requirements of safety, health, life humans and animals' property, the environment and the public interest. Products marked with the CE marking and accompanied by a Declaration of conformity issued by the manufacturer, has free access and movement throughout the EU market. In this regard, the CE marking is sometimes called, "the trade passport".

The main object and purpose of this paper is to show the justifiability of investing in the CE marking. The aim of the paper is to investigate the impact of the new approach directives on competitiveness of our products through the prism of the requirements, needs and expectations of both producers and markets as well.

### 2. PROPOSED FRAMEWORK

There is no competitive national economy without discharging the most important condition and those are competitive products that satisfy technical and safety market requires, that is, products with the CE mark. The aim of this work is to highlight the problems and the main

limitations in obtaining the CE mark, and the benefits and justification of investment in the CE mark.

#### 2.1 Basic hypotheses

Starting points in the preparation of this paper are based on the application of systems theory and especially of certain models and simulations of dynamic economic systems. Based on these grounds, it will use the following initial hypotheses.

- H1: Application of New Approach Directives has an impact on increasing of the level of competitiveness,
- H2: Application of New Approach Directives has an impact on increasing of the level of customer satisfaction,
- H3: Investing resources in obtaining the CE mark for the products has a high rate of return.

#### 2.2 Methods are used

The aim of the research we have developed a model for assessing the impact of the New Approach directives to the competitiveness of products and companies as a whole. This model has become the subject of a review in practice.

On the basis of this model, we have made a questionnaire. On the results we apply methods of statistical analysis, simulation methods, and methods of improving quality.

### 3. IMPACT CE MARK ON THE LEVEL OF COMPETITIVENESS

With the purpose of researching the impact of the new approach directives on the competitiveness of enterprises in Serbia, and on the basis of the set models, we have made a

questionnaire. The basis for the preparation of the questionnaire was represented by set model [1,2]. The questionnaire has been sent to all companies whose products have the CE mark [3].

The study included a total of 35 companies, with a different number of products (total 111 products). Analysis of obtained results shows that CE Mark has the dominant impact on the competitiveness. Beside of the competitiveness CE Mark has noticeable impact on product security, but on product price as well. We can see it in this work.

### 3.1 Increasing of the level of the competitiveness products

Competitiveness represents an ability of a company and opportunities to create products and sell them successfully in the domestic and foreign market, to achieve positions on the market, as well as a success in the competitive struggle [4-8]. A great number of different factors and different levels of activity impact on the competitiveness. As it is known that the basic activity of any enterprise for increasing of the competitiveness level is the coordinating of the project and production process with the directive requirements and setting CE Mark on the product. In terms of mentioned activities the basis for the product competitiveness is the price, technological level, security level and product quality.

After the analysis of each individually directive can perform and collective, that is. final results of research the level of competition. By the analysis of the results for the products that are subjected to the requirements of the New Approach Directives, we come to the following results:

1. the price is evaluated with 8.57,
2. technological level is evaluated with 8.64,
3. product security level is evaluated with 9.00,
4. product quality is evaluated with 8.53,

on the scale from 1 to 10, where the highest mark is 10, and the lowest mark is 1 (figure 1).

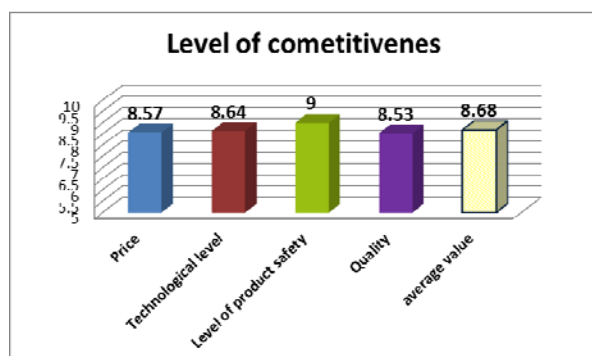


Fig. 1. Level of competitiveness for products

with CE mark

It follows from this that the competitiveness level for the products that are subjected the New Approach Directives is 8.68. It is interesting that product security level in this case got the highest mark 9.00[9].

### 3.2 Level of the competitiveness relating to the best

In the previous chapter we showed the results and marks of the competitiveness level in terms of the basis for the competitiveness. Besides, the competitiveness is evaluated with the marks from 1 to 10 relating to the best in the class. Comparative results of the competitiveness level are shown graphically in comparison to the best in the class in Serbia as well as in European Union.

The medium value of the competitiveness level for the products that are subjected to the best in Serbia is 8.88, while relating to the best in European Union is 7.49 (figure 2).

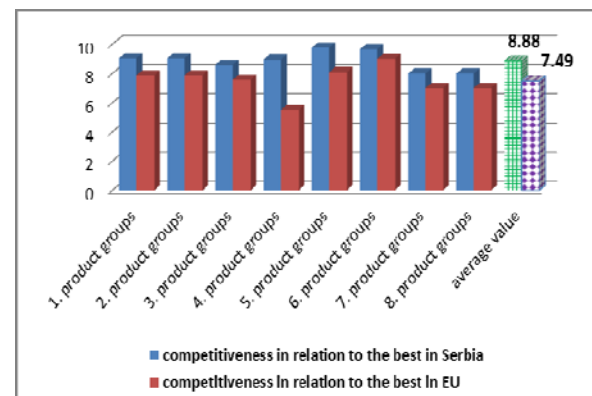


Fig. 2. Level of competitiveness compared to the best of products with CE mark

## 4. THE INCREASE OF THE CUSTOMER COMPETITIVENESS AND SATISFACTION OF OBTAINING CE MARK

From 35 of the surveyed enterprises, just one enterprise didn't achieve the competitiveness increase, what is 2.86 % of the studied samples (figure 3). There is 97.14 % of the surveyed enterprises with the increase of the competitiveness level (what confirms the hypothesis H1 – Application of New Approach Directives has an impact on increasing of the level of competitiveness).

The highest level of the increased level of the competitiveness is in the range from 1 to 10 %, 24 enterprises, 68.57% of samples (figure 4.)

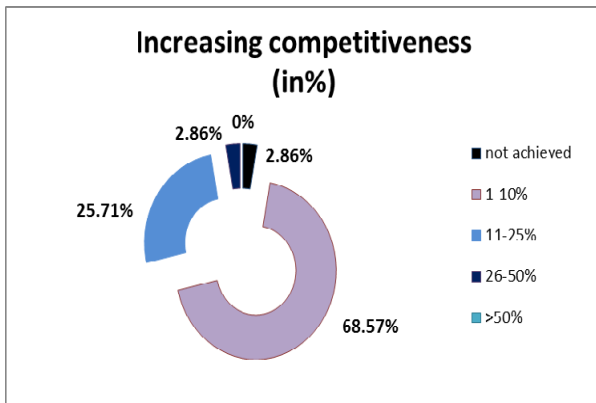


Fig. 3. The percentage increase in view of level of competitiveness

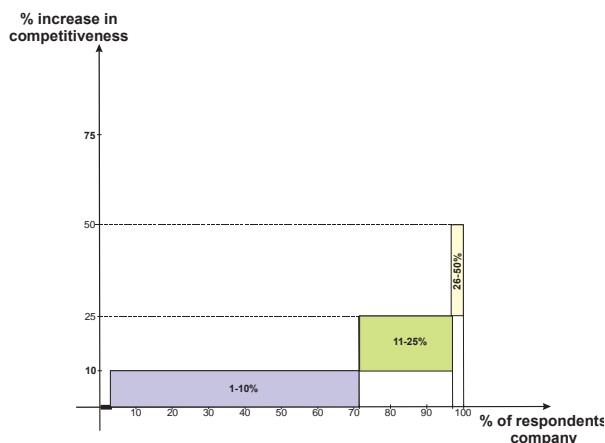


Fig. 4. Percentage increase in the level of competitiveness in relation to the tested company

Customer satisfaction (users) can be traced to the scale of a complete dissatisfaction to an excitement. Users will have experience with a certain level of satisfaction for a given set of circumstances. These will affect the three sets of factors: those that cause dissatisfaction, pleasure or excitement. Customer satisfaction cannot be accurately predicted, but it can be monitored in order to discover opportunities for its improvement. As long as the customer satisfaction is at the desired level, the decisive business factor is "customer loyalty." Users can be satisfied, but they do not buy products from the same company again. Output economic benefit is achieved through customer satisfaction that is demonstrated through its loyalty. Any market company cannot be "blindly" oriented towards the customer if there is no data of customer satisfaction. Evaluation of customer satisfaction (users) can be provided by using different approaches and models.

The factors that cause dissatisfaction may be ineffective processes or unwanted product characteristics. If they exist, user satisfaction significantly decreases. If they do not exist, customer satisfaction does not exist: simply, it does not get worse. These factors are significantly

considered by a buyer with regard to the implementation of the enterprise. The factors that cause satisfaction are expected characteristics of a process or a product. Regarding these factors, in fact, customer satisfaction increases significantly.

It is obviously that the strategy for achieving customer satisfaction is: Keep under control the factors that cause customer dissatisfaction, and realize the key factors of influence on customer satisfaction at the same time. Factors that cause excitement are the features of products / services or processes that are neither expected nor specified and product buyer/ service user is positively related to them when he meets them.

Obtaining CE mark for their products all surveyed enterprises achieved the level increase of customer satisfaction (What confirms the hypothesis H2 – Application of New Approach Directives has an impact on increasing of the level of customer satisfaction). The highest level increase of customer satisfaction is in the range from 1 to 10 % (27 enterprises, that is 77.14 % of samples), as well as of the competitiveness (figure 4 and figure 5).

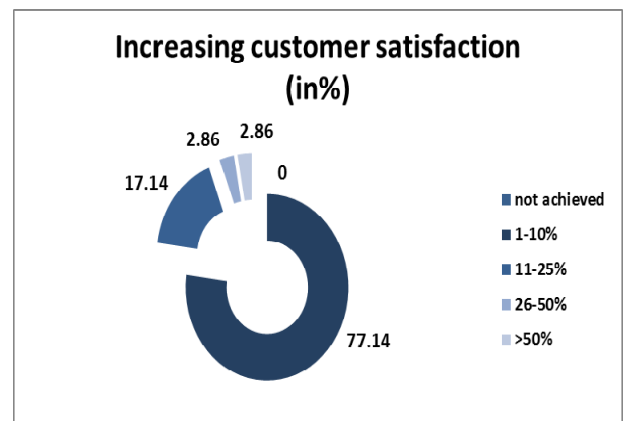


Fig. 5. The percentage increase in view of the customer satisfaction

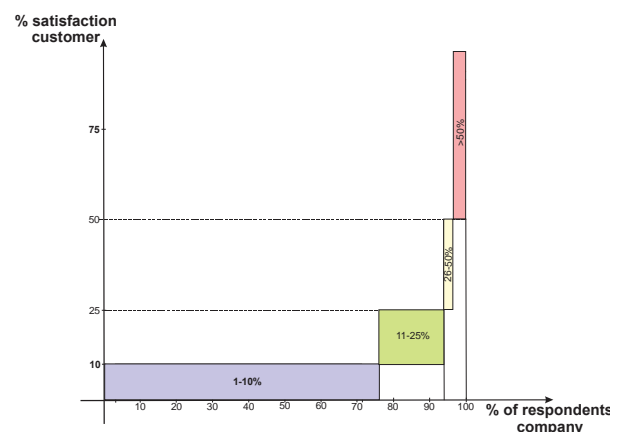


Fig. 6. Percentage increase in the of the customer satisfaction in relation to the tested company

When we reflect the comparative review of the competitiveness level increase and the customer satisfaction increase (figure 7), we see that in both cases the highest level of achieved increase is in the range from 1 to 10 %.

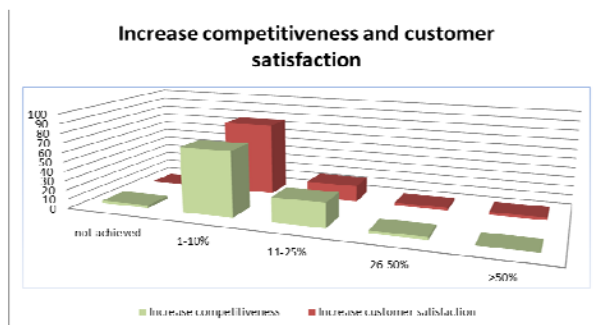


Fig. 7. Comparison of increase in competitiveness and increase customer satisfaction [11]

## 5. JUSTIFICATION FOR INVESTMENT IN CE MARK

Cost benefit analysis is a special method of economic analysis to compare and evaluate all advantages and disadvantages of some economic

enterprise or a project by cost analysis and benefit analysis. It is important for making the right decision and the correction of a project. From the one side all the income and benefits of enterprise are added up, but from the other side expenses and losses of a project as well. All income and benefits, expenses and losses must be quantified and reduced to the same measurable unit (mostly to money). If the quotient of income and benefits, and expenses and losses, actually coefficient greater than one, therefore If income and benefits overcomes expenses and losses, then it is about financially viable venture.

For testing of justification investment in obtaining CE mark is used the cost benefit analysis. Cost benefit analysis is made for the seven most common products of conducted research. The results of cost benefit analysis are shown in the table 1.

So that we could prove the third hypothesis, for the products shown in the table 1, we will calculate the cost-effectiveness are presented in Table 2.

	Machines			Medical Products		Building products	Toys
	Product 1	Product 2	Product 3	Product 4	Product 5	Product 6	Product 7
<b>C<sub>2</sub></b> (in dinars)	250.000,00	225.000,00	200.000,00	5,00	15,00	13.250,00	3.500,00
<b>Z<sub>2</sub></b> (No. of unit.)	15	9	10	150.000	200.000	750	2.000
<b>C<sub>1</sub></b> (in dinars)	150.000,00	150.000,00	135.000,00	4,00	13,00	12.500,00	3.000,00
<b>Z<sub>1</sub></b> (No. of unit.)	8	5	5	100.000	175.000	700	1.800
<b>Investment</b> (in dinars)	50.000,00	70.000,00	35.000,00	20.000,00	25.000,00	30.000,00	50.000,00
<b>B/C</b>	<b>51</b>	<b>18.21</b>	<b>37.86</b>	<b>17.5</b>	<b>29</b>	<b>39.58</b>	<b>32</b>

Table 1. The results of the cost benefit analysis

PRODUCT		PROFITABILITY	PRODUCT		PROFITABILITY
Machines	Product 1	<b>7.5</b>	Medical Products	Product 4	<b>18.75</b>
	Product 2	<b>2.89</b>		Product 5	<b>60</b>
	Product 3	<b>5.71</b>	Building products	Product 6	<b>16.56</b>
			Toys	Product 7	<b>70</b>

Table 2. The cost-effectiveness of products

This mentioned example shows that this is a cost-effective entrepreneurial venture, what

represents a proof of hypothesis H3: Investing resources in obtaining the CE mark for the



products has a high rate of return.

Justification for investment in CE Mark was assessed in relation to achieved effects. Enterprises are justification for investment on the scale from 1 to 10 evaluated with marks from 2 to 10. The medium evaluation for justification for investment in CE Mark is high and it is 8.48

(figure 7). The great number of enterprises chose the evaluation 9 (25.71 % of the tested samples). the evaluations from 1 to 5 are chosen by 3 enterprises what represents only 8.57 % of the tested samples and it can be considered negligible [12].

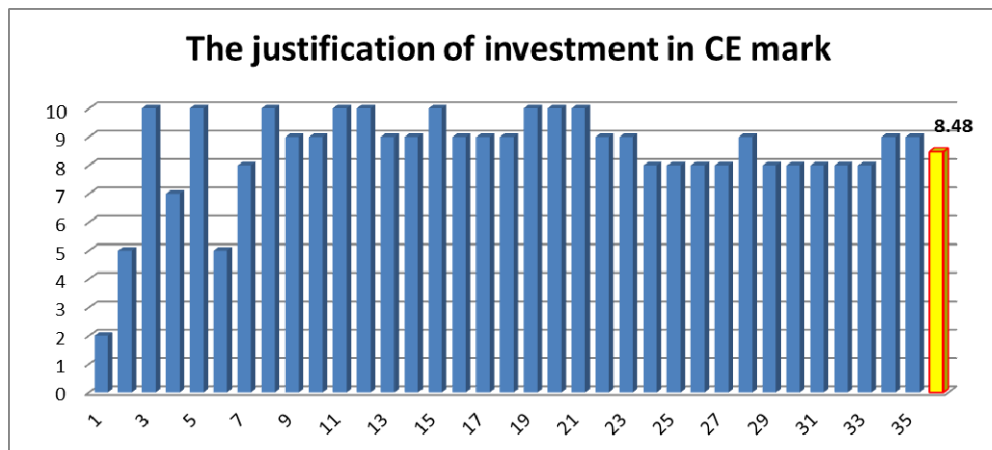


Fig. 7. Justification of investments in the CE mark

## 6. CONCLUSION

Based on the results obtained by processing the questionnaires and shown in this work we can make next conclusions:

- The impact of the new approach directives on the competitiveness of enterprises is having a lot of attention. The competitiveness of companies in relation to the best in class in Serbia on a scale of 1 to 10 is estimated to be 8.88; in relation to the European Union score 7.49. This finding leads us to the conclusion that the competitiveness of enterprises in Serbia, whose products have the CE mark is at a high level. All of this represents the proof of the hypothesis H1: Application of New Approach Directives have an impact on increasing of the level of competitiveness
- Achieved by increasing the level of competitiveness is 97.14% of the company. The highest level achieved increasing competition in the range of 1-10% (68.57% of samples).
- Achieved by increasing levels of customer satisfaction is 100% of the company. All of this represents the proof of the hypothesis H2: Application of New Approach Directives have an impact on increasing of the level of customer satisfaction. Largest increase levels of customer satisfaction, as well as the level of competition are in the range of 1-10% (77.14% of the samples).

- Investment of resources in obtaining CE mark for products have a high rang of the cost-effectiveness. The medium evaluation to justify investment in mark CE is high and it is 8.48. The cost-effectiveness of the most numerous key products in relation to all products that participated in the survey is high. All of this represents the proof of the hypothesis H3: investment of resources in obtaining CE mark for products has high range of cost-effectiveness.

According to the show results it can be concluded that this work indicates to the existing level of quality, security of products with CE mark and the competitiveness of this Industry of Serbia, with hope that the strategy of possible improvement of enterprise competitiveness will be determined while completing requirement of the New Approach Directives.

## 7. REFERENCES

- [1] Arsovski, S., Kanjevac Milovanovic, K.: *Modeling the impact of new approach directives on competitiveness of enterprise*, International Journal for Quality Research, Vol. 2. No. 2, pp. 85-92, 2008
- [2] Arsovski, S., Kanjevac Milovanovic, K.: *Extended model of competitiveness through application of new approach directives*, International Journal for Quality Research, Vol. 3. No. 1, pp. 1-6, 2009

- [3] Questionnaire Researching the impact of the new approach directives on the competitiveness of enterprises in Serbia
- [4] Porter, E. M.: *Konkurentna prednost*, Asee, Novi Sad, 2007.
- [5] Porter M.E., *The Competitive Advantage of Nations*, Harvard Business Review, 1990.
- [6] Porter E.,M.: *O konkurenciji*, Fakultet za ekonomiju, finansije i administraciju, Beograd, 2008.
- [7] Porter, E. M.: *From competitive advantage to corporate strategy*, Harvard Business Review, June 1987.
- [8] Porter, E. M.: *Toward a New Conception of the Environment - Competitiveness Relationship*, Journal of Economic Perspectives, volume 9, number 4, 1995.
- [9] Kanjevac Milovanovic, K, Arsovski, S.: *The impact of the new approach directives on competitiveness enterprises in Serbia*, 4th International Quality Conference, Kragujevac, May 2010.
- [10] Prabalad, C. K., Ramaswamy, V.: *The future competition: co-creating unique value customers*, ACR Vol 12, No. 1, 2004.
- [11] Kanjevac Milovanovic, K, Kokic Arsic, A., Savovic I.: *The impact CE mark on the competitiveness of machine*, 4th International Quality Conference, Kragujevac, May 2012.
- [12] Kanjevac Milovanovic, K, Arsovski, S., Kokic Arsic, A., Pavlovic, M.: Curcic S. *The impact of CE marking on the competitiveness of enterprises*, Strojarstvo, Vol.53 No. 6, prosinac, 2011.

**Authors: Dr. Katarina Kanjevac Milovanović, Prof. Dr. Slavko Arsovski**, University of Kragujevac, Faculty of Engineering, Center for Quality, Sestre Janjić 6, 34 000 Kragujevac, Serbia,  
 Phone.: +381 34 302 590.  
 E-mail: cqm@kg.ac.rs;  
 k.kanjevac@kg.ac.rs

Petrović, P.B., Hodolić, J., Budak, I., Danilov, I., Lukić, N.

**SENZORSKI SISTEMI BAZIRANI NA OPTIČKOJ TRIANGULACIJI I NJIHOVA  
PRIMENA U TEHNOLOGIJI ROBOTSKOG ZAVARIVANJA**

**Rezime:** U okviru ovog rada izlažu se osnovni okviri integrisanog pristupa izgradnje sistema adaptivnog upravljanja procesom robotskog zavarivanja primenom optičke triangulacije, kao generičke tehnologije za ostvarivanje efektivne interakcije robota i njegovog okruženja u realnim uslovima industrijske proizvodnje. Navode se varijantni oblici optičke triangulacije koji su pogodni za robotsko zavarivanje, definišu polazne teoretske osnove i prikazuju konkretni rezultati eksperimentalnih proba ostvarenih u laboratorijskim uslovima. Ova istraživanja su sprovedena u okviru projekta TR35007 koji finansijski podržava resorno ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj.

**Ključne reči:** Dimenziona metrologija, Optička triangulacija, Robotika, Zavarivanje

**1. UVOD**

Robotsko zavarivanje je verovatno jedna od najuspešnijih primena industrijskih robota bez obzira na aspekt sa kojeg se ova tehnologija posmatra. Zbog činjenice da veliki broj proizvoda u procesu njihove montaže zahteva zavarivanje, robotsko zavarivanje je istovremeno i oblast najmasovnije primene industrijskih robota.

U proteklih pola veka tehnologija robotskog zavarivanja se sistematski usavršava, tako da danas postoje jasno prepoznatljivi tehnološki entiteti kao što je robot za zavarivanje i tehnološka ćelija za zavarivanje. Ipak, ova oblast u istraživačkom i razvojnom smislu nije iscrpljena. Proces zavarivanje je kompleksan, težak za modeliranje i parametrizaciju, složen za nadziranje i efikasno upravljanje [1]. Činjenica je da većina tehnika zavarivanja nije do kraja izučena niti modelirana, pa se zato po pravilu primenjuju parcijalni modeli ili još češće, empirijski pristupi ograničene opštosti [1], [2]. Najveći broj robota koji rade u industriji na zadacima zavarivanja je u vrlo maloj meri opremljen senzorima, što nedvosmisleno navodi na zaključak da je interaktivnost robota sa okruženjem mala, ili da nje gotovo i nema – zavarivanje ‘na slepo’. Savremeni zahtevi vezani za povećanje produktivnosti u uslovima malih serija nameću potrebu izgradnje autonomnih sistema, komunikativnih sa okruženjem, sposobnih da rade u nedovoljno strukturiranom okruženju i sa ugrađenim svojstvima koja se u određenoj meri mogu okarakteristati kao inteligentnim ponašanjem.

U radu se daje pregled varijantnih oblika optičke triangulacije koja je pogodna za robotsko

zavarivanje, definišu polazne teoretske osnove i navode konkretni rezultati eksperimentalnih proba ostvarenih u laboratorijskim uslovima. Ova istraživanja su realizovana u okviru projekta TR 35007: ‘Inteligentni robotski sistemi za ekstremno diverzifikovanu proizvodnju’<sup>1</sup>.

**2. KONCEPT SISTEMA**

Aktivna kompenzacija greške je osnova na kojoj počiva tehnologija inteligentnog zavarivanja. Inteligencija ovde podrazumeva sposobnost robota da prepozna i reaguje na greške koje postoje u okruženju, odnosno na odstupanje stvarnog od nominalnog stanja okruženja. Inteligentni robot u izvršavanju zadatka zavarivanja je praktično veštački ekvivalent čoveku, zavarivaču u tehnologiji manuelnog zavarivanja.

Idealni inteligentni robotski sistem ostvaruje funkciju adaptivnog ponašanja kroz sve faze izvršavanja zadaka, odnosno: pre, tokom i posle njegovog izvođenja, pri čemu autonomno kompenzuje greške koje utiču na kvalitet procesa zavarivanja, ili ga u potpunosti onemogućavaju.

Greške koje se pojavljuju u procesu zavarivanja mogu da se svrstaju u četiri grupe:

Tip 1: Greške lokacije sklopa koji se zavaruje u odnosu na koordinatni sistem radnog prostora robota;

Tip 2: Greške makro geometrije sklopa koji se zavaruje, uključujući i greške kompletnosti sklopa;

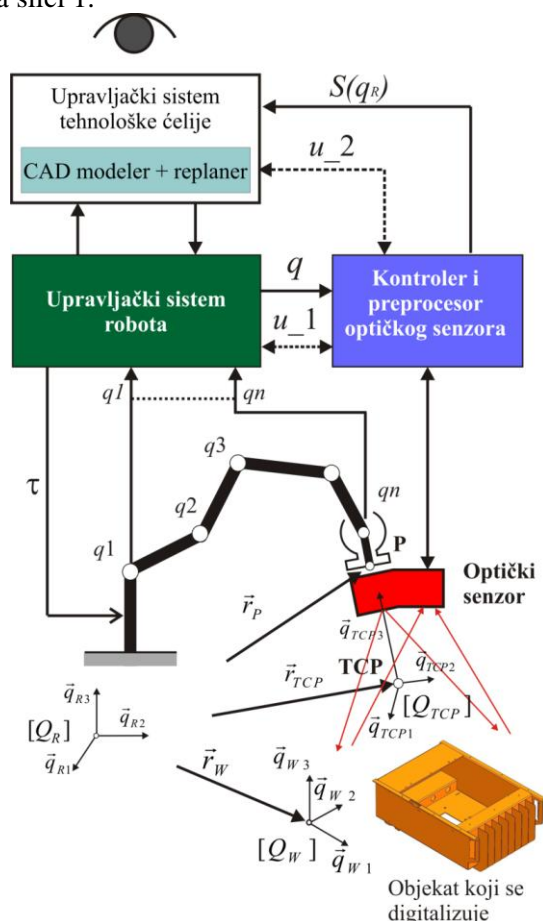
<sup>1</sup> Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije kroz projekat: Inteligentni robotski sistemi za ekstremno diverzifikovanu proizvodnju; Identifikaciona oznaka projekta: TR35007, ciklus projekata tehnološkog razvoja za period 2011. do 2014. godine.

Tip 3: Greška relativne lokacije spoja/šava u odnosu na lokalni koordinatni sistem sklopa koji se zavaruje;

Tip 4: Greške mikrogeometrije spoja/šava;

Ostvarivanje funkcije adaptivnog ponašanja treba staviti u kontekst produktivnosti. U industrijskoj praksi, vrlo je čest slučaj da glavno vreme robota za zavarivanje bude manje od 10% ukupnih vremenskih resursa. Kod prihvatljivo izvedenih sistema postoji jednostavno pravilo da je vreme skeniranja jednako vremenu zavarivanja. Osnovni istraživački cilj jeste da se ovo pravilo radikalno promeni, odnosno da vreme skeniranja i sva druga pripremna vremena budu u zbiru najviše 10% ukupno raspoloživog vremenskog resursa. Robot za zavarivanje mora da zavaruje, a ne da čeka ili izvodi pripreme aktivnosti.

Opšta funkcionalna struktura robotskog sistema koji poseduje sposobnost akvizicije prostorne geometrijske informacije o okruženju prikazana je na slici 1.



Sl. 1. Opšta arhitektura robotskog sistema za akviziciju geometrije radnog prostora u zadacima zavarivanja [5].

Kao što je prikazano na slici, na vrh robota se ugrađuje odgovarajući senzorski sistem, koji pored pretvarača sadrži sklop za preprocesiranje slike ili nekog drugog oblika optičke informacije o

okruženju. U opštem slučaju optička, odnosno vizuelna informacija je funkcija vremena,  $S(t)$ . Za izvršavanje zadataka zavarivanja od suštinskog značaja je da se vizuelna informacija  $S(t)$  spregne sa unutrašnjim koordinatama robota  $q(t)$ , a zatim i sa spoljašnjim koordinatnim sistemom robota, odnosno radnog prostora robota,  $[Q_R]$ . Za uspostavljanje ove spregne neophodno je da se poznaju transformacione matrice koje povezuju lokalni koordinatni sistem senzora  $[Q_{TCP}]$ , a takodje i lokalni koordinatni sistem u kojem je definisana nominalna geometrija sklopa koji se zavaruje  $[Q_W]$ . Transformacijama ove vrste digitalni model sklopa koji se zavaruje se dovodi na potreban oblik  $S(q_R)$ , kojim se njegova kompletna geometrija iskazuje u koordinatnom sistemu radnog prostora robota. Ovakva transformacija je neophodna da bi se digitalizovani model sklopa koji se zavaruje mogao da uvede u odgovarajući CAD modeler i modul replanera nominalnog zadatka zavarivanja. Na slici 1 su ovi moduli smešteni u upravljački sistem tehnološke ćelije koji upravlja radom sistema za zavarivanje u celini. U ovim modulima se ostvaruje jedna vrlo kompleksna funkcionalnost, komparacija digitalizovanog sklopa koji se zavaruje sa nominalnim CAD modelom. Komparacijom generisanog CAD modela, koji odgovara realnom stanju stvari u radnom prostoru robota, sa nominalnim modelom koji je takodje u CAD obliku, identifikuje se greška i svrstava u neku od 4 tipska oblika koji su prethodno navedeni. Dalje se replanerom generiše nova, korigovana trajektorija ili novi, modifikovani plan zavarivanja.

## 2.1 Laserska triangulacija

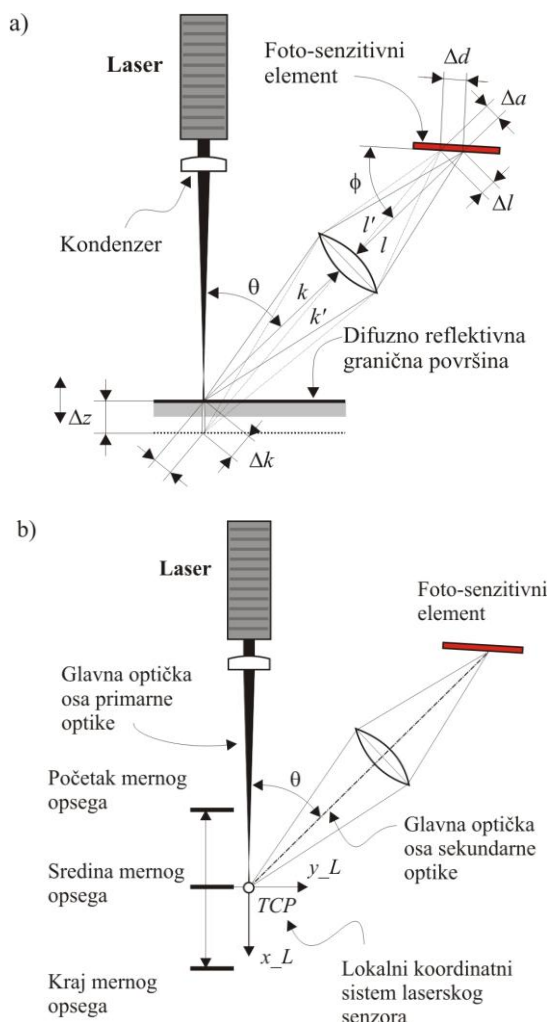
Ključna senzorska tehnologija za ostvarivanje adaptivne funkcije je beskontaktna dimenziona metrologija na bazi triangulacije laserske svetlosti, tačkastog ili linijskog tipa, [3], [4].

Tipična konstrukcija i princip funkcionisanja laserskog senzora sa tačkastom triangulacijom prikazana je na slici 2.

Princip rada senzora je u osnovi jednostavan. Poluprovodnički laser male snage, najčešće sa maksimalnom snagom reda veličin mW, generiše monohromatsku, koherentnu svetlost, koja se kroz primarni optički sistem kolimira na površinu objekta koji se digitalizuje. Optička osa primarnog optičkog sistema je značajna u tehnološkom smislu, jer se za nju vezuje jedna od osa lokalnog koordinatnog sistema (vidi sliku 1). U slučaju difuzne triangulacije, emitovani svetlosni snop prečnika od 10 do 100 $\mu$ m, reflektuje se u svim pravcima, pokoravajući se Lambertovom zakonu difuzne refleksije. Jedan deo reflektovane svetlosti

usmerava se i u pravcu glavne ose sekundarnog optičkog sistema, koji zahvaćeni deo svetlosti fokusira na optoelektrični pretvarač. Tačka na koju pada fokusirana svetlost zavisi od udaljenosti površi objekta koji se skenira. Primenom triangulacione geometrije se, na osnovu informacije o lokaciji te tačke u odnosu na lokalni koordinatni sistem linijskog pretvarača, izračunava nepoznata distanca.

Primenom visokorezolutnih linijskih CCD ili CMOS digitalnih pretvarača, uz odgovarajuće algoritme za primarno procesiranje senzorskog signala, može se postići ekstremno visoka tačnost i rezolucija, uključujući i podmikronski nivo. Brzina skeniranja se kreće od nekoliko stotina odmeraka u sekundi pa do nekoliko desetina kHz. Trinagulacioni senzori ove vrste se odlikuju velikom robusnošću i metrološkom stabilnošću.



Sl. 2. Koncept laserskog senzora sa tačkastom triangulacijom

Pomeraj granične površine objekta,  $\Delta z$ , proporcionalan je pomeraju  $\Delta d$  težišne tačke fokusirane svetlosti koja pada na fotosenzitivni pretvarač. Ova zavisnost se jednostavno izvodi primenom elementarnih trigonometrijskih relacija:

$$\Delta d = \Delta z \frac{l}{k} \sin \theta \quad (1)$$

Relacija (1) je aproksimativna i izvedena je pod pretpostavkom da je  $\Delta z$  mala veličina, a da  $\theta$  ostaje konstantno tokom merenja. Uzimajući u obzir žižnu daljinu sekundarnog sabirnog sočiva  $f$  može se izračunati potreban ugao zakretanja fotosenzitivnog pretvarača,  $\phi$ , a odatle i korigovana relacija (1), koja iskazana eksplicitno po  $\Delta z$  sada glasi:

$$\Delta z = \frac{1 \sin \phi}{m \sin \theta} \Delta d \quad (2)$$

pri čemu je:

$$m = \frac{f}{k - f} \quad (2a)$$

$$\tan \phi = \frac{1}{m} \tan \theta \quad (2b)$$

$$\tan \phi = \frac{1}{m} \tan \theta \quad (2b)$$

Ugao između primarne i sekundarne optičke ose  $\theta$ , i udaljenost sekundarnog sočiva  $k$ , predstavljaju konstruktivne veličine senzora. Merena distanca se na osnovu (2) dalje izračunava iz:

$$z = z_0 + \Delta z = z_0 + \frac{1 \sin \phi}{m \sin \theta} \Delta d \quad (3)$$

Relacije (2b) i (3) su aproksimativne. Konačna zavisnost između distance  $\Delta z$  i odgovarajućeg pomeraja  $\Delta d$  fokusiranog odraza laserskog zraka određuje se kalibracijom.

Laserskim senzorima sa optičkom triangulacijom dobija se vrlo velika tačnost i rezolucija, koja se tipično kreće do  $2^{-14}$  MO, gde je sa (MO) označen merni opseg.

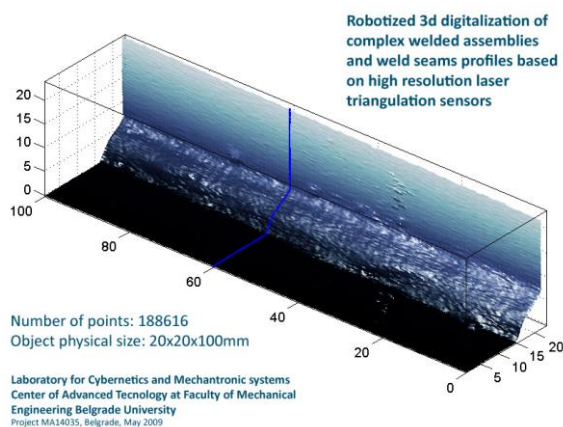
Na slici 3 prikazan je prostorni model ugaonog šava dobijen robotskim skeniranjem primenom tačkastog laserskog triangulacionog senzora. Ovim eksperimentom izvedenim u laboratorijskim uslovima jasno se dokazuje funkcionalnost robotskog sistema za skeniranje.

Mada vrlo precizni, rezolutni i robusni, ovi senzori imaju značajan nedostatak u smislu brzine akvizicije geometrije, koja je u osnovi bazirana na principu skeniranja. U ovom slučaju postoji jednostavno pravilo da je vreme skeniranja jednako vremenu zavarivanja, čime se bitno redukuje proizvodnost.

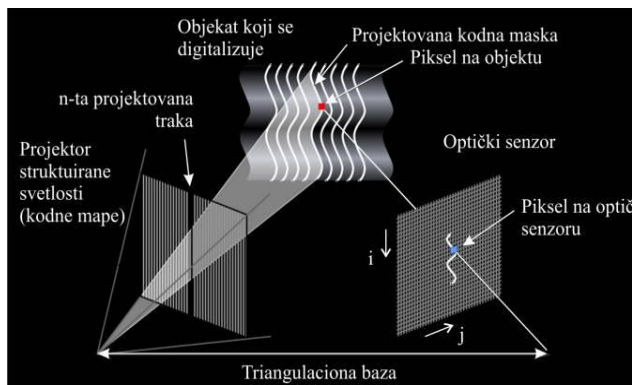
## 2.2 Triangulacija strukturirane svetlosti

Alternativna tehnologija koja razrešava problem nedovoljne brzine laserskih triangulacionih senzora je bazirana na kompleksnim senzorima veštačkog gledanja koji u svojoj osnovi imaju triangulaciju strukturirane svetlosti (slika 4 i slika

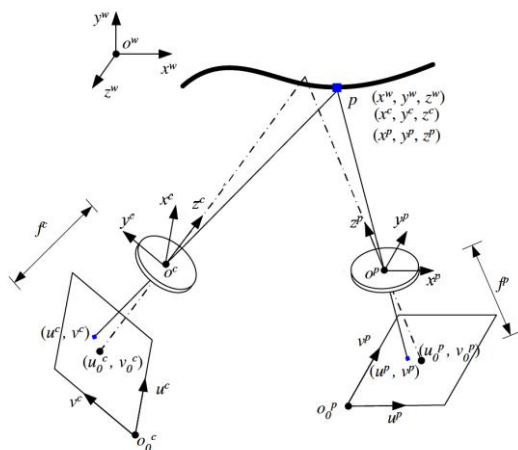
5). Izvor umesto tačke ili linije, emituje svetlosni snop u obliku ravanske mape koja u sebi sadrži određenu logičku strukturu, odnosno odgovarajući kodni sadržaj, koji je apriori poznat. Umesto skeniranjem, akvizicija geometrije se ostvaruje kvazistatičkim putem, izborom dovoljnog broja pogleda na sklop koji se zavaruje i/ili širu scenu u kojoj se on nalazi.



Sl. 3. Primer robotskog skeniranja zavarenog spoja primenom visokorezolutnog beskontaktnog senzora sa tačkastom laserskom triangulacijom sa brzinom uzorkovanja od 2.5kHz [6].



Sl. 4. Koncept prostorne digitalizacije geometrije primenom strukturirane svetlosti.



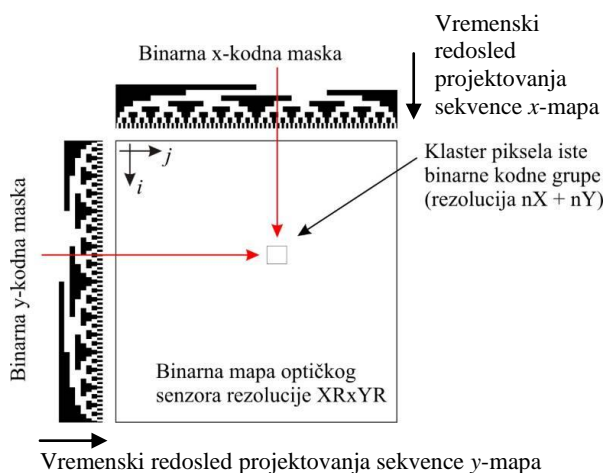
Sl. 5. Model masovno paralelizovane triangulacije mernog sistema sa triangulacijom strukturirane svetlosti.

Masovno paralelizovanom triangulacijom ostvaruje se ekstremno brza i robusna digitalizacija, što ima posebnu vrednost za proces robotskog zavarivanja. Dužina šavova na tipičnom sklopu koji se zavaruje može da bude i više desetina metara, a u uslovi u kojima se merenje odvija su u optičkom smislu vrlo nepovoljni, sa senkama, refleksijama i drugim oblicima optičkih smetnji.

Pod pojmom strukturirane svetlosti ovde se podrazumeva da postoji izvor svetlosti koji ima takvo svojstvo da generiše diskretne ravanske mape koje u vremenskom i/ili frekvencijskom domenu sadrži precizno definisan sistem kodiranja svakog od emitovanih piksela. Prema [7] varijantni, oblici sistema kodiranja klasifikujuse u tri grupe: 1)kodiranje bazirano na vremenskom multipleksiranju, 2)kodiranje bazirano na prostornoj susednosti i 3)direktno kodiranje. Nezavisno od vrste kodiranja, utisnuti kodni sadržaj u svakom pikselu koji emituje svetlosni izvor omogućava: 1)njegovo jednoznačno prepoznavanje u prijemnom sistemu i 2)omogućava paralelnu triangulaciju bez problema korespodencije i 3)korekciju poremećaja koji se prirodno javljaju zbog niza nesavršenosti u celokupnom optičkom sistemu od strane prijemnog sistema.

Kod izbora sistema kodiranja i sinteze kodne mape treba uzeti u obzir specifičnost primene. Za sistem robotskog zavarivanja, kvalitet vizuelizacije je od sekundarnog značaja. Ključne performanse su brzina, tačnost i robusnost na poremećaje optičke vrste. Iz tog razloga u okviru istraživanja koja se sprovode na projektu TR35007 izabran je sistem kodiranja koji je baziran na vremenskom multipleksiranju binarne mape sa utisnutim binarnim kodnim sadržajem. Ovaj sistem kodiranja je originalno koncipiran 1981, kada su Posdamer i Altschuler u svom radu izložili sistem za prostornu digitalizacija baziranu na projekciji skevence od  $m$  binarnih mapa u obliku  $2^n$  traka,  $n = (1, m)$ , kodiranih prirodnim binarnim kodom, [8]. Time je svakom pikselu dodeljen odgovarajući kodni string, binarna reč dužine  $m$ , pri čemu 0 odgovara potpuno neosvetljenom pikselu, a 1 potpuno osvetljenom pikselu (maksimalni intenzitet osvetljenosti). Kasnije je Inokuchi unapredio ovu šemu kodiranja uvođenjem Grejovog koda, [9]. Grejov kod ima Hamingovu distancu 1 što ga čini robusnim na šum i ostale oblike poremećaja. Prostorna susednost kodnih slogova Greyovog koda omogućava efikasnu identifikaciju, a zatim i korekciju greške. Ovo svojsvo je od izuzetnog značaja za primenu u realnim uslovima industrijske proizvodnje.

Broj kodnih mapa i rezolucija optičkog senzora određuju prostornu rezoluciju scene. Na slici 6 prikazan je slučaj generatora kodnih mapa šesnaestobitne rezolucije ( $m = 16$ ). On generiše osam Grejovih kodnih mapa po horizontalnoj osi ( $x$ -osa) i osam kodnih mapa po vertikalnoj osi ( $y$ -osa). Ovakvom kodnom sekvencom generiše se  $2^m = 2^{16} = 65536$  kodnih grupa, što znači da se scena, odnosno prostor na koji se kao uređena serija projektuje sekvenca od  $m$  kodnih mapa diskretizuje na 65536 prostornih klastera sa pikselima istog kodnog sadržaja (veličina klastera  $N = n_X \times n_Y / 2^m$  piksela).



Sl. 6: Šematski prikaz generatora binarnih mapa m-tog reda, kodiranih Grejovim binarnim kodom.

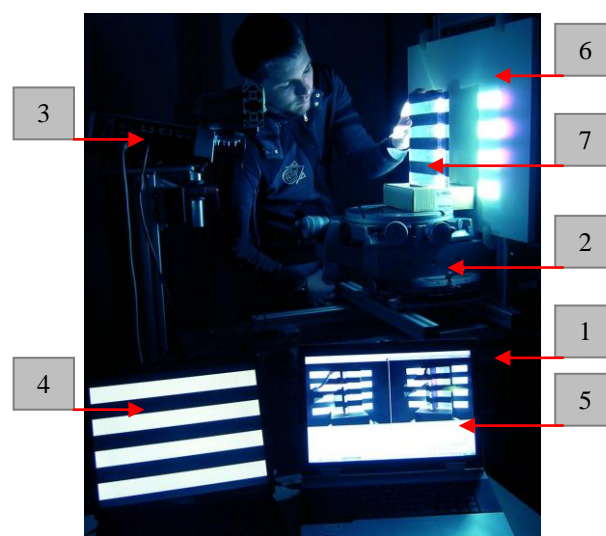
Treba uočiti razliku između diskretizacije koja se ostvaruje serijom kodnih mapa i diskretizacije optičkog pretvarača. Optički pretvarač mora da ima veću rezoluciju, najmanje za red veličine, odnosno da svaki prostorni klaster sadrži deset ili više desetina piksela. Svaki klaster se u daljoj obradi svodi na jednu tačku koja ga reprezentuje. Ta tačka može da bude centar klastera,  $c_{ij}$ . Alternativno, razvijene su metode koje klaster posmatraju kroz ivični piksel na prelazu između dva susedna klastera,  $s_{ij}$ , [10]. Svodjenje na centar klastera  $c_{ij}$  zahteva veći obim izračunavanja, ali istovremeno, ovim se se postiže značajna neosetljivost na šum i druge vrste poremećaja.

Triangulacijom se svakom centru klastera dodeljuju prostorne koordinate, a skup ovih klastera formira prostorni oblak tačaka nad kojim se dalje teselacionim metodama gradi prostorni model scene.

### 3. PRAKTIČNI EKSPERIMENTI

Praktična provera i usavršavanje razvijenih algoritama izvedena je na test stolu koji je namenski razvijen za ove potrebe. Eksperimentalni sistem se sastoji iz sledećih

komponenti: 1) Granitni sto, 2) Platforma sa obrtnim krstastim stolom sa 4 translatorne ose (2 + 2 / redundansa grubog i finog pomeranja), 3) Modul generatora strukturirane svetlosti rezolucije 1024x860 piksela i prijemnog optoelektričnog pretvarača u stereo konfiguraciji sa dve kamere rezolucije 640x480 i USB2 interfejsom, 4) Kompjuter koji generiše kodnu mapu – programabilni generator kodne svetlosti, 5) Akvizicioni računar za upravljanje kamera i prihvatanje senzorskih signala sa obe kamere (monitoring funkcija u realnom vremenu za obe kamere – stereo gledanje), 6) Scena sa pomerljivim ravanskim zastorom izmenljivog tipa + pomeranje po dubini i 7) objekat koji se digitalizuje. Izgled test stola je prikazan na slici 7, [5].



Sl. 7: Konfiguracija hardverskog sistema razvojnog sistema za triangulaciju strukturirane svetlosti.

Na slici 8 data je slika scene u originalnom obliku, koja je generisana kolor kamerom sa optičkim senzorom rezolucije 640x480 piksela. Dalje se na slici 9 navodi serija slika dobijenih sukcesivnom projekcijom osmobicne serije kodnih mapa, kojima se ukupni prostor zahvaćen optičkim senzorom diskretizuje na 256 kodnih klastera, nominalne veličine 1200 piksela. Svaki od osam frejmova koji generiše kamera se prethodno obradjuje. Na slici su prikazani fazni rezultati obrade i to: originalni monohromatski oblik, rezultat dobijen adaptivnim podešavanjem histograma i na kraju, binarni transformati sa zadatim pragom binarne konverzije.

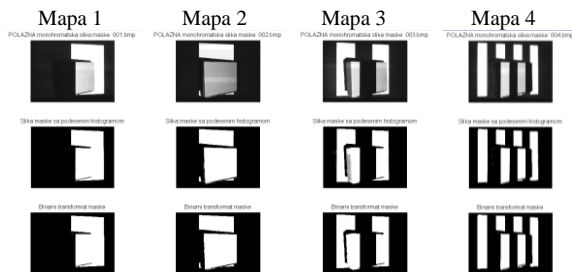
Generisani binarni transformati rezolucije 640x480 se superponiraju sa ciljem da se za svaki piksel generiše odgovarajuća osmobicna kodna grupa. Superponiranje binarnih sadržaja se ostvaruje konkatencijom, prateći vremenski redosled projekcije kodnih mapa, odnosno:  $p_{ij} =$

$b_{ij_8} \cdot b_{ij_7} \cdot \dots \cdot b_{ij_1}$ . Ovakav string se pretvara u njegov decimalni ekvivalent i tako čuva u kompozitnoj matrici  $FS$  ( $p_{ij}$ ) dimenzija  $640 \times 480$ . Ovim se skup od osam binarnih frejmova svodi na jedan monohromatski frejm. Slika 10 praktično predstavlja grafički prikaz ovog monohromatskog frejma osmobaritne rezolucije. Na slici 9 su jasno uočljivi klasteri piksela iste kodne grupe, odnosno istih decimalnih vrednosti. Takođe, uočljivo je izobličenje projektovanih kodnih mapa. Na prikazu  $FS$  matrice se takođe uočava da je kodna grupa sa nultom decimalnom vrednošću najzastupljenija. To je posledica prisustva senki i nereflektivne pozadine scene. Eliminacijom svih piksela koji imaju nultu decimalnu vrednost, ovaj poremećaj se eliminiše.

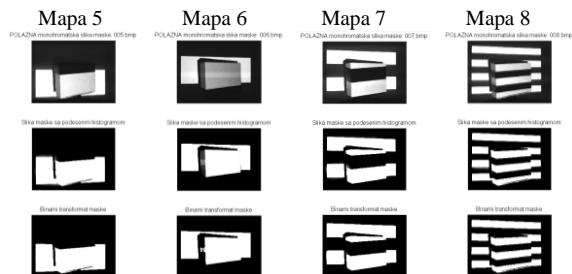


Sl. 8: Prikaz originalne slike scene sa objektom koji se digitalizuje.

**Mape kodirane po x-osi:**



**Mape kodirane po y-osi:**

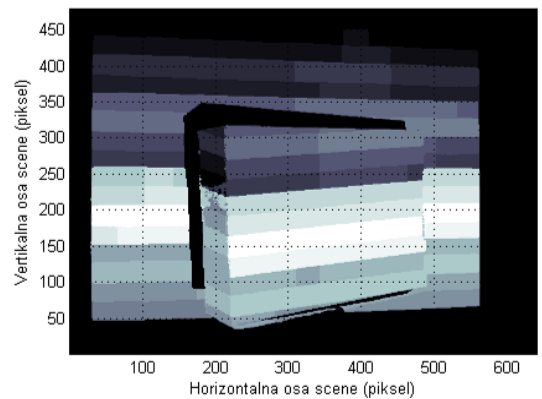


Sl. 9: Slika scene koja se diskretizuje sa prizmatičnim test delom osvetljena belom svetlošću i serija slika scene sa projektovanim kodnim mapama osmobaritne rezolucije.

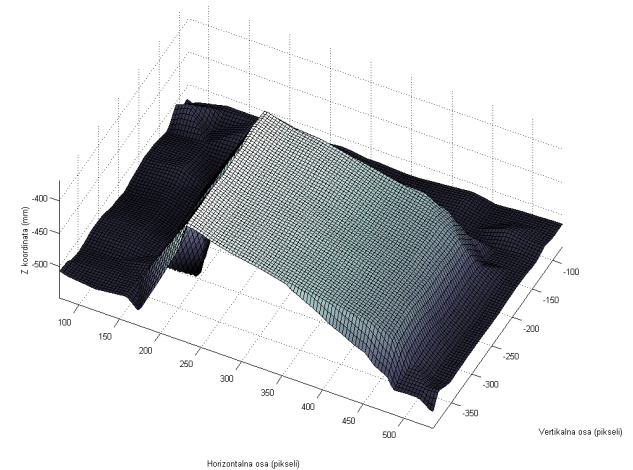
Dalja obrada  $FS$  matrice podrazumeva dve osnovne aktivnosti: 1)selekciju validnih klastera i

2)izračunavanje centara validnih klastera. Validnost klastera određuje se merom odstupanja broja piksela sadržanih u klasteru od nominalnog broja izračunatog za slučaj idealnog funkcionisanja mernog sistema i njegove kompaktnosti. U konkretnom slučaju je nominalni broj piksela 1200. Margina se usvaja iskustveno i zavisi od konkretnog slučaja primene, ali  $\pm 10\%$  bi mogla da bude dobra mera u opštem slučaju, što je i ovde korišćeno.

Centri klastera se izračunavaju tako da se održava diskretnost prostora scene. Opciono, moguće je ići na podpikselsku rezoluciju.



Sl. 10: Grafički prikaz  $FS$  matrice koja je transformat dobijen akumulacijom binarnih matrica izvedenih iz skupa od 8 projekcija kodnih maski. Distorzija osmobaritne kodne mape je očigledna!



Slika 11: Generisani prostorni model scene i objekta koji se digitalizuje, izveden iz primarnog oblaka tačaka i primenom uniformne interpolacione mreže sa 9396 tačaka.

Na osnovu izračunatih kordinata centara svih 256 klastera, primenom transformacije  $T$  svakom centru klastera  $c_{ij}$  dodeljuje se pripadajuća z-koordinata. Na ovaj način se dobija oblak tačaka koji se nekom od tesalacionih metoda prevodi u ekvivalentni prostorni model, [11]. Na slici 11



prikazan je prostorni model scene i objekta koji se digitalizuje (prizma), koji su izvedeni transformacijom *FS* matrice prikazane na slici 10. Na slici 12 se prikazuje digitalni model presvučen kolor mapom sa originalnog frejma rezolucije 640×480 u cilju dobijanja fotorealističnog prikaza digitaliovine scene.

a)



b)

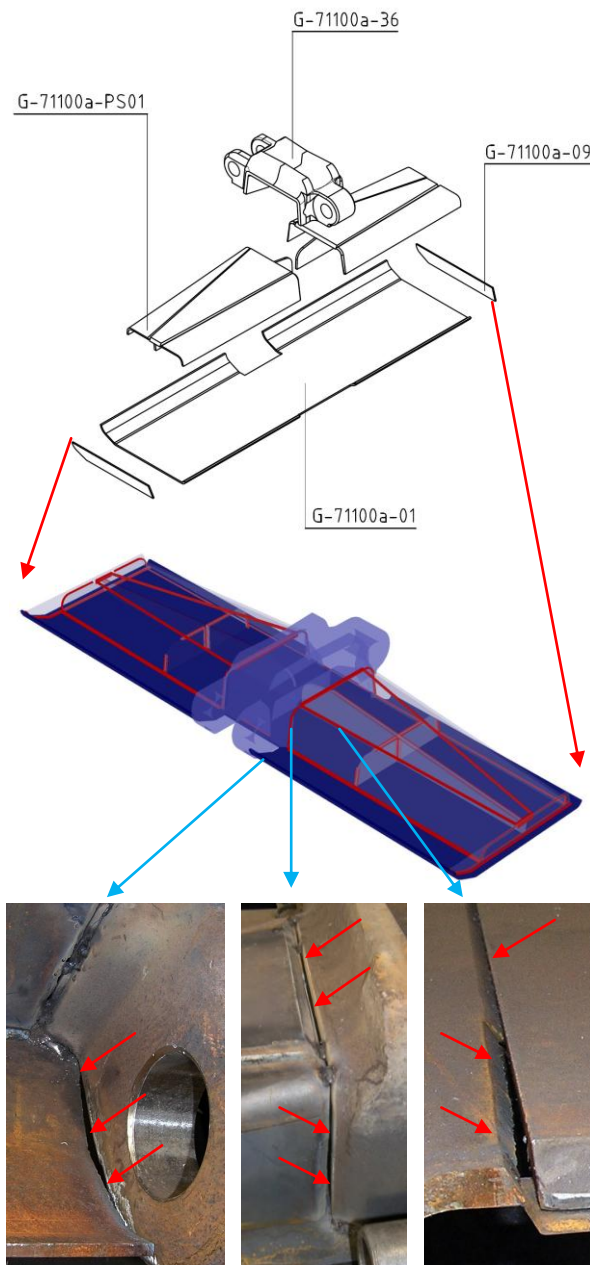


Sl. 12: a) Model sa slike 11 presvučen kolor mapom sa polaznog frejma, b) original (levo) i ortogonalni pogled digitalnog modela (desno) kojim se demonstrira visoka verodostojnost ukupnog procesa prostorne akvizicije scene strukturiranom svetlošću.

Dalje se navodi primer razrade jednog realnog scenarija primene sistema beskontaktno identifikacije geometrije radnog okruženja robota u procesu zavarivanja. Za potrebe kompanije Kolubara metal iz Vreoca, u okviru projekta TR35007 realizovana je prva faza bilateralnog projekta modernizacije tehnologije zavarivanja kroz uvođenje industrijskih robota i srodne opreme. Tehnologija zavarivanja je jedna od ključnih tehnologija i na njoj počiva celokupni proizvodni sistem Kulubara metal. Postojeća tehnologija zavarivanja je bazirana na manuelnom zavarivanju koje u potpunosti dominira svim proizvodnim fazama i primenjuje se u tehnologiji montaže svih proizvoda iz proizvodnog programa Kolubara metal. Parcijalni pokušaji koji su činjeni u tom smislu sa domaćim sistem-integratorima nisu dali odgovarajuće rezultate i zato je pokrenut projekat strateške saradnje sa Mašinskim fakultetom Univerziteta u Beogradu i pristupilo izradi studije izvodljivosti.

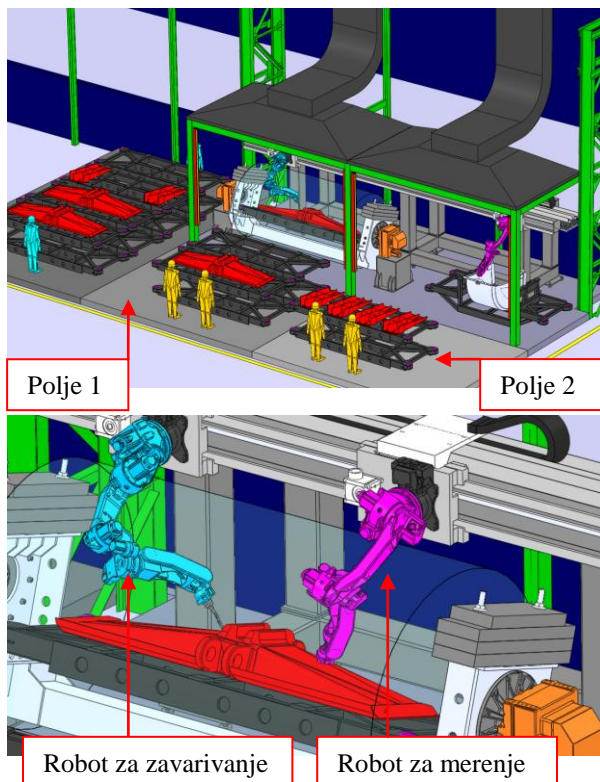
Na slici 13 je prikazan geometrijski model i model zavarivanja za izabranog repozenta, papučice bagera za površinski iskop, koji je predstavljao osnovu za koncipiranje generičke

tehnologije robotskog zavarivanja koja bi potencijalno bila primenjivana u proizvodnom sistemu kompanije Kolubara metal. Sprovedene detaljne analize postojećeg stanja izrade sastavnih delova sklopa repozenta, i daljom ekstrapolacijom, pokazano je da je adaptivno ponašanje robota ključno za uspešnu implementaciju tehnologije robotskog zavarivanja.



Sl. 13. Geometrijski model, model zavarivanja i primeri greške mikrogeometrije šava na sklopu papučice bagera, [12].

Prostorni prikaz dispozicije opreme usvojenog rešenja tehnološke ćelije za montažu i robotsko zavarivanje papučice bagera, koja bi kao prototipska instalacija trebala da bude realizovana u narednom periodu (naredne faze bilateralnog projekta) sa ciljem praktične verifikacija predloženog koncepta, dat je na slici 14.



Sl. 14. Sistem za adaptivno robotsko zavarivanje sa simultanom akvizicijom mikro i makro geometrije robotskim skeniranjem laserskim triangulacionim senzorima, [12].

Ukupni prostor tehnološke ćelije zahvata pravougaonik dimenzija 9.35 x12.4 m, odnosno 116 m<sup>2</sup>. Prostor na kojem je smeštena tehnološka ćelija je strukturiran i sastoji se iz tri osnovne celine: 1)radni prostor manuelnih radnika, 2)radni prostor robota i 3)prostor za smeštaj upravljačke i energetske opreme. Sa aspekta adaptivno komepnzovanje nesavršenosti sklopa koji se zavaruje, predloženi sistem se sastoji iz dva robota, od koji je jedan specijalizovan za operacije zavarivanja, a drugi samo za metrološku funkciju, pri čemu ovi roboti zbog postizanja veće produktivnosti rade paralelno.

#### 4. ZAKLJUČAK

U ovom radu je dat prikaz ostvarenih rezultata na projektu TR35007 u delu razvoja adaptivnih i autonomnih sistema za robotsko zavarivanje, koji će posedovati određene elemente inteligentnog ponašanja, u meri koja će omogućiti uspešnu primenu ove tehnologije u uslovima malih proizvodnih serija – paradigma masovne kastomizacije. Razvijena metodologija je verifikovana u laboratorijskim uslovima, a jedan deo stečenih iskustava je iskorišćen za razvoj rešenja primenljivog u kompaniji Kolubara metal iz Vreoca.

#### 5. REFERENCE

- [1] J.N. Pires, A. Loureiro, and G. Bolmsjo, "Welding Robots: Technology, Systems Issues and Applications ", Springer-Verlag, 2006.
- [2] T.-J. Tarn, S.-B. Chen, C. Zhou (Eds.), *Robotic Welding, Intelligence and Automation*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007.
- [3] Reinhart G, Tekouo W., *Automatic programming of robot-mounted 3D optical scanning devices to easily measure parts in high-variant assembly*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 2009.
- [4] Schwenke, H., et al., *Optical Methods for Dimensional Metrology in Production Engineering*, Annals of the CIRP, Vol. 51, No. 2, pp: 685-699, 2002.
- [5] P.B. Petrović, I. Danilov, N. Lukić, *Brza prostorna digitalizacija okruženja primenom triangulacije strukturirane svetlosti u robotskom zavarivanju*, 57. ETRAN Konferencija, Zlatibor, jun 2013.
- [6] Petrović, P., Jakovljević, Ž., Miković, V., *Robotizovani sistemi za beskontaktnu dimenzionu metrologiju bazirani optičkoj triangulaciji - Deo 2: Praktična implementacija i validacija*, Zbornik radova 36. JUPITER konferencije, 16. simpozijum Menadžment kvalitetom, Beograd 2010, str. 5.35-5.42.
- [7] J. Salvi, *Pattern codification strategies in structured light systems*, Pattern Recognition 37, 2004, pp: 827-849.
- [8] J.L. Posdamer, M.D. Altschuler, *Surface measurement by space-encoded projected beam systems*, Comput. Graph. Image Process. 18 (1) (1982) 1–17.
- [9] S. Inokuchi, K. Sato, F. Matsuda, *Range imaging system for 3-D object recognition*, Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition, 1984, pp. 806–808.
- [10] Wu, H.B., Chen, Y ., Wu, at all., *3D Measurement Technology by Structured Light Using Stripe-Edge-Based Gray Code*, Journal of Physics: Conference Series 48 (2006) 537–541 ( International Symposium on Instrumentation Science and Technology)
- [11] W Wilke, *Segmentierung und Approximation großer Punktwolken*, Dissertation, Technischen Universität Darmstadt, Darmstadt 2002.
- [12] FLEKSIBILNI TEHNOLOŠKI SISTEM ZA ZAVRŠNU MONTAŽU I ROBOTIZOVANO ZAVARIVANJE SKLOPA PAPUČE BAGERA FAZA I: Studija izvodljivosti, 4500007901, Elaborat (interni dokument), Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2012.

**Autori: Prof. dr. Petar B. Petrović<sup>1</sup>, Prof. dr. Janko Hodolić<sup>2</sup>, Doc. Dr. Igor Budak<sup>2</sup>, Ivan Danilov, dipl. ing.<sup>1</sup>, Nikola Lukić, dipl. ing.<sup>1</sup>,**

1)Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Katedra za proizvodno mašinstvo, Centar za nove tehnologije, Kraljice Marije 16, 11120 Belgrade, Serbia, Tel: +381 11 3302435.

2)Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Institut za Proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2306, Fax: +381 21 454-495.

E-mail: [pbpetrovic@mas.bg.ac.rs](mailto:pbpetrovic@mas.bg.ac.rs)

[hodolic@uns.ac.rs](mailto:hodolic@uns.ac.rs)

[budaki@uns.ac.rs](mailto:budaki@uns.ac.rs)

[idanilov@mas.bg.ac.rs](mailto:idanilov@mas.bg.ac.rs)

[nlukic@mas.bg.ac.rs](mailto:nlukic@mas.bg.ac.rs)

*Invited paper:*

Škorić, B., Schrittwieser, R., Cavaleiro, A.

## NANOSCALE DIMENSIONAL METROLOGY AND PHYSICAL CHARACTERIZATION

**Abstract:** *The nanometrology is a scientific and technical discipline paying attention to the measurement of different physical quantities on the nanoscale. Its significance grows hand in hand with the grow of nanotechnology which can be observed in many fields of science and technique during last years. The aim of these papers is to introduce this interesting and relatively new domain and to present a summary of various measurement methods used in nanometrology. Recent advances in nanotechnology are expressed by the atom scale insights successes related to development in nanometrology. New approaches in nanometrology will be required in the near future.*

**Key words:** *nanometrology, nanomaterials, nanoscale.*

### 1. INTRODUCTION

Nanometrology is a subfield of metrology, concerned with the science of measurement at the nanoscale level. Nanometrology is the science of measurement at the nanoscale level and it has a crucial role in producing nanomaterials and devices with a high degree of accuracy and reliability in nanoscale manufacturing. Metrology of complex structures is a highly demanding application that requires extreme precision, reproducibility, and referencing to attributable standards. The first use of the term nanometrology in a peer reviewed publication appears in April 1992, in the journal Metrologia [1].

Metrology instruments should be compliant with good laboratory practices, and produces a comprehensive suite of charged particle microscopy tools to examine and measure materials over a wide range of lengths, from millimeters down to Ångströms in both 2D and 3D, for measuring surfaces and cross-sections to provide quantitative data on critical dimensions.

Nanometrology has a crucial role in order to produce nanomaterials and devices with a high degree of accuracy and reliability in nanomanufacturing. Nanometrology solved the technical issues which are today at the forefront of the industry's most critical problem area: feature edge definition. In order to solve this problem, it is necessary to first calibrate the tool used for measurement, and then with the properly calibrated perform precise and accurate metrology. The needs for measurement and testing that may be derived from the foreseen developments in nanotechnology are substantial and wide range. Prosperous industrial sectors are

Precision Engineering, Micro- & optoelectronics, as well as Bio-molecular technology [2]. The measurement techniques used for macro systems cannot be directly used for measurement of parameters in nanosystems.

### 2. MEASUREMENT TECHNIQUES

Various techniques based on physical phenomena have been developed which can be used for measure or determine the parameters for nanostructures and nanomaterials. Some of the popular ones are X-Ray Diffraction, Transmission Electron Microscopy, High Resolution Transmission Electron Microscopy, Atomic Force Microscopy (Fig.1), Scanning Electron Microscopy, Field Emission Scanning Electron Microscopy.

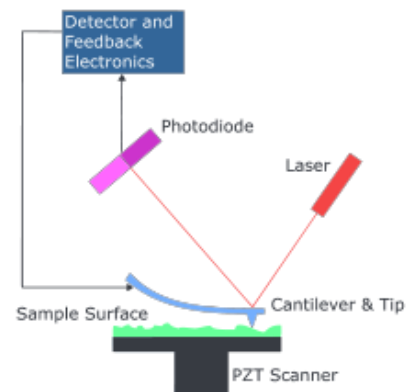


Fig.1. Diagram of Atomic Force Microscope.

**Atomic Force Microscopy (AFM)** is one of the most common measurement techniques. It can be used to measure Topology, grain size, frictional characteristics and different forces. It consists of a silicon cantilever with a sharp tip with a radius of

curvature of a few nanometers. The tip is used as a probe on the specimen to be measured. The forces acting at the atomic level between the tip and the surface of the specimen cause the tip to deflect and this deflection is detected using a laser spot which is reflected to an array of photodiodes.

The analysis of the nano indents of TiN coating was performed by Atomic Force Microscope (Figure 2a). It can be seen a cross section of an indent during indentation. (Figure 2b) [3].

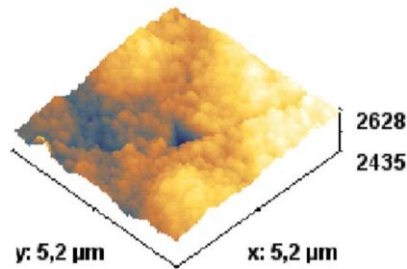


Fig 2a. AFM image of a nanoindentation,

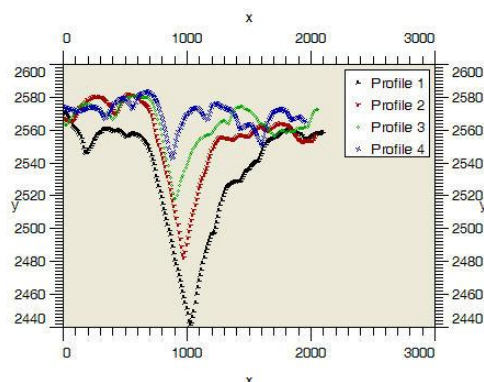


Fig 2b. Cross-section of the indentation

**Scanning Tunneling Microscopy (STM)** is another instrument commonly used (Fig.3). It is used to measure 3-D topology of the specimen. The STM is based on the concept of quantum tunneling. When a conducting tip is brought very near to the surface to be examined, a bias (voltage difference) applied between the two can allow electrons to tunnel through the vacuum between them. Measurements are made by monitoring the current as the tip's position scans across the surface, which can then be used to display an image.

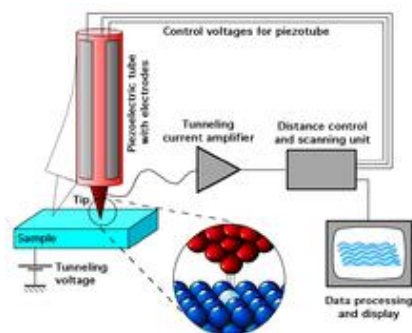


Fig.3. Diagram of Scanning Tunneling Microscope.

Another commonly used instrument is the **Scanning Electron Microscopy (SEM)** which apart from measuring the shape and size of the particles and topography of the surface can be used to determine the composition of elements and compounds the sample is composed of (Fig.4). In SEM the specimen surface is scanned with a high energy electron beam. The electrons in the beam interact with atoms in the specimen and interactions are detected using detectors. The interactions produced are back scattering of electrons, transmission of electrons, secondary electrons etc. To remove high angle electrons magnetic lenses are used. Scanning electron microscopy (SEM) instruments primary electron columns. Separate detectors are required for secondary and backscattered electrons.

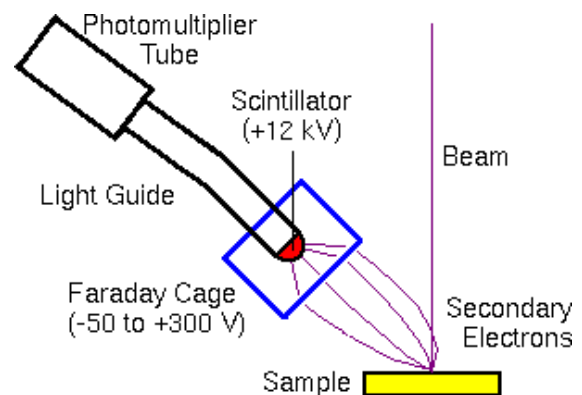


Fig. 4 Diagram of Scanning electron microscopy

To produce images, these electron signals are measured as a function of primary beam position while the beam is scanned in a raster pattern over the sample. The scintillator-photomultiplier electron detector (called an Everhart-Thornley detector, after its inventors) measures the secondary electrons. Higher voltages on the Faraday cage draw in more secondary electrons with more diverse trajectories. Off-axis detector placement favors secondary electrons with trajectories leading toward the detector. This provides the topographical information characteristic of secondary electron images [4].

The assembly of nanocrystals onto the CNT array is demonstrated by scanning electron microscopy (SEM) images (Fig.5). As a comparison, figure show the SEM images of as-grown, vertically-aligned CNTs on an Si wafer. The CNTs were about 10  $\mu\text{m}$  in length and 150 nm in diameter. The average spacing between nanotubes was about 500 nm, with an estimated areal density of  $4 \times 10^8$  tubes/cm<sup>2</sup>.

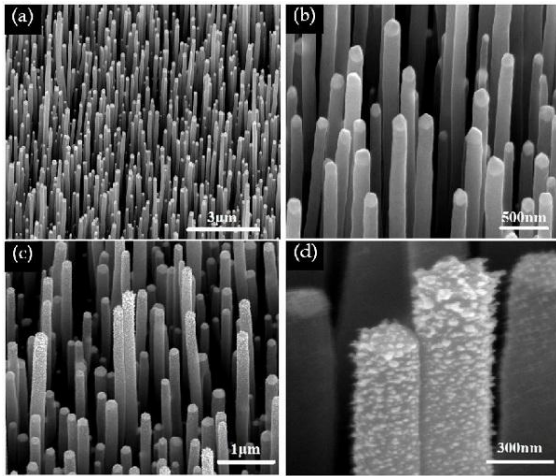


Fig 5. SEM images of as-grown CN [5]

The backscattered electrons are usually measured with a solid state detector located on the primary beam pole piece. The detector consists of a diode with a thin gold conductor across the front surface. Backscattered (but not secondary) electrons have sufficient energy to pass through the front surface and produce electron hole pairs which produce a current in the diode.

A **Coordinate Measuring Machine** (CMM) that works at the nanoscale would have a smaller frame than the CMM used for macroscale objects (Fig.6). This is so because it may provide the necessary stiffness and stability to achieve nanoscale uncertainties in x,y and z directions. The probes for such a machine need to be small to enable a 3-D measurement of nanometre features from the sides and from inside like nanoholes.



Fig.6 Dimensional metrology using CMM.

There are a variety of nanostructures. The most common way to classify nano structures is by their

dimensions (Table 1).

Dimensions	Criteria	Examples
Zero dimensional (0-D)	The nanostructure has all dimensions in the nanometer range.	Nanoparticles, quantum dots, nanodots
One Dimensional (1-D)	One dimension of the nanostructure is outside the nanometer range.	Nanowires, nanorods, nanotubes
Two Dimensional (2-D)	Two dimensions of the nanostructure are outside the nanometer range.	Coatings, thin-film-multilayers
Three Dimensional (3-D)	Three dimensions of the nanostructure are outside the nanometer range.	Bulk

Table 1. Dimensional classification

Also for accuracy laser interferometers need to be used. NIST has developed a surface measuring instrument, called the **Molecular Measuring Machine** (Fig 7). This instrument is basically an STM. The x- and y-axes are read out by laser interferometers. The molecules on the surface area can be identified individually and at the same time the distance between any two molecules can be determined. For measuring with molecular resolution, the measuring times become very large for even a very small surface area.

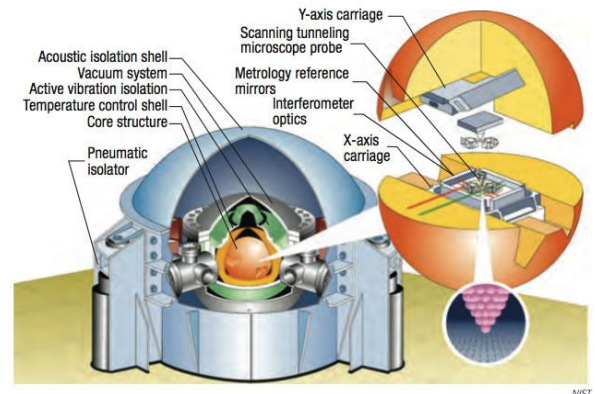


Fig.7 Cut-away view of the Molecular Measuring Machine. Illustration NIST.

**X-ray diffraction** (XRD) is a versatile, non-destructive technique that reveals detailed information about the chemical composition and

crystallographic structure of natural and manufactured materials. Line profile analysis is a diffraction technique used to obtain microstructural information of the sample averaged over the diffraction volume. Nanometrology tools are essential to reveal, verify and control the dimensions and structures in nanomaterials. X-ray analytical techniques are ideally suited for this purpose, making use of radiation with a short wavelength (typically around a tenth of a nanometer) and due to the high penetration depth of X-rays in many kinds of materials.

MEMS/NEMS (Micro/Nano Electro-Mechanical Systems) is a rapidly growing field building upon the existing silicon processing infrastructure to create micron/nano-scale machines. These devices are widely used in aerospace, automotive, biotechnology instrumentation, robotics, manufacturing and other applications and our gateway into coming nanotechnology devices and systems. Unlike conventional integrated circuits, these devices can have many functions, including sensing, communication, and actuation. Just like microelectronics, MEMS/NEMS technology will permeate our everyday lives in the coming decades. The specific experience in this area allows to achieve excellent practical results especially when machining hard materials where ultraprecision turning may be used as an alternative to fine grinding

Nanobiotechnology addresses the development of nanometrology related to biomedicine, bioscience and bio-technology. This is of particular importance for the pharmaceutical industry, health care applications, clinical diagnostics, and medical devices (e.g. implants), as well as for food safety. Measurement challenges in this rapidly developing area include the measurement of dimensions of biological structures, measurement of relevant levels of biologically important substances (such as drugs, biomarkers, and toxins), and the biological variability of systems. Characterising soft and wet materials at the scale of nanometers remains a challenging task to this community. During the past decade, atomic force microscopy (AFM) has been increasingly used to image and manipulate biomolecules and cell surfaces in their native environment. In this application note, we show how the power of AFM force spectroscopy with tips bearing biologically active molecules can be utilized to explore the dynamics of the interaction between individual bacterial adhesions and their receptors as well as to map single adhesins directly on living bacteria.

### 3. CONCLUSIONS

There exist close interactions between precision metrology and newest industrial and technological developments in the field of precision machining. Quality control and quality management are far more than practical application of precision measurement technique but it is not possible to achieve high quality, precision and reliability of technical products without appropriate and intelligent metrology.

The need for dimensional micro and nano metrology is evident, and as critical dimensions are scaled down and geometrical complexity of objects increased the available technologies appear not sufficient. Major research and development efforts have to be undertaken in order to answer these challenges. The developments of course have to include new measuring principle and instrumentation,

### 4. REFERENCES

- [1] K. Nakayama, M. Tanaka, F. Shiota and K. Kuroda, *Metrologia*, 1992, 28(6), 483–502
- [2] Carneiro K., The need for measurement and testing in nanotechnology, High Level Expert Group on Measurement and Testing Under the European Framework , 2002.
- [3] B. Škorić, D.Kakaš, M. Gostimirović and A. Miletić, *Nanoscale Modification of Hard Coatings with Ion Implantation*, *Materials and technology* 45 (2011) 4,pp.69-72.
- [4] J. I. Goldstein, D. E. Newbury, P. Echlin, D. C. Joy, C. Fiori, and E. Lifshin, *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*, Plenum Press, New York.
- [5] G. H. Lu, L. Y. Zhu, P. X. Wang, J. H. Chen, D. A. Dikin, R. S. Ruoff, Y. Yu, Z. F. Ren, Electrostatic-force-directed assembly of ag nanocrystals onto vertically aligned carbon nanotubes, *J. Phys. Chem.* 48, 2007, 17919-17922

**Authors: Prof. Dr. Branko Škorić**, University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department for Production Engineering, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Phone.: +381 21 485 2342, Fax: +381 21 454-495. E-mail: [skoricb@uns.ac.rs](mailto:skoricb@uns.ac.rs)

**Univ.-Prof. Roman Schrittwieser**, Institute for Ion Physics and Applied Physics Leopold-Franzens University of Innsbruck, Technikerstr. 25, A-6020 Innsbruck, Austria

**Prof. PhD Albano Cavaleiro**, University Coimbra, Grupo de Materiais, Pinhal de Marrocos, 3030-201 Coimbra, Portugal.

## MERENJE I KONTROLA MATERIJALA U NANOTEHNOLOGIJAMA

**Rezime:** Nagli razvoj novih materijala u oblasti nanomaterijala stvorio je značajne potrebe kontrole i merenja tih materijala. Zbog čudesnih osobina koje materijali imaju na nanoskali potreba za njihovom proizvodnjom postaje sve veća. Značaj kvalitetnih merenja osobina nanomaterijala pomaže u razumevanju i objašnjavanju tih osobina, njihovih modova ponašanja, proširuje oblast trenutne primene i otvara nove oblasti.

**Ključne reči:** nanočestice, plazma, titania, nanoindenter

## 1. UVOD

Usled velikog opsega primena, u poslednjih nekoliko decenija postoji veliko interesovanje za metalne nanočestice. One se koriste u biomedicinskim senzorima, elektronskim uređajima, katalizi, provodnim mastilima i sl. [1,2].

Mehanička svojstva materijala na mikro skali mogu se veoma razlikovati od njihovih svojstava na makro skali. Stoga je mikro karakterizacija tankih filmova veoma važna za razumevanje njihovog ponašanja.

U ovom radu prikazane su: sinteza metalnih nanočestica pomoću netermalne plazme, sinteza titania premaza i mehanička karakterizacija štampanog srebrnog tankog filma.

## 2. KONTROLA SINTEZE METALNIH NANOČESTICA POMOĆU NETERMALNE PLAZME

U ovom radu nanočestice se izgrađuju spajanjem atoma ili molekula, pri čemu se kontroliše njihov rast i stepen agregacije. Početni materijali (prekursori) od kojih se na ovaj način dobijaju metalne nanočestice su uglavnom metalne soli koje prilikom rastvaranja disosuju i grade metalni jon i rezidualni anjon.

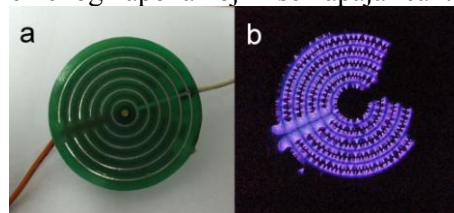
## 2.1 Nanosinteza pomoću netermalne plazme

Netermalna plazma je slabo jonizovani gas u termodinamički neravnotežnom stanju, sa temperaturom elektrona preko 10000 K, dok su ostali činioci (joni, radikali) na ambijentalnoj temperaturi (300 K). Negativni netermalni joni mogu se iskoristiti kao pokretači redukcionih reakcija sa prekursorskim materijalom u procesu nanosinteze.

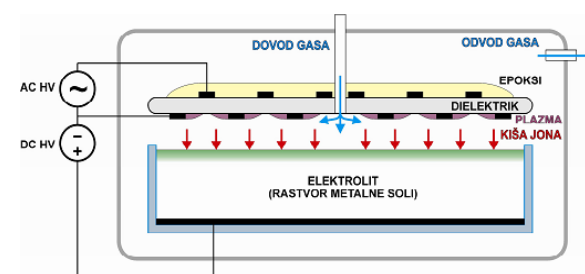
Dielektrično barijerno pražnjenje (DBP) predstavlja jednu od najčešće korišćenih konfiguracija za dobijanje netermalne plazme, usled svoje jednostavnosti i mogućnosti rada na

atmosferskom pritisku [3,4,5]. Plazma reaktore bazirane na DBP čine dve elektrode (radna i kontra-elektroda) i dielektrična barijera između njih. U reaktor se uvodi gas čijom jonizacijom on prelazi u stanje plazme. Između elektroda se dovodi naizmenični visoki napon reda nekoliko kilovolti, što je dovoljno za dielektrični proboj radnog gasa. Dielektrična barijera sprečava pojavu lučnog pražnjenja, tj. prelazak u stanje termalne plazme. DBP reaktor izrađen u tehnologiji štampanih ploča (PCB), korišćen u eksperimentima nanosinteze, prikazan je na slici 1.

Ekstrakcija negativnih jona vrši se uvođenjem dodatne ekstrakcione elektrode koja je na pozitivnom visokom potencijalu u odnosu na radnu elektrodu [6]. Na ovaj način se uspostavlja dodatno uniformno električno polje koje izvlači negativne čestice iz plazme i usmerava ih ka ekstrakcionoj elektrodi. Važno je napomenuti da negativne čestice koje se izvlače iz plazme čine samo netermalni joni, pošto se znatno pokretljiviji elektroni rekombinuju na radnoj elektrodi DBP plazma reaktora na kraju svakog ciklusa naizmeničnog napona kojim se napaja reaktor.



Sl. 1. DBP plazma reaktor u a) isključenom i b) uključenom stanju.



Sl. 2. Aparatura za nanosintezu pomoću netermalne plazme.

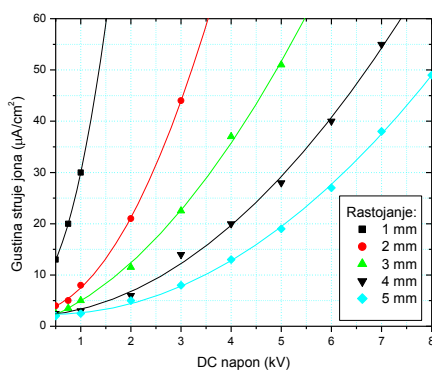
Postavljanjem ekstrakcione elektrode u posudu sa elektrolitskim rastvorom prekursorskog materijala dobija se sistem za nanosintezu (slika 2). Niska energija izvučenih jona (oko 100 meV) sprečava njihovo prodiranje dublje u rastvor i oni se zadržavaju u graničnom sloju između faza (gasa i elektrolita). Na ovaj način je prostor u kojem može doći do redukcionih reakcija ograničen na tanki sloj debljine nekoliko nanometara.

## 2.2 Kontrola sinteze metalnih nanočestica i njihova karakterizacija

Predstavljenim metodom mogu se fabrikovati nanočestice velikog broja metala: srebro, platina, zlato, nikl, bakar i drugi. Aglomeracija (gomilanje) pojedinačnih čestica sprečava se dodavanjem površinski aktivnih materija (surfaktanata) u rastvor koje povećavaju stabilnost formiranih nanočestica.

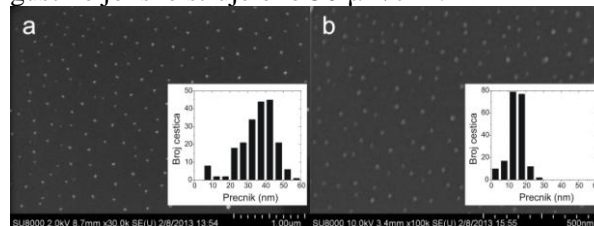
Kontrola veličine nanočestica fabrikovanih ovom metodom može se vršiti na nekoliko načina. Prvo, izborom pogodnih surfaktanata ograničava se rast nanočestice do neke od stabilnih veličina za koje položaj surfaktanta koji oblaže nanočesticu zauzima najstabilniju konfiguraciju [7,8]. Drugo, brzina generisanja novih nanočestica može se podešavati gustinom struje jona koji se uvode u rastvor. Ukoliko je gustina jonske struje manja, manji broj jona reaguje sa metalnim katjonima u površinskom sloju elektrolita. Na ovaj način se dozvoljava novoformiranim česticama da difunduju dublje u rastvor (usled razlike koncentracije), čime se smanjuje njihova gustina u sloju za nanosintezu i sprečava dalji rast.

Gutina struje ekstrahovanih jona podešava jačinom električnog polja koje se koji se izvlače joni iz plazme. Jačina ovog polja zavisi od rastojanja između aktivne elektrode i površine elektrolita (slika 2) i napona polarizacije ekstrakcione elektrode. Na slici 3 prikazana je gustina jonske struje u zavisnosti od DC napona kojim se polariše ekstrakciona elektroda i nekoliko vrednosti ovih rastojanja.



Sl. 3. Zavisnost gustine struje jona u od DC napona kojim se polariše ekstrakciona elektroda i rastojanja između aktivne elektrode i površine elektrolita.

Upotreba ove metode prikazana je na primeru sinteze nanočestica srebra. Kao prekursorski materijal korišćen je rastvor 10 mM srebro nitrata ( $\text{AgNO}_3$ ) u dejonizovanoj vodi. Za stabilizaciju nanočestica korišćena su dva različita surfaktanta. Karakterizacija uzoraka vršena je pomoću skenirajućeg elektronskog mikroskopa (SEM). Na slici 4.a) prikazan je mikrograf prvog uzorka stabilisanog pomoću 0.01% Triton X-100 surfaktanta, a za stabilizaciju uzorka sa slike 4.b) korišćen je 1 mM NaDDBS surfaktanta. Sinteza je u oba slučaja vršena oko 2 sata, pri vrednosti gustine jonske struje oko  $50 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ .

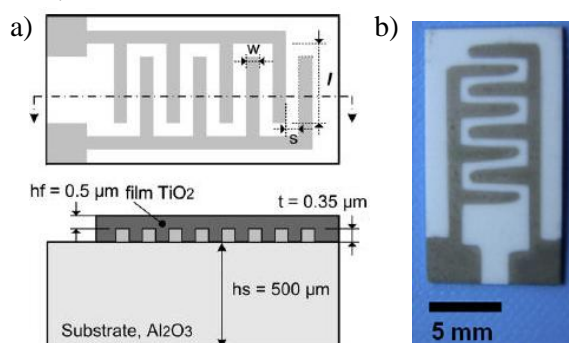


Sl. 4. Ag nanočestice dobijene korišćenjem jona iz netermalne plazme za redukciju  $\text{AgNO}_3$  prekursora u prisustvu a) TX-100, b) NaDDBS surfaktanta.

## 3. SINTEZA TITANIA PREMAZA

Pločasti interdigitalni kondenzatori imaju široku primenu u mnogim senzorskim aplikacijama, uključujući, gasne ili hemijske senzore [9], senzore za merenje vlage [10] kao i primena u mikro-elektromehaničkim uređajima [11].

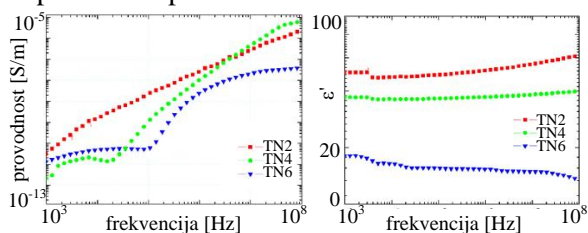
Na slici 5.a) prikazan je poprečni presek predloženog interdigitalnog kondenzatora. Slika 5.b) ilustruje pogled odozgo fabrikovane strukture. Ukupne dimenzije interdigitalnog kondenzatora su: širina 13 mm i dužina 25 mm. Debljina sloja zlata od koga su napravljene elektrode je oko 350 nm i debljina  $\text{TiO}_2$  prevlake je oko 500 nm. Interdigitalni kondenzator je izrađen na aluminina podlozi debljine 500  $\mu\text{m}$ . Širina i razmak između „prstiju“ interdigitalnog kondenzatora su istih dimenzija i iznose 1 mm. Broj „prstiju“ za analizirane strukture je 4, a dužina „prsta“ je 5 mm.



Sl. 5. Dizajn fabrikovanog interdigitalnog sistema elektroda: a) dimenzije i poprečni presek strukture i b) pogled odozgo.

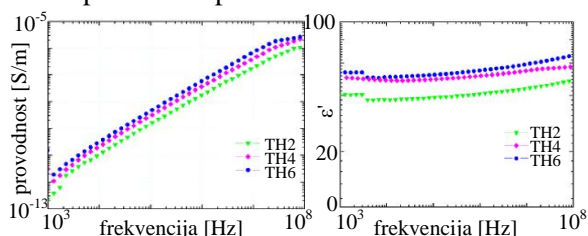


Oznake TN2, TN4 i TN6 na slici 6.a) i 6.b) označavaju koncentraciju lantana od 2%, 4% i 6% respektivno u prevlaci.



Sl. 6.a) Provodnost u funkciji frekvencije za TiO<sub>2</sub> prevlaka dopiranih sa Lantanom (La), b) Realni deo permitivnosti u funkciji frekvencije za TiO<sub>2</sub> prevlaku dopiranu sa lantom (La)

Oznake TH2, TH4 i TH6 na slikama 7.a) i 7.b) označavaju koncentraciju niobijuma od 2%, 4% i 6% respektivno u prevlaci.



Sl. 7.a) Provodnost u funkciji frekvencije za TiO<sub>2</sub> prevlaka dopiranih sa niobijumom (Nb), b) Realni deo permitivnosti u u funkciji frekvencije za TiO<sub>2</sub> prevlaku dopiranu sa niobijumom (Nb)

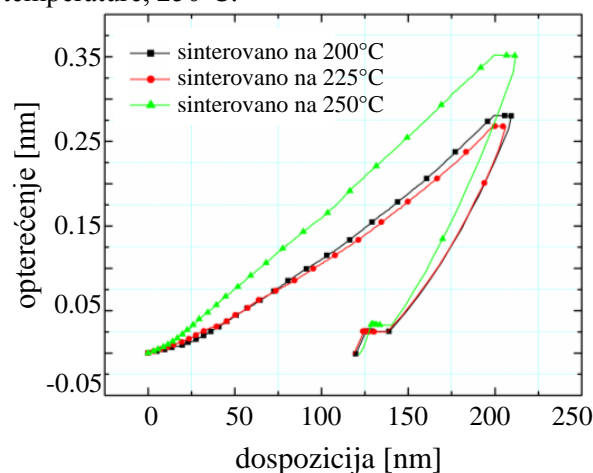
Ovi rezultati ukazuju da ispitivani uzorci mogu naći primenu u senzorskim aplikacijama. U skladu sa izmerenim rezultatima, može se zaključiti da niobijum (Nb) poboljšava električnu provodljivost nanostrukturnog titanijum premaza, dok dodajući lantan (La) u većem procentu dolazi do smanjenja električne provodnosti, kao i relativne dielektrične konstante.

#### 4. MEHANIČKA KARAKTERIZACIJA ŠTAMPANOG SREBRNOG TANKOG FILMA

Uzorci za mehaničku karakterizaciju su pripremljeni ink-jet tehnologijom pomoću Dimatix<sup>®</sup> DMP-3000 [12] na poliimidnom supstratu različitih debljina i na mikroskopskom staklu. Debljina supstrata poliimidnog filma je 50 μm (proizvođača GTS [13]). Kao mastilo korišćeno je SunChemical<sup>®</sup> [14] mastilo sa nanočesticama srebra sa 20% i 40% koncentracijom srebrnih nanočestica. Nakon štampanja nanočestičnog srebra na poliimidnim filmovima uzorci su sinterovani na tri različite temperature, 200 °C, 225 °C i 250 °C u trajanju od 30 minuta. Nakon sinterovanja uzorci su mehanički karakterisani Agilent<sup>®</sup> nanoindenterom

G200. Osnovni princip karakterizacije nanoindenterom jeste primena aktuatora sile visoke rezolucije na utiskivač koji će biti doveden u material i senzora visoke rezolucije koji će konstantno meriti primenjenju silu. Nakon što je utiskivač doveden u materijal obe deformacije, i plastična i elastična, će biti prisutne formirajući oblik utiskivača na određenoj dubini utiskivanja. Nakon uklanjanja utiskivača plastična deformacija ostaje dok se elastična vraća u svoj prvobitan oblik. Razlika između dubine utiskivanja i izgleda materijala posle uklanjanja utiskivača govori o elastičnim odobinama materijala. Sva merenja vršena su na istoj dubini utiskivanja, 200 nm, da bi se izbeglo probijanje srebrnog filma. Poasonov koeficijent srebra je podešen na 0,37. Za svaki srebrni film vršeno je 10 utiskivanja.

Slika 10 predstavlja krive opterećenje-dispozicija za srebrni film štampan na poliimidnom supstratu debljine 50 μm i sinterovanom na temperaturama od 200 °C, 225 °C i 250 °C tokom 30 min. Dobijeni rezultati poklapaju se sa očekivanim. Najveća sila je potrebna da bi se dostiglo 200 nm prodiranja za srebrni sloj sinterovan na najvišoj temperature, 250°C.



Sl. 8. Tipične krive opterećenje-dispozicija za srebrni film štampan na poliimidnom filmu debljine 50 μm i sinterovanom na različitim temperaturama

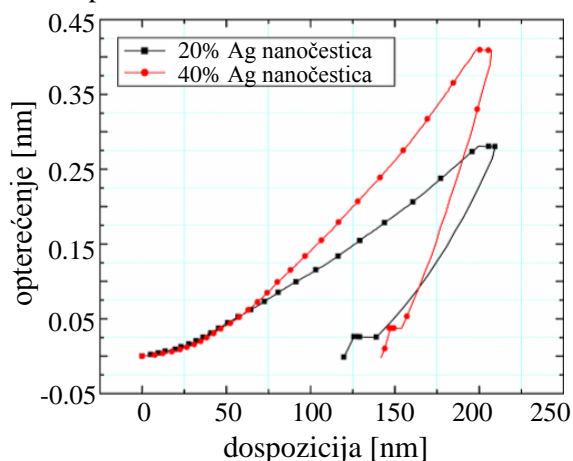
uzorak	koncentracija srebrnih nanočestica [%]	temperatura sinterovanja [°C]	Jangov moduo [GPa]	tvrdća [GPa]	dispozicija [μm]	maksimalno opterećenje [mN]
1	20	200	8.237	1.250	206.773	0.250
2	20	225	8.658	1.445	204.960	0.240
3	20	250	10.328	1.737	206.902	0.305
4	40	200	11.968	1.387	207.542	0.383

Tabela 1. Mehaničke osobine štampanog

srebrnog tankog filma (pri maksimalnom opterećenju)

Tabela 1 prikazuje srednje vrednosti Jangovog modula, tvrdoće, pomeraja u površinu i primenjenog opterećenja na površinu uzorka. Kao što se može videti sa slike 8 i tabele 1 viša temperatura sinterovanja dovodi do veće tvrdoće i Jangovog modula materijala.

Krive opterećenje-dispozicija dobijene za srebrne filmove štampane srebrom različite koncentracije nanočestica, 20 % i 40 %, na poliimidnom supstratu debljine 50  $\mu\text{m}$  i sinterovane na 200°C 30 min prikazane su na Slici 6.



Sl. 9. Tipične krive opterećenje-dispozicija za srebrni film štampan na polimidnom filmu debljine 50  $\mu\text{m}$  srebrnim mastilom sa različitim procentom srebrnih čestica u mastilu

Uzimajući u obzir podatke iz tabele 1 i sa slike 9 može se videti da, kao što je i pretpostavljeno, srebrni sloj štampan srebrom sa 40 % nanočestica ima veću tvrdoću i Jangov modul.

## 5. ZAKLJUČAK

Značaj merenja i kontrole materijala u nanotehnologijama diktira brzinu razvoja i broj novih tehnologija, kao i njihovu širinu komercijalne primene. Bez kvalitetne metode sinteze i njene precizne kontrole veoma je teško dobiti količinu materijala koje je dovoljna za komercijalnu primenu. Merenje i karakterizacija materijala na mikro skali u nanotehnologijama su važni za razumevanje ponašanja ovih materijala u makroskali i dalje proučavanje njihovih mogućnosti.

## 6. ZAHVALNOST

Ova istraživanja urađena su u okviru projekta TR32016.

## 7. REFERENCE

- [1] Blackman, J.: *Metallic Nanoparticles*, Elsevier, 2009.
- [2] Feldheim, D.L., Foss, C.A.: *Metal Nanoparticles – Synthesis, Characterization, and Application*, Marcel Dekker, 2002.
- [3] Roth, J.R.: *Industrial Plasma Engineering, vol. 1: Principles*, IOP Publishing, 1995.
- [4] Fridman, A., Chirokov, A., Gutsol, A.: *Non-thermal Atmospheric Pressure Discharges*, J. Phys. D: Appl. Phys. 38, p.p. R1-R24, 2005.
- [5] Pietsch, G.J.: Peculiarities of Dielectric Barrier Discharges, *Contrib. Plasma Phys.* 41, p.p. 620-628, 2001.
- [6] Bednar, N., Matović, J., Stojanović, G.: *Actuators for Dielectric Barrier Discharge Reactor Used in Synthesis of Metal Nanoparticles*, IX International Symposium on Industrial Electronics – INDEL, Banja Luka, Bosnia and Herzegovina, 2012.
- [7] Rosen, M.J.: *Surfactants and Interfacial Phenomena*, Wiley-Interscience, 2004.
- [8] Al-Thabaiti, S.A., Al-Nowaiser, F.M., Obaid, A.Y., Al-Youbi, A.O., Khan, Z.: *Formation and Characterization of Surfactant Stabilized Silver Nanoparticles*, A Kinetic Study, *Colloids Surf. B* 67, p.p. 230-237, 2008.
- [9] Igreja, R., Dias, C.J., *Dielectric response of interdigital chemocapacitors: The role of the sensitive layer thickness*, *Sens. Actuators B* 115, pp. 69–78, 2006.
- [10] M. Urbiztondo, I. Pellejero, A. Rodriguez, M.P. Pina, J. Santamaria, *Zeolite-coated interdigital capacitors for humidity sensing*, *Sens. Actuators B* 157, pp. 450–459, 2011.
- [11] M.W. den Otter, *Approximate expressions for the capacitance and electrostatic potential of interdigitated electrodes*, *Sens. Actuators A* 96, pp. 140–144, 2002
- [12] [www.dimatix.com](http://www.dimatix.com)
- [13] [www.sunchemical.com](http://www.sunchemical.com)
- [14] [www.gts-flexible.co.uk](http://www.gts-flexible.co.uk)

**Autori:** M.Sc. Sanja Kojić, M.Sc. Nikola Bednar, M.Sc. Dragana Vasiljević, M.Sc. Milan Radovanović, M.Sc. Nataša Samardžić  
Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Katedra za Elektroniku energetiku i telekomunikacije, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 (0)21 485 2552, Fax: +381 (0)21 47 505 72.

E-mail: [sanja.kojic.ns@gmail.com](mailto:sanja.kojic.ns@gmail.com)  
[bednar.nikola@gmail.com](mailto:bednar.nikola@gmail.com)  
[dragana.vasiljevic87@gmail.com](mailto:dragana.vasiljevic87@gmail.com)  
[rmilan@uns.ac.rs](mailto:rmilan@uns.ac.rs)  
[nsamardzic@uns.ac.rs](mailto:nsamardzic@uns.ac.rs)

Antić, A., Bojanić, M., Milošević, M.

**DEKOMPOZICIJA SIGNALA VIBRACIJA U FUNKCIJI GENERISANJA  
PROSTORA OBELEŽJA ZA PREPOZNAVANJE STANJA POHABANOSTI ALATA**

**Rezime:** U radu je prikazano eksperimentalno istraživanje procesa habanja alata u obradi struganjem i razvoj podloga za definisanje karakteristika ulaznog vektora sistema za procenu habanja alata. Ulazni vektor formiran je merenjem signala vibracija u neposrednoj blizini zone rezanja na dršci alata dekomponovanjem signala primenom diskretnih veivlet transformacija (DWT). Praćen je porast procenta habanja alata i analiziran uticaj na promene vibracija. Na osnovu eksperimentalnih rezultata, izvršena je dekompozicija originalnog signala vibracija u intervalu od 0 do 1 sec za 11 nivoa. Spektralni prikaz je sproveden sa različitom rezolucijom po pojedinim nivoima što je bitna odlika DWT i što ih čini dobrim alatom za analizu vremenskih serija koje generiše neki dinamički proces.

**Ključne reči:** habanje alata, merenje vibracija, dekompozicija signala

**1. UVOD**

Nedostatak pravovremene identifikacije prekomerne pohabanosti alata je glavni uzrok ne planiranog zastoja u proizvodnom okruženju, i ne samo da predstavlja velike troškove u pogledu izgubljenog vremena, već i u pogledu trajno izgubljenog investiranog kapitala uloženog u nabavku alata. U potpuno automatizovanoj proizvodnji, pravovremeno definisanje stepena pohabanosti i brza reakcija zamene reznih alata se vidi kao suštinski korak unapređenja produktivnosti i ekonomičnosti savremene proizvodnje. Predviđa se da precizan i pouzdan sistem za identifikaciju i praćenje stanja pohabanosti alata može doprineti povećanju brzine rezanja za 10-50%, smanjiti zastoje i predvideti zaustavljanje radi zamene, doprinoseći time ukupnim uštedama u proizvodnji između 10% i 40% [1].

Nedostatak klasičnih konvencionalnih sistema za nadzor alata je što najčešće rade unutar, fiksno zadatih granica koje često ne odgovaraju postavljenim zahtevima savremene proizvodnje. Savremeni načini proizvodnje zahtevaju veoma veliku fleksibilnost sa stanovišta materijala obrede, režima i zahvata obrede, a takođe i od sistema za nadzor se zahteva velika fleksibilnost i prilagodljivost u što kraćem vremenskom periodu, po mogućnosti "trenutno".

U tom smislu se kao jedan od najvažnijih zadataka nameće razvoj sistema za nadzor procesa obrade koji će u realnom vremenu moći identifikovati stanje obradnog sistema i alata. Razvoj sistema za nadzor, koji rade u realnom vremenu, čini osnovu za praćenje stanja alata i procesa obrade u savremenoj automatizovanoj proizvodnji. Kvalitetna informacija o stepenu

pohabanosti alata u realnom vremenu predstavlja neophodan uslov za identifikaciju postojanosti alata.

**2. NADZOR HABANJA ALATA**

Nadzor habanja ima zadatak da štiti proces obrade od nepredviđenih poremećaja kroz jednostavne korake upravljanja, upravljajući veličinama nadzora poredjenjem zadatih i ostvarenih veličina. Nadzor alata podrazumeva strategiju koja pomoću upravljanja ulaznim veličinama u mašinskom sistemu omogućava veoma brzo reagovanje na nastale poremećaje u procesu. Ova strategija podrazumeva veoma dobro poznavanje ulaznih veličina, njihovo međusobno dejstvo na ukupni sistem, kao i posledice njihovog dejstva. Indirektnim metodama nadzora habanja alata se vrši praćenjem stepena korelacije senzorskog signala sa datom pojavom. Takođe su razvijene i različite indirektnne metode pomoću kojih se stanje habanja alata, u različitim operacijama obrade, procenjuje na osnovu lako merljivih parametra kao što su sile rezanja, vibracije, akustična emisija, temperatura rezanja, površinska hrapavost obrađene površine itd.. Međutim, većina indirektnih metoda se još uvek razvija i usavršava, tako da ni jedna na zadovoljavajući način ne reprezentuje stanje pohabanosti alata za masovnu industrijsku upotrebu.

Vibracije alata za rezanje tokom obrade nastaju zbog trenja na grudnoj i bočnoj površini alata, nastaje habanja na reznjoj ivici alata, valovitosti obrađivane površine a takođe su povezane i sa spregnutim zupčanicima u kinemtskom lancu mašine. Istraživanja su pokazala da vibracije alata pri kontinualnoj obradi uglavnom nastaju zbog

trenja bočnog dela alata i predmeta obrade, formiranja lamela strugotine i prenosa pobudnih impulsa od drugih komponenti obradnog sistema. Osnovna frekvencija vibracija alata je rezonantna frekvencija sistema izazvana trenjem na reznjivici. Ubrzanje vibracija je najbolja mera vibracija kada se pojavljuju na visokim frekvencijama. S obzirom na to da su vibracije alata za rezanje vibracije visoke frekvencije (tj. iznad 1 kHz), ubrzanje alata je odabrano kao parametar za nadzor habanja alata [2].

Analiza, identifikacija i odabir parametara procesa obrade predstavlja značajan udeo u postupku određivanja signifikantnosti određenog parametra. Ovakva analiza javlja se kao adekvatan odgovor i kod praćenje više različitih i stohastičkih parametara naročito kod klasičnih sistema za nadzor habanja alata.

### 3. DISKRETNA VEIVLET TRANSFORMACIJA (DWT)

Primena diskretnih vavlet (DWT) je tehnika obrade signala u domenu vreme – frekvencija. Obezbeđuje dekompoziciju signala sa dobrim rezolucijama i u domenu vremena i u domenu frekvencije, kao i bolju rekonstrukciju originalnog signala u odnosu na rezultate dekompozicije. Kada se odredi signal varijacije vremena  $x[n]$ , DWT se sastoji od izračunatih koeficijenata koji su unutrašnji proizvod signala i skupa funkcija skaliranja i veivlet funkcija. Definiše se kao [3]:

$$h_j[n - 2^j k] = 2^{-j/2} \Phi\left(\frac{t - 2^j k}{2^j}\right) \quad (1)$$

gde je  $\Phi$  funkcija skaliranja koja se definiše zajedno sa

$$c_{j,k} = \sum_n x[n] h_j[n - 2^j k] \quad (2)$$

poznatim kao koeficijenti aproksimacije, koji su nisko frekventne mape originalnog diskretnog signala vremena  $x[n]$ . Korišćen je pristup analize višestruke rezolucije, gde je diskretna veivlet funkcija ( $\psi$ ).

$$g_j[n - 2^j k] = 2^{-j/2} \psi\left(\frac{t - 2^j k}{2^j}\right) \quad (3)$$

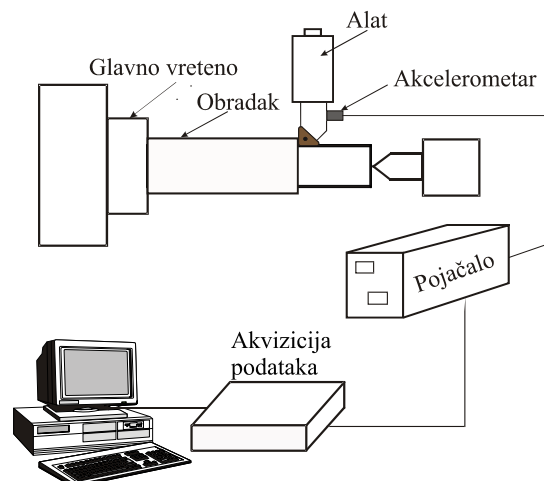
definiše se zajedno sa

$$d_{j,k} = \sum_n x[n] h_j[n - 2^j k] \quad (4)$$

i koristi se za računanje detaljnih ( $d_{j,k}$ ) koeficijenata, koji su verzije uzoraka originalnog signala i predstavljaju njegove visoko frekventne varijacije.

### 4. POSTAVKA EKSPERIMENTA I IZMERENI SIGNALI

Eksperimentalna postavka za ovo istraživanje prikazana je na slici 1. Slika pokazuje šematski prikaz opreme i merne instrumentacija korištene u eksperimentu. Obrada struganjem je izvršena na strugu proizvođača INDEX oznake GU600. Signal ubrzanja vibracija i širina pojasa habanja alata mereni su za svaki prolaz obrade.



Sl. 1. Eksperimentalna postavka merenja

Na slici 2 prikazan o je mesto postavke senzora za ubrzanje vibracija na alatu.



Sl. 2. Pozicija senzora za merenje vibracija

Kombinacija su birane tako da alat bude izložen progresivnom habanju (tabela 1).

Merenje ubrzanja vibracija je izvedeno tako što je merača ubrzanja postavljen na bočnu površinu alata u pravcu aksijalne ose obradka slika 2. Kabel merača ubrzanja je povezan sa pojačivačem, koji je dalje povezan sa jedinicom za napajanje i sistemom za akviziciju podataka. Nakon postavljanja senzora izvedeno je probno merenje kako bi se proverili spojevi, odredio opseg

pojačanja i dobijeni signal sa senzora. Akvizicija je rađena sa  $F_s = 625\text{kHz}$ , rezolucija 18 bit,  $T_s = 1\text{sec}$ .

Materijal:	Č.4732 poboljšan na HRC27
Prečnik priprema:	100 mm
Brzina rezanja:	180 m/min
Pomak:	0.2 mm/o
Tip alata:	„Sandvik Coromant“ PTGNL presek drške 20x20
Pločica presvučena TiN:	TNMG 110408 PGP-415 P15, PP-CORUN

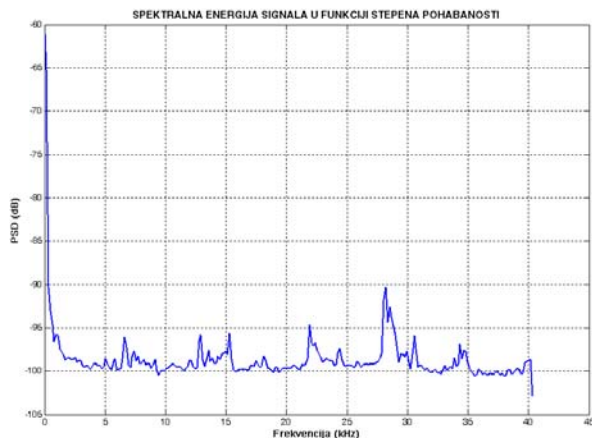
Tabela 1. Parametri obrade

#### 4. PRIKAZ REZULTATA MERENJA

Eksperimenti su vršeni sa parametrima obrade prikazanim u tabeli 1. Cilj eksperimenta je bio da se sagledala mogućnost konstruisanja prostora osobnosti za karakterizaciju stanja pohabanosti reznog klina na osnovu signala vibracija. Najčešći pristup obrade signala za nadzor habanja alata jeste da se generišu obeležja velikog broja signala i da se zatim upotrebi strategija odabira parametara kako bi se identifikovale osobnosti koje su najosetljivije na habanje alata. U praksi postoje četiri pravca generisana prostora osobnosti signala sa senzora [4]:

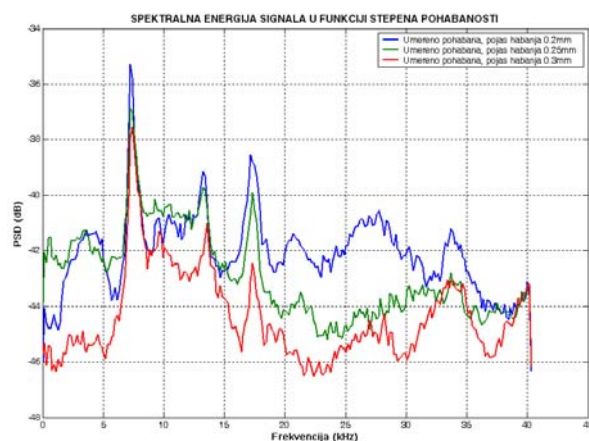
- statistička analiza,
- vremenskog analiza,
- frekventna analiza i
- ukupna vremena i frekventna analiza (npr. spektrogrami i analiza malih talasa).

Frekventna analiza za izračunavanje PSD signala urađena je primenom Welch metode  $\text{window}=512$ ;  $\text{noverlap} = 0$ ; Snimak sistema u mirovanju - identifikacija suma mernog sistema.



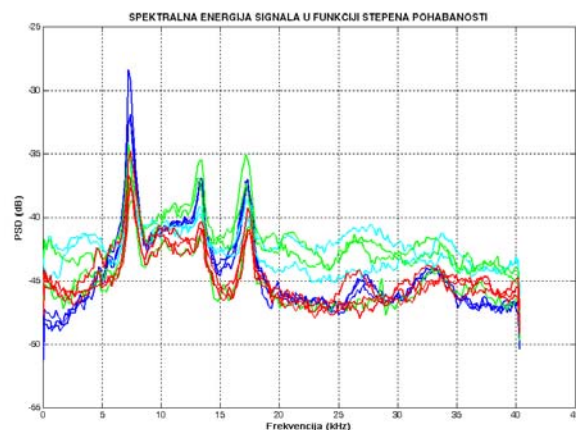
Sl. 3 Frekventna analiza signala vibracija za nov alata

U visokofrekventnom delu spektra komponenta suma je jako potisnuta što se može uočiti na slici 3. Ponovljivost rezultata je dobra, što ukazuje na stabilnost mernog sistema za eksperimente rađene za 3 nove pločice. Ukoliko se analizira signal može se videti da se u nižem delu spektra jasno uočavaju tri izdiferencirane dominantne komponente frekvencije: 7.5 kHz, 13 kHz i 17 kHz. U gornjem delu spektra mogu se izdvojiti dve komponente, jedna na 27 kHz i jedna na 33 kHz. Serije eksperimenata rađene su za umereno pohabane pločice širine pojasa habanja od 0,2 mm do 0,35 sa osetljivošću mernog pojačivača 50 prikazano je na slici 4.



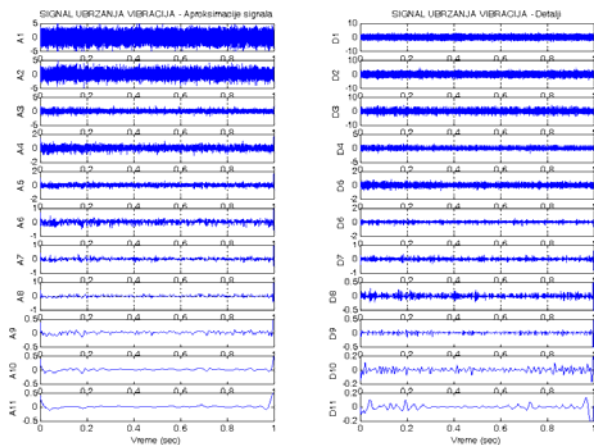
Sl. 4 Analiza signala za pojas habanja alata 0.2 do 0.4mm

Ponašanje spektra kod potpuno pohabane pločice od 1,2 mm do 1,9 mm prikazano je u zbirnom prikazu analiziranih signala za različite stepene pohabanosti pločice na slici 5. Na slici 5 se jasno uočava evolucija vršnih frekvencija i precizno određuje njihova lokacija u delu ultrazvučnog spektra od 20 do 40kHz.

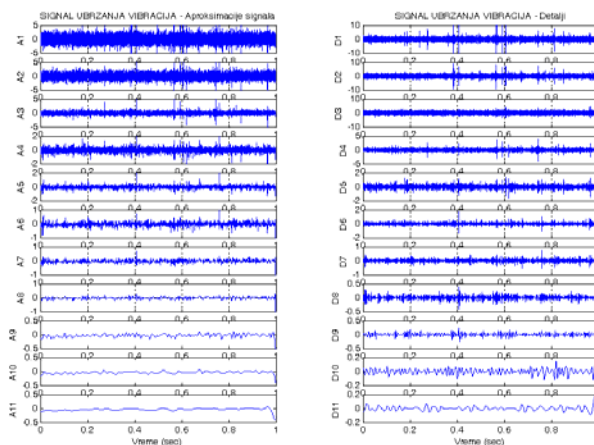


Sl. 5 Analiza signala za različite stepene pohabanosti alata

Pikovi na nižim frekvencijama u relativnom smislu se i dalje održavaju, stabilno, što ukazuje na to da oni dolaze od strukture same mašine a ne od procesa obrade.



Sl. 6 DWT analize obrade sa novom pločicom



Sl. 7 DWT analize obrade sa pohabanom pločicom (pojas habanja 1.2 do 1.6mm)

Navedeni prikaz sadrži aproksimaciju signala na određenom nivou (sa leve strane) i detalj na tom istom nivou koji se uklanja iz signala (prikazano na desnoj strani). Što je viši nivo dekompozicije signala izdvajaju se komponente signala sa nižim frekventnim sadržajem. Aproksimacija na nivou 11 je ono što preostane posle 11 koraka dekompozicije i sastoji se iz komponente sa najnižim frekventnim sadržajem. Kada se aproksimacija A11 sabere sa svim detaljima (D11 do D1) dobije se originalni signal označen sa A1, odnosno  $A1 = A11 + \sum(D1 \dots D11)$ . Bitno je to da je DWT obezbeđuje reverznost procesa i da broj nivoa dekompozicije zavisi od karaktera signala i svrhe analize koja se sprovodi. Skup  $A_i$ ,  $D_i$  se može smatrati specifičnim oblikom spektrograma, odnosno grafičkog prikaza signala sa mogućnošću istovremenog uvida u vremensku i frekventnu strukturu signala. Spektralni prikaz je sproveden sa različitom rezolucijom po pojedinim nivoima što je bitna odlika DWT što se može uočiti na slikama 6 i 7. Poređenjem signala dobijenih obradom sa različitim stepenom pohabanosti alata, odnosno komparativnom analizom koja podrazumeva poređenje detalja po nivoima, može

se prepoznati različiti karakter signala generisan različitim stanjem alata. Na osnovu tako dobijenih karakteristika može se konstruisati prostor osobenosti za karakterizaciju stanja pohabanosti alata.

## 5. ZAKLJUČAK

Na osnovu izvedenih merenja, a što je predstavljeno i u drugim literaturnim izvorima, od kritičnog su značaja sadržaji signala koji se nalaze u opsegu od 20 do 500kHz za definisanje sadržaja ulaznog vektora sistema za klasifikaciju stanja pohabanosti alata. Bolji rezultati merenja bi se postigli u eksperimentalnom smislu kombinacijom akcelerometra i senzora akustične emisije (AE). Takođe, može se utvrditi adekvatna zavisnost stanja pohabanosti rezne ivice alata na osnovu sprovedenih eksperimenata i sadržaja signala. Uvođenjem pored senzora vibracija i senzora AE dobila bi se veća rezolucnost i opseg frekvencija.

## Napomena

Rad predstavlja prikaz dela istraživanja u okviru projekta TR35025 „Savremeni prilazi u razvoju specijalnih rešenja uležištenja u mašinstvu i medicinskoj protetici“ finansiranog od strane Ministarstva za prosvetu i nauku Republike Srbije.

## 6. REFERENCE

- [1] Rehorn, A.G.; Jiang, J.; Orban, P.E.: *State of the art methods and results in tool condition monitoring: A review*, International Journal of Advance Manufacturing Technology, 26, 7-8, pp. 693–710, 2005.
- [2] Sharma, V.S., Sharma, S. K., Sharma, A., K.: *Cutting tool wear estimation for Turning*, Journal Intelligent Manufacturing, 19, pp 99–108, 2007.
- [3] Bhattacharya, P., Sengupta, D., Mukhopadhyay S.: *Cutting force-based real-time estimation of tool wear in face milling using a combination of signal processing techniques*, Mechanical Systems and Signal Processing, 21, pp2665–2683, 2007.
- [4] Scheffer, C., Kratz, H., Heyns, P.S., Klocke, F.: *Development of a Tool Wear-Monitoring System for Hard Turning*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 43, pp 973–985, 2003.

**Autori: Docent. dr. Aco Antić, Docent dr. Mijodrag Milošević, M.Sc. Mirjana Bojanić**, Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2312  
E-mail: [antica@uns.ac.rs](mailto:antica@uns.ac.rs), [mido@uns.ac.rs](mailto:mido@uns.ac.rs), [bojanicm@uns.ac.rs](mailto:bojanicm@uns.ac.rs)

**Rad po pozivu:**

Kojić, S., Stojanović, G., Vasiljević, D., Samardžić, N.

## MOGUĆNOSTI INK-JET ŠTAMPANE ELEKTRONIKE

**Rezime:** Ink-jet štampa u elektronici je oblast velikih očekivanja. Razvijanje novih mastila i podloga za štampu svakim danom proširuju mogućnosti dizajna i primene ove tehnologije. Danas, postoji nekoliko ink-jet štampača prilagođenih štampanju elektronike. U ovom radu prikazane su mogućnosti jednog od njih (FUJIFILM® Dimatix® DMP-3000), kao i različiti prototipovi koji su razvijeni pomoću ovog štampača.

**Ključne reči:** štampa, ink-jet, Dimatix, DMP-3000, senzori

### 1. UVOD

Oblast štampane elektronike sigurno nije nova. Štaviše, kompanije su koristile razne tehnike štampe za pravljenje različitih proizvoda još pre 20 godina. Kako tehnologija pomera svoje granice u pravcu masovne proizvodnje, niske cene i fleksibilnosti primene, štampana elektronika nastoji da bude jedna od najefikasnijih tehnologija koja dostiže navedene kriterijume. Lista uređaja koji se oslanjaju na štampanu elektroniku je dugačka i postaje sve duža [1]. Štampana elektronika je tehnologija od koje se očekuju najviša dostignuća u oblasti elektronskih komponenti, kola i sistema u pogledu niske cene i velike površine štampe [2]. Industrija štampane elektronike razvila je brojne procese, podloge i mastila za štampanje uređaja po niskoj ceni [3]. Ova oblast elektronike omogućuje lako i jednostavno štampanje na različitim podlogama, kao što su: folije, papir, tekstil i mnoge druge.

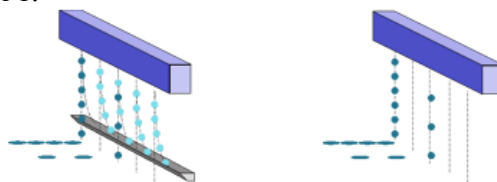
Ink-jet štampa je poznata metoda štampe teksta i slika na porozne površine. U industriji je široko korišćena za štampanje informacije datuma na ambalaži [4]. U štampanoj elektronici ink-jet štampa je, shodno svojoj minijaturizaciji i fleksibilnosti, veoma obećavajuća tehnika aditivnih šablona sa minimalnom rezolucijom koja trenutno iznosi oko 30  $\mu\text{m}$ . Iako je to znatno veće od fotolitografije, zbog aditivne osobine šablona, postoje veoma interesantne primene kao što su štampanje metlanih traka, kolor filtera za LCD displeje, kao i štampanje polimera za svetlosne polimerne displeje i polimernu elektroniku [5]. U poslednjih nekoliko godina intenzivno se radi na dobijanju organskih tranzistora, svetlosnih dioda, keramike i biopolimernih nizova ovom metodom [4].

Danas je ink-jet štampa veoma uobičajena u grafičkoj industriji ali još uvek nema masovne

proizvodnje u elektronskoj industriji, jer je potrebna mnogo veća gustina pakovanja (šablona) od one koja se trenutno postiže. Očekuje se da će se taj problem prevazići u narednih nekoliko godina [5].

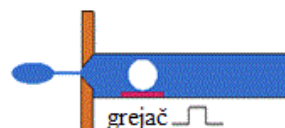
### 2. OSNOVNE IDEJE I PRINCIP RADA INK-JET ŠTAMPE

Izvorna ideja štampača sa mlaznicama (*continuous inkjet - CIJ*) zasnivala se na konstantnom toku mastila koji kontrolišu elektronske ploče, odlučujući da li će mastilo pasti na podlogu (papir) ili će otići u rezervoar za reciklažu. Ova ideja je potisnuta novim principom rada: kapljanja-na-zahtev (*drop-on-demand inkjet - DOD*) [4,7]. Oba principa rada prikazana su na slici 1.



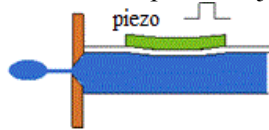
Sl. 1. Principi rada ink-jet štampe: CIJ (levo) i DOD (desno) [8]

Canon® i Hewlett-Packard® razvili su slične sisteme u kojima zagrejana ploča prouzrokuje isparavanje mehurića koji formira i izbacuje kapljicu mastila kroz mlaznicu. Puls struje traje nekoliko milisekundi i zagreva ploču na temperaturu oko 300 °C. Glavni problem je izbegavanje začepjenja mlaznice prouzrokovano sušenjem mastila. Mlaznice ovakvih ink-jet štampača nazivaju se termalne i prikazane su na slici 2.



Sl. 2. Termalna mlaznica ink-jet štampača [8]

Komercijalni piezoelektrični senzori koriste staklene tube okružene cilindrom od piezoelektrične keramike koji istiskuje kapljicu. Izgled ovakvih mlaznica prikazan je na slici 3.



Sl. 3. Piezo mlaznica ink-jet štampača [8]

*Epson*<sup>®</sup> štampači koriste niz piezoelektričnih ploča, koje dovode kapljicu u mod zadržavanja ili istiskivanja.

Kod oba tipa mlaznica njihova veličina je u opsegu od 20 do 30  $\mu\text{m}$  [4]. Kod najnovijih ink-jet štampača namenjenih štampanju elektroničari veličina mlaznice je i do 9  $\mu\text{m}$  [9]. Manje mlaznice ispuštaju manje kapljice i dozvoljavaju veću rezoluciju. Veličina kapljica kod standardnih ink-jet štampača je 10-20 pl, dok je kod specijalizovanih štampača veličina kapljice 1 pl [4,9].

Postoje dva važna parametra za dizajn štampača. To su viskoznost i površinski napon mastila [10].

U trenutku izbacivanja kapljice, energija prelazi u viskozni tok, površinski napon kapljice i kinetičku energiju. Viskoznost mora biti dovoljno niska da dozvoli ponovno punjenje kanala mlaznice za oko 100  $\mu\text{s}$  i formiranje kapljice bez satelita. Površinski napon mora biti dovoljno visok, a pritisak dovoljno nizak, da spreči kapljanje mastila iz mlaznice.

Osnovni problem kod ink-jet dizajna je problem prve kapljice (*first drop problem*). On se odnosi na začepljenje mlaznice usled sušenja mastila. Začepljenje je takođe razlog zbog kojeg se mastila sa rastvorljivim bojama koriste češće u odnosu na mastila sa koloidalnom disperzijom pigmenta [10].

Generalno, svojstva mastila treba da budu prilagođena odabranom štampaču. Tipično mastilo ima viskoznost do 20 Pa·s, ali štampači mogu biti dizajnirani tako da mogu da rade i sa mastilima viskoznosti i do 1000 Pa·s. Dok se za poboljšavanje vezivanja boje za podlogu koriste polimerni aditivi, za smanjenje lanca ekspanzije i viskoznosti koriste se drugi. Nisko volativne vode koriste se za mešanje sa tečnostima kao što su etilen glikol i dodaju se u mastilo sa udelom od 10-20 % radi sprečavanja sušenja i začepjenja mlaznica. Površinski napon ne treba snižavati surfaktantima jer to dovodi do toga da mastilo kvasi okolinu otvora mlaznice i sprečava formiranje stabilnog toka kapljica [10]. Minimalni površinski napon je oko 35  $\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$ .

Kada kapljica padne na podlogu ona će se apsorbovati [11]. Specijalne podloge ili premazi

mogu ograničiti apsorpciju i razlivanje mastila i na taj način poboljšati rezoluciju [12,13]. Rezolucija se može poboljšati i dodavanjem pigmenta (čvrstih čestica) u mastilo umesto rastvorljivih boja. Određena mastila se razlivaju manje na podlogama sa mikroporama.

### 3. INK-JET ŠTAMPAČI NAMENJENI ŠTAMPI ELEKTRONIKE

Postoji nekoliko proizvođača ink-jet štampača namenjenih štampanju elektroničari. Neki od njih su: *FUJIFILM*<sup>®</sup>, *Xennia*<sup>®</sup>, *Epson*<sup>®</sup>, *Clevios*<sup>®</sup> i drugi.

U narednom delu rada biće predstavljene osobine i mogućnosti *FUJIFILM Dimatix*<sup>®</sup>-ovog ink-jet štampača DMP-3000.

#### 3.1 Osnovna svojstva i mogućnosti DMP-3000

DMP-3000 predstavlja ink-jet sistem za štampanje velike preciznosti koji je idealno prilagođen potrebama za istraživanje i razvoj štampane elektroničari.

Ovaj štampač je bez kontakta sa podlogom. Ima sistem za depoziciju fluida sa mlaznicama koje podržavaju širok opseg funkcionalnih mastila. On poseduje nekoliko različitih glava za depoziciju mastila koje se mogu menjati. Glava može da sadrži 16, 128, 256 ili 512 mlaznica. Glava sa 16 mlaznica upotrebljava se za razvoj prototipova. Ova glava koristi rezervoar zapremine 1.5 ml da bi minimizirala trošenje skupih mastila. Razmak između mlaznica na ovoj glavi iznosi 254  $\mu\text{m}$ , a veličina kapljice je od 1 pl do 10 pl u zavisnosti od prečnika mlaznice koji iznosi 9  $\mu\text{m}$  ili 20  $\mu\text{m}$  respektivno. Glava sa 128, 256 ili 512 mlaznica je glava visokih performansi. Ona nema rezervoar već se do nje mastilo dovodi kroz vod direktno iz svoje ambalaže.

Štampač radi na principu kapljanja na zahtev (*DOD*) dok mlaznice rade na principu piezo elemenata. Postoje dve zapremine mlaznica: 1 pl i 10 pl. Sistem ima dozvoljenu površinu štampe od 300 x 300 mm i postiže tačnost od  $\pm 5 \mu\text{m}$  po x,y,z-osi u ponovljivost od  $\pm 1 \mu\text{m}$ , takođe po x,y,z-osi. DMP-3000 koristi vakumsku, temperaturno kontrolisanu pločastu podlogu koja fiksira i termalno kontroliše podlogu za štampu tokom same štampe. Moguće podloge uključuju plastiku, staklo, keramiku, papir kao i membrane, gelove, tanke filmove i drugo. U sistem za štampanje je uključen podsistem za vizualizaciju kapljica. Ovaj podsistem može da fiksira i prikaže dinamičku formaciju kapljica usled podešavanja parametara mlaznice. Svrha ovakvog prikaza je što bolje podešavanje kvaliteta kapljice, samim tim i kvaliteta štampe. Takođe, sofisticirana



elektronika omogućava da se svaka mlaznica glave kalibriše posebno što rešava problem male nejednakosti kanala mlaznica. Drugi podsistem za vizualizaciju odnosi se na:

- uvid rezultata štampe;
- podešavanje položaja podloge;
- merenja, poravnanja i zapažanja procesa sušenja fluida na podlozi;
- merenja prečnika kapljica i
- proračunavanje pozicija.

### 3.2 Oblast primene DMP-3000

Zbog mogućnosti zamene glava štampača, glava sa rezervoarom može se na istom štampaču zameniti glavom visoke performanse. Na taj način postiže se brzo premošćavanje između razvoja prototipa i proizvodnje.

U oblasti štampane elektronike DMP-3000 se može koristiti za:

- kreiranje funkcionalnih elektronskih kola;
- upotrebu organskih poluprovodnih materijala i
- upotrebu neorganskih elektronskih fluida a sve to na čvrstim ili fleksibilnim podlogama.

## 4. PROTOTIPOVI RAZVIJENI POMOĆU DMP-300

Grupa za štampanu i fleksibilnu elektroniku na katedri za Energetiku, elektroniku i telekomunikacije na Fakultetu tehničkih nauka Univerziteta u Novim Sad se već dve godine bavi intenzivnim razvojem prototipova zasnovanih na idejama štampane i fleksibilne elektronike. Do sada su razvijeni brojni prototipovi, od kojih će biti prikazani samo najvažniji.

Svi senzorski elementi na prototipovima razvijeni su pomoću štampača DMP-3000, srebrnog mastila sa koncentracijom od 20 % [14] i podloge od poliimida [15]. Postignuta debljina štampanog srebrnog sloja je 600-800 nm, u zavisnosti od željene gustine štampe. Maksimalna moguća rezolucija je 50  $\mu\text{m}$ . Odštampane strukture se sinteruju u peći na 100  $^{\circ}\text{C}$  u trajanju od 30 minuta.

### 4.1 Fleksibilni otpornički senzor sile

Na slici 4. prikazan je senzor za detekciju sile. Princip rada senzora je promena otpornosti na pristupima usled delovanja sile na senzor.



Sl. 4. Fleksibilni otpornički senzor sile

### 4.2 Senzor položaja na bazi vrtložnih struja

Ovaj senzor reaguje na približavanje metalnih objekata koji indukuju vrtložne struje u senzorskom elementu i tako menjaju njegovu induktivnost. Osnovni prototip ovog senzora sa

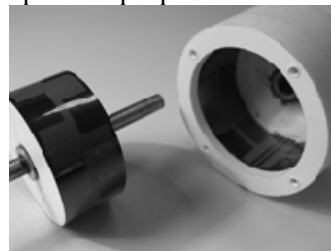
sistemom za očitavanje induktivnosti prikazan je na slici 5.



Sl. 5. Senzor položaja na bazi vrtložnih struja

### 4.3 Kapacitivni senzor položaja

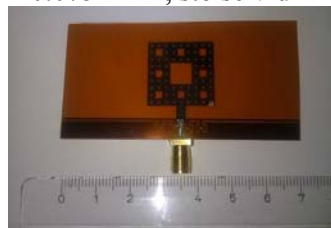
Ovaj senzor korišćen je kao osetljivi element dvokanalnog, kapacitivnog, inkrementalnog enkodera. Rasklopljen senzor vidi se na slici 6. Obim ovog senzora je 118 mm, dok je njegova rezolucija 6 pulseva pri punom okretu.



Sl. 6. Kapacitivni senzor položaja

### 4.4 Fleksibilna antena tipa Sierpinski Carpet Fractal

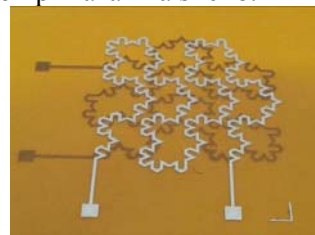
Ova antena modelovana je tako da radi u standardnom opsegu mobilne telekomunikacije (1.92–2.17 GHz). Dimenzije antene su 70 mm  $\times$  31 mm  $\times$  0.075 mm, što se vidi i na slici 7.



Sl. 7. Fleksibilna antena tipa Sierpinski

### 4.5 Transformator sa srebrnim Kohovim fraktalnim linijama

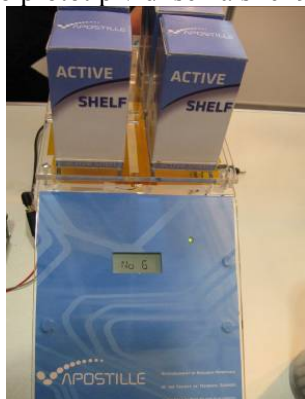
Inovativan dizajn fleksibilnog transformatora sa srebrnim Kohovim fraktalnim linijama. Štampan je dvostrano i prikazan na slici 8.



Sl. 8. Transformator sa srebrnim Kohovim fraktalnim linijama

#### 4.6 Brojač proizvoda na polici

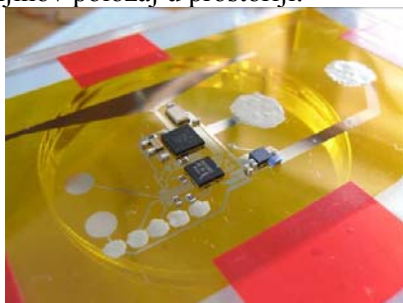
Interdigitalni kondenzator u službi detekcije broja proizvoda na polici. Uzimanjem proizvoda sa police kapacitivnost senzorskog elementa se smanjuje i softver reaguje smanjenjem broja proizvoda na stanju. Novo stanje prikazuje se na displeju. Ceo prototip vidi se na slici 9.



Sl. 9. Brojač proizvoda na polici

#### 4.7 Internet izgubljenih stvari

Kompleksan prototip koji ima za cilj formiranje mreže nalepnica koje se zvučno javljaju ukoliko su prozване od strane kontrole. Na slici 10. prikazan je izgled jedne od nalepnica u toku razvoja. Svrha ovog prototipa je razvijanje malih fleksibilnih nalepnica koje se mogu zvučno oglasiti i koje se mogu zalepiti na važna dokumenta, kao i razvijanje aplikacije za mobilni telefon, koja bi mogla da prozove nalepnice i time otkrije njihov položaj u prostoriji.



Sl. 10. Izgled nalepnice posle štampe i fiksiranja komponenti

### 5. ZAKLJUČAK

Ovaj rad daje osvrt na trenutno stanje u oblasti fleksibilne elektronike i njene mogućnosti. U njemu su objašnjene ideje i osnovni pojmovi ink-jet štampe. Predstavljene su i mogućnosti FUJIFILM® Dimatix®-ovog ink-jet štampača DMP-3000. Na kraju su predstavljena najvažnija istraživanja i razvijeni prototipovi Grupe za fleksibilnu i štampanu elektroniku sa katedre za Energetiku, elektroniku i telekomunikacije na Fakultetu tehničkih nauka, Univerziteta u Novom Sadu.

### 6. ZAHVALNOST

Ovi senzori razvijeni su u okviru projekta TR32016.

### 7. REFERENCE

- [1] Adcock, T., Fenner, D.: *Printed Electronics: Traditional Technology Addresses Today's Smaller, Faster, Lower Cost Requirements*, [http://www.henkel.com/com/content\\_data/201231\\_enewsletter\\_SMT\\_1110\\_printed\\_electronics\\_rev1.pdf](http://www.henkel.com/com/content_data/201231_enewsletter_SMT_1110_printed_electronics_rev1.pdf)
- [2] K. Bock, G. Klink, C. Strohhofer, D. Hemmetzberger, M. Feil, *Large Area Cost-Efficient Electronics Systems Integration*, Electronic Components and Technology Conference, pp. 1540–1543, 2007.
- [3] D. Briand, F. Molina-Lopez, A. V. Quintero, C. Ataman, J. Courbat, N. F. de Rooij, *Why Going Towards Plastic and Flexible Sensors*, *Procedia Engineering*, vol. 25, pp. 8–15, 2011.
- [4] Calvert, P.: *Inkjet Printing for Materials and Devices*, *Chem. Mater.* vol. 13, 3299-3305, 2001.
- [5] Duineveld, P. C.: *The stability of ink-jet printed lines of liquid with zero receding contact angle on a homogeneous substrate*, *J. Fluid Mech.* vol. 477, pp. 175–200, 2003.
- [6] Todić, V., Milosević, M., Lukić, D.: *Book title in italic*, Publisher, City, Year of publication.
- [7] Le, H. P. J. *Imaging Sci. Technol.* 1998, 42, 49-62.
- [8] [www.xennia.com](http://www.xennia.com)
- [9] [www.dimatix.com](http://www.dimatix.com)
- [10] Kang, H. R. J. *Imaging Sci.* 1991, 35, 179-188, 189-194, 195-201.
- [11] Oliver, J. F.; Agbezuge, L.; Woodcock, K. *Colloids Surf. A* 1994, 89, 213-226.
- [12] Tsai, Y.-G.; Inoue, M.; Colasurdo, T. In *Proc.-TAPPI 99, Prep.Next Millennium*; TAPPI Press: Atlanta, GA, 1999; pp 111-122.
- [13] Boylan, J. R. *Tappi J.* 1997, 80, 68-70.
- [14] [www.sunchemical.com](http://www.sunchemical.com)
- [15] [www.gts-flexible.co.uk](http://www.gts-flexible.co.uk)

**Autori:** M.Sc. Sanja Kojić, prof. dr Goran Stojanović, M.Sc. Dragana Vasiljević, M.Sc. Nataša Samardžić Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Katedra za Elektroniku energetiku i telekomunikacije, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 (0)21 485 2552, Fax: +381 (0)21 47 505 72.

E-mail: [sanja.kojic.ns@gmail.com](mailto:sanja.kojic.ns@gmail.com)

[sgoran@uns.ac.rs](mailto:sgoran@uns.ac.rs)

[dragana.vasiljevic87@gmail.com](mailto:dragana.vasiljevic87@gmail.com)

[nsamardzic@uns.ac.rs](mailto:nsamardzic@uns.ac.rs)

**Ol'khovik, E.O., Chulkin, S.G.****DEVELOPMENT QUALITY ENGINEERING PRODUCTION  
AT STAGE OF TECHNOLOGICAL DESIGN**

**Abstract:** *The aim of this work is the development of methods to assess the quality of the cast parts for mechanical engineering. These data are used for calculating durability (service life). Application of this method allows a more accurate assessment of the technical resource of work for cast parts with defects, received in manufacturing, including the considerable heterogeneity of the mechanical properties of cast steel, dimensional accuracy and a large amount of mechanical processing.*

**Key words:** *Design, quality, technology process, technical resource.*

**1. INTRODUCTION**

In spite of the fact that the casting method receive more than half of parts for mechanical engineering, problems of forecasting reliability of cast metal have not received significant development. The influence of various technological processes of production at the quality of parts for the mechanical engineering industry is obvious, but at the same time difficult even to describe, since it requires the necessary information support for the entire life cycle of the details, from production to the end of the operation. Such methods can be implemented in the form of separate elements of CALS-technologies, however, they are not very common and is not designed to address the problems of technological design.

Lack of models, which allow to consider the influence of technological parameters on the degree of uniformity of mechanical properties of metal, the volume of mechanical processing or the dimensional accuracy of the details leads to an overstatement of reserves of strength in the design and increasing the metal.

As a result almost entirely absent information about the distribution of mechanical properties of metal directly in the details, which greatly complicates the possibility of an exact calculation of structural strength. Using data on the mechanical properties of cast steel, received by the results of tests of control samples cut out of the cast-on to the casting of test strips, impractical, because of the identified indicators of mechanical properties of practically never been able to achieve in the body of the casting workpiece.

**2. BASIC METHODS**

The aim of this work is to develop methods of technological increase reliability of steel castings for mechanical engineering. Under the influence of the technological methods is the possibility of designing technologies with further details of the life cycle.

This method of design technology suggests that at the initial stage of development reveals the most loaded part of the local (high stress or strain) using the finite element method, and identifies the most "weak" area of the part due to the production process simulation (simulation of foundry technology and machining). In the future, the use of this information forms a set of measures that can provide maximum structural strength of the projected part (fatigue, technical service life).

**3. CLASSIC APPROACH**

In classic approach to accurately study the structural strength of parts, service life and need to crack the complex calculations of the stress-strain state, which includes the distribution of nominal and maximum stress amplitudes of these stresses, the maximum and minimum operating temperatures, number of cycles and time of operation. The entire complex calculations performed in the design, as a rule, is the following:

- Justification of the service life of the project;
- Identification of the nature of the design, parameters, and the location of technological defects in castings;
- Evaluation of the mechanical properties of the starting materials;
- A current analysis of the stress-strain states of parts;

- Development of a operation of the facility and its components to determine the conditions of resistance to fatigue failure;
- Assessment model "survivability" of materials in various stages of damage accumulation;
- The estimated service life of the specification.

#### 4. NEW APPROACH

A new approach to process design, we offer is to phase out the calculation of the stress-strain state in view of the constructed parts made technological defects of different nature. The proposed method of technological reliability of cast parts is shown schematically in Figure 1. Here in the initial phase, the analysis of the stress field in the absence of any defects and uniformity of the mechanical properties of the metal, then the next step is modeling the process of manufacturing parts, identifying problem the local area in which the formation of various defects, such as - reduced mechanical properties metal, the formation of internal stress, violation of dimensional accuracy, etc.

Joint account heterogeneity of the mechanical properties of cast metal and distribution operating voltage allows for the optimization of process parameters structurally or modification of the process aimed at increasing the service life of work, by increasing the strength of the most loaded areas of detail.

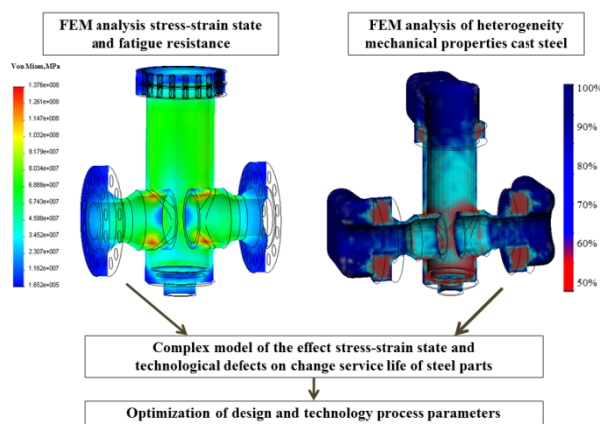


Fig.1. Integrated optimization model construction-technological parameters for highly stressed steel castings parts

Application of CALS-technologies in engineering production is strongly associated with the processing of information from the design CAD-systems. Design engineering technologies in most cases based on the principles of analogy and intuitive empirical experience of designers. Process information, is formed with the

production capacity, degree of automation and experience. In fact, the entire complex of problems solved by the designers and technicians associated with only geometric information produced injection-molded part, which we believe is fundamentally wrong. Engineering collaboration in the design of technology should be based changes in the properties of cast metal and design features.

Computer modeling in foundries can not only play the solidification (thermal problem), but also to predict the mechanical properties of cast metal, and also to form an information card for future casting. Calculation of the distribution parameters of the mechanical properties of the metal in the casting is performed based on the method developed by us [1], based on the use of directional solidification of a local parameter that defines the conditions of supply for each volume element of the casting.

In the calculation of the stress-strain state of the steel cast case distribution and valves used finite element method to evaluate the risk of stress-strain state as parameter was chosen stress intensity. The highest values were found in curved crossings at the junction flange design and reach up to 140 MPa. Wall of the body evenly stretched to the limits 90MPa (yield strength for the steel 45L - 360MPa). The finite element model for the calculation of the stress-strain state of the continuum concept assumes when elastic properties are uniformly distributed in the details and do not have the change, the modulus of normal elasticity in this equals 210GPa. For long term use damage accumulation in finite elements is uneven, which increases the elastic heterogeneity in the system as a whole and lead to the destruction of the body in the most pliable place. Make changes to the calculation of the stress-strain state is possible by changing the initial modulus of elasticity for the set of finite elements.

The main reason for the formation of the mechanical properties of cast steel is the shrinkage porosity and structural heterogeneity. Shrinkage porosity is always present in cast metal, its size depends on the conditions of supply castings. To identify the variation of the modulus of elasticity of the volume shrinkage porosity was made special series of experiments in which the test samples were cut from special alloy samples obtained in different operating conditions. Also, the processing of the experimental values are used and other data. In conditions of good feeding liquid metal from the profit rates of shrinkage porosity does not exceed the value of 3%, which does not change the modulus of normal elasticity

values were 200-210GPa.

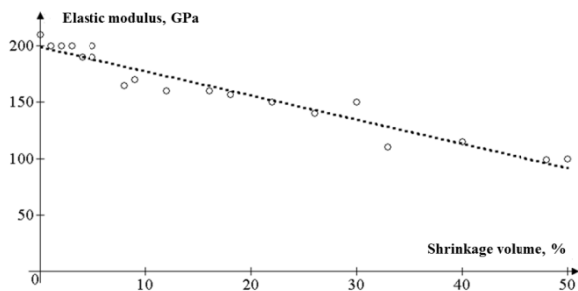


Fig.2. Change in the elastic modulus as a function of cast steel the amount shrinkage porosity,  
○ - experimental data for low-alloy cast steel [1]

With the volume of shrinkage porosity of 5-10% (corresponding to the walls of the casting with a thickness greater than 50 mm) is a significant reduction in the mechanical properties, for short-term indicators ( $\sigma, \delta(\%)$ ) is a reduction of up to 30%, and the fracture toughness ( $K_{IC}$ ) to 50%. With a significant defeat cast metal shrinkage porosity (over 15%) is a more serious decline of the mechanical properties, and these castings shall be rejected on technical requirements.

In [2] we proposed a method to automate the design of foundry technology, this design is performed by successive change the power and direction of the casting solidification. As a criterion for assessing the quality of the technology being developed to use the corresponding calculation for distributing the mechanical properties of cast metal specifications.

In the design of technology considers the principle of risk or the weakest point of failure, which are revealed as the most loaded (by the stress intensity) or local areas with reduced casting mechanical properties (by the modulus of normal elasticity, depending on the amount of shrinkage porosity). Then the whole problem is reduced to the directed formation of high mechanical properties in a more loaded nodes, by improving the supply and reduce the amount of shrinkage porosity.

## 5. CONCLUSIONS

The proposed calculation method for reliable casting machine parts, based on the heterogeneity of the mechanical properties of cast steel, resulting in a variety of operating conditions. Calculations and experimental studies have shown that if the heterogeneity of mechanical properties of cast steel is in the range of 5-10%, this leads to an increase in extreme stress by 20-30%, all other things being equal. The proposed methodology enables the development of foundry technology with directional formation of high mechanical properties in local areas molded parts that are prone to high levels of activity.

## 6. REFERENCES

- [1] Ol'khovik, E.O., Desnitskaya, L.V.: *Chernaya Metallurgiya, Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenij*, Issue 11, 2004, Pages 49-53.
- [2] Ol'khovik E.O., Matveyev S.Y. *Design of foundry technology with a certain operating properties of cast metal*. in 9th International Scientific-Practical Conference "Problems and prospects of casting, welding and forging and stamping production", Altai State Technical University im.I.I.Polzunova, Barnaul, October 2008.

**Authors: Ass. Prof. Phd. Evgeniy Ol'khovik, Prof. Dr.Sc. Segey Chulkin**, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, Russia, Saint-Petersburg, 198035, Dvinskaya str.5/7, phone +7(921) 314-23-94  
E-mail: [olhovick@gmail.com](mailto:olhovick@gmail.com),  
[sergej.chulkin@yandex.ru](mailto:sergej.chulkin@yandex.ru),

This page was intentionally left blank

Sovilj-Nikic, I., Sovilj, B., Sovilj-Nikic, S., Bajgić, B., Živić, Z.

UTICAJ NANOŠENJA PREVLAKE METCO 461  
NA TOPOGRAFIJU POVRŠINE

**Rezime:** Brojne neravnine nastale kao rezultat prethodnih i završnih operacija mogu imati različite geometrijske parametre i izazvati veće ili manje nepravilnosti triboelemenata. U ovom radu se analizira topografija površine pločice pre i posle nanošenja prevlake metco 461 plazma postupkom uz pomoć uređaja METCO 7M

**Ključne reči:** topografija, hrapavost, prevlaka

## 1. UVOD

Priroda materijala elemenata sistema, opterećenja u zoni kontakta, relativne brzine, topografije kontaktnih površina i temperatura u zoni kontakta utiču na karakteristike tribomehaničkog sistema. Kontaktna površina triboelemenata po završnoj obradi nikada nije apsolutno glatka. Brojne neravnine nastale kao rezultat prethodnih i završnih operacija mogu imati različite geometrijske parametre i izazvati veće ili manje nepravilnosti triboelemenata.[1,2]

Karakteristični parametri nasleđeni u toku tehnološkog procesa definišu makrogeometriju i mikrogeometriju kontaktnih površina. Za ispravnu analizu triboloških procesa, ali i tribološki ispravno konstruisanje posebno je značajna hrapavost kontaktnih površina. Makrogeometrija se može popravljati u toku samog tehnološkog procesa ispravnim delovanjem na sistem: mašina-pribor-alat-obradak. Hrapavost ima elemente stohastike i nastaje kao posledica slučajnih procesa, ne može se izbeći ali se njome može u velikoj meri upravljati u tehnološkom procesu obrade [3, 4].

Hrapavost površina se najčešće definiše kao skup neravnina koje obrazuju reljef površine i koje se posmatraju u granicama dogovoreno određenog isečka takve veličine da su eliminisane greške oblika i valovitosti. Stepenn hrapavosti se definiše različitim parametrima i statističkim karakteristikama.

Za praćenje hrapavosti obrađene površine postoji više od 30 parametara. Među njima postoje parametri koji su manje i koji su više zastupljeni. Osnovni parametri hrapavosti definisani su prema nacionalnim i internacionalnim standarima. Prva tri parametra  $R_a$ ,  $R_{max}$  i  $R_z$  predstavljaju malu grupu od tri najzastupljenija parametra, dok su  $R_y$ ,  $R_q$ ,  $R_p$  parametri koji se takođe koriste, ali znatno ređe nego tri prethodno pomenuta

parametra.

Hrapavost značajno utiče na stvarnu površinu kontakta, odnosno na površinu na kojoj se ostvaruje kontakt mikroneravnina koje obrazuju topografiju. Stvarna površina kontakta zavisi od mikro i makro geometrijskih karakteristika površina u kontaktu, od valovitosti, fizičkomehaničkih svojstava površinskog sloja, od opterećenja...

Sa porastom opterećenja povećava se stvarna površina kontakta, a rast je uslovljen nastajanjem novih tačaka kontakta.

Brojna ispitivanja pokazuju da kvalitet kontaktne površine značajno utiče na otpornost na habanje. Smanjenjem hrapavosti povećava se otpornost na habanje čiji uzrok nije samo smanjenje sile trenja nego i smanjenje osetljivosti materijala na koncentraciju napona.[5]

## 2. ZNAČAJ TOPOGRAFIJE POVRŠINE

Brojna ispitivanja pokazuju da kvalitet kontaktne površine značajno utiče na otpornost na habanje. Smanjenjem hrapavosti povećava se otpornost na habanje što se objašnjava ne samo smanjenjem sile trenja nego i smanjenjem osetljivosti materijala na koncentraciju napona.

Topografija kontaktnih površina ima veliki uticaj na habanje i radni vek tribomehaničkog sistema, ali su ti uticaji još uvek nedovoljno ispitani. Danas u tehničkoj literaturi, na primer, nema jedinstvenog mišljenja o uticaju hrapavosti na scoring. Po nekim istraživanjima, zahvaljujući hrapavosti u mazivom sloju se stvaraju uljni džepovi i ukoliko triboparovi rade u uslovima graničnog trenja veća hrapavost blagotvorno utiče na njihov rad. Po drugima, ukoliko triboelementi rade u oblasti hidrodinamičkog trenja i razdeljeni su dovoljno debelim slojem ulja, poželjno je da imaju što je moguće manju hrapavost.[6]

Hrapavost kontaktne površine posebno

ispoljava veliki uticaj na habanje triboelemenata u periodu uhodavanja u kome dolazi do plastičnih deformacija i skidanja mikroneravnina. Parametri i karakteristike hrapavosti se u ovom periodu suštinski menjaju u zavisnosti od režima rada, uslova podmazivanja, materijala i drugog. Period uhodavanja ima veliki uticaj na dalji razvoj procesa habanja i u mnogim slučajevima može trajno opredeliti radnu sposobnost i vek trajanja TMS. Opšta stremljenja su smanjenje intenziteta habanja u periodu uhodavanja, odnosno formiranje takve topografije kontaktnih površina u procesu mehaničke obrade koja bi po svojim parametrima i strukturi odgovarala uspostavljenoj topografiji na kraju procesa uhodavanja. U ovom trenutku moguće je govoriti o planiranju topografije kontaktne površine koja će omogućiti smanjenje habanja i kraći period uhodavanja, a time produžiti radni vek triboelemenata. Drugi pravac je, svakako, modeliranje novih oblika alata sa ciljem da se dobije željena topografija kontaktne površine.

Na procese trenja i habanja uticaj imaju i pravci neravnina hrapavih površina. Njihov uticaj zavisi od uslova trenja i parametara neravnina. U uslovima dobrog podmazivanja i male visine neravnina, pravac neravnina nema značajnijeg uticaja. Za površine veće hrapavosti povoljniji je raspored neravnina paralelan pravcu relativnog kretanja.

U uslovima graničnog trenja i kontakta površina sa malim neravninama paralelnim relativnom kretanju nastaje adhezivno mesno vezivanje (skoring, na primer) i habanje je intezivnije nego u slučajevima položaja pravca neravnina normalnog na pravac kretanja. Za površine veće hrapavosti, kada nema adhezionog vezivanja, paralelni položaj pravca neravnina i relativnog kretanja daje najmanje habanje.[7]

Položaj i visina neravnina utiču i na veličinu koeficijenta trenja. Pri kontaktu površina istih pravaca neravnina, normalnih na pravac relativnog kretanja, koeficijent trenja dostiže najveće vrednosti. Normalni položaj pravaca neravnina triboparova ili njihov unakrsni raspored daju minimalnu veličinu koeficijenta trenja.

Neophodno je ukazati i na činjenicu da na eksploataciona svojstva triboelemenata veliki uticaj pokazuje ne samo hrapavost dobijena završnim operacijama već i hrapavost dobijena okončanjem prethodnih operacija

Pogoršana eksploataciona svojstva i manja otpornost na habanje uzoraka grubo obradivanih pre termičke obrade objašnjavaju se većom neistorodnošću njihovih struktura. Pri brušenju grubih površina, na mestima rasporeda vrhova neravnina u trenucima rezanja brusnim točilom

nastaju trenutni toplotni udari koji dovode do strukturnih izmena lokalnih zapremina materijala. Na mestima udubljenja neravnina pregrevanje je manje i njihova se struktura razlikuje od strukture materijala na kome su bili razmešteni vrhovi. Strukturna neistorodnost izaziva nastajanje strukturnih koncentratora napona koji potpomažu obrazovanje mikropukotina kao začetnike zamornog razaranj a površinskog sloja.

Topografija kontaktnih površina nastala kao rezultat tehnološkog nasleđa značajno utiče na otpornost na habanje tribomehaničkih sistema. U fazi formiranja konstrukcije ili, svejedno, fazi detaljnog konstruisanja postavlja se pitanje okvira realnih mogućnosti konstruktora da utiče na formiranje optimalne topografije. Posebno one topografije koja se neće značajno izmeniti u periodu uhodavanja.

Realne okvirne mogućnosti konstruktora su tesna saradnja sa tehnologom u projektovanju metoda, režima i redosleda tehnoloških procesa. Propisivanje optimalnih klasa hrapavosti, ali ne klasa definisanih samo osnovnim parametrima već i strukturnim rasporedom neravnina definisanih pravcem, radijusom vrhova i udubljenja, krivom nosivosti profila, auto-korelacionom funkcijom.. U okvirima željenih mogućnosti ostaje potreba planiranja topografije i modeliranje optimalnih alata.

Svojstva metala opredeljena su elektronskom građom i strukturom. Otpornost na habanje zavisi od karakteristika strukturnih komponenata. Ali, ni najbolja svojstva, ni najbolje karakteristike u svom izvornom obliku ne poseduju dovoljnu otpornost na habanje kao kompleksnom svojstvu svih materijala.

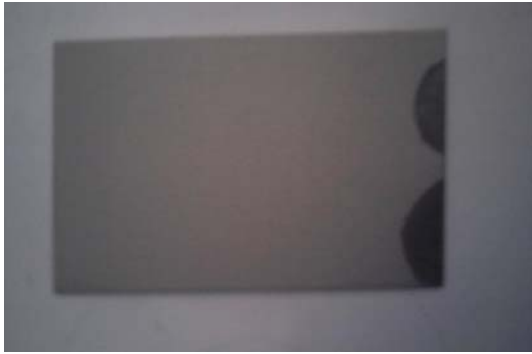
### 3. USLOVI EKSPERIMENTALNIH ISPITIVANJA

U ovom radu u okviru preliminarnih istraživanja se analizira topografija površine pločice (epruvete) pre i posle nanošenja prevlake METCO 461 plazma postupkom uz pomoć uređaja METCO 7M



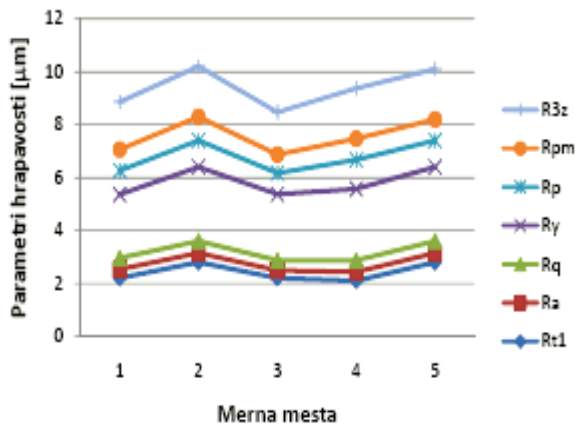
Slika 1. Pločica pre nanošenja prevlake



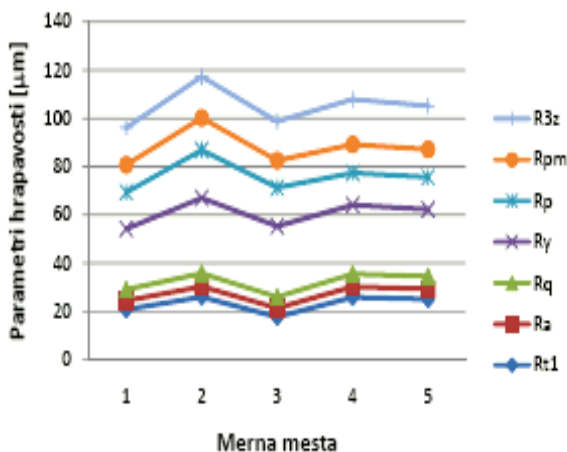


Slika 2. Pločica nakon nanošenja prevlake

Eksperimentalna određivanja parametara hrapavosti na pločici (epruveti) od čelika Č4550 pre i posle nanošenja prevlake METCO 461 izvedena su na uređaju Tailor & Hobson Talysurf 6.



Slika 3. Parametri hrapavosti pre nanošenja prevlake METCO 467



Slika 4. Parametri hrapavosti nakon nanošenja prevlake METCO 467

Merenje mikrotvrdoće izvedeno je sa aparatom za merenje mikrotvrdoće "Karl Frank", tip "38 536".

Priprema metalogarfskih uzoraka sastojala se

iz sledećih faza:

- sečenja
- upresavanja
- brušenja
- poliranja.

Sečenje uzorka je izvršeno pomoću uređaja za sečenje metalografskih uzoraka, tip „Discotom-2“.

Upresavanje uzorka se vrši u cilju sprečavanja oštećenja ivica (rubova) prilikom brušenja. Korišten je uređaj za upresavanje „Simpimet“ (proizvođač „Buehler“).

Brušenje uzorka je izvršeno pomoću uređaja za mehaničko brušenje metalografskih uzoraka, tip „Metasinx“ (proizvođač „Rathenow“).

Korišćen je brusni papir na bazi SiC, granulacije od 220 do 1000 (220, 320, 500, 1000).

Poliranje uzorka je izvršeno pomoću uređaja za mehaničko poliranje metalografskih uzoraka, tip „Montasupal 201“, proizvođač „Rathenow“.

Poliranje uzorka je izvršeno korišćenjem paste za poliranje bazirane na sintetičkom dijamantu, uz dodatak sredstva za podmazivanje.

Mikroskopska posmatranja uzorka na koji je nanešena prevlaka Metco 461 izvršena su pomoću metalografskog mikroskopa "Neophot 21" (proizvođač "Carl Zeiss").

Na osnovu rezultata preliminarnih ispitivanja izvedenih na prevlaci Metco 461 nanešenoj plazma postupkom na epruvetu od čelika Č 4550, izvršena je ocena kvaliteta iste.

Prevlaka Metco 461 (NiCr-Al-Co-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) nanosi se plazma postupkom na delove izložene visokim temperaturama (980°C), kao i na delove izložene habanju.

Tvrdoća osnovnog materijala (Č 4550) iznosi 232 HV 0,3.

Ispitivanje savijanjem pod uglom od 90° uzorka (epruvete) na koju je nanešena prevlaka Metco 461 na savijanje izvršeno je pomoću stezača prečnika Ø 12,7 mm.

Nakon provedenog ispitivanja na epruveti nije došlo do odvajanja prevlake od osnovnog materijala (epruvete).

Merenje mikrotvrdoće prevlake je izvršeno pomoću aparata za mjerenje mikrotvrdoće „Karl Frank“-tip „38 536“. Korištena je metoda po Vickers-u, sa opterećenjem od 2,94 N (HV 0,3)

Mikrotvrdoća prevlake, HV 0,3					Srednja vrednost izmerenih tvrdoća, HV 0,3
Mesto merenja mikrotvrdoće <sup>1)</sup>					
1.	2.	3.	4.	5.	
618	632	643	618	628	627,8

Tabela 1 Rezultati mjerenja mikrotvrdoće

Merenje debljine prevlaka izvršeno je pomoću metalografskog mikroskopa "Carl Zeiss"-tip "Neophot 21", pri uvećanju 200X.

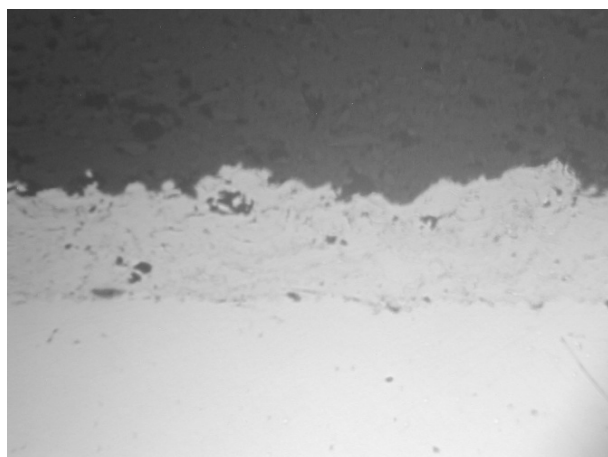
Debljina prevlake ( $\mu\text{m}$ )				
Mesto merenja debljine prevlake				
1.	2.	3.	4.	5.
66	82	70	85	71

Tabela 2 Rezultati mjerenja debljine prevlake

U vezivnoj prevlaci Metco 461 nanešenoj na pripremljenu ispitnu epruvetu uočeno je prisustvo pora i oksida prihvatljivo prema kriterijima definisanim u Specifikaciji "Snecma" – DMP 14.010.

Kvalitet veze između osnovnog materijala (epruvete od čelika Č 4550) i prevlake Metco 461 nanešene plazma postupkom je prihvatljiv prema kriterijima definisanim u Specifikaciji "Snecma" – DMP 14.010

Izgled spoja (veze) između nanešene prevlake i osnovnog materijala, prikazan je na slici 10.



Slika 12: Izgled veze (spoja) prevlake nanešene na ispitnu epruvetu. Uvećanje 200X

#### 4. ZAKLJUČAK

Zahvaljujući novim tehnologijama i uređajima danas se čine veliki naponi da se prodre u suštinu prirode kontaktne površine.

Na osnovu rezultata prliminarnih ispitivanja može se zaključiti da su parametri hrapavosti Ra, Rt1, Rq parametri čije su vrednosti prilično ravnomerne i njihovo rasipanje neznatno dok su parametri hrapavosti Ry, Rp, Rpm i R3z parametri

kod kojih se primećuje veće rasipanje rezultata

Prema rezultatima merenja prikazanih u ovom radu može se zaključiti da su parametri topografije višestruko veći na pločici na kojoj je naneta prevlaka METCO 461, uz napomenu da rezultati svakog od parametara različito variraju

#### 5. REFERENCE

- [1] Williams, J.A.: *Engineering Tribology*, Oxford university press, New York, 2000
- [2] Tanasijević, S.: *Tribološki isparavno konstruisanje*, Faculty of mechanical Engineering in Kragujevac, Kragujevac, 2004
- [3] Sovilj, B., Sovilj-Nikić, I., Gajić, V., Kovač, P., Pejić, V., Sovilj-Nikić, S., Varga, G.: *The parameters of gear teeth surface topography machined by coated and uncoated model hob milling tools*, Proceedings KOD 2012, pp. 467-472, Balatonfured, FTN, Novi Sad, 2012
- [4] Myshkin, N.K., Grigoriev, A.Y., Chizhik, S.A., Choi, K.Y., Petrokovets, M.I.: *Surfaceroughness and texture analysis in microscale*, Wear, Vol. 254, No 10, pp.1001–1009, 2003
- [5] Ivković, B., Rac, A.: *Tribologija*, Yugoslavian tribology society, Kragujevac, 1995
- [6] Serban, R. *Tribologie privere de Ansamblu*, Unversitea Tehnica "Gheorge Asachi", Iasi, 1997
- [7] Sovilj B., Brezočnik M., Sovilj-Nikić I., Đokić V., Radonjić S., Kovač P.: *"Identifikacija triboloških procesa pri profilnoj obradi primenom genetskog algoritma"*, 11th International Conference on Tribology, 2009

**Autori:**, Ivan Sovilj-Nikić<sup>1</sup>, Sandra Sovilj-Nikić<sup>1</sup>, Prof. dr. Bogdan Sovilj<sup>1</sup>, Borislav Bajgić<sup>2</sup>, Zorana Živić<sup>2</sup>, <sup>1</sup>Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Institut za Proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 23 43, Fax: +381 21 454-495. <sup>2</sup> ORAO A.D. za proizvodnju i remont, Šabačkih Đaka bb, 76300 Bijeljina, Republika Srpska, BiH, Tel: +38755202905, Fax:+387 55 202 007

E-mail: [bsovilj@uns.ac.rs](mailto:bsovilj@uns.ac.rs)  
[diomed17@yahoo.com](mailto:diomed17@yahoo.com)  
[sandrasn@eunet.rs](mailto:sandrasn@eunet.rs)  
[laboratorija@orao.aero](mailto:laboratorija@orao.aero)

Nemedi, I., Hadžistević, M., Hodolić, J., Sekulić, M., Štrbac, B.

PRIKAZ PROGRAMA ZA SIMULACIJU Odstupanja  
OD KRUŽNOSTI

**Rezime:** Nastankom i razvojem koordinatne merne tehnike stvoreni su uslovi brze i jednostavne analize geometrijskih karakteristika mernih predmeta. Međutim, da bi se ona mogla izvršiti potrebni su podaci, koji se mogu dobiti samo merenjima. Rezultati tih merenja zavise od stvarnih odstupanja izabranih mernih predmeta i veoma je teško naći takve predmete koji će reprezentovati sve vrste mogućih odstupanja. U ovom radu je dat prikaz programa simulacije odstupanja kružnosti, koji omogućuje definisanje oblika odstupanja, a na izlazu daje vrednosti, kakvi se dobijaju merenjem na koordinatnoj mernoj mašini.

**Ključne reči:** kružnost, odstupanje, koordinatna merna mašina, merni podaci, simulacija

## 1. UVOD

Svi elementi radnih predmeta imaju određene dimenzione i geometrijske karakteristike. Za odstupanje od dimenzionih i geometrijskih karakteristika (oblik, položaj i pravac) postoje funkcionalna ograničenja koja, kada se prekorače, dovode do ugrožavanja funkcionalnosti. Tolerancije moraju potpuno osigurati propisane dimenzione i geometrijske karakteristike, tako da se ništa ne sme prepustiti subjektivnoj oceni.

Oblici stvarnih površina redovno imaju izvesna odstupanja u odnosu na geometrijske (idealne) površine. Uzroci ovih odstupanja u suštini se poklapaju sa uzrocima koji izazivaju pojavu netačnosti dimenzija radnih predmeta. Površine, čija tačnost bitno utiče na funkcionalnost radnog predmeta, se uvek izrađuju sa odgovarajućom tolerancijom, koja istovremeno ograničava i odstupanja oblika tog predmeta.

Ako se traži veća tačnost oblika od one, koju obezbeđuje tolerancijski prostor formiran tolerancijom dužinskih mera, oblik se mora posebno tolerisati. Sve ovo važi i za međusobni položaj dveju (ili više) površina. Od ovoga se izuzimaju: simetričnost i koaksijalnost, kao i tačnost obrtanja, jer su one nezavisne od stvarnih mera, već se određuju u odnosu na središnje ravni, odnosno ose [1].

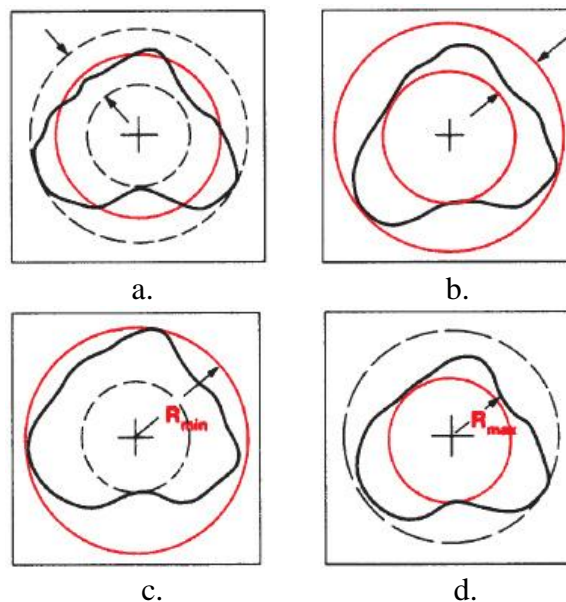
Geometrijske tolerancije se utvrđuju samo kada su neophodne iz aspekta funkcionalnih zahteva, zamenljivosti ili eventualno iz aspekta proizvodnje, što ne znači automatski da se mora koristiti poseban način izrade, merenja ili kontrole.

Ovaj rad se bavi kružnošću, kao jednom od geometrijskih karakteristika rotacionih predmeta.

U radu je dat prikaz razvijenog programa za simulaciju odstupanja poprečnog preseka predmeta od idealnog kružnog oblika. Cilj simulacije je dobijanje baze podataka neophodnih za analizu međusobnih zavisnosti raznih uticaja na tu pojavu.

## 2. DEFINISANJE KRUŽNOSTI

Kružnost se može posmatrati na četiri načina (slika 1) [2,3]. Ti načini su:

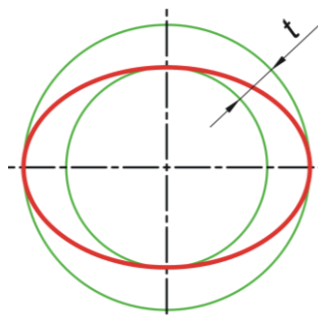


Slika 1. Mogući načini definisanja kružnosti [2,3]

- a. **Gausov regresioni krug (LSC).** Krug se postavlja tako da zbir kvadrata odstupanja stvarnog preseka od njega bude minimalan (slika 1/a).

- b. **Pojas kružnosti sa minimalnim radijalnim rastojanjem (MZC).** Dva koncentrična kruga postavljena oko stvarnog preseka tako da radijalno rastojanje između njih bude minimalno (slika 1/b).
- c. **Opisani krug najmanjeg prečnika (MCC).** Krug najmanjeg prečnika sa kojim je moguće obuhvatiti stvarni presek (slika 1/c).
- d. **Upisani krug najvećeg prečnika (MIC).** Krug najvećeg prečnika koji je moguće upisati u unutrašnjost stvarnog preseka (slika 1/d).

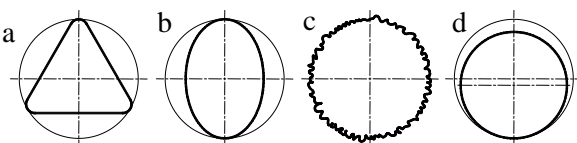
U praksi se prilikom merenja i kontrole kružnosti najčešće primenjuje MZC metoda. Po toj metodi je tolerancijsko polje kružnosti u posmatranoj ravni ograničeno sa dva koncentrična kruga (slika 2). Dozvoljeno odstupanje je definisano površinom između ta dva koncentrična kruga, čija je razlika poluprečnika  $t$  najmanja. Linija konture stvarnog preseka mernog predmeta ne sme ni jednom tačkom izlaziti van datog polja [4,5,6].



Sl. 2. Prikaz tolerancije kružnosti [4,5,6]

### 2.1 Najčešći oblici odstupanja od kružnosti

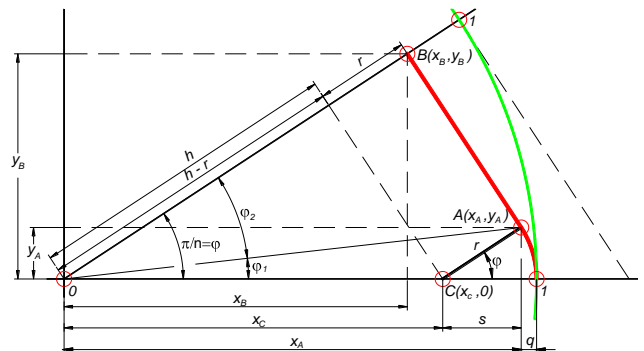
Odstupanja u poprečnom preseku rotacionih radnih predmeta se najčešće ispoljavaju kao: trouglastost, ovalnost, višeugaonost i ekscentričnost. Na ova odstupanja najviše utiče krutost materijala radnog predmeta i delova mašine alatke, kao i način stezanja za vreme obrade. Slika 3 prikazuje najčešće prisutna odstupanja od kružnosti.



Sl. 3. Najčešće prisutna odstupanja oblika predmeta u poprečnom preseku (a – trouglastost, b – ovalnost, c – mnogougaonost, d – ekscentričnost) [4,5,7,8]

### 3. PRIKAZ PROGRAMA

Program, pod nazivom *poll*, razvija zaobljenu poligonalnu liniju sa  $en$  temena unutar jediničnog kruga sa radijusom zaobljenja pri temenima  $er$ . Zadatak ovog programa, međutim, nije samo razvijanje osnovne krive, već definisanje i numerisanje diskretnih tačaka po toj krivoj. Te tačke su u odnosu na centar osnovne krive raspoređene na jednakim ugaonim rastojanjima. Bitno je međutim primetiti, da se dati mnogougao deli na krivolinijske i pravolinijske delove. Podeliti krivolinijski deo tako da centralni uglovi za svaku tačku po tom delu konture budu isti je jednostavno, ali se na osnovu toga mora podeliti i pravolinijski deo, koji stoji pod određenim nagibnim uglom prema centru, a da pri tome centralni uglovi podele ostanu isti, je već složeniji problem. Radi objašnjenja funkcionisanja potprograma *poll*, daje se prikaz jedne polovine stranice  $n$ -tougla sa zaobljenjem pri temenu. Prikaz je dat na slici 4.

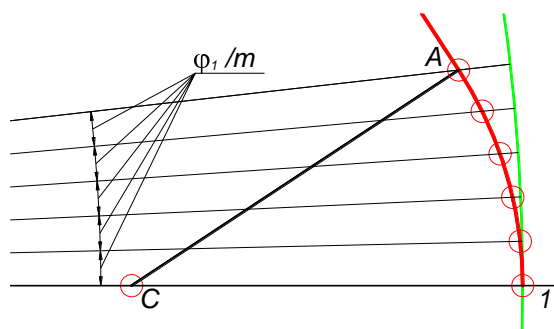


Sl. 4. Prikaz jedne polovine stranice  $n$ -tougla sa zaobljenjem pri temenu

Program *poll* se sastoji od šest segmenata. Prvi segment vrši učitavanje ulaznih parametara, potrebnih za konstruisanje mnogougla. Ti parametri su broj stranica mnogougla ( $en$ ), i radijus zaobljenja pri temenima mnogougla odstupanja ( $er$ ). Na osnovu ulaznih parametara se prvo razvija prikazana polovina stranice  $n$ -tougla, i određuju se koordinate obeleženih tačaka (slika 4). Te tačke su: centar radijusa zaobljenja ( $C$ ), krajnja tačka krivolinijskog segmenta ( $A$ ), i krajnja tačka pravolinijskog segmenta ( $B$ ).

U drugom koraku programa se krivolinijski deo, od tačke  $1(1,0)$  do tačke  $A(x_A, y_A)$  deli na potreban broj, po centralnom uglu jednakih delova. Na osnovu te podele se određuje korak podele (*stepp*), koji je neophodan kod podele pravolinijskog dela osnovne krive. Krivolinijski deo se deli na proizvoljan broj jednakih delova,

što se u programu definiše po želji. Na slici 5 se daje prikaz načina opisane podele krivolinijskog dela polovine stranice mnogougla.



Sl. 5. Geometrijski prikaz podele krivolinijskog dela polovine stranice mnogougla

Vrednost  $\varphi_1$  je centralni ugao, koji pripada polovini krivolinijskog dela polovine stranice mnogougla. Ovaj ugao se deli na proizvoljan broj delova. Na slici je taj broj dat kao  $m$ . Prikazani segment na svom izlazu daje koordinate svih presečnih tačaka prikazanih poluprečnika jediničnog kruga sa posmatranom krivolinijskom deonicom polovine stranice mnogougla. Time se prelazi na podelu pravolinijskog dela, što je zadatak sledećeg segmenta potprograma.

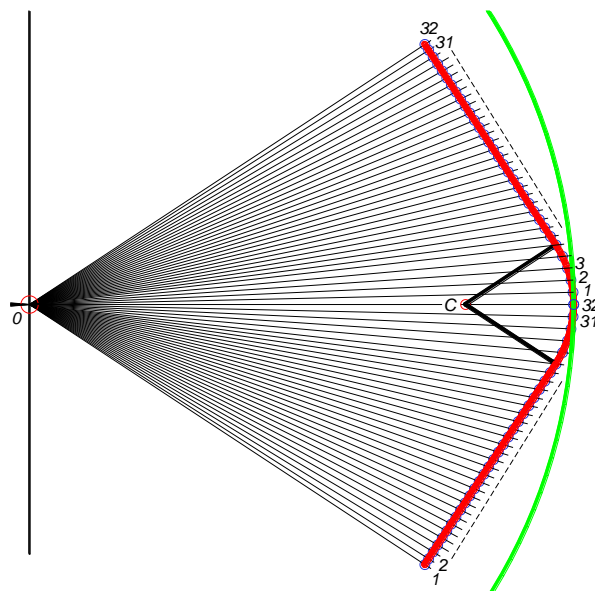
Podela pravolinijskog dela polovine stranice mnogougla mora dati takve tačke, koji su međusobno ugaono pomeneni kao i tačke na krivolinijskom delu. Time je obezbeđena ravnomernost podele simuliranih mernih tačaka po konturi. Pošto je broj tačaka po krivolinijskom delu fiksiran, gustina raspodele zavisi od veličine radijusa zaobljenja pri temenima mnogougla. Za manji radijus se dobija veći broj simuliranih mernih tačaka i obrnuto.

Programu *poll* pripada još jedan segment, koji pored sakupljanja koordinata svih simuliranih mernih tačaka u jednu bazu, ima još jedan zadatak. Pored sakupljanja koordinata tačaka u dva zasebna skupa, X i Y, stvara se još jedan skup, skup Z, koji sadrži koordinate tačaka, pretvorene u oblik kompleksnog broja.

Sledeći segment programa vrši prenumeraciju simuliranih mernih tačaka. Prenumeracijom se menja redosled simuliranih mernih tačaka na način, da prva tačka postaje poslednja, a poslednja dođe na mesto prve.

Koordinate simuliranih mernih tačaka po polovini stranice mnogougla, zajedno sa razvijenim delom osnovne krive su na taj način

pripremljene za osno-simetrično preslikavanje. Preslikavanje vrši sledeći segment programa, a rezultat preslikavanja je dat na slici 6. Na taj način je razvijena jedna stranica mnogougla. Preslikavanje se vrši konjugacijom skupa kompleksnih brojeva.



Sl. 6. Grafički prikaz rezultata preslikavanja

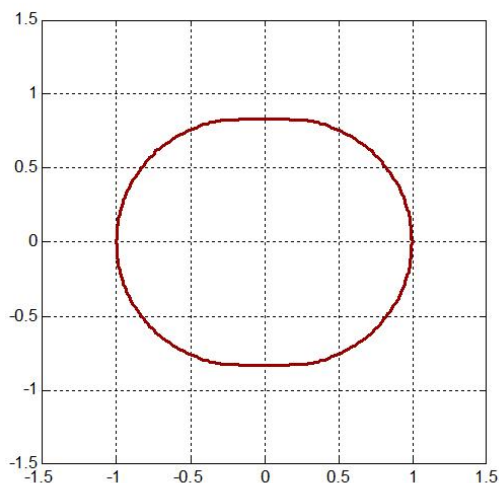
Nakon razvijanja jedne stranice mnogougla, ona se zarotira  $n-1$  put i tako dobijene stranice se povežu u celinu. Ovaj zahvat vrši poslednji segment programa. Na taj način je razvijen mnogougao, tj. osnovna kriva konture poprečnog preseka, sa numerisanim simuliranim diskretnim mernim tačkama po njoj. Na izlazu iz segmenta se koordinate simuliranih mernih tačaka iz oblika kompleksnog broja vraćaju u oblik uređenih dvojki.

Ti podaci se mogu primeniti kao ulazni podaci u nekom razvijenom programu, koji se bavi analizom odstupanja kružnosti. Program *poll* se u tom slučaju može primeniti kao potprogram. Tako se analiza odstupanja kružnosti može izvršiti bez prethodnih merenja stvarnih predmeta, a vrste odstupanja se mogu definisati unapred, po želji.

#### 4. PRIKAZ REZULTATA SIMULACIJE

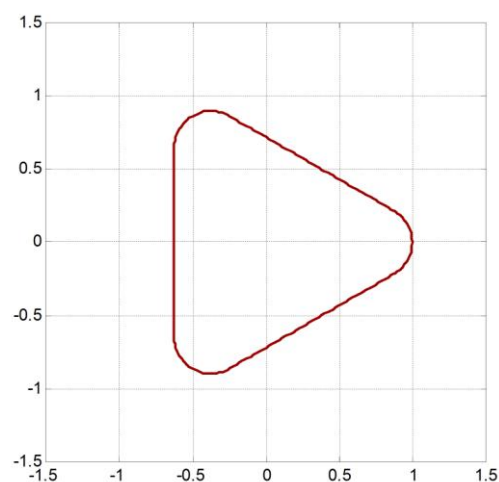
Zbog ograničenog obima rada daje se prikaz rezultata simulacije samo dve vrste odstupanja od kružnosti. Slika 7 prikazuje ovalnost. Primećuje se da oblik osnovne krive nije elipsa po definiciji. Razlog tome je da se ova vrsta odstupanja, po logici simulacije, dobija kao razvijeni „dvougao“, sa zadatim radijusom zaobljenja „pri temenima dvougla“. Rezultati primene simulacije međutim pokazuju da je ovakva aproksimacija elipse moguća i primenljiva za analizu ovalnog

odstupanja od kružnosti.



Sl. 7. Grafički prikaz rezultata simulacije ovalnosti

Konačno, na slici 8 je dat prikaz rezultata simulacije trougaonog odstupanja.



Sl. 8. Grafički prikaz rezultata simulacije trouglastosti

Kao što je već pomenuto, radijus zaobljenja pri temenima je proizvoljan. Na slici 8 je prikazan trouglasti oblik sa radijusom zaobljenja  $er=0,25$ . Tako se dobija oblik trougaonog odstupanja takav, kakav se najčešće javlja u praksi.

## 5. ZAKLJUČCI

Razvijenim programom je moguća simulacija svih, u praksi najčešće prisutnih odstupanja od kružnosti. Program obezbeđuje dobijanje koordinata fiktivnih mernih tačaka zamišljene konture poprečnog preseka za izabranu vrstu odstupanja, i tako dugotrajna merenja postaju suvišna. Analiza uticaja spoljnih faktora, kao što su npr. kvalitet obrađene površine, talasastost, itd.,

na širinu polja kružnosti postaje jednostavnija, brža i jeftinija. Razvijeni program se može ugraditi ili priključiti bilo kom modelu za analizu odstupanja od kružnosti.

## 6. REFERENCE

- [1] Dong, C., Zhang, C., Wang, B.: *Prediction and Compensation of Dynamic Errors for Coordinate Measuring Machines*, Journal of Manufacturing Science and Engineering, p.p. 509-514, 2002.
- [2] Dovica, M., a kolektiv: *Metrológia v strojárstve*, Edícia vedačkej a odbornej literatúry – Strojnícka Fakulta TU v Košiciach, Emilena, Košice, 2006.
- [3] ...<http://www.universalmeasurement.com/Ma hrFederalForm.pdf>, 2006.
- [4] Hadžistević, M., Nemedi, I., Sekulić, M., Bosak, M., Hodolić, J.: *Multi-Aspect Value of Measuring Systems and Methods Based on the Results of Roundness Measurements*, Journal of Mechanics Engineering and Automation, David Publishing Company, Volume 2, Number 8, p.p. 514-530, August 2012.
- [5] Nemedi, I.: *Vrednovanje sistema za merenje kružnosti*, Magistarski rad, Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, 2009.
- [6] Standard SRPS EN ISO 1101:2013. *Geometrijske specifikacije proizvoda — Geometrijska tolerancija — Tolerancije oblika, orijentacije, položaja i obrtanja*, Službeni glasnik Republike Srbije, 11/13, 2013.
- [7] Stankov, J.: *Merenje u proizvodnji*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1984.
- [8] Szilágyi, L.: *Gépipari hosszmérések*, Ipari szakkönyvtár, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982.

**Autori:** Mr Imre Nemedi<sup>1</sup>, Prof.Dr Miodrag Hadžistević<sup>2</sup>, Prof.Dr Janko Hodolić<sup>2</sup>, Prof.Dr Milenko Sekulić<sup>2</sup>, M.Sc. Branko Štrbac<sup>2</sup>,  
<sup>1</sup>Visoka Tehnička Škola Strukovnih Studija Subotica, Katedra za razvoj proizvoda, Marka Oreškovića 16, 24000 Subotica, Serbia, Tel: +381 24 655-247, Fax: +381 24 655-255. <sup>2</sup> Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Institut za Proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485-2306, Fax: +381 21 454-495.

E-mail: [nimre@vts.su.ac.rs](mailto:nimre@vts.su.ac.rs)  
[miodrags@uns.ac.rs](mailto:miodrags@uns.ac.rs)  
[hodolic@uns.ac.rs](mailto:hodolic@uns.ac.rs)  
[sekula58@gmail.com](mailto:sekula58@gmail.com)  
[strbac.br@gmail.com](mailto:strbac.br@gmail.com)

Vrba, I.,

## UTICAJ STRATEGIJE MERENJA I METODE OCENJIVANJA NA GREŠKU MERENJE CILINDRA NA KOORDINATNOJ MERNOJ MAŠINI

**Rezime:** Najnovije generacije KMM su kompleksni mehatronički sistemi, koji imaju sopstvene parametre tačnosti. KMM se koriste za rešavanje širokog spectra metroloških zadataka, koji zahtevaju visoku tačnost. KMM se zbog svojih dobrih metroloških osobina, (visoka tačnost, fleksibilnost i produktivnost) često koriste u proizvodnji i metrološkim laboratorijama. Proces merenja na KMM je često opterećen raznim uticajim, (okolina, geometrijske greške mašine, merni predmet, softver mašine i sam operater). Zbog toga je neophodno ispitati tačnost mašine nakon instalacije, kao i periodično tokom korišćenja. U ovom radu je prikazan uticaj strategije merenja i metode ocenjivanja na rezultate merenja cilindra.

**Ključne reči:** CMM, greška merenja, cilindričnost

### 1. UVOD

Najnovije generacije koordinatnih mernih mašina (KMM) su kompleksni mehatronički sistemi, koji imaju sopstvene parameter tačnosti. KMM se koriste za rešavanje širokog spectra metroloških zadataka, koji zahtevaju visoku tačnost, od jednostavnih merenja dužina, preko kontrole geometrijskih karakteristika pa sve do inspekcije složenih oblika sa krivim linijama i površinama. Proces merenja na KMM je često opterećen raznim uticajima, kao što su okolina, geometrijske greške mašine, merni predmet, softver mašine kao i sam operater. Zbog toga je neophodno ispitati tačnost mašine nakon instalacije, kao i periodično tokom korišćenja.

Kod KMM je nemoguće odrediti univerzalni parametar tačnosti za sve tipove merenja i to iz sledećih razloga:

- KMM može meriti sve geometrijske karakteristike radnih predmeta. Ostala oprema za merenje može meriti samo jednu vrstu zadatka;
- Rezultate merenja su izračunati na osnovu koordinata tačka dobijenih sa površine radnog predmeta;

- Predmet se može meriti pomoću različitih strategija merenja i na različitim pozicijama na stolu;
- Metoda za definisanje koordinatnog sistema utiče na uzorkovanje podataka.

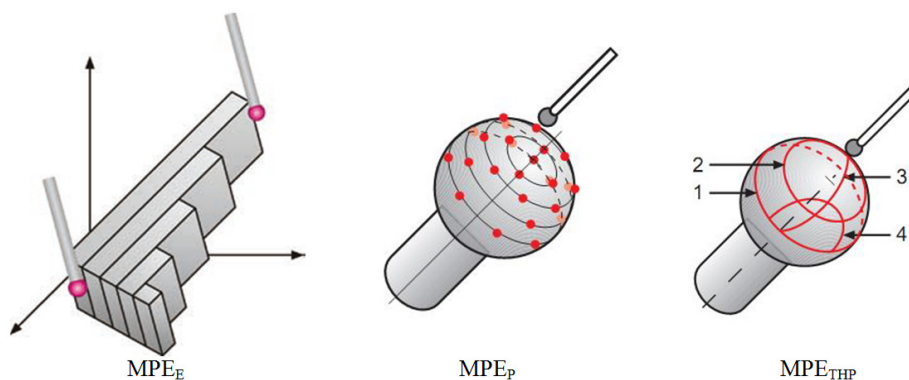
### 2. OCENA GREŠKE MERENJA

Standardi koji daju preporuke za ocenu greške merenja KMM odnose se na maksimalno dozvoljenu grešku za tačno definisan tip mernog zahvata (ISO 10360). Ova serija standarda definiše proceduru za proveru karakteristika KMM, odnosno, da li karakteristike dogovaraju specifikacijama proizvođača. Ove vrednosti se označavaju sa MPE i dodatno se indeksiraju sa E, P ili THP, u zavisnosti od tipa mernog zadatka (slika 1).

Maksimalno dozvoljena greška za merenje dužine se označava sa  $MPE_E$ . Njen princip je prikazan na slici 2

$MPE_E$  je funkcija merene dužine  $L$ , a njen opšti izraz je sledeći [11]:

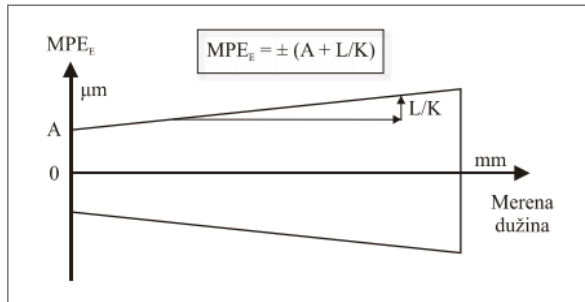
$$MPE_E = \pm(A + L/K) \quad (1)$$



Sl. 1. Testovi dozvoljenih grešaka prema ISO 10360

gde:

- $A$  i  $K$  su konstante koje definiše proizvođač,
- $L$  je merena dužina u mm.



Sl. 2. Maksimalno dozvoljena greška za merenje dužine [11]

Maksimalno dozvoljena greška uzimanja tačaka se obeležava sa  $MPE_P$ , dok se maksimalno dozvoljena greška skeniranja obeležava sa  $MPE_{THP}$ . Princip njihovog određivanja predstavljen je na slici 1.

Greške od kojih zavisi tačnost merenja na KMM se mogu podeliti u dve kategorije:

- greške čiji je izvor sama KMM i
- greške čiji su uzroci uslovi okoline i merni predmet.

Greške čiji je izvor KMM nastaju zbog brojnih grešaka prilikom izrade i montaže delova mašine, ali i zbog njihovog habanja tokom njene eksploatacije.

Greške koje nastaju zbog uslova okoline i mernog predmeta, uglavnom nastaju iz sledećih razloga:

- promena uslova mikroklimе u prostoriji gde je instalirana KMM (temperturne promene, vlažnost vazduha, itd.)
- vibracija pri merenju,
- nečistoća i
- karakteristika površine merenog predmeta (hrapavost, tvrdoća, modul elastičnosti, itd.)

U ovu grupu izvora grešaka, može se svrstati i uticaj operatera, što se odnosi na izbor strategije merenja, metode analize izmerenih tačaka, stezanja merenog predmeta, itd.

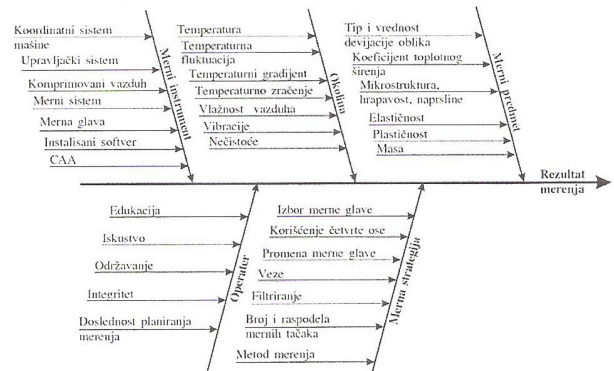
Kada se analiziraju izvori grešaka merenja KMM, može se zaključiti da su oni brojni i različiti. Više koncizan način prikazivanja tih izvora je moguć pomoću "riblje kosti" koji je prikazan na slici 3 [1].

Poznavanje uticajnih faktora, omogućuje kompenzaciju greške merenja, odnosno povećava tačnost rezultata merenja.

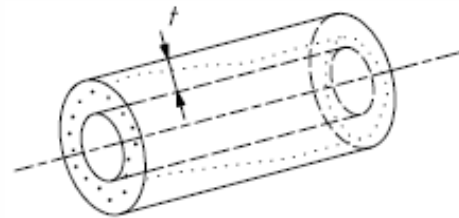
### 3. OCENA CILINDRIČNOSTI

Prema definiciji ISO1101 [10], tolerancija

cilindričnosti je *kompletna površina cilindra je ograničena sa dva koaksijalna cilindra sa razlikom poluprečnika  $t$ . Prečnici koaksijalnih cilindra nisu definisani (sl.4).*



Sl. 3. Uticajni faktori na rezultat merenja u toku rada na KMM [1]

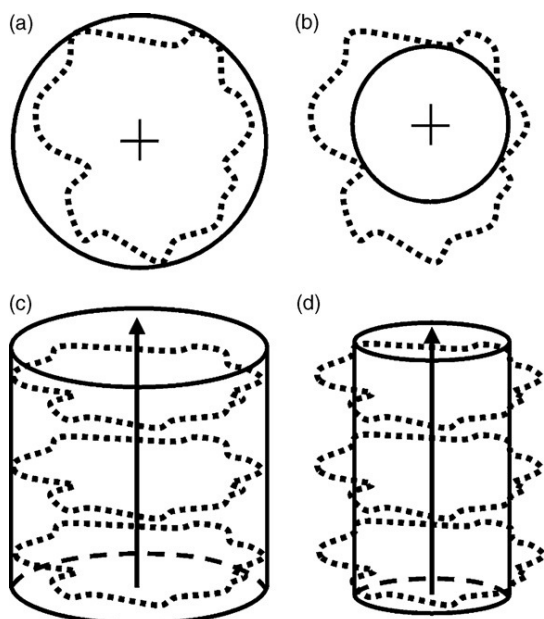


Sl. 4. Tolerancija cilindričnosti [10]

KMM se široko koriste za kontrolu cilindričnosti. Na bazi izmerenih koordinata tačaka, generiše se idealan cilindar, koji se dalje poredi sa nominalnom geometrijom. Za ocenu greške oblika često se koristi metod najmanjih kvadrata (LSQ), koji se zasniva na dobro poznatom matematičkom principu; ali su, u opštem slučaju, greške utvrđene ovom metodom veće, što može dovesti do odbacivanja „dobrih“ radnih predmeta [3]. Da bi se prevazišao ovaj problem, razvijane su brojne numeričke metode, a danas se, pored metode LSQ, koriste i minimalni opisani (MC) cilindar i maksimalni upisani (MI) cilindar [4,5]. MC cilindar je najmanji cilindar koji obuhvata sve izmerene tačke i prolazi kroz najmanje pet ekstremnim spoljnim tačaka. Kako MC cilindar ne može biti manji od najvećeg MC kruga dobijenog u svakom preseku, to je potrebno da se konstruišu MC krugovi u svim presecima. Centar najvećeg kruga među određuje osu MC cilindra. Najveći MC krug se naziva i kontrolni krug, a odgovarajuća temena se takode nazivaju kontrolna temena. MI cilindar određuje pet ekstremnih unutrašnjih tačaka. Postupak za uspostavljanje MI cilindra je sličan kao kod MC cilindra, s tom razlikom što MI krugovima definišu MI cilindar. Najmanji MI krug svih preseka je kontrolni krug, a njegov centar definiše



osu MI cilindra. Da bi pronašli ostale tačke na osi, kontrolni krug se postavlja u odnosu na kontrolna temena za MI krugove u drugim preseccima [4, 6]. Postupak dobijanja MC i MI cilindra je ilustrovan na slici 5.



Sl. 5. Minimalni opisani (a) krug i (c) cilindar i maksimalni upisani (b) krug i (d) cilindar [6]

#### 4. EKSPERIMENT

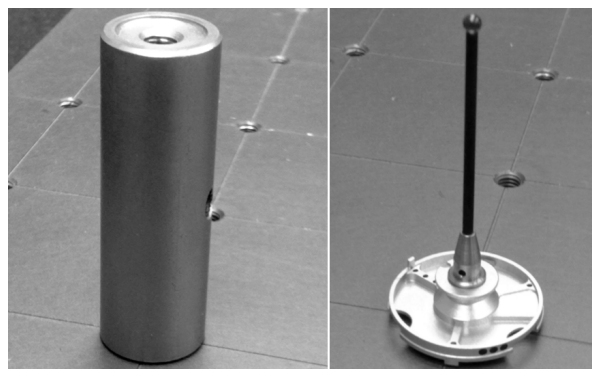
Da bi se istražio uticaj pojedinih parametara procesa merenja na grešku merenja cilindričnosti, meren je kalibrisan cilindar, čiji prečnik prema kalibracionom sertifikatu iznosi  $d = 19,999$  mm a odstupanje od cilindričnosti iznosi  $2 \mu\text{m}$ . Merenje je izvršeno na KMM Contura G2 RDS, proizvođača Carl Zeiss, čija  $MPE_E = \pm (1,9 + L/K)$ , pipkom čiji je prečnik kuglice  $d_k = 3$  mm u skenirajućem režimu brzinom  $v = 5$  mm/s, sa približno istim brojem tačaka (oko 150). Mereni cilindar i merni pipak su prikazani na slici 6. Razlika između izmerene vrednosti i vrednosti iz sertifikata je smatrana za grešku merenja. Primenjen je faktorijski plan eksperimenta [7,8], kojeg čine 2 faktora na 3 nivoa svaki ponaosob, što znači da je struktura faktorijskog plana eksperimenta  $3^2$ .

Opiti su vršeni slučajnim redosledom i svaki je ponovljan 3 puta, što znači da je ukupno izvršeno 27 merenja.

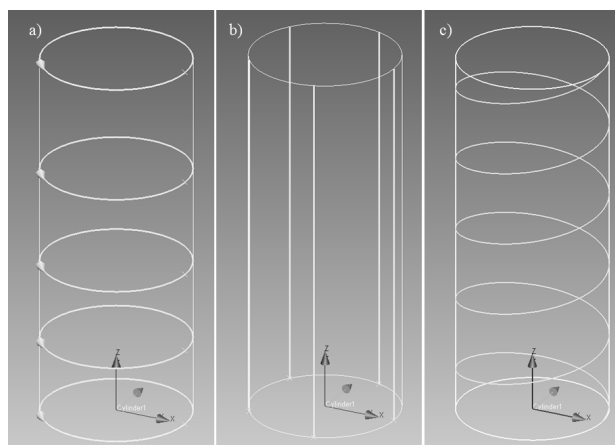
Parametri koji su varirani su sledeći:

1. *Strategija merenja*. Cilindar je meren sa tri različite strategije (sl. 7):
  - a) po krugovima,
  - b) po linijama paralelnim sa osom,
  - c) po trajektoriji helikoidi
2. *Metoda ocenjivanja cilindričnosti*. Izmereni rezultati su ocenjivani pomoću tri metode

opisane u poglavlju 3.



Sl. 6. Kalibrisani cilindar i merni pipak



Sl. 7. Strategije merenja cilindra: a) krugovi; b) linije; c) putanja po helikoidi

Plan eksperimenta, kao i rezultati su prikazani u tabeli 1.

#### 5. ANALIZA REZULTATA

Za analizu rezultata korišćena je ANOVA [8, 9] metoda. Rezultati analize su predstavljeni u tabeli 2.

Na osnovu rezultata ANOVA analize, odnosno  $p$  vrednosti, iz tabele 2, može se zaključiti da na nivou signifikantnosti 99%, strategija merenja i metoda ocenjivanja imaju uticaj na grešku merenja cilindričnosti. Iz tabele 2 se takođe može videti da je uticaj strategije merenja mnogo veći.

#### 6. ZAKLJUČAK

Analiziran je uticaj dva parametra procesa merenja na grešku merenja cilindričnosti, i pokazano je da oba parametra imaju uticaj na, s tim što je strategija merenja značajno uticajnija od metode ocenjivanja.

Iz tabele 1 se vidi da su najveće vrednosti greške pri strategiji trajektorije pipka po helikoidi i pri ocenjivanju metodom LSQ. Do ovoga dolazi najverovatnije zbog toga što se pri takvoj

trajektoriji kombinuju uticaji grešaka pozicioniranja i vođenja pipka u pravcu sve tri ose. Problem ocenjivanja oblika metodom LSQ je dataljno opisan u [3]. U ovom istraživanju nije vršeno filtriranje izmerenih tačaka. Uticaj filtera na grešku merenja može biti zanimljiv za neka buduća istraživanja.

r. br.	Strategija merenja	Metoda ocenjivanja	Cilindričnost [μm]
1	krugovi	LSQ	3,8
			3,7
			3,9
2	krugovi	MCC	3,7
			3,6
			3,9
3	krugovi	MIC	3,8
			3,6
			3,8
4	linije	LSQ	4,9
			5,2
			4,9
5	linije	MCC	4,3
			4,6
			4,4
6	linije	MIC	5,1
			4,7
			4,9
7	helikoida	LSQ	7,2
			7,5
			6,9
8	helikoida	MCC	6,6
			6,2
			6,7
9	helikoida	MIC	6,6
			6,5
			7

Tabela 1. Matrica plana eksperimenta i rezultati

	DF	SS	MS	F	p
Strategija merenja	2	43,209	21,604	525,5	0,000
Metoda ocene	2	0,889	0,444	10,81	0,001
Interak.	4	0,449	0,112	2,73	0,062
Rezidua	18	0,74	0,041		
Ukupno	26	45,287			

Tabela 2. Rezultati ANOVA analize

## 7. ZAHVALNICA

Autori žele da se zahvale Slovačkom tehničkom univerzitetu u Bratislavi i VEGA agenciji, Grant No 1/0120/12 i APPV-Grant No 0096-10 i KEGA agenciji, Grant No.005STU-

4/2012 na njihovoj podršci.

## 8. REFERENCE

- [1] Stević, M.: *Povećanje tačnosti merenja numerički upravljanih mernih mašina*, Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka, 2006., 145 str., ISBN 86-7892-028-9, monografija.
- [2] Neumann, Hm., J.: *Industrial Coordinate Metrology (Ten years of innovations)*, Himmer, Augsburg, 2000.
- [3] Shunmugam M.S.: *On assessment of geometric errors*. Int J Prod Res 24(2):413–425, 1986.
- [4] Venkaiah N., Shunmugam M.S.: *Evaluation of form data using computational geometric techniques, part II: cylindricity error*. Int J Mach Tools Manuf 47(7–8):1237–1245, 2007.
- [5] Shunmugam M. S., Venkaiah N.: *Establishing circle and circular-cylinder references using computational geometric techniques*. Int J Adv Manuf Technol, 51:261–275, 2010.
- [6] Goch G., Lübke K.: *Tschebyscheff approximation for the calculation of maximum inscribed/ minimum circumscribed geometry elements and form deviations*. CIRP Annals - Manufacturing Technology 57: 517–520, 2008.
- [7] Montgomery DC. *Design and analysis of experiments*. New York: Wiley & Sons; ISBN 978-0471316497, 2006.
- [8] Hodolič, J., Hadžistević, M., Tkač, M, Hajduova, Z.: *Alati za statističko upravljanje kvalitetom*. FTN izdavaštvo ISBN 978-86-7892-362-3, Novi Sad, 2011.
- [9] Montgomery D. C., Runger G. C.: *Applied Statistics and Probability for Engineers, Third Edition*. John Wiley & Sons, Inc. ISBN 0-471-20454-4, USA, 2003.
- [10] ISO1101:2004, *Geometrical Product Specifications (GPS) – Geometrical tolerancing – Tolerances of form, orientation, location and run-out*, International Standard Organization. Geneve, 2004.
- [11] ISO 10360-2:2009, *Geometrical product specifications (GPS) – Acceptance and reverification tests for coordinate measuring linear dimensions*, International Standard Organization. Geneve, 2009.

**Autor:** Ing. Igor Vrba, Slovački tehnički univerzitet u Bratislavi, Mašinski fakultet, Institut za automatizaciju, merenje i primenjenu informatiku, Namestie Slobody 17, 81231 Bratislava 1, Slovačka, Phone: +421252497193, Fax: +42125245315  
E-mail: [igor.vrba@stuba.sk](mailto:igor.vrba@stuba.sk)

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE  
ETIKUM 2013

# PROCEEDINGS

**Session 2:**

## **METROLOGY AND QUALITY CONTROL IN THE BIOMEDICAL ENGINEERING**

Novi Sad, 12-13 June 2013



Trifković, B., Budak, I., Vukelić, Đ., Puškar, T., Todorović A., Jevremović D., Hodolić J.

POUZDANOST STOMATOLOŠKIH CAD/CAM SISTEMA ZA INTRAORALNU  
DIGITALIZACIJU

**Rezime:** Unapređenje računarskih tehnologija i metoda optičke 3D digitalizacije, kao i sve veći zahtevi struke implicirali su nove trendove u razvoju stomatoloških CAD/CAM sistema. Težnja da se pojednostavi i skрати postupak izrade zubnih nadoknada poboljšanih estetskih i funkcionalnih karakteristika, omogućiti brza i jednostavna razmena informacija između ordinacija i zubotehničkih laboratorija, kao i da se prevaziđe nesklad između okolnosti koje otežavaju digitalizaciju u usnoj duplji i tehničkih karakteristika uređaja za digitalizaciju, predstavljaju samo neke od prepreka koje proizvođači stomatoloških CAD/CAM sistema nastoje da prevaziđu. Cilj rada je da analizom procentualne distribucije izmerenih vrednosti odstupanja prikaže stepen pouzdanosti CEREC AC i Trios<sup>TM</sup> uređaja.

**Ključne reči:** CAD/CAM, 3D digitalizacija, CAD inspekcija, Cerec AC, Trios.

## 1. UVOD

Nastojanje da se eliminišu konvencionalno otiskivanje i komplikovani postupci laboratorijske izrade zubnih nadoknada predstavljalo je glavni motiv istraživačima da osnovni koncept funkcionisanja industrijskih CAD/CAM sistema primene u stomatološkoj praksi. Početak razvoja komercijalno dostupnih stomatoloških CAD/CAM sistema za intraoralnu digitalizaciju vezuje se za 1985. godinu, kada su dr Mörmann i dr Brandestini konstruisali i praktično upotreбили CEREC 1 [1]. Od tog perioda do danas, razvoj stomatoloških CAD/CAM tehnologija doživeo je značajan napredak. Međutim, brojni zahtevi struke, sa jedne i niz tehnoloških ograničenja u postupku digitalizacije u usnoj duplji sa druge strane, nisu doveli do očekivane ekspanzije u razvoju uređaja za intraoralnu digitalizaciju. U prilog tome govori i činjenica da se na tržištu danas nalazi sedam komercijalno dostupnih uređaja za intraoralnu digitalizaciju i nekoliko uređaja koji nisu u komercijalnoj upotrebi [2]. Za razliku od uređaja za intraoralnu digitalizaciju, uređaji za ekstraoralnu digitalizaciju doživeli su masovnu ekspanziju i njihov broj na tržištu je znatan.

Pregledom postojećih uređaja za intraoralnu digitalizaciju i analizom dostupnih literaturnih podataka možemo konstatovati da je apsolutni lider u praktičnoj primeni CEREC (Sirona, Bensheim, Germany) sistem. Pretraživač PubMed na ključnu reč CEREC prikazuje 495 referenci. Sistem je pretrpeo razvojni put, počevši od CEREC1, CEREC 2 i CEREC 3 koji su digitalizovane objekte prikazivali dvodimenzionalno, preko trodimenzionalnog

CEREC 3D koncepta [3].

Danas su u komercijalnoj upotrebi CEREC AC i CEREC OMNICAM uređaji za intraoralnu digitalizaciju [4,5]. Ovo je prvi put da proizvođač na tržište plasira dva uređaja sa potpuno različitim tehničkim preformansama. (Tabela 1)

	CEREC OMNICAM	CEREC AC (BLUECAM)
Vrsta svetlosti	Vidljiva svetlost	Plava svetlost talasne dužine 420nm
Tehnologija digitalizacije	Video zapis	Pojedinačni snimci
Oblast primene	Jedan zub – ceo zubni luk	Jedan zub – jedan kvadrant
Udaljenost kamere od zuba	Od 0 do 15mm	Može da bude oslonjena na zub
Izlazni podaci	STL	STL
3D podaci	U boji	Crno - beli
Aplikovanje praha	NE	DA

Tabela 1. Tehničke karakteristike CEREC OMNICAM I CEREC AC uređaja

E4D (D4D Technologies, LLC, SAD) je uređaj koji je trenutno prisutan na teritoriji SAD. U postupku 3D digitalizacije primanjuje laserske zrake, bez potreba za aplikovanjem matirajućeg praha. Namenjen je izradi pojedinačnih zubnih nadoknada. E4D i CEREC su sistemi koji poseduju uređaj za mašinsku izradu nadoknada u ordinacijskim uslovima. Svi ostali komercijalno dostupni sistemi za intraoralnu digitalizaciju

digitalizovane podatke elektronskim putem prosleđuju u laboratorije gde se obavlja izrada zubih nadoknada.

Lava COS (3M ESPE, USA) i Trios™ (3shape AS, Denmark) su uređaji koji u postupku intraoralne digitalizacije koriste video zapis. Lava COS primenjuje posebnu tzv. „3D – in – motion technology„ digitalizacije, za razliku od Trios™ uređaja koji u postupku generisanja video zapisa emituje svetlost iz opsega vidljivog dela spektra elektromagnetnog zračenja i primenjuje principe konfokalne mikroskopije. Sistem je u mogućnosti da elektronske zapise digitalizovanih podataka prikaže u STL format [6].

DirectScan (HINT - ELS GMBH, Germany) i iTero (CADENT, LTD, SAD) su sistemi kod kojih se u postupku „point and click„ tehnologije digitalizacije primenjuju svetlosni, odnosno laserski zraci.

Potreba za pouzdanom razmenom informacija „primorala„ je proizvođače ovih uređaja da digitalizovane podatke prikažu u nekom od dostupnih formata elektronskih zapisa, kao što su STL, ASCII, DICOM i sl.

Imajući u vidu činjenicu da su tehničke karakteristike uređaja za intraoralnu digitalizaciju različite, pretpostavka je da postoji razlika u kvantitativnim parametrima digitalizovanih podataka na unapred definisanim nivoima odstupanja na osnovu čega je definisan cilj istraživanja: analizom procentualne distribucije izmerenih vrednosti odstupanja prikazati stepen pouzdanosti CEREC AC i Trios™ uređaja.

## 2. MATERIJALI I METODE

Osnovu *in vitro* eksperimenta čini CAD inspekcija. CAD inspekcija predstavlja metodu za kontrolu geometrijskih i dimenzionalnih odstupanja zasnovanu na primeni parametara CAD modela čijom upotrebom se vrši provera odstupanja geometrije CAD eksperimentalnih uzorka u odnosu na geometriju CAD master modela [7].

Za potrebe eksperimenta odabran je model gornje vilice – osnovni model (*basic study model*, KaVo, Germany) u koga su postavljeni akrilatni zubi (*DSP – model teeth*, No.11, 14 i 16, KaVo, Germany). Nakon preparacije zuba obavljeno je otiskivanje osnovnog modela otisnim masama iz grupe adicijonih silikona. Radni model je izrađen od specijalne vrste gipsa (*Blue Die Stone*, Tech Ceram) čije optičke osobine obezbeđuju pouzdanu digitalizaciju, bez potrebe za aplkovanjem matirajućeg praha. (Slika 1)



Slika 1. Radni model od gipsa

Izvođenje eksperimenta zahtevalo je kreiranje CAD master i CAD eksperimentalnih modela. CAD master model predstavlja rezultat digitalizacije osnovnog modela od gipsa pomoću optičkog Atos III Triple Scan uređaja. CAD master model je referentni materijal ili merni etalon sa kojim su poređeni eksperimentalni CAD modeli. (Slika 2)



Slika 2. CAD master model

Eksperimentalni CAD modeli su nastali u postupku digitalizacije radnog modela od gipsa pomoću:

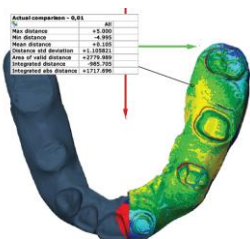
1. Cerec® AC (Sirona, Germany) i
2. Trios™ (3shape AS, Denmark).

Na ovaj način formirane su dve eksperimentalne grupe.

Eksperimentalna grupa 1. – 10 CAD modela nastalih digitalizacijom pomoću Cerec® AC (Sirona, Germany) i

Eksperimentalna grupa 2. – 10 CAD modela nastalih digitalizacijom pomoću Trios™ (3shape AS, Denmark).

Virtuelni - master i eksperimentalni - CAD modeli su generisani u STL formatu. CAD inspekcija, kvantitativna analiza i deo statističke analize rezultata sprovedeni su primenom licenciranog softverskog programskog paketa GOM Inspect V7 SR2. U okviru eksperimenta analizirana su odstupanja za nivo tolerancija 0,01, 0,025 i 0,05 mm. Definisanost vrednosti odstupanja prikazane su u tabelama i na mapi regiona u boji. (Slika 3)



Slika 3. Izgled mape regiona u boji

### 3. REZULTATI

Programski sistem GOM Inspect V7 SR2 u postupku analize odstupanja dobijene vrednosti grupiše u sledeće kategorije:

*Positive fail* – odstupanja koja su za 100% veća od iznosa determinisane tolerancije. *Positive warm* – odstupanja koja se nalaze u opsegu od 75% do 100% iznosa determinisane tolerancije. *Positive pass* – odstupanja koja se nalaze u opsegu od 0% do 75% iznosa determinisane tolerancije. *Negative pass* – odstupanja koja se nalaze u opsegu od -75% do 0% iznosa determinisane tolerancije. *Negative warm* – odstupanja koja se nalaze u opsegu od -100% do -75% iznosa determinisane tolerancije. *Negative fail* – odstupanja koja su manja -100% iznosa determinisane tolerancije.

Analizirana su odstupanja za definisane nivoe tolerancija: 0,01, 0,025 i 0,05 mm. (Tabela 2, 3,4) Prikazane vrednosti pokazuju različitu procentualnu distribuciju odstupanja.

tolerancija 0,01 mm	CerecAC	TRIOS
positive fail	22,20%	14,92%
positive warm	3,10%	5,64%
positive pass	10,08%	30,06%
negative pass	9,17%	29,09%
negative warm	2,46%	5,83%
negative fail	53,01%	14,46%
	100,00%	100,00%

Tabela 2. Distribucija odstupanja na tolerancijskom nivou 0,01 mm

tolerancija 0,025 mm	CerecAC	TRIOS
positive fail	0,63%	0,20%
positive warm	0,39%	0,10%
positive pass	10,29%	19,44%
negative pass	66,94%	73,92%
negative warm	12,94%	4,19%
negative fail	8,82%	2,16%
	100,00%	100,00%

Tabela 3. Distribucija odstupanja na tolerancijskom nivou 0,025 mm

tolerancija 0,05 mm	CerecAC	TRIOS
positive fail	0,00%	0,00%
positive warm	0,19%	0,00%
positive pass	11,03%	20,00%
negative pass	88,51%	79,90%
negative warm	0,26%	0,10%
negative fail	0,00%	0,00%
	100,00%	100,00%

Tabela 4. Distribucija odstupanja na tolerancijskom nivou 0,05 mm

### 4. DISKUSIJA

Rezultati eksperimenta ukazuju na različitu procentualnu distribuciju odstupanja na definisanim nivoima tolerancije. Kvantitativni parametri postupka digitalizacije na tolerancijskom nivou 0,01mm predstavljaju bitan pokazatelj tačnosti kamera ovih uređaja [8]. Činjenica je da u stomatološkoj praksi tolerancijski nivo od 0,01 mm nema veliki klinički značaj, ako se uzme u obzir potreba za postojanjem prostora za cementni film čija vrednost u proseku iznosi između 0,25 i 0,30 mm [9]. Analiza postojećih rezultata pokazuje da kod CEREC AC, u odnosu na Trios<sup>TM</sup>, postoji veći procenat odstupanja izmerenih vrednosti od zadanog tolerancijskog nivoa. Ipak, sveukupni prikazani rezultati impliciraju nepouzdanost oba uređaja na tolerancijskom nivou od 0,01 mm.

Na tolerancijskim nivou od 0,025 mm CEREC AC i Trios<sup>TM</sup> pokazuju bolju distribuciju oko definisane vrednosti tolerancije, dok su na vrednostima od 0,05 mm odstupanja grupisana oko zadanog tolerancijskog nivoa, što ukazuje na činjenicu da su i sami proizvođači uređaja tehničke parematre tačnosti kamera podesili tako da se najpouzdaniji rezultati postižu na odstupanjima koja su za kliničku praksu najznačajnija i predstavljaju prosečnu klinički prihvaljivu vrednost marginalnog zjapa [10].

Intenzivan razvoj različitih tehnika 3D digitalizacije predstavlja svojevrsan izazov za proizvođače stomatoloških CAD/CAM sistema da iste primeni i prilagodi uslovima digitalizacije u usnoj duplji. Međutim, brojne su poteškoće koje je potrebno prevazići, što predstavlja i glavni razlog postojanja relativno malog broja sistema za intraoralnu digitalizaciju koji se primenjuju u svakodnevnoj kliničkoj praksi. Pored nastojanja da se uređaji za intraoralnu digitalizaciju primene u terapijskim indikacijama koje zahtevaju rekonstrukciju celokupnog zubnog niza, postoji niz ograničavajućih okolnosti koje otežavaju i narušavaju pouzdanost postupka: pomeranje

pacijenta u postupku digitalizacije, podrhtavanje ruke operatera, aplikovanje matirajućeg praha, prisustvo pljuvačke u usnoj duplji, vlažnost vazduha, nedovoljna osvetljenost, potreba za subgingivalno lociranim demarkacijama i sl. [11].

Važno je ukazati i na brojne poteškoće kada je rač o potrebi da se svi neophodni tehnički parametri prilagode malim dimenzijama kamere za intraoralnu digitalizaciju, a da se kvalitet digitalizovanih podataka unapredi. U prilog tome ide i činjenica da se kod uređaja za ekstraoralnu digitalizaciju, u cilju poboljšanja kvaliteta digitalizovanih podataka, teži ka uvođenju dve kamere za digitalizaciju.

Apsolutni trend u postupku intraoralne digitalizacije je primena video zapisa, koji je pojednostavio u ubrzao postupak. Međuti, postavlja se pitanje da li video zapis omogućava tačniju i precizniju digitalizaciju u odnosu na „ point and click„ tehnologiju, naročito kada je reč o upotrebi u velikim rekonstruktivnim zahvatima. Konačan sud o kvalitetu uređaja koji u postupku digitalizacije primenjuju video zapis pokazaće dugoročna praktična upotreba i rezultati kliničkih istraživanja.

## 5. ZAKLJUČAK

Rezultati eksperimenta pokazuju da oba uređaja poseduju visok stepen pouzdanosti na tolerancijskim nivoima koji su od izuzetnog značaja za svakodnevnu kliničku praksu.

## ZAHVALNOST

Rezultati prezentovani u ovom radu su realizovani u okviru projekta „Istraživanje i razvoj metoda modeliranja i postupaka izrade dentalnih nadoknada primenom savremenih tehnologija i računarnom podržanih sistema“, TR – 35020, finansiranog od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

## 6. REFERENCE

- [1] Mörmann, WH., *The origin of the Cerec method: a personal review of the first 5 years*, Int J Comput Dent, 7, p.p.11-24. 2004.
- [2] Trifkovic, B., Analiza metroloških karakteristika uređaja za optičku digitalizaciju stomatoloških CAD/CAM sistema. Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, 2012.
- [3] Mörmann, WH., Brandestini, M., *The fundamental inventive principles of CEREC CAD/CAM*. In: Mörmann WH, ed. *State of the art of CAD/CAM restorations: 20 years of CEREC*. London: Quintessence Books, p.p. 1-8. 2006.
- [4] Mehl, A., Endler, A., Mörmann, W., Attin, Th., *Accuracy testing of a New Intraoral 3D Camera*. Int J Comput Dent, 12, p.p. 11-28. 2009.

[5] <http://www.sirona.com/en/products/digital-dentistry/cerec-chairside-solutions/?tab=242>

[6] Logozzo, S., Franceschini, G., Kilpelä, A., Caponi, M., Governi, L., Blois, L., *A Comparative Analysis of Intraoral 3d Digital Scanners For Restorative Dentistry*. The Internet Journal of Medical Technology, 1(5) DOI: 10,5580/1b90 2011.

[7] Neumann, HJ., *Industrial Coordinate Metrology - Ten Years of Innovation*, Verlag Moderne Industrie, Die Bibliothek der Technik, 2000.

[8] Budak, I., *Development of the system for intelligent pre-processing of 3D-digitalisation results from free-form surfaces*, Disertation, University of Ljubljana 2009.

[9] American Dental Association., *Council on Dental Materials and Advices. Reports of Councils and Bureaus. Specification n. 8 for zinc phosphate cement*. J Am Dent Assoc, 96(1), p.p.121-3,1978.

[10] Pera, P., Gilod, S., Bassi, F., Carossa, S., *In vitro marginal adaptation of alumina porcelain ceramic crowns* J Prosth Dent, 72, p.p.585-591, 1994.

[11] Persson, AS., Andersson, M., Oden, A., Sandborgh-Englund, G., *Computer aided analysis of digitized dental stone replicas by dental CAD/CAM technology*, Dent Mater, 24(8), p.p.1123–30, 2008.

**Autori:** Ass. dr sci. Branka Trifković<sup>1</sup>, Doc. dr Igor Budak<sup>2</sup> Doc.dr Đorđe Vukelić<sup>2</sup>, Prof.dr Tatjana Puškar<sup>3</sup>, Prof. dr Aleksandar Todorović<sup>1</sup>, Prof. dr Danimir Jevremović<sup>4</sup>, Prof. dr Janko Hodolić<sup>2</sup>.

1. Univerzitet u Beogradu, Stomatološki fakultet, Klinika za Stomatološku protetiku, Rankeova 4, 11000 Beograd, Serbia, Tel:+381 11 2433 433.

E-mail: branka.trifkovic@stomf.bg.ac.rs  
a.todorovic@sbb.rs

2. Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Institut za Proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia Tel: +381 21 485 2306, Fax: +381 21 454-495.

E-mail: budaki@uns.ac.rs  
vukelic@uns.ac.rs  
hodolic@uns.ac.rs

3. Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet, Katedra za stomatologiju, Hajduk Veljkova 3, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 420 677  
E- mail: tatjana.puskar@yahoo.com

4. Univerzitet privredna akademija, Stomatološki fakultet u Pančevu, Žarka Zrenjanina 179, 13000 Zrenjanin, Serbia, Tel:+381 13 2351 292

E-mail: [dr.danimir@sbb.rs](mailto:dr.danimir@sbb.rs)



Spasić, A., Movrin, D., Budak, I., Vučaj Ćirilović, V., Govorčin, M., Till, V.

**KOMPJUTERIZOVANA TOMOGRAFIJA U IZRADI DENTALNIH NADOKNADA**

**Rezime:** Kompjuterizovana tomografija (CT) zbog razlike u interakciji rendgenskih zraka sa koštanim i mekim tkivom omogućava detaljan trodimenzionalni prikaz anatomije ljudske vilice. Upotrebom softvera syngo Dental CT mogu da se analiziraju CT snimci vilice sa ciljemprocenesegmenta u koji se planira postavljanje dentalnog implanta i okolnih struktura koje u postavljanju implanta treba izbegnuti. Dobijeni snimci se mogu eksportovati u DICOM obliku koji je pogodan za dalju rapid prototyping obradu. Razlika u interakciji rendgenskih zraka sa vazduhom i praškastim materijalom na bazi gipsa upotrebljenim u rapid prototypingu omogućava CT prikaz modela vilice.

**Cljučne reči:** CT, rapid prototyping, dentalni implant

**1. UVOD**

Kompjuterizovana tomografija (CT) je metoda trodimenzionalnog prikaza ljudskog telakvoja se primenjuje u svakodnevnoj praksi u snimanju raznih delova tela u rezoluciji od 0,75mm do 1,5mm. Kao stomatološki CT (dental CT) postao je metoda vizualizacije vilice u okviru pripreme plasiranja dentalnih implanata [1].

**2. OSNOVNI PRINCIPI  
KOMPJUTERIZOVANE TOMOGRAFIJE**

Kompjuterizovana tomografija (CT) je prikaz slike anatomije tankog preseka objekta snimanja dobijen višestrukim merenjima atenuacije rendgenskih (x) zraka oko objekta[2]. Nakon detektovanja signala izlaznih x zraka vrši se njihova matematička obrada sa ciljem dobijanja digitalne slike čiji svaki piksel prostorno odgovara jednom delu preseka objekta, a intenzitetski stepenu atenuacije x zraka u tom delu preseka objekta, a zatim se slike svih dvodimenzionalnih preseka udružuju čime se dobija trodimenzionalni prikaz snimljenog objekta.

Atenuacija rendgenskih zraka u telu predstavljena je sledećim odnosom

$$I = I_0^{-\mu x} (1)$$

gde je:

$I_0$  - intenzitet x zraka na ulazu u objekat

$I$  - intenzitet x zraka na izlazu iz objekta

$x$  - debljina preseka

$\mu$  - linearni koeficijent apsorpcije

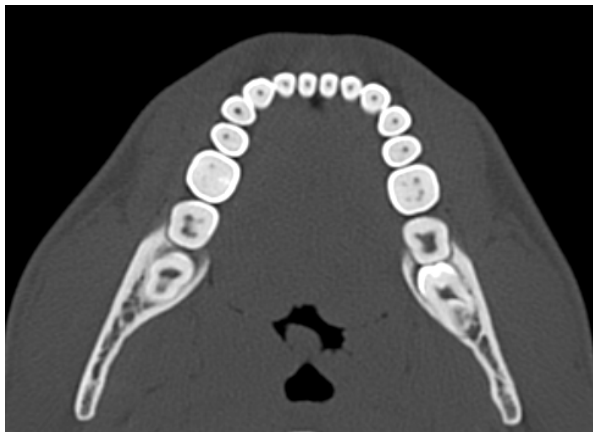
Ljudski organizam je sastavljen odrazličitih tkiva. Svako tkivo ima svoj linearni koeficijent atenuacije i ako su oni različiti za dva različita tkiva detektovaće se dve različite atenuacije x zraka koji kroz njih prolaze.

$\mu$	$\text{cm}^{-1}$
vazduh	0
mišić	0,18
kost	0,48

Tabela 1. Linearni koeficijent apsorpcije različitih tkiva i vazduha[3]

Slikovni prikaz atenuacije x-zraka je na skali sive boje koja na svojim ekstremim predstavljena crnom kraju skale nepostojanje apsorpcije x zraka, a na belom kraju skale potpunu apsorpciju x zraka. Kvantifikacija odnosa između apsorpcije i slikovnog prikaza načinjena je uvođenjem CT broja (Hounsfield-ova jedinica, HU). Dogovorno vodi je dodeljen CT broj nula, a vazduhu -1000. Meka tkiva imaju CT brojeve od -100 do 60, a kortikalna kost od 250 do preko 1000[4].

Upravo velika razlika u CT broju kostiju i mekih tkiva omogućava dobijanje odličnog prikaza vilice jer je koštano tkivo vilice okruženo mekim tkivom od koga se značajno razlikuje na CT slici.



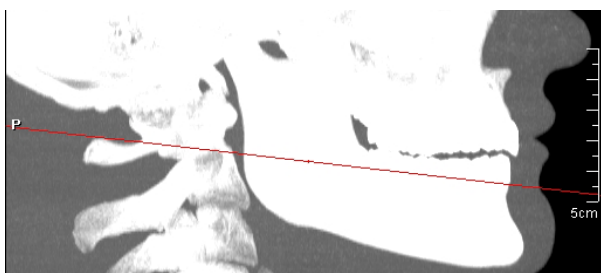
Sl. 1. CT slika u nivou donje vilice: belo – kortikalna kost, sivo meka tkiva, crno – vazduh

### 3. DENTAL CT

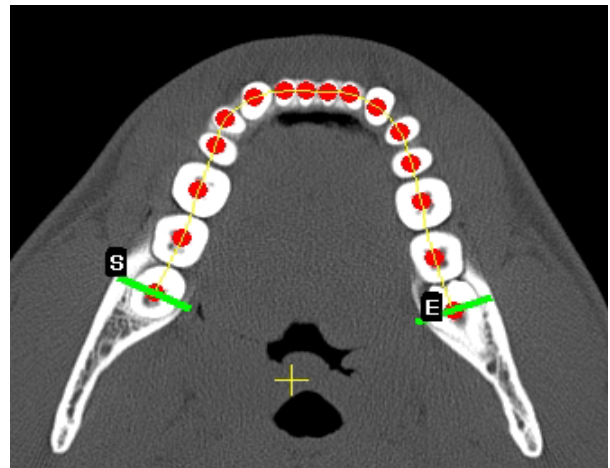
CT snimci donje vilice načinjeni su na aparatu Siemens Sensation 64 sa mogućnošću eksportovanja u DICOM obliku koji je pogodan za dalju rapid prototyping obradu.

Detaljna analiza struktura vilicemože se dobiti korišćenjem softvera syngo Dental CT proizvođača Siemens. Proces dobijanja slika željenih preseka je jednostavan i softver nas kroz par koraka vodi do željenog rezultata.

Pošto je vilica zakrivljena struktura potrebno je načiniti referentnu liniju duž njene gornje ivice u čijem će se nivou prikazati panoramska projekcija vilice. Najpre se odredi nivo vilice u kojem će se referentna linija postaviti, a zatim se postavi šest ili više oznaka na vrhove zuba ili na samu vilicu koje program automatski povezuje.

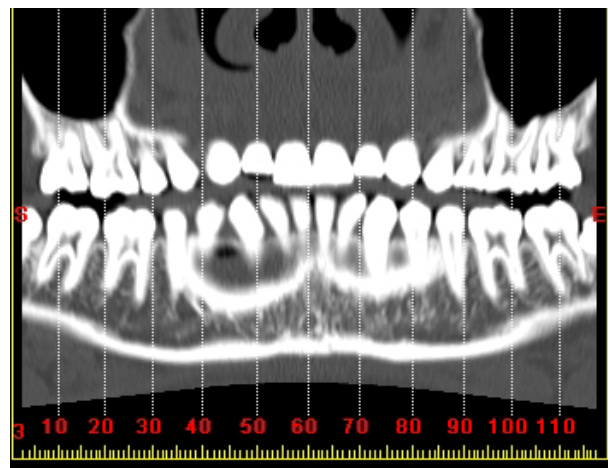


Sl. 2. Određivanje nivoa u kojem će se postaviti referentna linija



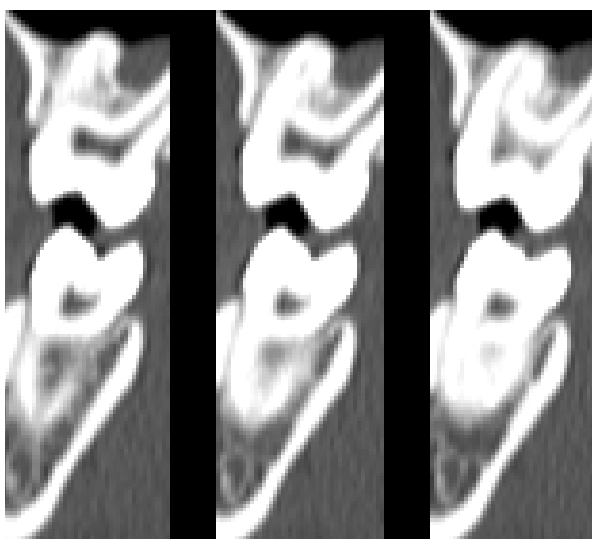
Sl. 3. Oznake (crvene tačke) povezane u referentnu liniju vilice (žuta linija)

Time je omogućeno da se duž načinjene linije dobije panoramski prikaz zakrivljene strukture vilice u nekoliko nivoa.



Sl. 4. Panoramski prikaz vilice

Izolovanjem ravni normalnih na pravac pružanja referentne linije dobijaju se poprečni preseki vilice. Na ovim presecima mogu se analizirati gustina koštanog tkiva, pozicija mandibularnog kanala, maksilarnog sinusa i incizivnog kanala [5].



Sl. 5. Poprečni presecci vilice

Pored ove vrste analize može se načiniti trodimenzionalni prikaz obe vilice korišćenjem tehnike obrade zapremine (volume rendering technique – VRT) koji se može posmatrati iz različitih uglova.



Sl. 6. Tehnika obrade zapremine (VRT) – prikaz donje vilice

## 4. OGRANIČENJA CT-A

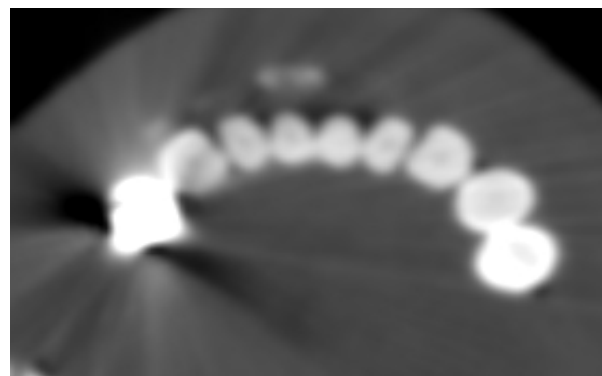
### 4.1. Jonizujuće zračenje

X zraci su elektromagnetski talasi visoke energije okvirnog energetskog raspona od 100eV do 100KeV koji prouzrokuju jonizaciju bioloških struktura. Jonizacioni efekat je nepovoljan i u slučaju prekoračenja dozvoljenih doza predstavlja

rizik za razvoj pre svega malignih oboljenja te se snimanje CT-om treba činiti samo u indikovanim slučajevima. Postoji trend smanjivanja primljene doze jonizujućeg zračenja i ona se na današnjim aparatima upotrebom niskodoznih protokola merena u kostnoj srži vilice može spustiti sa 23,6mSv na 2,9mSv bez gubitka dijagnostičke informacije [6]. Drugi načini na koje se može smanjiti doza su povećanje preseka snimanja što sa druge strane dovodi do smanjenja rezolucije i smanjenje polja snimanja kojim se treba obuhvatiti samo regija od interesa [1].

### 4.2. Artefakti porekla amalgamskih plombi

Amalgamske plombe se proizvode mešanjem tečne žive sa solidnim partikulama legure srebra, cinka, kalaja i drugih metala [7]. Atomske brojevi ovih elemenata su značajno viši od elemenata koji čine gradivnu strukturu ljudskog organizma. Oni vrše veću atenuaciju x zraka i dovode do stvaranja artefakata (šuma) koji otežava prikaz i evaluaciju okolnih struktura.

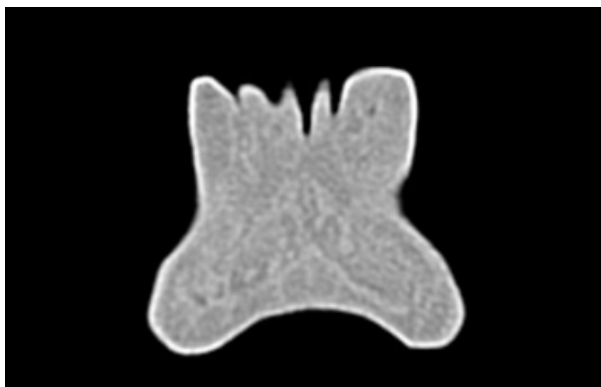


Sl. 7. Artefakti oko amalgamske plombe

Podešavanjem upadnog ugla x zraka ovi artefakti se mogu lokalizovati u nivou krunice zuba, a proizvođači CT aparata i softvera stvaraju nova rešenja sa ciljem njihove redukcije.

## 5. KONTROLA RAPID PROTOTYPING MODELA VILICE

CT ima mogućnost trodimenzionalnog prikaza modela vilice načinjenog rapid prototypingom. Kontrast između vazduha koji okružuje model vilice i praškastog materijala na bazi gipsa od kojeg je model sačinjen je oko 1000 CT jedinica što je više nego dovoljno za njen CT prikaz i detaljnu evaluaciju.



Slika 8. CT prikaz preseka 3D modela

## 6. ZAKLJUČAK

CT je metoda kojom se dobijaju trodimenzionalni snimci vilice visoke rezolucij, koji sedetaljno analiziraju u pripremi za plasiranje dentalnog implanta.

Ovi snimci se mogu eksportovati u DICOM formatu koji je pogodan za dalju obradu u rapid prototyping protokolu.

CT snimci načinjenog modela vilice se mogu detaljno analizirati.

## 7. REFERENCE

- [1] Abrahams JJ. Dental CT imaging: a look at the jaw, Radiology 2001, 219:334-345.
- [2] Haaga JR, Lanzieri CF, editors. Computed tomography and magnetic resonance imaging of the whole body 4th ed. St.Louis: Mosby; 2003.
- [3] Webb S.X Ray transmission Computed Tomography. In: The Physics of Medical imaging. London: IOP Publishing; 1988.
- [4] Hsieh J. Computed tomography: principles, design, artifacts, and recent advances 2nd ed. Belingham: Wiley Inter-SPIE; 2009.
- [5] Gahleitner A, Watzek G, Imhof H. Dental CT, imaging technique, anatomy and pathological conditions of the jaws, Eur Radiology 2003, 13: 366-367.
- [6] Rustemeyer P. Streubuhr U, Suttmoeler J. Low-Dose Dental Computed Tomography: Significant

Dose Reduction without Loss of Image Quality, Acta Radiologica 2004, Vol. 45, No. 8, 847-853.

[7] Kefi I, Maria A, Majid Z, Sana J, Afreen M, Fareed M, Feroze A, Sajid H, Adel S, Iftikhar A, Yawer A, Kaleem M. Dental Amalgam: Effects of Alloy/Mercury Mixing Ratio, Uses and Waste Management, J Ayub Med Coll Abbottabad 2011; 23(4).

**Autori:** Aleksandar Spasić, dr med.<sup>1</sup> Dejan Movrin, dipl. ing.<sup>2</sup> Doc.dr Igor Budak<sup>2</sup>, Doc.dr Viktorija Vučaj Ćirilović<sup>1,3</sup>, Prof.dr Mira Govorčin<sup>1,3</sup>, Prof.dr Viktor Till<sup>1,3</sup>

1. Klinički centar Vojvodine, Centar za radiologiju, Hajduk Veljkova 1, Novi Sad, Tel.: 021 520 577.

2. Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Trg Dositeja Obradovića 6, Novi Sad, Tel.: 021 485 2255.

3. Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet, Hajduk Veljkova 3, Novi Sad, Tel.: 021 420677.

E-mail: a\_spasic@yahoo.com  
 movrin@uns.ac.rs  
 budaki@uns.ac.rs  
 vcirilovic@hotmail.com  
 mira.govorcin@gmail.com  
 vtill@nscable.net

Šokac, M., Santoši, Ž., Spasić, A., Till, V., Vučaj-Ćirilović, V., M. Govorčin, Budak, I.

## **REVERZIBILNO INŽENJERSKO MODELIRANJE DENTALNIH NADOKNADA NA BAZI MULTI-SLAJS KOMPJUTERIZOVANE TOMOGRAFIJE U PROGRAMSKOM SISTEMU 3D DOCTOR**

*Rezime:* U radu su prikazani osnovni pojmovi, definicija i primena reverzibilnog inženjerstva (RE) kao i primena kompjuterizovane tomografije (CT) u reverzibilnom inženjerstvu. Prednosti primene reverzibilnog inženjerstva u procesu razvoja proizvoda najbolje se vide kod proizvoda sa složenom geometrijom površina. U sklopu toga je prikazano korišćenje softvera za obradu slika 3D DOCTOR kroz studiju slučaja gde se kao rezultat dobija površinski 3D model donje vilice primenom ovog softvera.

*Ključne reči:* Reverzibilno inženjerstvo, CT, 3D DOCTOR

### **1. UVOD**

U području modeliranja u mašinstvu, reverzibilno inženjerstvo (RE) danas, nesporno, predstavlja važan segment sa sve širom ulogom i primenom [1]. Imajući u vidu geometrijsku kompleksnost anatomije čoveka, RE u poslednje vreme, zahvaljujući razvoju metoda i sistema za 3D digitalizaciju, predstavlja vrlo važan alat u oblasti medicine, i to kako za dijagnostičke tako i za terapijske namene. Ipak, jedna od oblasti u kojoj se primena tehnike RE posebno ističe u poslednje vreme jeste stomatološka protetika. U okviru ovog rada je prikazana studija slučaja rekonstrukcije ljudske vilice na bazi MS CT snimaka sa sistema Siemens Sensation 64, u specijalizovanom programskom sistemu 3D DOCTOR v4.0 [2].

### **2. POJAM I METODOLOGIJA REVERZIBILNOG INŽENJERSTVA**

U okviru zahteva savremenog tržišta koji podrazumevaju brzo i često redizajniranje proizvoda, sve važniju ulogu imaju estetski i ergonomski aspekti koji impliciraju sve složenije, odnosno slobodnije i prirodnije forme i oblike. Primena RE može značajno da ubrza i poboljša proces redizajna postojećih proizvoda, kao i proizvoda konkurentskih firmi. U slučaju potrebe za izradom kopija, odnosno reprodukcijom delova i proizvoda za koje ne postoji odgovarajuća tehnička dokumentacija, tehnika RE je skoro nezamenljiva [3].

RE se može definisati kao proces dupliranja nekog proizvoda bez pomoći crteža, tehničke dokumentacije ili računarskog modela. Primenuje se pri analiziranju postojećeg uređaja ili sistema u cilju proučavanja unutrašnjih radnih delova, radi dobijanja predloga za poboljšanje. 3D

digitalizacijom se vrši prikupljanje podataka o koordinatama tačaka sa površine fizičkog objekta i njihovo prevođenje u digitalni oblik. Rezultat 3D digitalizacije je oblak tačaka, koji sadrži veliku količinu podataka zajedno sa greškama merenja. Pre-procesiranje rezultata 3D digitalizacije ima za cilj odstranjivanje grešaka [4].

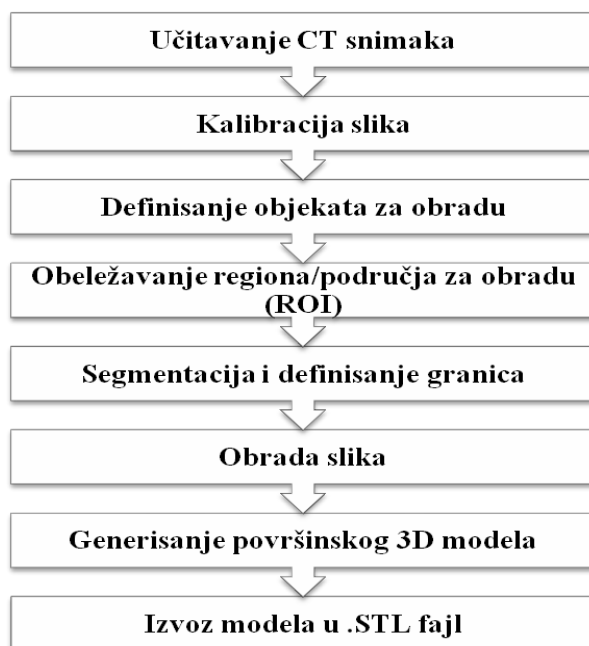
### **3. PRIMENA KOMPJUTERIZOVANE TOMOGRAFIJE U REVERZIBILNOM INŽENJERSTVU**

Kompjuterizovana tomografija ili CT, je radiografska ne-destruktivna test metoda za određivanje pozicije i veličine ravanskih i prostornih detalja u 3D koordinatama i predstavlja jednu od perspektivnijih metoda 3D digitalizacije [5,6]. Bazira se na merenju atenuacije (slabljenja) X-zraka na osnovu čega se kreiraju kompjuterizovane rekonstruisane slike objekta. Nakon što se izvrši skeniranje i dobiju se CT slojevi, vrši se rekonstrukcija kontura površina koje su ispresećane u CT slojevima pomoću posebnih softvera. Zahvaljujući relativno dobroj prodornosti X-zraka i osetljivosti na gustinu materijala objekta, CT omogućava nedestruktivnu karakterizaciju i unutrašnjosti objekta, što ga čini vrlo pogodnim za primenu u industrijskoj inspekciji.

Zahvaljujući osobinama X-zraka, CT se podjednako dobro primenjuje i na metalnim i na plastičnim delovima, bilo glatkih ili teksturisanih površina kao i kod punih i vlaknastih materijala. Prednost korišćenja CT je da se ukupna geometrija objekta dobija u samo jednom skenirajućem prolazu, čime se eliminiše potreba za uklapanjem više oblaka tačaka. Dodatna prednost CT jeste u tome što ne zahteva nikakve dodatne pribore i nije potrebno ni prethodno ni naknadno pomeranje objekta [5].

## 4. REKONSTRUKCIJA 3D MODELA DONJE LJUDSKE VILICE PRIMENOM SOFTVERA 3D DOCTOR NA BAZI MS CT SNIMAKA

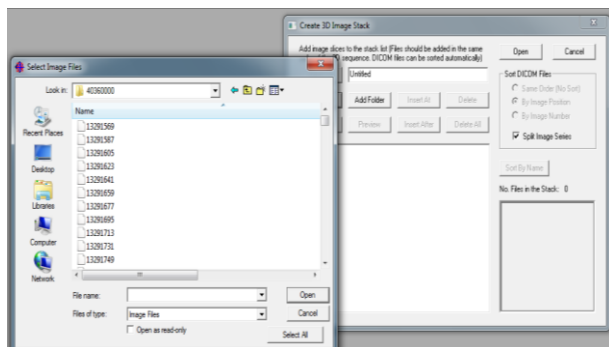
U okviru ovog dela je prikazana studija slučaja rekonstrukcije ljudske vilice primenom multi slajs CT snimaka u programu 3D DOCTOR. Primenom ovog softvera omogućeno je brzo generisanje 3D modela koji se zatim, najčešće, izvozi u STL format zapisa ili eventualno neki drugi format pogodan za učitavanje u drugim specijalizovanim CAD aplikativnim softverima za modeliranje gde se zatim dalje pristupa obradi modela vilice. U nastavku (Slika 1.) je prikazan tok rada u programu 3D DOCTOR.



Sl. 1. Tok rada u programu 3D DOCTOR [2]

### 4.1 Učitavanje CT snimaka

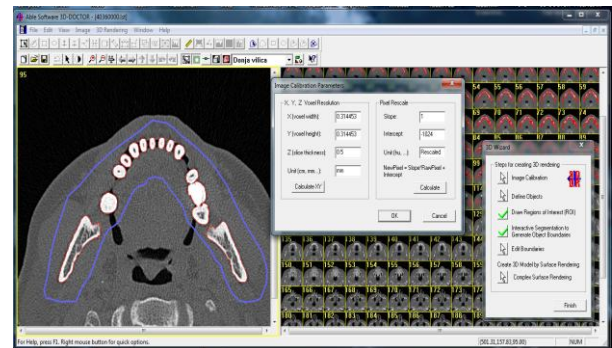
Prvi korak jeste učitavanje snimaka (Slika 2.), u okviru kojeg se kreira datoteka koja će zatim da sadrži sve izabrane CT snimke.



Sl. 2. Učitavanje CT snimaka u 3D DOCTOR

### 4.2 Kalibracija CT snimaka/slika

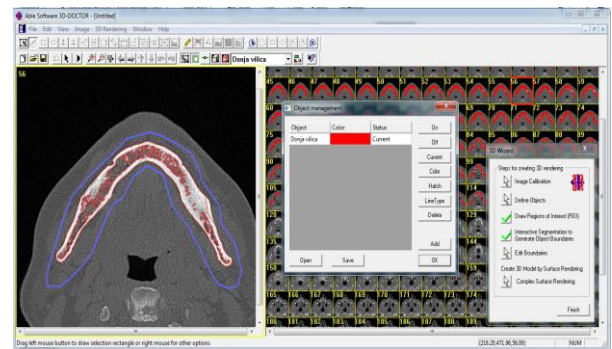
Softver nudi opciju automatizovane kalibracije pomoću alata *Image Calibration* u okviru 3D čarobnjaka. Na slici 3 je prikazan dijalog okvir sa kalibracionim parametrima u vezi sa ovom opcijom. Ukoliko slika već ima definisane kalibracione parametre, kao što je to najčešće slučaj sa na primer DICOM formatom zapisa, predviđene vrednosti će biti prikazane u poljima. Preporučljivo je da se koriste ponuđene vrednosti. X i Y vrednost za rezoluciju voksela je veličine jednog piksela na slajsu. Ukoliko je slika u drugom formatu zapisa (skenirana iz nekih drugih izvora), XYZ parametri se mogu izračunati na osnovu fizičke vrednosti zapremine slike, iz vidnog polja (eng. Field of Vision) ili same veličine slike.



Sl. 3. Prikaz prozora za kalibraciju slika

### 4.3 Definisane objekata za obradu

U okviru ovog koraka se vrši definisanje novih objekata, ažuriranje postojećih, odnosno postavljanje statusa postojećih objekata (pod ovim se misli na uključivanje i isključivanje određenih objekata). Dijalog okvir u vezi sa ovim korakom (*Object management*) je prikazan na Slici 4.



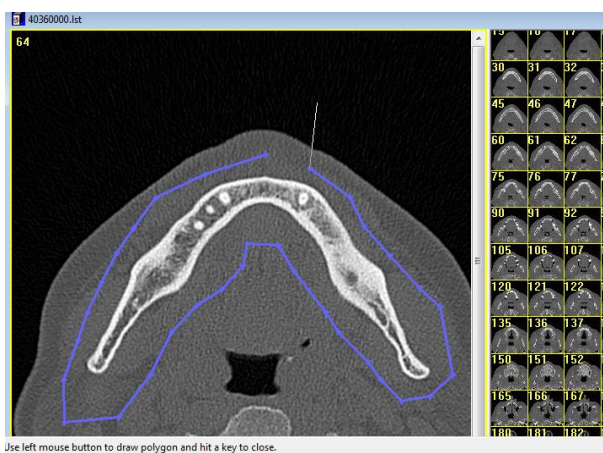
Sl. 4. Prozor za definisanje novih objekata

Program uvek definiše zadani objekat pod imenom "default". Ovaj objekat će uvek postojati i ne može se obrisati ili promeniti. Dijalog okvir omogućava dodavanje novog objekta na trenutnu listu objekata, pri čemu je moguće izmeniti ime objekta. Uz naziv objekta koji je aktivan, a koji figuriše u *Status* polju (npr. „donja vilica“), stoji

opcija *Current*. Ovo podrazumeva da je objekat aktivan i da se mogu vršiti izmene na njemu. Kada je objekat isključen (pomoću *On/Off* opcije), isti neće biti vidljiv i neće se moći menjati pri editovanju i obradi.

#### 4.4 Definisane regiona/područja za obradu

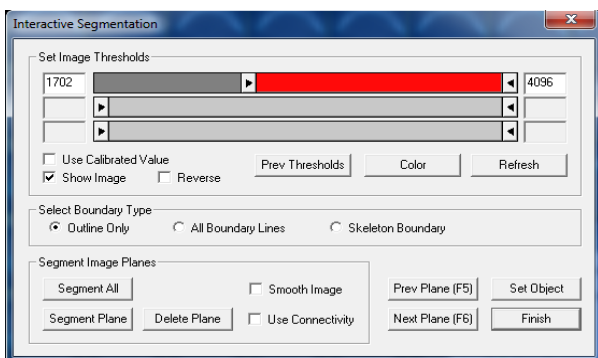
3D DOCTOR podržava crtanje više granica istovremeno, tako da se region/područje za obradu može definisati kao zatvorena kontura ili kao region sa ostrvima ili rupama. Primer na slici 5 prikazuje region nacrtan u obliku zatvorene konture (Slika 5). Kod definisanja regiona sa više granica, treba obratiti pažnju na to da li granica koja je nacrtana treba biti uključena ili isključena.



Sl. 5. Primer zatvorenog regiona/područja za obradu (ROI)

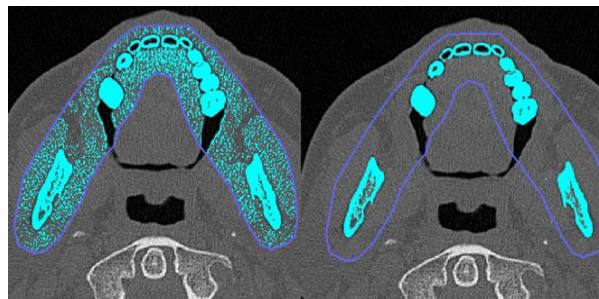
#### 4.5 Segmentacija i definisanje granica

U okviru ovog koraka vrši se interaktivna segmentacija aktivne 3D slike za izdvajanje granica objekta. Granice koje su kreirane (opcija *3D Rendering/Interactive Segment*) pripadaju trenutnom objektu. Izborom ove opcije pojavljuje se dijalog okvir koji prikazuje raspon piksela unutar minimalnog i maksimalnog praga u crvenoj boji, a ostatak slike ostaje isti. Pomoću horizontalnog klizača omogućeno je povećanje/smanjenje raspona piksela (Slika 6).



Sl. 6. Dijalog okvir za segmentaciju

Od podešavanja ovog parametra u velikoj meri zavisi potreba za prečišćavanjem, tj. brisanjem nepotrebnih tačaka, a posledično i vreme rada. U tom smislu je vrlo važno naći optimalnu vrednost parametra. Slika 7 prikazuje primer dobre i loše segmentacije.



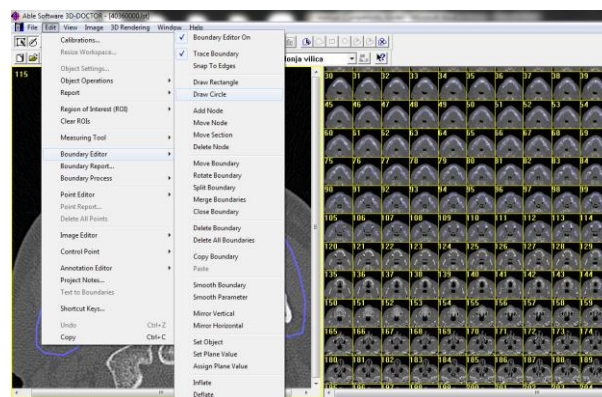
Sl. 7. Primer loše i dobre segmentacije

Razlikuju se tri vrste segmentacije: *Spoljašnja (Outline Only)*, *Granična (All Boundary Lines)* i *Skeletno granična (Skeleton Boundary)*. Ovde je prikazana *spoljašnja* segmentacija, koja se preporučuje za segmentaciju svih mogućih granica, uključujući i rupa i ostrva.

Važan parametar je definisanje broja slajsova koji se želi segmentirati. U ovom primeru je segmentirano 115 slajsova, koliko je bilo potrebno da bi se obuhvatila donja vilica, koja tema ove studije slučaja.

#### 4.6 Obrada slika

Nakon segmentacije potrebno je ukloniti nepotrebne tačke i, po potrebi, pomeriti granice regiona na nekim slajsovima. Ovo je omogućeno preko opcije *Boundary Editor* (Slika 8), preko koje je moguće dodati nove granične linije, brisati linije, izbrisati sve linije, premestiti linija u drugu ravan, dodati čvor na liniji, premestiti čvor unutar linije, itd.

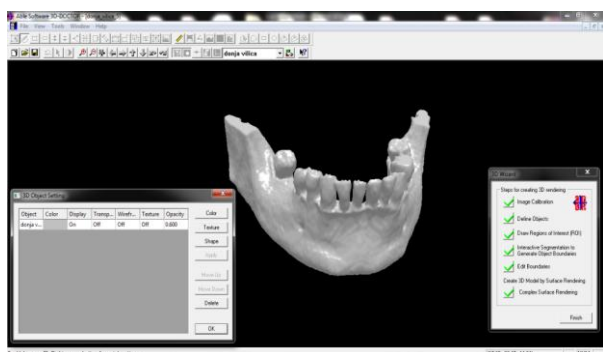


Sl. 8. Prikaz komande *Boundary Editor*

#### 4.7 Generisanje površinskog 3D modela

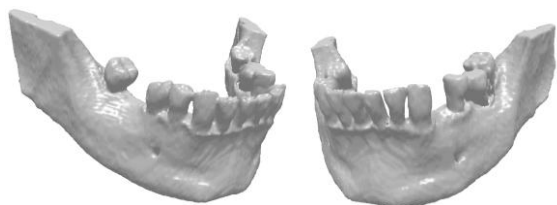
Nakon što se završi obrada slika može se pristupiti generisanju 3D modela pomoću *Complex Surface Rendering* opcije. Ova komanda

kreira kompleksnu 3D površinu koristeći granične podatke dobijene iz 3D slike. U vezi sa ovim je i dijalog okvir sa X, Y i Z parametrima. Jedan je najmanja dozvoljena vrednost sa kojom se dobija maksimalan broj površinskih poligona. Veća vrednost implicira smanjenje gustine, što za posledicu može imati gubitak nekog sitnog detalja. Na slici 9 je prikazan 3D model donje vilice, generisan u okviru ove studije slučaja na bazi prethodno opisanih koraka.



Sl. 9. Model vilice u programu 3D DOCTOR

Nakon ovoga se može pristupiti izvozu površinskog 3D modela u neki od formata zapisa koje pruža program 3D DOCTOR. Podržani su AutoCAD DXF (\*.dxf), IGES (\*.igs), 3D Studio (\*.3ds), VRML (\*.wrl), (\*.tri), STL (\*.stl), Wavefront OBJ (\*.obj), kao i 3D DOCTOR-ov binarni format zapisa površina (\*.suf).



Sl. 10. 3D model vilice u STL formatu zapisa

## 5. ZAKLJUČAK

U radu je detaljnije predstavljena primena MS CT u oblasti RE modeliranja, sa posebnim akcentom na praktičnoj primeni. U tom smislu je realizovana studija slučaja kroz koju su detaljno prikazane mogućnosti i primena specijalizovanog softvera 3D DOCTOR kod modeliranja donje ljudske vilice na bazi MS CT snimaka sa sistema Siemens Sensation 64.

Prezentovani rezultati ukazuju na to da program 3D DOCTOR predstavlja dobro rešenje za dobijanje 3D površinskog modela na osnovu MS CT snimaka. Nakon dobijanja 3D modela, isti se može eksportovati u neki od formata za razmenu podataka čime je omogućena dalja primena u ostalim CAx aplikacijama.

## 6. REFERENCE

- [1] Budak I., Trifkovic B., Puskar T.M., Vukelic Dj., Vucaj-Cirilovic V., Hodolic J. Todorovic A.J.: *Comparative Analysis of 3D Digitization Systems in the Field of Dental Prosthetics*, Tehnicki vjesnik-technical gazette, vol. 20/2, str. 291-296, 2013.
- [2] Šokac M.: *Primena reverzibilnog inženjerstva na bazi multi-slajs kompjuterizovane tomografije kod modeliranja dentalnih nadoknada*, Diplomski rad, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Novi Sad, 2012.
- [3] *A Methodology for Reverse Engineering*, Editorial Staff 11/2000, Paraform Inc., 2000. <http://www.myb2o.com/myb2ous/ReverseEngineering/Features/Summary.htm>
- [4] Jevremovic D.P., Puskar T.M., Budak I., Vukelic Dj., Kojic V.V., Eggbeer D., Williams R.J.: *An Re/Rm Approach to the Design and Manufacture of Removable Partial Dentures with a Biocompatibility Analysis of the F75 Co-Cr SLM Alloy*, *Materiali in tehnologije*, vol. 46/2, str. 123-129, 2012.
- [5] Stanley J. H., Yancey R. N.: *CT-assisted Agile Manufacturing*, Proceedings of SPIE's Symposium on »NDE Technoques for Aging Infrastructure and Manufacturing«, Scottsdale, Arizona, 1996.
- [6] Oster R.: *Computer Tomography as a Non-destructive Test Method for Fiber Main Rotor Blades in Development*, Series and Maintance, DGZIP Proceedings BB 67-CD, Paper 4, pp 19-29, Berlin, Germany, 1999.

**Authors: Mario Šokac dipl.ing., Željko Santoši dipl.ing., doc. dr Igor Budak**, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Trg Dositeja Obradovića 6, Novi Sad, Tel.: 021 485 2255.

E-mail: [sokinjo@gmail.com](mailto:sokinjo@gmail.com)  
[zeljkosantosi@yahoo.com](mailto:zeljkosantosi@yahoo.com)  
[budaki@uns.ac.rs](mailto:budaki@uns.ac.rs)

**dr.med. Aleksandar Spasić, Prof. dr Viktor Till, doc. dr Viktorija Vučaj-Ćirilović, prof. dr Mira Govorčin**, Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet, Hajduk Veljkova 3, Novi Sad, Tel.: 021 420 677.

E-mail: [vtill@eunet.rs](mailto:vtill@eunet.rs)  
[vcirilovic@hotmail.com](mailto:vcirilovic@hotmail.com)  
[mira.govorcin@gmail.com](mailto:mira.govorcin@gmail.com)



Movrin, D., Kačmarčik, I., Plančak, M.

MOGUĆNOST IZRADE DENTALNIH HIRURŠKIH VOĐICA PRIMENOM RP  
METODA

**Rezime:** *Primena Rapid Prototyping (RP) tehnologija u stomatologiji poslednjih godina dobija sve više na značaju. Razvoj RP sistema i mogućnost primene širokog spektra različitih materijala, omogućava izradu dentalnih nadoknada kao i dentalnih hirurških vođica izrađenih po strogim medicinskim standardima. U radu je prikazan izbor adekvatnih RP postupaka, materijala kao i formata za razmenu podataka između CAD i RP sistema kako bi se uspešno izvršilo planiranje hirurške intervencije pomoću 3D modela vilice i izradila dentalna hirurška vođica.*

**Ključne reči:** *Rapid prototyping, dentalna hirurška vođica.*

## 1. UVOD

Zahvaljujući sve široj dostupnosti i nizu komparativnih prednosti u odnosu na konvencionalne tehnologije, rapid prototyping tehnologije (RP) se sve više koristi u industrijski razvijenim zemljama za potrebe stomatologije. Postoji više područja u stomatologiji gde je moguća primena RP tehnologija kao što su [1]: izrada dentalnih nadoknada, vizuelizacija, dijagnostikovanje i obrazovanje, planiranje hirurških zahvata, modeliranje i izrada posebno prilagođenih implantata, izrada ortodontskih proteza, protetika, forenzika, dentalni implantati od biološki aktivnih materijala.

**Izrada dentalnih nadoknada** – RP modele karakteriše nekoliko ključnih prednosti u odnosu na konvencionalne tehnologije, a ključnu prednost u domenu izrade dentalnih nadoknada predstavlja mogućnost brzog i efikasnog rada sa modelima veoma složene geometrije [2].

**Vizuelizacija, dijagnostika i obrazovanje** – trodimenzionalni RP modeli omogućavaju stomatolozima svih subspecijalizacija da dobiju vizuelne i taktilne informacije o anatomske strukturi područja od interesa. Na ovaj način je značajno olakšana i unapređena komunikacija između različitih učesnika u procesu planiranja i izrade dentalnih nadoknada, a u krajnjem slučaju, pojednostavljuje se i komunikacija između stomatologa i pacijenta. Konačno, RP modeli predstavljaju i pedagoško sredstvo koje se može vrlo efikasno koristiti, kako u opštoj nastavi, tako i za uvežbavanje složenijih hirurških zahvata i sl [1].

**Planiranje hirurških zahvata** – RP modeli omogućavaju oralnim hirurzima da efikasno planiraju operacije različitih nivoa složenosti. Pored toga, RP modeli takođe mogu biti korišćeni

kao master modeli za izvođenje hirurških zahvata. Ovakvi modeli ne samo da omogućavaju primenu pravih hirurških instrumenata radi uvežbavanja zahvata, već hirurzima pružaju priliku da se detaljno upoznaju sa veličinom i konfiguracijom zone koja zahteva hiruršku intervenciju. Pri tom transparentni i/ili višebojni modeli omogućavaju kvalitetniji uvid u anatomske strukturu područja od interesa [3].

**Modeliranje i izrada posebno prilagođenih implantata** – Do uvođenja RP tehnologija u stomatologiju, primena implantata svodila se na izbor standardizovanih komponenti koje su bile u ponudi nekolicine proizvođača. U slučaju potrebe za ugradnjom implantata nestandardnih dimenzija, kao posledice bolesti ili genetskog nasleđa, dolazilo je do problema. Standardne implantate je bilo potrebno doraditi i prilagoditi novonastalom slučaju, što je rezultovalo odlaganjem operativnog tretmana, samim tim uzrokujući moguće komplikacije. Takođe je postojala mogućnost da standardni implantat ne odgovara u potpunosti u pogledu naleganja i sl. Prednost RP tehnologija leži u tome što omogućava izradu dentalnih implantata koji su prilagođeni individualnim zahtevima pacijenata, čime se eliminiše mogućnost pojave prethodno navedenih problema [4].

**Izrada ortodontskih proteza** – U skladu sa prethodnim napomenama, RP tehnologije mogu biti uspešno korišćene u izradi ortodontskih proteza koje će biti posebno prilagođene individualnim zahtevima [1].

**Protetika** – Konvencionalni način izrade dentalnih nadoknada u osnovi se oslanja na veštinu stomatologa i tehničara. Uvođenjem RP tehnologija, omogućen je značajan pomak, s obzirom da proces gubi zanatski karakter i poprima odlike industrijskog procesa,

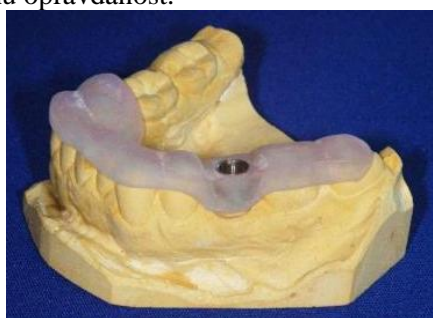
ujednačenog kvaliteta [2].

**Forenzika** – RP tehnologije predstavljaju važno sredstvo u različitim forenzičkim studijama. Imajući u vidu da omogućavaju tačnost koja je neophodna za ovakvu vrstu ispitivanja, RP modeli se uspešno koriste za evidentiranje i arhiviranje forenzičkih dokaza [5].

**Dentalni implantati od biološki aktivnih materijala** – Stomatologija očekuje velike rezultate i od razvoja jedne nove oblasti RP-a, koja se naziva *bioprinting*. Suštinu postupka čini generisanje novih tkiva deponovanjem živih ćelija u bioaktivni supstrat. Primera radi, očekuje se da će, u skoroj budućnosti, u oblasti stomatologije, primenom ovog postupka biti moguće reprodukovati zube, vilične kosti, itd. [6]

## 2. IZBOR ADEKVATNIH POSTUPAKA ZA IZRADU DENTALNIH HIRURŠKIH VOĐICA

Kako bi se pravilno ugradio dentalni implantat mora se bušiti rupa malog prečnika (pilot rupa) u vilici (na mestu na kom nedostaje zub) koja će služiti da vodi vijak i da implantat drži na mestu. Da bi se izbegla oštećenja vitalnih struktura vilice i lica (nervi), stomatolog mora pokazati veliku spretnost i stručnost prilikom bušenja pilot rupe u viličnoj kosti. Kako bi se mogućnost greške usled ljudskog faktora svela na minimum, potreban je pribor koji bi omogućio preciznu izradu pilot rupe u kosti vilice. Za te potrebe se izrađuje stomatološka hirurška vođica (slika 1). Kako se vođica projektuje za svakog pacijenta posebno, primena RP tehnologija u ovom slučaju ima potpunu opravdanost.



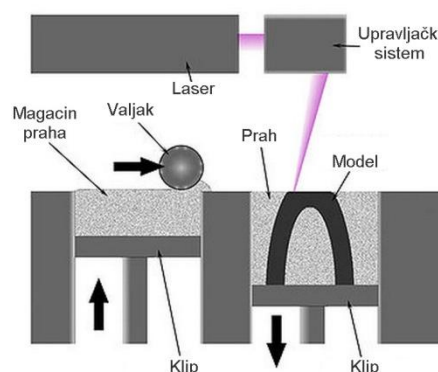
Sl. 1 Dentalna hirurška vođica

Sa stanovišta dostupnosti opreme, cene potrošnog materijala i kompatibilnosti sa konvencionalnim tehnologijama za izradu dentalnih nadoknada i hirurških vođica, najprihvatljiviji postupci RP su: Selective laser sintering (SLS), 3D printing i Fused deposition modeling (FDM).

*Selective laser sintering* (SLS) i *3D printing* su RP tehnologije koje direktno formiraju čvrst model od praha, koji se koristi kao polazni materijal. U toku

SLS postupka, laser topi prah na određenim mestima definisanim programom, koji se zatim vezuje i nakon hlađenja otvrdnjava, dok kod *3D printing-a* za spajanje čestica praha koristi se glava kroz koju izlazi vezivno sredstvo na tačno određenim putanjama definisanih programom.

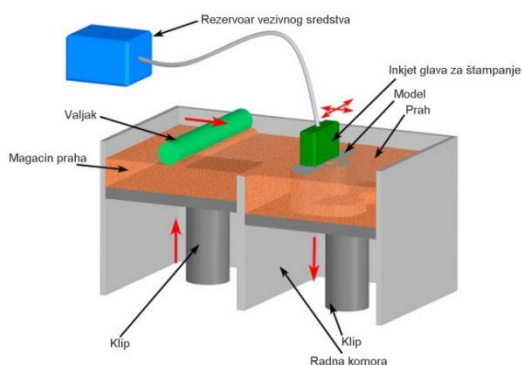
Jedna od najznačajnijih prednosti SLS postupka za izradu modela u medicini i stomatologiji je raznolikost materijala koji se mogu koristiti (polimeri, keramike, metali). Princip rada SLS uređaja prikazan je na slici 2.



Sl. 2 SLS postupak

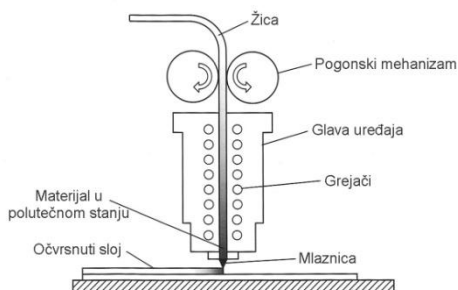
SLS postupak omogućava brzu izradu modela, kao i relativno visoku tačnost izrade od  $\pm 0,2$  mm i mogućnost izrade delova debljine od 0,3 mm. Obzirom da ova tehnologija omogućava i korišćenje transparentnih materijala, ona je pogodna za izradu modela za upotrebu u dijagnostici, vizualizaciji, obrazovanju i planiranju operacijskog zahvata u stomatologiji i medicini. Najnoviji trendovi u primeni RP tehnologija u medicini i stomatologiji kreću se u pravcu direktne izrade implanata od biokompatibilnih materijala, gde SLS postupak nalazi svoje mesto zbog mogućnosti rada sa raznolikim materijalima.

3D printing tehnologija takođe može da koristi širok spektar različitih materijala (metalni, keramički, polimerni prah i dr.). Međutim, zbog potrebe kompatibilnosti između praha i vezivnog sredstva, dijapazon različitih materijala je manji nego kod SLS -a. Ovaj postupak je jednostavan i brz, dok je oprema relativno jeftina, što utiče na veliku rasprostranjenost ovog sistema. Pored klasične primene radi vizuelizacije ili planiranja stomatoloških zahvata ovaj postupak se može uspešno primeniti i u izradi kalupa za livenje metalnih delova dentalnih nadoknada metodom preciznog livenja, uz adekvatnu podršku softvera za 3D vizuelizaciju CT ili MRI snimaka. Jedan od primera je izrada metalne krunice gde se pomoću ovog postupka može izraditi voštani model ili gotov kalup koji tačno odgovara pacijentu. Na slici 3 šematski je prikazan postupak 3D štampanja.



Sl. 3. 3D printing postupak

FDM tehnologijom se nanosi kontinualna nit termoplastičnog polimera ili voska kroz strujom zagrevanu diznu (slika 4). Postupak se obavlja po sledećem principu: termoplasti ili vosak, koji su u obliku žice, provode se kroz glavu u kojoj se zagrevaju, a zatim parcijalno otopljeni, istiskuju kroz diznu prečnika 0.18 mm koja se nalazi na glavi, na za to predviđenu podlogu / platformu. Na taj način kreira se budući model tj. prototip. Glava se u x-z ravni vodi x-z ploterom na koju je ona pričvršćena. Kretanje plotera sa glavom u x-z ravni upravljano je programom koji je u skladu sa konfiguracijom pojedinačnih slojeva CAD modela. Za kretanje glave koriste se softveri koji omogućavaju učitavanje podataka, manipulaciju sa njima, deljenje u slojeve, generisanje putanje glave kao i generisanje potpora [7].



Sl. 4 FDM postupak

### 3. IZBOR MATERIJALA ZA IZRADU DENTALNIH HIRURŠKIH VOĐICA PRIMENOM RP

RP tehnologije koriste široki spektar različitih materijala za izradu modela najsloženije geometrije. U zavisnosti od načina funkcionisanja RP sistema, materijali se mogu podeliti u tri osnovne grupe u zavisnosti od stanja u kome se primenjuju tokom izrade modela: fluidi, diskretne čestice (prah) i čvrsti materijali (folije, limovi, itd.). Ova podela je dosta gruba i pre svega se odnosi na početno stanje materijala, a ne na njegov hemijski sastav. Što se tiče hemijskog sastava materijali mogu biti vrlo različiti: metali,

vosak, polimeri, keramike, kompoziti itd.

Ako se posmatra primena RP tehnologija u stomatologiji, materijali koji se koriste moraju da ispunje niz uslova koji direktno zavise od intervencije za koju su namenjeni (izrada implantata, izrada vođica, itd.).

Dentalnu hiruršku vođicu je potrebno izraditi od materijala koji mora zadovoljiti određene zahteve. Pre svega, prilikom bušenja pilot rupe u vilici, potrebno je dobro naleganje materijala na vilicu, bez mogućnosti njegovog pomeranja i deformisanja usled sila koje može proizvesti burgija i sam oralni hirurg. Zbog ovih zahteva materijal mora posedovati dobre mehaničke osobine. Pošto prilikom bušenja pilot rupe materijal vođice dolazi u direktan kontakt sa kosti vilice i krvlju pacijenta, potrebno je da ima i određenu biokompatibilnost kako bi se izbegle alergijske reakcije i dodatne komplikacije nakon hirurškog zahvata.

Na uređajima dostupnim na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, (3D štampač *Z310plus* i FDM uređaj *MakerBot Replicator2*) mogu se koristiti više vrsta materijala. Za izradu hirurške vođice kao i njenu kontrolu na modelu vilice najpogodnija su dva materijala:

- Prvi materijal koji se koristi na 3D štampaču *Z310plus* je kompozitni materijal na bazi gipsa i epoksi smole i zbog visokih mehaničkih osobina pogodan je za izradu testnog modela vilice, kojim bi se vršilo planiranje operacije i kontrola gotove vođice.
- Drugi materijal koji se koristi na FDM sistemu je PLA (polilaktidna kiselina ili polilaktid), koji se u hirurgiji već duže vreme koristi i poznat je po biokompatibilnosti i biodegradabilnosti, kao i dobrim mehaničkim osobinama i ima perspektivu pri izradi dentalne hirurške vođice.

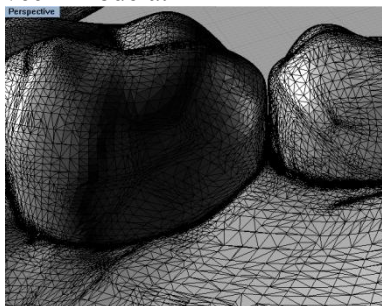
### 4. IZBOR FORMATA ZA RAZMENU PODATAKA IZMEĐU SISTEMA ZA RE-CAD I SISTEMA ZA RP

Prilikom izbora formata za razmenu podataka o 3D modelima koji će biti korišćen u procesu komunikacije između sistema za reverzibilni inženjering (RE-CAD) i sistema za brzu izradu prototipova (RP), uzet je u razmatranje određeni broj formata za razmenu koji su dostupni u savremenoj literaturi. Razmatrani formati su: STL (**ST**ereo**L**ithography format), STH (**S**urface **T**riangles **H**inted **F**ormat), CFL (**C**ubital **F**acet **L**ist), RPI (**R**ensselaer **P**olytechnic **I**nstitute format), G-WoRP (**G**eometric **W**orkbench for **RP**), STEP (**S**tandard for the **E**xchange of **P**roduct).

Imajući u vidu praktične potrebe, osnovni kriterijum za izbor formata obuhvatio je dva značajna faktora: (i) da li je format prihvaćen od strane svih učesnika u procesu razmene podataka o modelima, i (ii) da li format omogućava prenos svih informacija koje su relevantne za korektnu izradu finalnih modela. Kao najbolji format za potrebe RP sistema izdvaja se STL format.

STL format spada u red formata koji omogućavaju prenos isključivo geometrijskih informacija, bez topoloških i tehnoloških informacija. Uprkos tim nedostacima, postoji nekoliko karakteristika koje STL čine *de facto* standardom u ovom domenu:

- Najpre, konverzija 3D modela u STL format je relativno jednostavna i odvija se korišćenjem standardnih algoritama, pri čemu je korisniku omogućena kontrola tačnosti sa kojom se realizuje aproksimacija.
- Zatim, ravanska mreža trouglova može da aproksimira sve tipove 3D geometrije, što STL format čini univerzalnim formatom za razmenu podataka (slika 5).
- Isto tako su jednostavni i algoritmi za generisanje ravanskih preseka koji se potom šalju na RP mašinu radi izrade modela.
- Konačno, za potrebe prilagođavanja veličini radnog prostora mašine, STL datoteke mogu se podeliti u veći broj segmenata i tako omogućiti izradu većih modela.



Sl. 5 Površina zuba aproksimirana mrežom trouglova

Imajući u vidu da prisustvo tehnoloških informacija (izrada modela u boji) nije neophodna pri izradi dentalne hirurške vođice, STL format ispunjava oba postavljena uslova i na osnovu toga je prihvaćen kao format za razmenu podataka.

## 5. ZAKLJUČAK

RP tehnologije su definitivno široko rasprostranjene u oblasti medicine i pokazuju veliki potencijal za primenu u stomatologiji. Mogu se koristiti u okviru hirurškog planiranja, simulacije, obuke ali i izrade dentalnih nadoknada i hirurških vođica. Razvoj RP sistema sa stanovišta brzine, cene, preciznosti, materijala (posebno

biomaterijali) i uska saradnja između stomatologa, radiologa i inženjera su neophodni kako bi RP tehnologije dale svoj maksimum u tako važnoj oblasti kao što je stomatologija.

## 6. REFERENCE

- [1] Qingbin, L., Ming, C. L., Stephen, M. S.: *Rapid prototyping in dentistry: technology and application*, Int J Adv Manuf Technol, Vol.29, p.p. 317-335, 2006.
- [2] Sohmura, T., Yoich K.: *Original computer aided support system for safe and accurate implant placement—Collaboration with an university originated venture company*, Japanese Dental Science Review, Vol.46, p.p. 150-158, 2010.
- [3] Cioccaa, L., De Crescenziob, F., Fantinib, M., Scotti R.: *CAD/CAM and rapid prototyped scaffold construction for bone regenerative medicine and surgical transfer of virtual planning: A pilot study*, Computerized Medical Imaging and Graphics, Vol.33, p.p. 58-62, 2009.
- [4] Trainia, T., Manganob, C., Sammons, R.L., Manganod, F., Macchib, A., Piattelli A.: *Direct laser metal sintering as a new approach to fabrication of an isoelastic functionally graded material for manufacture of porous titanium dental implants*, Dental materials, Vol.24, p.p. 1525-1533, 2008.
- [5] Ebert, C.L., Thali, M.J., Ross, S.: *Getting in touch—3D printing in Forensic Imaging*, Forensic Science International, Vol.211, p.p. e1-e6, 2011.
- [6] Richard van Noort: *The future of dental devices is digital*, Dental materials, Vol.28, p.p 3-12, 2012.
- [7] Plančak, M.: *Brza izrada prototipova, modela i alata*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2009.

**Autori: Dejan Movrin, Igor Kačmarčik, Prof. Dr. Miroslav Plančak** Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet Tehničkih Nauka, Departman za Proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2317.  
E-mail: [movrin@uns.ac.rs](mailto:movrin@uns.ac.rs)  
[igorkac@uns.ac.rs](mailto:igorkac@uns.ac.rs)  
[plancak@uns.ac.rs](mailto:plancak@uns.ac.rs)

### **Napomena:**

*Rezultati prikazani u ovom radu deo su rezultata istraživanja na projektu "Istraživanje i razvoj metoda modeliranja i postupaka izrade dentalnih nadoknada primenom savremenih tehnologija i računarom podržanih sistema" TR-35020, koga finansira Ministarstvo za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj.*

Ivanišević, A., Lainović, T., Vilotić, D., Blažić, L., Gerić, K.

**TEST POPREČNOG SABIJANJA  
- METODA ZA TESTIRANJE KRTHI STOMATOLOŠKIH MATERIJALA**

**Rezime:** Materijali za izradu dentalnih nadoknada se koriste za zamenu oštećenih zubnih struktura u cilju obezbeđivanja zdravlja, pravilne funkcije, i estetike zuba. Savremena stomatologija podrazumeva korišćenje stomatoloških materijala koji zadovoljavaju kriterijume estetske restauracije. Restaurativni materijali, odgovarajućih estetskih svojstava, većinom su krti materijali, za razliku od neestetskih materijala, poput amalgama ili zlata. Laboratorijska testiranja materijala omogućavaju uvid u njihova svojstva i obezbeđuju informacije potrebne za adekvatan klinički odabir materijala, u zavisnosti od indikacije i polja primene. Test poprečnog sabijanja je uveden u oblast ispitivanja stomatoloških materijala kako bi se izbegli problemi koji se javljaju prilikom primene standardnog testa zatezanja. Test poprečnog sabijanja je postao standardni test za ispitivanje zatezne čvrstoće krtih stomatoloških materijala.

**Ključne reči:** test poprečnog sabijanja, Brazilska metoda testa zatezanja, stomatološki materijali, stomatološki kompozitni materijali na bazi smola

**1. UVOD**

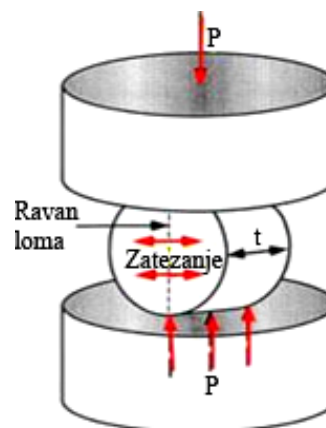
Cilj savremene resturativne stomatologije je reparacija i rekonstrukcija zubne strukture oštećene usled prisustva karijesnih i nekarijesnih lezija, traumatskih oštećenja ili razvojnih anomalija [1]. Najčešće korišćeni stomatološki materijali za direktne zubne ispune su kompozitni materijali na bazi smola [2].

Stomatološki kompozitni materijali se baziraju na svetlosno-polimerizujućim monomerima smole koji se vezuju i očvršćavaju kada se izlože dejstvu svetla vidljivog dela spektra. Ovi materijali predstavljaju trodimenzionalnu kombinaciju matriksa organske smole i neorganskih čestica punioca [3,4]. Organo-silan je treća komponenta u sastavu ovih materijala koja obezbeđuje vezu između organske i neorganske, međusobno nerastvorljive komponente [3,4]. Dentalni kompozitni materijali se unose u zubne kavitete u plastičnom stanju, a potom se svetlosno polimerizuju izlaganjem svetlu određenog stomatološkog svetlosnog izvora. Nakon završenog procesa polimerizacije materijala, celokupna mehanička svojstva ispuna su dostignuta.

Stomatološki kompozitni materijali ponašaju se kao krti materijali, i plastična deformacija ovih materijala izostaje pri opterećenju [5]. Kompoziti imaju visoke i zadovoljavajuće vrednosti pritise čvrstoće, ali niske vrednosti zatezne čvrstoće. Kada se ovi materijali podvrgnu testu zatezanja dolazi do pojave određenih poteškoća [6]. Zbog pojave prevremenog pucanja ovih materijala pri

zatezanju, klasičan test zatezanja je teže izvodljiv [7]. Oštećenje uzoraka ovih materijala ne javlja se samo na delovima uzoraka na kojima se to očekuje, nego i na delovima koji služe za prihvatanje prilikom testiranja ili na vratnom delu uzoraka [8].

Test poprečnog sabijanja (inidirektni test zatezanja ili Brazilski test zatezanja; engl. diametral tensile strength test- DTS) je uveden kao metoda testiranja krtih stomatoloških materijala kako bi se izbegli problemi koji se javljaju prilikom sprovođenja konvencionalnog testa zatezanja [7,9]. Ovaj test omogućava zaobilazanje pomenutih poteškoća standardnog testa i izbegavanje mogućih prevremenih fraktura uzoraka pri zatezanju [10,11,12]. Pri indirektnom testu zatezanja cilindrični uzorak se opterećuje pritiskom silom, ali ne u pravcu aksijalne ose cilindra nego u pravcu poprečne ose [13,14], slika 1.



Sl.1. Šematski prikaz testa poprečnog sabijanja [15]

Ovakva procedura omogućava pojavu zateznih napona unutar uzorka u ravni delovanja sile [9]. Bočno istežanje uzorka je približno ekvivalentno onom koje be se javilo pri primeni standardnog testa zatezanja [9,11].

Cilj ovog rada je bio da se opiše test poprečnog sabijanja i da se ispita otpornost savremenih stomatoloških kompozitnih materijala na poprečno sabijanje.

## 2. MATERIJALI I METODA

Testirana su tri reprezentativna kompozitna materijala na bazi smola: nanohibridni (Filtek Z550, 3M ESPE), mikrohibridni kompozit (Filtek Z250, 3M ESPE) i nanopunjeni (Filtek Ultimate Body, 3M ESPE). Detaljni podaci o korištenim materijalima navedeni su u tabelama 1, 2 i 3.

Naziv:	Filtek Z550 (FZ550)
Proizvođač:	3M ESPE, St. Paul, MN, USA
Klasifikacija:	Nanohybrid
Lot broj:	N340139
Boja:	A2
Organski matriks:	Bis-GMA, UDMA, Bis-EMA, TEGMA and PEGDMA
Neorganski punioci:	Površinski modifikovane cirkonijum dioksidne/silicijum-dioksidne čestice-3000 nm (3 $\mu$ m ili manje), neaglomerisane površinski modifikovane silicijum-dioksidne čestice (20 nm)
Udeo neorganskog dela:	82 težinski %, 68 zapreminski %

Tabela 1. Podaci o Filtek Z550 materijalu

Naziv:	Filtek Z250 (FZ250)
Proizvođač:	3M ESPE, St. Paul, MN, USA
Klasifikacija:	Microhybrid
Lot broj:	N367949
Boja:	A2
Organski matriks:	Bis-GMA, UDMA, Bis-EMA, TEGMA
Neorganski punioci:	Cirkonijum dioksidne i silicijum-dioksidne čestice 10 – 3500 nm (0,01-3,5 $\mu$ m)
Udeo neorganskog dela:	75-85 težinski %, 60 zapreminski %

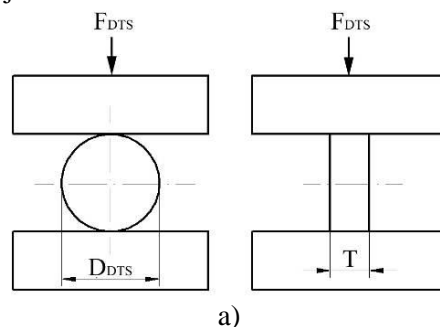
Tabela 2. Podaci o Filtek Z250 materijalu

Uzorci korišteni u eksperimentu su napravljeni pomoću cilindričnih kalupa. Kalupi su izrađeni primenom tehnologije brze izrade prototipova.

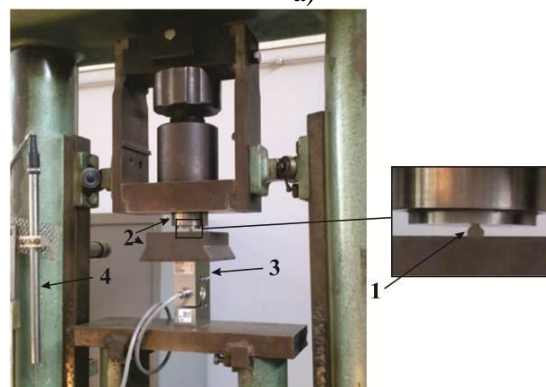
Dimenzije uzoraka su bile  $\phi$ 5x2mm. Prilikom izrade uzoraka korišćeni su cilindrični kalupi, postavljeni na ravnu staklenu ploču, zatim ispunjeni stomatološkim kompozitnim materijalom, pa pokriveni sa gornje strane drugim mikroskopskim staklom. Nakon toga material je kroz staklo polimerizovan 40 sekundi svetlom svetlosnog izvora SmartLite® IQTM 2 LED (Dentsply Caulk). Prilikom izrade uzoraka vođeno je računa da ne dođe do zarobljavanja vazduha ili bilo kakvog vida nečistoća unutar kalupa.

Naziv:	Filtek Ultimate Body (FUB)
Proizvođač:	3M ESPE, St. Paul, MN, USA
Klasifikacija:	Nanofilled
Lot broj:	N349776
Boja:	A2
Organski matriks:	Bis-GMA, UDMA, Bis-EMA, TEGMA and PEGDMA
Neorganski punioci:	neaglomerisane silicijum-dioksidne čestice (20 nm), neaglomerisane cirkonijum-dioksidne čestice (4-11 nm) i agregati cirkonijum dioksidnih/silicijum-dioksidnih čestica (prosečna dimenzija klastera – 0,6-10 $\mu$ m)
Udeo neorganskog dela:	78,5 težinski %, 63,3 zapreminski %

Tabela 3. Podaci o Filtek Ultimate Body materijalu



a)



b)

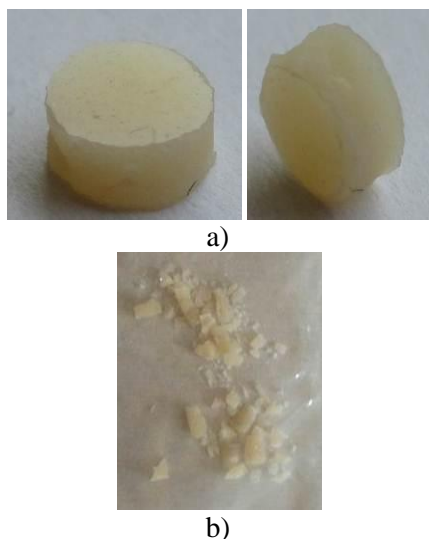
S1.2. Test poprečnog sabijanja (a i b)  
1 – uzorak, 2 – gornji i donji alat, 3 – davač sile S9M, 4 – davač hoda



Sl. 3. Univerzalni pojačivač Spider8

Eksperimentalni deo rada je sproveden u Laboratoriji za materijale na Fakultetu tehničkih nauka. Za test poprečnog sabijanja korištena su po tri uzorka svakog testiranog materijala. Uzorci su sabijani poprečno što je dovelo do pojave zateznih napona u materijalu u ravni delovanja sile, slika 1 i 2a. Za ovaj test korištena je mehanička presa – kidalica, nominalne sile 50 kN. Za precizno merenje sile i hoda u toku eksperimenta primenjeni su davač sile S9M (slika 2b (3)), davač hoda (slika 2b (4)) i univerzalni pojačivač Spider8 (slika 3). Eksperiment je sproveden bez podmazivanja. Brzina alata je iznosila 10mm/min. Sabijanje se izvodilo do pucanja uzorka, odnosno do pojave krtog loma.

Na slici 4 je dat prikaz jednog reprezentativnog uzorka pre i posle eksperimenta.

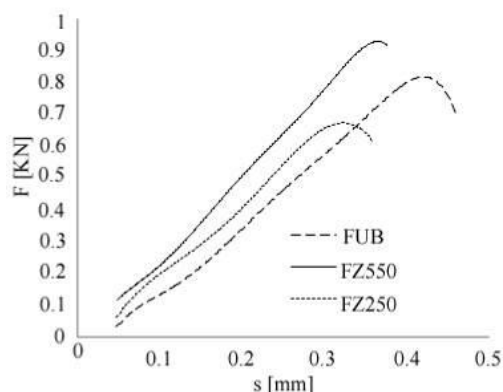


Sl. 4. Uzorak pre (a) i posle (b) eksperimenta

### 3. REZULTATI

Na slici 5, prikazane su krive zavisnosti sile od hoda izmerene u testu poprečnog sabijanja, za sva tri materijala. Vrednosti čvrstoće materijala dobijene poprečnim sabijanjem prikazane su na slici 6.

Sa slike 5 se može zaključiti da je zavisnost sile i hoda za sva tri materijala približno linearna. Vrednost sile raste do pojave krtog loma. Test poprečnog sabijanja pokazuje da je najveća vrednost sile (0,95kN) ostvarena za materijal FZ550, dok je najmanja vrednost sile (0,65kN) zabeležena za materijal FZ250.



Sl. 5 Dijagram sila-hod ostvaren u testu poprečnog sabijanja

Vrednosti čvrstoće testiranih materijala dobijene poprečnim sabijanjem (diametral tensile strength- DTS) su proračunate primenom izraza (1):

$$DTS = \frac{2 \cdot F_{DTS}}{T \cdot \pi \cdot D_{DTS}} \left[ \frac{N}{mm^2} \right] \quad (1)$$

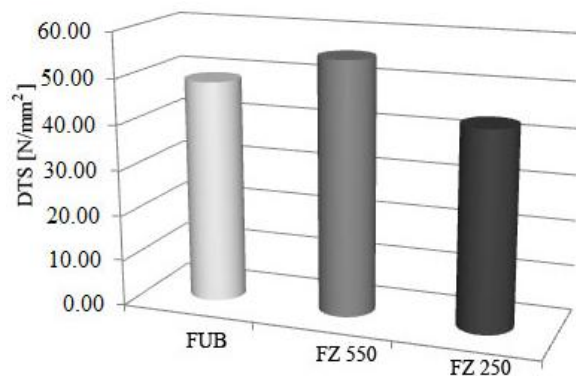
u kom je:

$F_{DTS}$  – sila ostvarena u procesu [N] (slika 2a)

$D_{DTS}$  – prečnik uzorka [mm] (slika 2a)

$T$  – debljina uzorka [mm] (slika 2a).

Vrednosti čvrstoće na poprečno sabijanje, izračunate prema izrazu (1), prikazane su na slici 6.



Sl. 6. Vrednosti čvrstoće dobijene poprečnim sabijanjem

Prema proračunima izvršenim primenom izraza (1) najviše vrednosti čvrstoće u testu poprečnog sabijanja imao je nanohibridni materijal FZ550, a najniže mikrohibridni materijal FZ250, slika 6.

### 4. ZAKLJUČAK

Test poprečnog sabijanja valjka je popularan test koji se koristi za ispitivanje krtih dentalnih materijala, zbog svoje jednostavnosti i reproduktivnosti. Pomoću ovog testa moguće je

ostvariti zatezne napone primenom pritisnog opterećenja. Ovaj test predstavlja prikladan metod za testiranje krutih materijala, ali može dati pogrešne rezultate ukoliko se primeni za testiranje deformabilnih materijala.

Analizom prikazanih rezultata moguće je zaključiti da su stomatološki kompozitni materijali na bazi smola kruti materijali i da je test poprečnog sabijanja adekvatan test za određivanje njihove zatezne čvrstoće. Izmerene su više vrednosti čvrstoće kod materijala koji sadrže nanočestice.

## 5. ZAHVALNICA

Ovaj rad predstavlja deo istraživanja ostvarenih u okviru projekta "Istraživanje i razvoj metoda modeliranja i postupaka izrade dentalnih nadoknada primenom savremenih tehnologija i računarnom podržanih sistema" – TR 035020 finansiranog od strane Ministarstva za Nauku i Tehnološki Razvoj Republike Srbije (Ivanišević A., Lainović T., Vilotić. D., Blažić L.)  
Autori se zahvaljuju kompaniji 3M (East) AG u Srbiji na podršci.

## 6. REFERENCE

- [1] Nicholson, J.W., Czarnecka, B.: *The clinical repair of teeth using direct filling materials: engineering considerations*, Proceeding of the institution of mechanical engineers, part H: Journal of engineering in medicine, vol. 220, pp. 635-645, 2006.
- [2] Sadowsky, S.J.: *An overview of treatment considerations for esthetic restorations: a review of the literature*, Journal of Prosthetic Dentistry, vol. 96, p.p. 433-442, 2006.
- [3] Cramer, N.B., Stansbury, J.W., Bowman, C.N.: *Recent advances and developments in composite dental restorative materials*, Journal of Dental Research, vol. 90(4), p.p. 402-416, 2011.
- [4] Chen, M.H.: *Update of dental nanocomposites*, Journal of Dental Research, vol. 89(6), p.p. 549-560, 2010.
- [5] Ban, S., Anusavice, K.J.: *Influence of Test Method on Failure Stress of Brittle Dental Materials*, Journal of Dental Research, vol. 69(12), p.p. 1791-1799, 1990.
- [6] McCabe, J.F. Walls, A.W.G.: *Applied Dental Materials*, Ninth Edition, Blackwell Publishing Ltd., Oxford, UK, 2008.
- [7] Darvell, B.W.: *Materials Science for Dentistry*, ninth edition, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK, 2009.
- [8] Krishnan, A.: *Mechanical properties of dental materials*, WebDental, available at <http://www.webdental.com/profiles/blogs/mechanical-properties-of>, cited
- [9] Sakaguchi R., Powers J.: *Craig's Restorative Dental Materials*, 13<sup>th</sup> ed., Elsevier, USA, Philadelphia, 2012.
- [10] Cho, G.C. Kaneko, L.M. Donovan, T.E. White, S.N.: *Diametral and compressive strength of dental core materials*, Journal of Prosthetic Dentistry, vol. 82(3), p.p. 272-276, 1999.
- [11] Aguiar, F.H.B. Braceiro, A.T.B. Ambrosano, G.M.B. Lovadino, J.R.: *Hardness and diametral tensile strength of a hybrid composite resin polymerized with different modes and immersed in ethanol or distilled water media*, Dental Materials, vol. 21, p.p. 1098-1103, 2005.
- [12] Mota, E.G. Oshima, H.M.S. Burnett L.H.Jr., Pires, L.A.G. Rosa, R.S.: *Evaluation of diametral tensile strength and knoop microhardness of five nanofilled composites in dentin and enamel shades*, Stomatologija, Baltic Dental and Maxillofacial Journal, vol. 8, p.p. 67-69, 2006.
- [13] Pitt, K.G., Newton, J.M., Stanley, P.: *Tensile fracture of doubly-convex cylindrical discs under diametrical loading*, Journal of Materials Science, vol. 23, p.p. 2723-2728, 1988.
- [14] Steele, S.: *Strength Definitions*, available at <http://www.scribd.com/doc/37055552/Strength-Definitions>, cited on May 19<sup>th</sup> 2013.
- [15] <http://quizlet.com/4157499/print/>

**Autori: Ivanišević Aljoša<sup>1</sup>, prof. dr Vilotić Dragiša<sup>1</sup>, prof. dr Gerić Katarina<sup>1</sup>**, <sup>1</sup>Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija.

**dr Lainović Tijana<sup>2</sup>, prof. dr Blažić Larisa<sup>2, 3</sup>**, <sup>2</sup>Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski Fakultet Novi Sad, Katedra za stomatologiju, Hajduk Veljkova 3, 21000 Novi Sad, Srbija. <sup>3</sup>Klinika za stomatologiju Vojvodine, Hajduk Veljkova 12, Novi Sad, Srbija.

E-mail: [aljosa@uns.ac.rs](mailto:aljosa@uns.ac.rs)  
[tijana.lainovic@gmail.com](mailto:tijana.lainovic@gmail.com)  
[vilotic@uns.ac.rs](mailto:vilotic@uns.ac.rs)  
[larisa.blazic@gmail.com](mailto:larisa.blazic@gmail.com)  
[gerick@uns.ac.rs](mailto:gerick@uns.ac.rs)



Štrbac, B., Potran, M., Hadžistević, M., Trifković, B., Vuletić, J., Hodolič, J.

## OBEZBEĐENJE KVALITETA I IZBOR POSTUPAKA ZA IZRADU RADNIH MODELA U FIKSNOJ PROTETICI

**Rezime:** Izrada fiksnih zubnih nadoknada obuhvata klinički i laboratorijski postupak tokom koga se vrši reprodukcija i transfer intraoralnog stanja pacijenta, ekstraoralno na budući radni model. Predstavljena je prva faza u izradi zubnih nadoknada, čiji model predstavlja spoj savremenih mašinskih tehnologija i tehnika otiskivanja zuba. Tačnost dimenzija reprodukovanog radnog modela je od fundamentalnog značaja za kvalitet buduće fiksne zubne nadoknade.

**Ključne reči:** otisni materijali, adicioni silikoni, fiksne zubne nadoknade

### 1. UVOD

Izrada fiksnih zubnih nadoknada obuhvata klinički i laboratorijski postupak tokom koga se vrši transfer i reprodukcija intraoralnog stanja pacijenta, ekstraoralno na budući radni model. Procedura laboratorijskog dela izrade metalokeramičkih zubnih nadoknada obuhvata niz postupaka koji započinju izlivanjem radnog modela, a nastavljaju sa pravljenjem voštanih modela – analoga zubne nadoknade, izlivanjem metalne substrukture i nanošenjem i pečenjem keramičkog sloja. Zbog komplikovanog postupka izrade zubnih nadoknada, neophodno je tačno i precizno zabeležiti morfologiju tvrdih i mekih tkiva u ustima pacijenta i te odnose preneti na radni model. Sa laboratorijskog aspekta izrade zubnih nadoknada, izlivanje tačnog i preciznog radnog modela predstavlja prvi i najbitniji korak, pošto svaka sledeća faza doprinosi daljem povećanju greške tokom izrade, kao produkt čega može nastati neodgovarajuća zubna nadoknada [1].

Reprodukcija intraoralnog stanja u savremenoj stomatološkoj praksi može se vršiti na konvencionalan način, korišćenjem otisnih materijala, i digitalno, pomoću intra i ekstraoralnih skenera. Osim intraoralnih skenera, gde tačnost i preciznost otiska, nezavisno od načina preparacije, zavisi od mernog uređaja i softverske obrade dobijenog virtuelnog modela, konvencionalan način i prva faza ekstraoralnog skeniranja se još uvek oslanja na svojstva savremenih otisnih materijala radi tačne i precizne reprodukcije stanja u ustima [2].

Ispitivanje osobina otisnih materijala predmet je interesovanja naučne zajednice još od njihovog uvođenja u kliničku upotrebu. Postupak ispitivanja definisan je ADA.19 standardom iz 1977 godine, u kome se nalaze smernice za ispitivanje osobina otisnih materijala [3]. Razvojem

savremenih tehnologija u oblasti metrologije, pruža se mogućnost naprednijeg merenja pojedinačnih faza tokom izrade zubnih nadoknada, posebno mogućnost trodimenzionalnog (3D) merenja koje nije moguće kod pomenutog standarda. Posmatrano sa tog aspekta, primena kooordinatne merne mašine (KMM) pruža pouzdan način za 3D proveru kvaliteta i mogućnost sagledavanja grešaka tokom svake faze kod izrade zubnih nadoknada [4]. Značaj primene ogleđa se u tačnosti merenja kao i mogućnosti nezavisne 3D analize segmenata svakog radnog modela, što predstavlja pomak u odnosu na dosadašnja istraživanja. U dosadašnjim istraživanjima najviše su korišćena merenja fotogrametrijom i alatnim mikroskopom [5,6,7] koja su vršena samo u dve dimenzije. Takođe, ispitivanje dimenzione stabilnosti i faktora koji na nju utiču, su u dosadašnjim radovima vršena na modelima vilica i brušenih zuba koji dimenzijama ne odgovaraju stanju u ustima [7,8,9]. Detaljnija analiza osobina otisnih materijala zahteva adekvatan model u skladu sa dimenzijama i odnosima koji se nalaze u ustima pacijenta, jer tačnost i preciznost otiska u velikoj meri zavisi od količine otisnog materijala i rastojanja među brušenim zubima [6,10]. Primena kooordinatne merne mašine (KMM) trebalo bi da pruži niz pogodnosti sa mernog aspekta u unapređenju analize ponašanja otisnih materijala tokom postupka uzimanja otisaka i pravljenja radnih modela.

U ovom radu predstavljena je prva faza u izradi fiksnih zubnih nadoknada, faza dobijanja radnog modela, gde je kontrola tačnosti izrade ostvarena uz pomoć CAD/CAM/RE i CAI sistema. Za CAI sistem korišćena je KMM Carl Zeiss Contura G2 RDS.

## 2. MATERIJALI I METODE

Proces dobijanja fiksnih zubnih nadoknada može se podeliti u nekoliko faza. Prva faza koja sledi nakon brušenja zuba predstavlja uzimanje otiska izbrušenih zuba i izlivanje radnog modela (slika1). U okviru sprovedenog istraživanja, prvi korak obuhvatao je pravljenje master modela od nerđajućeg čelika, računajući sve etape razvoja geometrijske specifikacije proizvoda. Dimenzije zuba preuzete su iz literature, nakon čega je dizajniran CAD model gornje vilice sa šest brušenih zuba u programskom sistemu Pro/E, koji odgovara stanju u ustima nakon brušenja zuba za semicirkularni most [11]. Model gornje vilice predstavljao je sklop tipskih geometrijskih primitiva (ravni, kupe, cilindri). Upotrebom odgovarajućeg obradnog sistema i automatizovanim programiranjem obradnog sistema (CAM) u posebnom modulu Pro/E dobijeni su delovi sklopa gornje vilice. Pozicioniranje i stezanje brušenih zuba na osnovnu ploču ostvareno je navojnom vezom i dobijen je realni master model. Nakon toga usledila je verifikacija - merenje master modela. U ovoj fazi koristila se koordinatna merna mašina opremljena kontaktnim senzorom. Verifikacijom master modela utvrđena su odstupanja u odnosu na CAD model i na osnovu njih napravljen je negativ CAD modela, tj. model individualne kašike. Za dobijanje fizičkog modela individualne kašike primenjena je aditivna tehnologija – Rapid Prototyping.

Cilj eksperimentalnog istraživanja u kome je korišćena pomenuta metodologija, je ispitivanje uticaja vremena otiskivanja i količine otisnog materijala na preciznost izlivanja radnog modela. Za potrebe istraživanja, pomoću aditivne tehnologije napravljene su tri individualne kašike sa međuprostorom od 1mm, 2mm i 3mm. Dodatni faktor variranja je bio uticaj vremena otiskivanja, tako da je vreme otiskivanja bilo podeljeno na 5 vremenskih intervala. Usledilo je izlivanje gipsanih radnih modela respektujući dva faktora varijabiliteta. U cilju sprovođenja statističke analize rezultata svaka kombinacija faktora je ponovljena šest puta.

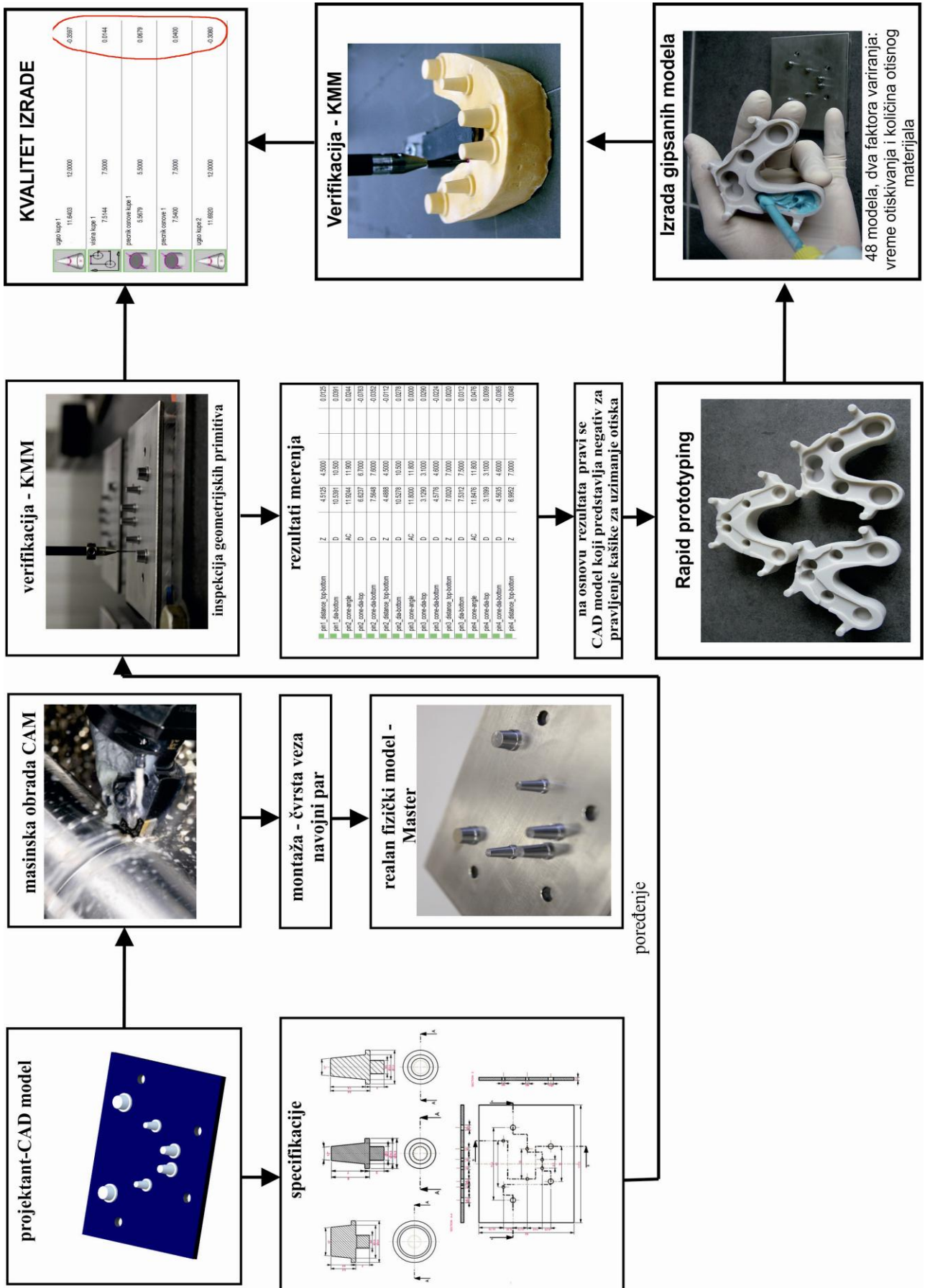
### 2.1 Merenje gipsanih modela na koordinatnoj mernoj mašini (KMM)

Koordinatna merna mašina predstavlja pouzdan merni uređaj za naučnoistraživački rad u stomatologiji. Posebnu pogodnost u primeni KMM je mogućnost korišćenja bezkontaktnih senzora koji za veoma kratak vremenski interval mogu da izvrše 3D digitalizaciju i kontrolu

kvaliteta složenih površina gde može da se svrstaju i ljudski zubi. Primenom ove tehnike prikupi se veliki broj tačaka uz pomoć kojih se generiše CAD model. Nedostatak bezkontaktnih senzora je mnogo veća nepreciznost u odnosu na kontaktne senzore. Pored ove dobre karakteristike kontaktnih senzora oni imaju ograničenje u vidu vremena trajanja digitalizacije, nemogućnosti digitalizacije nepristupačnih kontura, putanja mernog senzora je određena unapred, itd.).

Kako se model sastoji od osnovnih geometrijskih oblika u ovom radu merenje gipsanih radnih modela vršeno je prema najnovijoj generaciji standarda GPS (geometrijska specifikacija proizvoda) [12]., primenom kontaktnog VAST XXT senzora na gore pomenutoj koordinatnoj mernoj mašini. U cilju merenja sa manjom mernom nesigurnošću, merenje je vršeno metodom „tačka po tačka“. Za opisivanje realne geometrije uzet je relativno velik broj tačaka pomoću kojih se dobija ekstraktovana geometrija modela. Primenom metode najmanjih kvadrata na ove tačke i korišćenjem Gausov-og nisko propusnog filtera dobijena je asocijativna geometrija. Poređenje nominalne geometrije (CAD model) i asocijativne geometrije dobijeni su rezultati merenja koji su izraženi bez merne nesigurnosti.

Udeo merne nesigurnosti u rezultatu merenja je zanemaren jer su svi gipsani modeli mereni pod istim uslovima (laboratorijski uslovi) 24 časa nakon izlivanja, zauzimali su isto mesto na radnom prostoru mašine, isti operater, inspekcija je vršena istom mernom strategijom i korišćen je isti merni pipak. Za parametre kvaliteta izrade gipsanih modela najviše pažnje je posvećeno rastojanjima između izvedenih karakteristika, tj rastojanjima između modela brušenih zuba. Paralelnost i međusobni odnosi površina izbrušenih zuba predstavljaju preduslov za mogućnost adaptacije zubnih mostova u kliničkoj situaciji. Procena rastojanja i odnosa tih površina je prema tome sagledana iz perspektive ponašanja otisnih materijala u zavisnosti od rastojanja, računajući i napred navedene faktore uticaja. Primenom statističkih alata doći će se do saznanja da li su faktori signifikantni na kvalitet izrade zubnih nadoknada. Statističkim analizama ispitaće se tačnost uzimanja otiska dok ponovljenim merenjem istog dela može da se sprovede analiza mernog sistema. Ako bi svako merenje izvršilo više operatera sprovela bi se kompletna analiza ponovljivosti i reproduktivnosti (R&R studija), čime bi se varijabilitet procentualno izdelio na varijabilitet uzimanja otiska, tj izlivanja radnog modela, varijabilitet mernog sistema i varijabilitet operatera.



Slika1. Postupak verifikacije radnog modela u odnosu na master model

### 3. ZAKLJUČAK

Provera kvaliteta izrade zubnih otisaka trenutno je u fazi izrade i merenja gipsanih modela prema predloženim faktorima variranja. U narednom periodu sprovedeće se statistička analiza podataka na osnovu koje može da se izvedu odgovarajući zaključci.

- uticaj vremena otiskivanja na tačnost i preciznost radnog modela,
- uticaj količine otisnog materijala na tačnost i preciznost radnog modela,
- Analiza kontrakcije i deformacije otisnog materijala u 3D, i
- međusobni uticaj faktora koji doprinose mernoj nesigurnosti.

### 4. LITERATURA

- [1] Rosenstiel, S.F, Land M.F, Fujimoto J.: *Contemporary fixed prosthodontics- third edition*, Mosby Inc., St. Louis 2001
- [2] Persson, A., Odén, A., Andersson, M., Sandborgh-Englund, G. *Digitization of simulated clinical dental impressions: Virtual three-dimensional analysis of exactness*. Dental materials 25;2009: 929–936.
- [3] American National Standards institute/ American Dental Association. ANNSI/ADA specification no.19, dental elastomeric impression materials. Chicago: ADA. Journal of the American Dental Association 94( 2007), 733- 741.
- [4] Marković D., et al., *The dimensional stability of elastomeric dental impression materials*. Contemporary Materials, III-1 (2012), 105-110.
- [5] Chandur P.K.W., Johnson G.H., Lepe X., Raigrodski A.J. *Accuracy of newly formulated fast-setting elastomeric impression materials*. The journal of prosthetic dentistry 2005;93: 530-539.
- [6] Nissan J., Gross M., Shifman A., Assif D. *Effect of wash bulk on the accuracy of polyvinyl siloxane putty-wash impressions*. Journal of Oral Rehabilitation 2002;29:357-361.
- [7] Faria A.C.L., Rodrigues R.C.S., Macedo A.P.M., Mattos M.G.CH., Ribeiro R.F.R. *Accuracy of stone casts obtained by different impression materials*. Brazilian Oral research 2008; 22(4): 293-298.
- [8] Caputi, S., Giuseppe, V. *Dimensional accuracy of resultant casts made by monophasic, one-step and two-step, and a novel two-step putty/light-body impression technique: An in vitro study*. The journal of prosthetic dentistry 2008;99:274-281.
- [9] Boulton J.L., Gage J.P, Vincent P.F, Basford K.E. *A laboratory study of dimensional changes for three elastomeric impression materials using custom and stock trays*. Australian Deantal Journal 1996;41(6): 398-404.
- [10] Mandikos M.N. *Polyvinyl siloxane impression materials: An update on clinical use*. Australian Dental Journal 1998;43(6): 428-434.
- [11] Martinovic, Ž. *Osnovi dentalne morfologije*. Javno preduzeće „Službeni Glasnik“, Beograd 2000.
- [12] Hamienny, Z., Bialas, S., Osanna, P.H., Tamre, M., Weckenmann, A., Blunt, L., Jakubiec, W: *Geometrical Product Specifications – Course for Technical Universities*, Warsaw, Warsaw University of Technology, 2001., ISBN 83-912190-8-9.
- [13] Stević, M., Vukelić, Đ., Budak, I., Matin, I., Stepien, K., Adamczak, S.: *Merenje/modeliranje geometrijskih specifikacija proizvoda*, Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka, 2009., ISBN 978-86-7892-194-0.

**Autori: M.Sc Branko Štrbac, Prof. dr Miodrag Hadžistević, Prof. Dr. Janko Hodolić**, Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Institut za Proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2306, Fax: +381 21 454-495.

E-mail: [strbacb@uns.ac.rs](mailto:strbacb@uns.ac.rs)  
[miodrags@uns.ac.rs](mailto:miodrags@uns.ac.rs)  
[hodolic@uns.ac.rs](mailto:hodolic@uns.ac.rs)

**Dr Michal Potran, , Dr Jelena Vuletić**, University of Novi Sad, Medical faculty Novi Sad, Department of dentistry, Hajduk Veljkova 12, 21000 Novi Sad, Serbia, Phone.: +381 21 661-33-62, Fax: +381 21 526-120.

**Asis.dr.sci Branka Trifković**, University of Belgrade, School of Dentistry, 11000 Belgrade, Rankeova 4, Phone: 011 2685 288.  
E-mail: [michalpotran@gmail.com](mailto:michalpotran@gmail.com)  
[brankatr@yahoo.com](mailto:brankatr@yahoo.com)  
[jelenavuletic@gmail.com](mailto:jelenavuletic@gmail.com)

### ZAHVALNICA

Rezultati prezentovani u ovom radu su realizovani u okviru projekta „Istraživanje i razvoj metoda modeliranja i postupaka izrade dentalnih nadoknada primenom savremenih tehnologija i računarom podržanih sistema“, TR – 35020, finansiranog od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

Matin, I., Potran, M., Hadžistević, M., Hodolić, J., Vukelić, D., Puškar, T.

## RAZVOJ SIMULACIONOG MODELA METALNE SUBSTRUKTURE ZA METALOKERAMIČKU KRUNICU

**Rezime:** U radu se predstavlja razvoj simulacionog modela metalne substrukture za metalokreamičku krunicu sa stanovišta modeliranja. Predlaže se skup CAD/CAE obeležja potrebnih za razvoj geometrijskih i tehnoloških karakteristika modela. Jedan od ciljeva rada je priprema čvrstog (solid) modela metalne substrukture za simulaciju livenja u programskom sistemu MAGMASOFT. Struktura geometrijski zahtevnog modela nakon korekcije u programskom sistemu My VGL sadrži nečistu (ne jasnu) geometriju i netačno pozicionirane poligone. Takav model je neophodno analizirati i generisati solid model. U radu se još predstavljaju mogućnosti rekonstrukcije ovakvog objekta korišćenjem programskog sistema Pro/E. Integrisani simulacioni CAD/CAE model je parametarski, objektno-orijentisan, zasnovan na tipskim oblicima, i tehnološkim informacijama.

**Ključne reči:** odlivak; numerička simulacija, baza podataka, baza znanja;

### 1. INTRODUCTION

Precizno livenje, je proces livenja gde se voštani modeli koriste za izradu grozda, stvaranje oblika i dimenzija kalupne šupljine koja se nakon topljena voštanih modela, premazuje i popunjava rastopljenom legurom. Precizno livenje omogućava ekonomičnu proizvodnju geometrijski zahtevnih metalnih odlivaka sa složenim površinama (free-form). Ovaj postupak se koristi za livenje različitih stomatoloških bio-kompatibilnih legura koje su najčešće obradive metodama skidanjem strugotine. Na tačnost i kvalitet odlivaka utiču dimenziona tačnost simulacionog modela, materijal, parametri livenja i hlađenja. Što je dimenzijona tačnost odlivka veća manji su dodaci za obradu brušenjem i poliranjem.

Uprkos svojoj popularnosti, tradicionalni metod preciznog livenja zahteva značajno vreme za pripremu alata. Ovakav način proizvodnje opravdaniji je u visoko serijskoj proizvodnji. U poslednje vreme sve više se koristi „brzo precizno livenje“ (Rapid Investment Casting) koje predstavlja integraciju brze izrade prototipa RP sa klasičnim metodama preciznog livenja.

Proces konvencionalnog preciznog livenja može podeliti u sledeće faze: projektovanje, izrada modela, izrada vatrostalnog bloka, uklanjanje (topljenje) voštanog modela, predgrevanje alata, livenje, hlađenje, vađenje i čišćenje odlivka.

Nakon hlađenja, grozd je neophodno više puta premazati premazom. Nakon sušenja, vosak se topi i model izlazi iz šupljine formirajući geometriju šupljine vatrostalnog bloka. Školjka se termički obrađuje da bi se povećala čvrstoća, smanjili zaostali naponi i uklonile preostale

isparljive komponente. Nakon toga, rastopljena metalna legura se uliva u zagrejan blok, odlivak se hladi i vadi. Sledi razdajanje metalne substrukture od ulivnog podsistema i njegovo čišćenje.

Pored ljudskih faktora, CAD sistem koji se koristi ponekad može biti ograničavajući faktor u proizvodnji preciznih digitalnih reprezentacija potrebnih za projektovanje i pretvaranje izvornih CAD podataka. U narednim poglavljima predstavice se način rekonstrukcije ulaznog digitalizovanog poligonalnog (facet) modela i generisanje simulacionog solid modela. Simulacioni model se sastoji od sklopa modela substrukture i modela ulivnog podsistema.

### 2. KARAKTERISTIKE SKENIRANOG MODELA

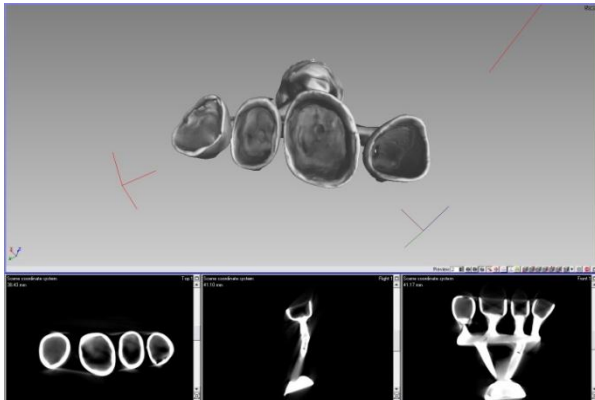
Površinski model se generiše sjedinjavanjem više paralelnih slika različitih poprečnih preseka. Ovakav način generisanja 3D objekta zasniva se na registraciji i mapiranju slika s ciljem stvaranja površinskog 3D objekta i poligonalnog modela. Poligonalni model se izvozi iz programskog sistema "My VGL" u programski sistem "Pro/E" zbog čišćenja ne jasnih obeležja, uklanjanja neispravno pozicioniranih tetraedara, i rekonstrukcije obeležja.

My VGL se često koristi u industrijskoj tomografiji i medicinskim istraživanjima a njegove datoteke i direktorijumi sadrže osnovne informacije, o skeniranom objektu.

Kvalitet slike u poprečnom preseku zavisi od maksimalnog broja različitog spektra sivih regiona na objektu. Vrednost opsega sivih boja izražava se koeficijentom. Veličina opsega podataka uvek je

manja ili jednaka sa veličinom opsega koeficijenta sivih boja.

Na slici 1. se prikazuje osečen i renderovan prikaz digitalizovanog modela sa projekcijama karakterističnih poprečnih preseka.

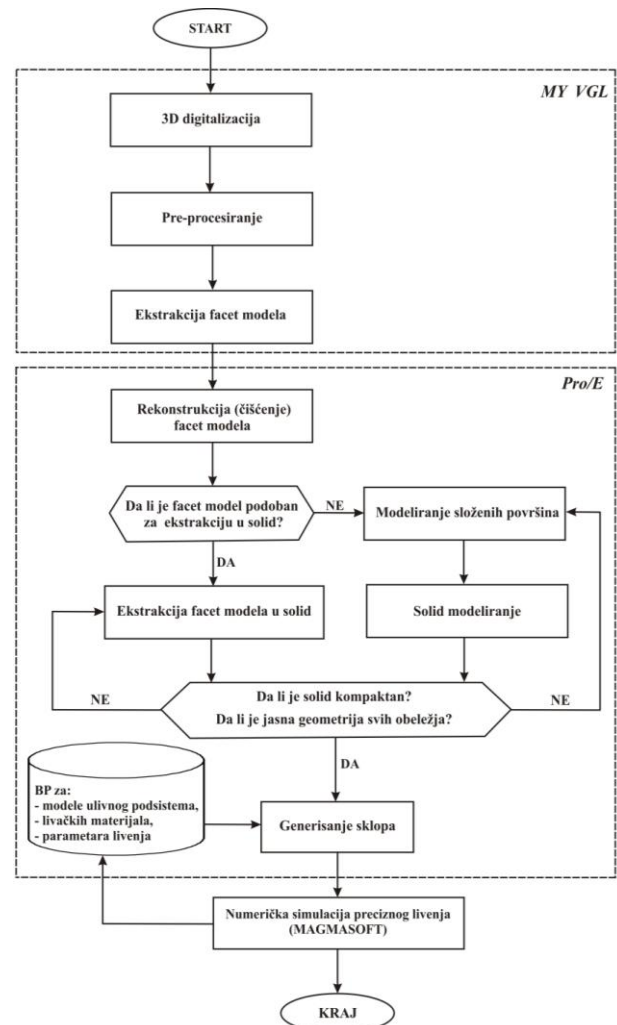


Slika 1. Prikaz skeniranog objekta

Koordinatni sistem u donjem levom uglu prikazuje orijentaciju ravni koje treba da su kolinearne sa adekvatnim osnovnim ravnima u programskom sistemu Pro/E. My VGL objekte datoteke sadrže podatke o broju zapreminskih elementa na svim slikama (voxel). Podaci o digitalizovanom objektu čija se gruba rekonstrukcija vrši u "My VGL" sistemu neposredno nakon skeniranja mora se upisati u projektnu VGL datoteku zajedno sa parametrima skeniranja i dodatnim informacijama o korišćenom CT skeneru "ZEISS METROTOM 1500".

Simulacioni model se sastoji od modela metalne substrukture i modela ulivnog podsistema. Prikaz toka razvoja simulacionog modela prikazuje se na slici 2. Razvoj simulacionog modela s obzirom na primenjene programske sisteme može se podeliti u dve grupe aktivnosti. Prva grupa aktivnosti podrazumeva generisanje skeniranog poligonalnog modela odlivka korišćenjem programskog sistema My VGL, dok druga grupa aktivnosti je usmerena na rekonstrukciju poligonalnog modela i ekstrakciju u solid model primenom programskog sistema Pro/E.

Ako se poligonalni model tokom ekstrakcije ne transformiše u zadovoljavajući solid, mora se primeniti konturno površinsko modeliranje i solidifikacija ili tanka solidifikacija (slika 2). Tanka solidifikacija obezbeđuje nastavak rada sa tipskim solid oblicima odnosno klasičnim metodama modeliranja, pri čemu se vreme modeliranja veće od vremena potrebnog za punu solidifikaciju.



Slika 2. Algoritam razvoja simulacionog modela

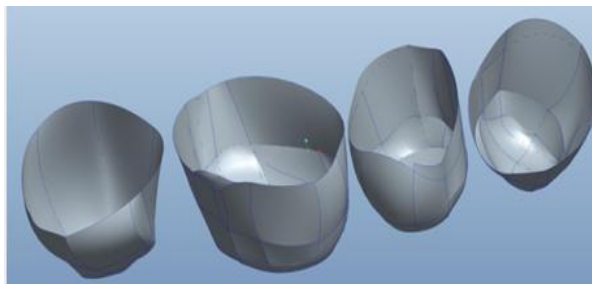
### 3. RAZVOJ SIMULACIONOG MODELA U PRO/E

#### 3.1 Generisanje obeležja

Tipski oblici (super-feature) neophodni za generisanje složenih površina sadrže konačan broj krivih i površina. Korisnički interfejs modula ISDX poseduje sledeće napredne softverske alate za:

- generisanje krive i površine na facet modelu,
- generisanje jednostavnih ili naprednih obeležja,
- generisanje krive na površini (COS),
- generisanje granične površine od najmanje 3 ili 4 granice,
- rekonstrukciju individualnih geometrijskih entiteteta ili njihovo kombinovanje u tipski oblik,
- generisanje veze između složenih površina,
- generisanje i integraciju CAD/CAE obeležja kao naprednih korisničkih obeležja (UDF) i
- analizu složene površina i granice.

Unutrašnje i spoljašnje konturne složene površine na modelu koriste se za tanku solidifikaciju, što dalje omogućava primenu postupka klasičnog solid modeliranja. Da bi se kvalitetno sprovela solidifikacija (TS) potrebno je da su granične odnosno konturne površine sjedinjene u jednu. Slika 3 prikazuje spoljašnje površinske konturne površine u fazi pripreme za “tanku solidifikaciju”.



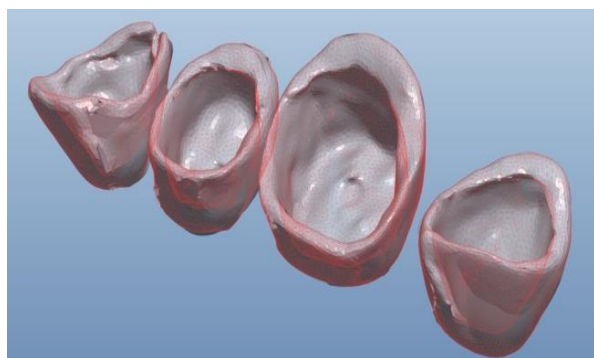
Slika 3. Deo površinskog modela substrukture u fazi pripreme za tanku solidifikaciju

Pre solidifikacije vrši se analiza površina s ciljem provere tangentnosti, maksimalnog spoljašnjeg i unutrašnjeg radijusa, dvostrukog ugla, nagiba, i sl. Neprekidne i diferencijabilne površine koje zadovoljavaju predhodne analize imaju “G1 karakteristike” i spremne su za spajanje i solidifikaciju ili tanku solidifikaciju.

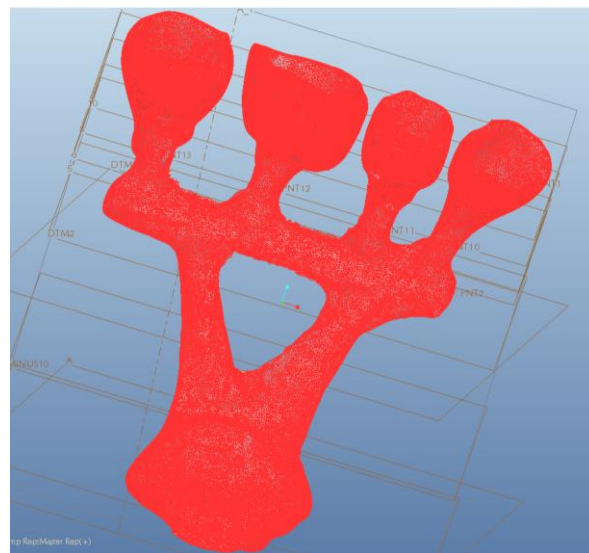
### 3.2 Rekonstrukcija poligonalnog modela i generisanje solid modela

Poligonalni model metalne substrukture bez modela ulivnog podsistema nakon korišćenja opcije “slobodnog čišćenja” se prikazuje na slici 4.

Poligonalni model odlivka nakon čišćenja primenom tzv „mehaničkog čišćenja“ se prikazuje na slici 5.



Slika 4. Poligonalni model metalne substrukture za metalokeramičku krunicu nakon primenjenog “slobodnog čišćenja”



Slika 5. Model odlivka nakon “mehaničkog čišćenja” tetraedara

Nakon čišćenja poligonalnog modela pristupa se ekstrakciji istog u solid model (shrink-wrap model).

### 3.3 Provera geometrije sa stanovišta modeliranja i verifikacija obeležja

Svi uvezeni ili izvezeni modeli treba da se verifikuju u modulu “Import Data Doctor” (IDD). U ovom modulu vrši se verifikacija, mapiranje i korekcija ne jasnih obeležja. Ovako proverena obeležja korišćenjem modula Pro/INTERFACE preko kovertora formata (ATB), pri izvozu obezbeđuju smanjenje grešaka i gubljenja neispravnih obeležja. Modul IDD propušta samo zadati kvalitet uvezenih/izvezenih tetraedara, složenih površina, ili zakrpa (patch).

### 3.4 Baza podataka za ulivne podsisteme

Baza podataka (BP) sadrži:

- CAD modele ulivnih podsistema sa različitim srednjim prečnicima ulivnih kanala ( $\varnothing 4\text{mm}$ ,  $\varnothing 5\text{mm}$ ,  $\varnothing 6\text{mm}$ ) i različitim uglovima ose ulivnih kanala prema vertikalnoj ravni ( $12^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ ,  $18^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$ ,  $22^{\circ}$ );
- stomatološke materijale za livenje (remanium 2000+ (CoCrMoW) u skladu sa DIN EN ISO 9693 / DIN EN ISO 22674, Trivest, Castorit super C, BEGO's Wirobond C (CoCrMoW), Heranium Partial Denture Alloys (CoCr) u skladu sa EN ISO 22674 i dr.) i
- parametre livenja i
- podatke o livačkoj mašini proizvođača “BEGO”.

#### 4. ZAKLJUČAK

Prikazani postupak rekonstrukcije obezbeđuje uklanjanje grešaka uvezenog poligonalnog modela korišćenjem univerzalnog CAx programskog sistema. Generisan solid model pokazuje da je kompletan metodološki pristup postigao zadovoljavajući rezultat, i da se može koristiti za modeliranje modela metalne substrukture za metalokeramičku krunice i ostalih stomatološki zahtevnih modela. Način pripreme simulacionog modela kao parametarskog i objektno-orijentisanog omogućava dalji nastavak CAE istraživanja. Objektno-orijentisani pristup zasnovan na tipskim elementima omogućava dobijanje preciznih modela, čak i onda kad je originalni podaci imaju značajne greške. Razvijena BP sadrži neophodne geometrijske i tehnološke informacije neophodne za generisanje simulacionih modela. Buduća istraživanja će biti usmerena na dva glavna pravca. Prvi je generisanje baze znanja i BP sa optimalnim parametrima livenja na osnovu numeričke simulacije. Drugi pravac biće usmeren na stvaranje korisničkog interfejsa za izbor optimalnih parametara livenja, legura i modela ulivnog podsistema korišćenjem savremenih inženjerskih tehnika (IR, SA, PDT) i programskog jezika VBA.

#### 5. REFERENCE

- [1] Cheah, C.M., Chua, C.K., Lee, C.W., Feng, C., Totong, K.: Rapid prototyping and tooling techniques: A review of applications for rapid investment casting, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 25: pp. 308–320., 2005, DOI 10.1007/s00170-003-1840-6.
- [2] Jevremovic, D.P., Puskar, T.M., Budak, I., Vukelic, DJ., Kojic, V., Eggbeer, D., Williams, R.J.: An RE/RM approach to the design and Manufacture of removable partial dentures with a biocompatibility analysis of the F75 Co-Cr SLM alloy, *Materiali in Tehnologije* Vol. 46, No.2, pp.123-129, 2012.
- [3] Jokinen, J., Makkonen, P., Saarelainen, T., Coatanea, E.: A strategy for cast part shape design optimisation, *International Conference on engineering design, ICED'07.*, Paris, France, 2007.
- [4] Matin, I., Hadzistevic, M., Hodolic, J., Vukelic, DJ.: Practical aspects of integration in the developed mold design system, *International Conference on Accomplishments in Electrical and Mechanical Engineering and Information Technology*“- DEMI, Faculty of Mechanical Engineering, Banja Luka, , Bosnia and Herzegovina, Republic of Srpska, 2013., <http://www.demi.rs.ba/2013/>
- [5] Matin, I., Markovic, D., Puskar, T., Hadzistevic, M., Hodolic, J., Vukelic, DJ., Potran, M.: Reconstruction of the dental CAD model, *International Scientific Conference “Flexibile Technologies”- MMA, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, 2012.*, pp.501-504., ISBN 987-86-7892-429-3.
- [6] Zhang, L., Wang, H., Xu, H.: Application of the reverse engineering to 3D reconstruction on a denture, *2nd International Conference on Mechatronics and Intelligent Materials, Advanced Material Research, Vol. 490-495*, pp. 2032-2036, 2012.
- [7] Zhou, H., Shi, S., Ma, B.: Virtual Injection Molding System Based on Numerical Simulation. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.40, No.3-4, pp.297-306, 2009.
- [8] Yue, Sh., Wang, G., Yin, F., Wang, Y.: Application of an integrated CAD/CAE/CAM system for die casting dies, *Journal of Materials Processing Technology* 139, No.1-3., pp.465-468., 2003.

**Authors: Mr. Ivan Matin, Prof. dr Miodrag Hadžistević, Prof. dr Janko Hodolič, Doc. dr Đorđe Vukelić**, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Telefon.: +381 21 450-366, Fax: +381 21 454-495.  
E-mail: [matini@uns.ac.rs](mailto:matini@uns.ac.rs)  
[miodrags@uns.ac.rs](mailto:miodrags@uns.ac.rs)  
[hodolic@uns.ac.rs](mailto:hodolic@uns.ac.rs)  
[vukelic@uns.ac.rs](mailto:vukelic@uns.ac.rs)

**Doc. dr Tatjana Puškar, Dr Michal Potran**, Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet Novom Sad, Departman za stomatologiju, Hajduk Veljkova 12, 21000 Novi Sad, Srbija, Telefon: +381 21 661-33-62, Fax: +381 21 526-120.  
E-mail: [tatjanapuskar@yahoo.com](mailto:tatjanapuskar@yahoo.com)  
[michalpotran@gmail.com](mailto:michalpotran@gmail.com)

#### ZAHVALNICA

Rezultati istraživanja prikazani u ovom radu predstavljaju deo istraživanja realizovanog na projektu “Istraživanje i razvoj metoda modeliranja i postupaka izrade dentalnih nadoknada primenom savremenih tehnologija i računarom podržanih sistema”, TR-35020, finansiran od Ministarstva za nauku i obrazovanje republike Srbije.



Agarski, B., Budak, I., Puškar, T., Vukelić, Đ., Marković, D., Hodolić, J.

## OBJEKTIVNI PRISTUP ODREĐIVANJU TEŽINA KRITERIJUMA PRI VIŠEKRITERIJSKOM VREDNOVANJU KVALITETA MERA ZAŠTITE NA RADU U DENTALNIM LABORATORIJAMA

**Rezime:** Radnici u dentalnim laboratorijama izloženi su različitim rizicima po zdravlje i stoga je neophodna primena odgovarajuće zaštite. U radu je urađeno višekriterijumsko vrednovanje deset dentalnih laboratorija iz Novog Sada sa aspekta kvaliteta mera zaštite na radu uz primenu različitih objektivnih metoda za određivanje težina. Problem je rešen primenom tri objektivna pristupa za dodeljivnje težina kriterijuma i otkrivene su neodgovarajuće mere zaštite u dentalnim laboratorijama.

**Ključne reči:** dentalne laboratorije, višekriterijumska analiza, objektivne težine, mere zaštite na radu

### 1. UVOD

Izrada fiksnih i mobilnih zubnih nadoknada konvencionalnim putem uključuje primenu „prljavih“ tehnologija. Prilikom izrade zubnih nadoknada u zubotehničkoj laboratoriji koristi se velik broj različitih materijala, kao što su legure Co-Cr-Mo, akrilati, keramički materijali, gipsevi, aluminijum tri oksid itd. Upotreba ovih materijala može prouzrokovati respiratorna oboljenja, dermatološke probleme i alergije kod zubnih tehničara [1, 2].

Primena mera zaštite na radu predstavlja moralnu i zakonsku obavezu. Adekvatna i efikasna zaštita sprečava potencijalni rizik od profesionalnih oboljenja. Primena zaštitnih maski za lice i odgovarajućeg ventilacionog sistema je potrebna da bi se osigurala bezbednost, obzirom na zagađenje vazduha u radnom okruženju dentalnih laboratorija.

Keramička i akrilna prašina, kao i ostale nečistoće, koje su prisutne u vazduhu dentalnih laboratorija tokom izrade zubnih nadoknada, mogu da oštete zdravlje zubnih tehničara, naročito ako ne koriste odgovarajuća zaštitna sredstva [1]. U prvom redu, može doći do oštećenja respiratornog sistema. Tokom obrade (brušenja) zubnih nadoknada i njihovih delova prašina i čestice fiksnih i mobilnih zubnih nadoknada dispergovane su u vazduhu.

Dugotrajno izlaganje neorganskoj prašini može dovesti do pneumokonioze i plućne fibroze, raka pluća, raka paranasalnih sinusa i raka grla [3]. Prašina koja potiče od kobalt-hrom legura i kobalt-hrom-molidben legura može prouzrokovati pneumokoniozu i raka pluća [4]. Tokom obrade (brušenja) estetskog dela fiksnih zubnih nadoknada keramička prašina dospeva u vazduh. Čestice keramičke prašine, karbida i metalne čestice mogu uzrokovati plućnu silokozu i ostale

patogene promene u disajnim putevima [2].

Alergijski kontaktni dermatitis je smatran za jedno od uobičajenih oboljenja stomatologa, zubnih tehničara i njihovih saradnika, koja se obično javlja nakon direktnog kontakta kože sa alergenom. Prilikom izrade mobilnih zubnih nadoknada zubni tehničari koriste akrilatne monomere koji mogu izazvati kontaktni dermatitis. Kontaktni dermatitis se obično javlja na distalnim falangama i na površinama šake i prstiju [5]. Takođe, u dentalnim laboratorijama postoji rizik od mehaničkih povreda. Povrede oka mogu biti mehaničke i hemijske. Erozijska rožnjača je najčešća povreda oka u dentalnim laboratorijama i nastaje kada mehaničkim putem, uništi epitel rožnjače. U području povredene rožnjače ostaje oštećeno tkivo i distalni deo nerva ophthalmicus-a bez zaštite epitela. U takvim situacijama, svaki pokret očnog kapka izaziva bol. Pored bola javlja se i fotofobija, suzenje i crvenilo. [6, 7].

S obzirom na to da rizici po zdravlje predstavljaju veliku opasnost za zubne tehničare, ovaj rad ima za cilj višekriterijumsko vrednovanje deset dentalnih laboratorija iz Novog Sada sa aspekta kvaliteta mera zaštite na radu uz primenu različitih objektivnih metoda za određivanje težina.

### 2. METODE ZA DODELJIVANJE TEŽINA

Višekriterijumska analiza ima široku primenu u problemima donošenja odluka i može biti veoma koristan alat za vrednovanje stomatoloških usluga. Ankete su uobičajen način prikupljanja podataka potrebnih za višekriterijumsku analizu i primenjuju se u radovima [8] gde je vrednovan kvalitet stomatoloških usluga. Kvalitet stomatološke usluge je vrednovan primenom AHP metode i pacijenti su „ponašanje stomatologa“ i

„odsustvo bola“ kao glavne pokazatelje kvaliteta usluge. Nadalje, Dome'jean-Orliaguet i ostali [9] su primenili višekriterijumsku analizu i anketu. Oni su zamolili stomatologe da vode evidenciju preventivnih i korektivnih tretmana na vitalnim zubima i nakon toga su primenili višekriterijumsku analizu da bi ispitali pacijente i stomatologe pri pružanju preventivnih i korektivnih stomatoloških usluga.

Dodeljivanje težina kriterijumima daje određeni nivo značajnosti kriterijumu u višekriterijumskoj analizi i stoga ima velik uticaj pri vrednovanju. Mogu se razlikovati subjektivni, objektivni i kombinovani pristupi pri dodeljivanju težina kriterijumima.

Subjektivne metode za dodeljivanje težina često se koriste i karakteriše ih izraziti uticaj donosioca odluke na značajnost kriterijuma. Jedan od najgrubljih načina jeste metoda direktnog dodeljivanja težina [10]. Veoma široko primenjene su metode parcijalno parnog poređenja kao što su Analitički hijerarhijski proces (AHP) [11] i Fulerov trougao [12]. Prema „tradeoff“ metodi donosilac odluke poredi dve alternative koje se razlikuju samo u dva kriterijuma dok se ostali kriterijumi drže na istom nivou [13]. „Swing“ dodeljivanje težina [10] zasnovano je na anketi prema kojoj donosilac odluke prvo dodeljuje maksimalni broj poena najznačajnijem kriterijumu a ostatak poena ostalim kriterijumima.

Kombinovani pristup dodeljivanju težina koristi objektivne i subjektivne metode da bi se odredile težine kriterijuma. Ovde se može izdvojiti zanimljiv pristup predstavljen u [12] gde su autori opisali metod sličan I-distance, gde se kriterijumi prvo hijerarhijski poređaju prema značajnosti, od najznačajnijeg do najmanje značajnog, da bi se zatim težine kriterijuma odredile prema vrednostima korelacije među kriterijumima.

Metode objektivnog dodeljivanja težina karakterišu slučajevi kada postoji odsustvo donosioca odluke i tada se težine formiraju na osnovu vrednosti iz matrice performansi. Primeri ovih metoda su: metod entropije [14], metod standardne devijacije [15], metod korelacije [15], CRITIC [16], FANMA [17], i I-distance [18].

### 3. OBJEKTIVNO DODELJIVANJE TEŽINA KRITERIJUMIMA

S obzirom na to da dodeljivanje težina ima značajan uticaj na konačni rezultat višekriterijumske analize, poseban akcenat u radu stavljen je na objektivne metode za dodeljivanje težina. Tri metode za objektivno dodeljivanje težina (CRITIC, metoda standardnih devijacija i metoda korelacija) opisane su u nastavku

zasnivaju se na izračunavanju težinskih koeficienata kriterijuma na osnovu vrednosti matrice performanse.

Ove tri metode za utvrđivanje kontrasta između kriterijuma koriste standardna odstupanja normalizovanih vrednosti matrice performanse, kao i koeficijente korelacije svih parova kriterijuma. Prvo se vrednosti  $a_{ij}$  matrice performansi normalizuju primenom jednačine 1:

$$x_{ij} = \frac{a_{ij} - a_j^-}{a_j^* - a_j^-} \quad i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m; \quad (1)$$

gde je:

$m$  – broj kriterijuma,  $n$  – broj alternativa,  
 $a_j^*$  - idealno vrednost j-kriterijuma ( $a_j$  maksimalna vrednost – za kriterijume tipa max i minimalna vrednost za kriterijuma tipa min),  
 $a_j^-$  - anti-idealna vrednost j-kriterijuma ( $a_j$  minimalna vrednost – za kriterijume tipa max i maksimalna vrednost za kriterijuma tipa min),  
 $a_{ij}$  - vrednost j-kriterijuma u matrici performansi,

nakon čega se računaju koeficijenti korelacije  $r_{jk}$  primenom jednačine 2 i standardna odstupanja  $\sigma_j$  jednačinom 3:

$$r_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)(x_{ik} - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \sum_{i=1}^m (x_{ik} - \bar{x}_k)^2}} \quad (2)$$

$$\sigma_j = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}}{m} \quad (3)$$

Objektivne težine kriterijuma  $w_j$  kod CRITIC metode [16] dobijaju se:

$$w_{j,CRITIC} = \frac{\sum_{k=1}^n \sigma_j (1 - r_{jk})}{\sum_{j=1}^n \left( \sum_{k=1}^n \sigma_j (1 - r_{jk}) \right)} \quad (4)$$

Objektivne težine kriterijuma  $w_j$  kod metode standardne devijacije dobijaju se [15]:

$$w_{j,STD} = \frac{\sigma_j}{\sum_{j=1}^n \sigma_j} \quad (5)$$

Objektivne težine kriterijuma  $w_j$  kod metode korelacije dobijaju se [15]:

$$w_{j,COR} = \frac{\sum_{k=1}^n (1 - r_{jk})}{\sum_{j=1}^n \left( \sum_{k=1}^n (1 - r_{jk}) \right)} \quad (6)$$

Za izračunavanje ranga alternativa koriste se sledeća jednačina:

$$q_i = \sum_{j=1}^m w_j x_{ij} \quad i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m; \quad (7)$$

#### 4. VREDNOVANJE DENTALNIH LABORATORIJA

Cilj višekriterijumskog vrednovanja jeste kvalitet mera zaštite na radu u dentalnim laboratorijama (slika 1). Istraživanje [2] je urađeno primenom ankete i rezultati su sumirani u Tabeli 1. Svi kriterijumi su bili tipa „max“ (pozitivno utiču na rang alternativa) osim kriterijuma „broj tehničara“ koji je tipa „min“. Pretpostavlja se da broj tehničara ima negativan uticaj jer njegovim povećanjem povećava broj zagađujuće prašine u vazduhu.



Slika 1. Primer izgleda ispitivane dentalne laboratorije

Tip kriter.	Max	Min	Max	Max	Max
Dent. Lab.	Upotreba aspiratora.	Broj tehničara.	% of tehn. koji koriste zaštitne		
			Naočare	Maske	Rukav.
01	Ne - 0	10	40,00	50,00	10,00
02	Ne - 0	11	54,55	36,36	0,00
03	Da - 1	9	55,56	44,44	22,22
04	Ne - 0	2	100,00	0,00	50,00
05	Da - 1	3	33,33	0,00	33,33
06	Ne - 0	1	0,00	100,00	0,00
07	Ne - 0	4	75,00	50,00	0,00
08	Ne - 0	5	60,00	60,00	0,00
09	Da - 1	5	100,00	100,00	60,00
10	Ne - 0	4	50,00	25,00	0,00

Tabela 1. Matrica performansi za dentalne laboratorije

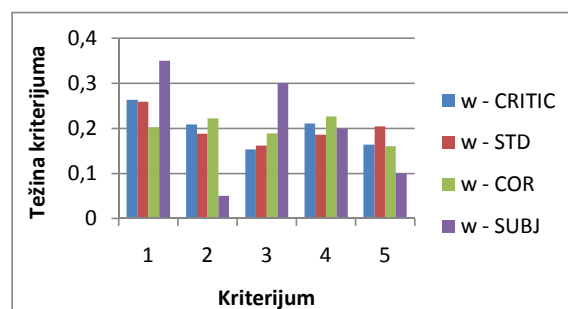
Težine kriterijuma dobijene primenom jednačina 5-7 date su u tabeli 2. Pored objektivno dobijenih težina prikazane su i subjektivne težine za isti problem dobijene prethodnim istraživanjem [19].

Na slici 3 prikazani su rezultati (rang alternativa) primenom tri metode za objektivno

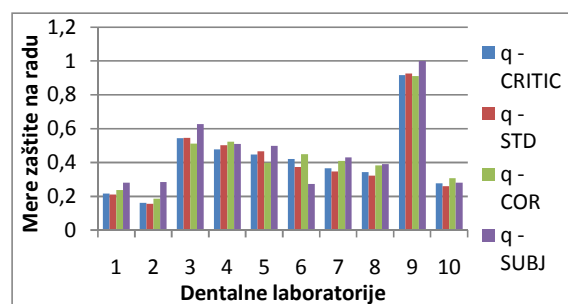
dodeljivanje težina (CRITIC, metoda standardne devijacije i metoda korelacije) i metode subjektivnog dodeljivanja težina.

CRITIC	0,26	0,21	0,15	0,21	0,17
STD.	0,26	0,19	0,16	0,19	0,20
COR.	0,20	0,22	0,19	0,23	0,16
SUBJ.	0,35	0,05	0,30	0,20	0,10

Tabela 2. Težine kriterijuma dobijene metodama: CRITIC, standardne devijacije, korelacije i subjektivno



Sl. 2. Težine kriterijuma dobijene metodama: CRITIC, standardne devijacije, korelacije i subjektivno



Sl. 3. Rang alternativa dobijen metodama: CRITIC, standardne devijacije, korelacije i subjektivno

#### 5. ZAKLJUČAK

Rezultati istraživanja ukazuju da su samo tri laboratorije imale ventilacioni sistem i da su sve laboratorije imale zaštitnu opremu: naočare, maske i rukavice, međutim, tehničari nisu uvek koristili ove mere zaštite na radu. Stoga, može se zaključiti da tehničari u ispitivanim dentalnim laboratorijama nisu bili dobro informisani o mogućim rizicima po zdravlje ako se mere zaštite na radu ne primenjuju.

Višekriterijumska analiza primenom metoda objektivnog dodeljivanja težina ukazuje na dentalne laboratorije sa lošim merama zaštite. Iz slike 2 može se zaključiti da su težine dobijene objektivnim pristupom CRITIC, standardne devijacije i korelacije međusobno slične i da se vrednosti objektivnih težina razlikuju od

subjektivnih i ne pokazuju tolike razlike u vrednostima u odnosu na subjektivnih. Međutim i pored velikih razlika vrednosti objektivnih i subjektivnih težina može se zaključiti da objektivne težine mogu u nekim slučajevima mogu nadomestiti odsustvo donosioca odluke što potvrđuju rezultati prikazani na slici 3.

## 6. LITERATURA

- [1] Puškar, T., Ilić, M., Budak, I., Vukelić, Đ., Trifković, B., Hodolić, J.: *Environmental and Occupational Health Risks In Dental Laboratories*, 5. International Quality Conference, Kragujevac, pp. 595-602, 2011.
- [2] Puškar, T., Budak, I., Trifković, B., Jevremović, D.: *Environmental and Health Protection in Dental Laboratories for Fixed and Mobile Dentures*, 9. Environmental management, Bratislava, pp. 181-186, 2009.
- [3] Stamenković D. et al.: *Stomatološki materijali*, ZUNS., Beograd, Srbija, 2003.
- [4] Trifunović, D. et al.: *Fiksne nadoknade*. ECPD. Beograd, pp. 197-208, 1998.
- [5] Wee Ag, Schneider RI, Aquilino Sa.: *Use of low fusing alloy in dentistry*. J Prosth Dent 80, pp. 540-545, 1998.
- [6] Groten M, Janda R, Latta M.: *Clinical Investigation of medical devices in dentistry. quintessence*. London, 2004.
- [7] Bibb R, Eggbeer D, Williams Rj, Woodward A.: *Trial fitting of a removable partial denture framework made using computer-aided design and rapid prototyping techniques*. J Eng Med; 220: pp. 793-797, 2006.
- [8] Hsu, T.H., Pan, F.F.C.: *Application of Monte Carlo AHP in ranking dental quality attributes*, Expert Systems with Applications, Vol. 36, No. 2, pp. 2310–2316, 2009.
- [9] Dome'jean-Orliaguet, S., Le'ger, S., Auclair, C., Gerbaud, L., Tubert-Jeannin, S.: *Caries management decision: Influence of dentist and patient factors in the provision of dental services*, Journal of dentistry, Vol. 37, No. 17, pp. 827–834, 2009.
- [10] von Winterfeldt, D., & Edwards, W.: *Decision analysis and behavioral research*. Cambridge: Cambridge University Press, 1986.
- [11] Saaty, T. L.: *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill, 1980.
- [12] Agarski, B., Budak, I., Kosec, B., Hodolić, J.: *An Approach to Multi-criteria Environmental Evaluation with Multiple Weight Assignment*, Environmental Modeling & Assessment, Vol. 17, No. 3, pp. 256-266, 2012.
- [13] Keeney, R. L., & Raiffa, H.: *Decisions with multiple objectives: preferences and value trade-offs*. New York: Wiley, 1976.
- [14] Shannon, C.E., Weaver, W.: *The mathematical theory of communication*, Urbana: The University of Illinois Press, 1947.
- [15] Jahan, A., Edwards, K.L.: *Weighting of dependent and target-based criteria for optimal decision-making in materials selection process: Biomedical applications*, Materials and Design, Vol. 49, pp. 1000-1008, 2013.
- [16] Diakoulaki, D., Mavrotas, G. and Papayannakis, L.: *Determining objective weights in multiple criteria problems: the CRITIC method*, Computers & Operations Research, Vol. 22, No. 7, pp. 763–770, 1995.
- [17] J. Ma, Z.P. Fan, L.H. Huang, *A subjective and objective integrated approach to determine attribute weights*, European J. Oper. Res, Vol. 112, No. 2, pp. 397–404, 1999
- [18] Ivanovic, B. *A method of establishing a list of development indicators*, United Nations educational, scientific and cultural organization, Paris, 1973.
- [19] Agarski, B., Budak, I., Puškar, T., Vukelić, Đ., Marković, D., Hodolić, J.: *Multi-criteria assessment of environmental and occupational safety measures in dental prosthetics laboratories*, Journal of Production Engineering, Vol. 15, No. 1, pp. 53-56, 2012.

**Autori:** MSc. Boris Agarski<sup>1</sup>, Assist. Professor Dr. Igor Budak<sup>1</sup>, Prof. Dr. Tatjana Puškar<sup>2</sup>, Assist. Professor Đorđe Vukelić<sup>1</sup>, Prof. Dr. Dubravka Marković<sup>2</sup>, Prof. Dr. Janko Hodolić<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381214852320, Fax: +38121454495.

<sup>2</sup> Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet, Klinika za stomatologiju, Novi Sad, Hajduk Veljkova 3, Srbija, Tel: +38121420677, Fax: +381216624153  
E-mail: [agarski@uns.ac.rs](mailto:agarski@uns.ac.rs), [budaki@uns.ac.rs](mailto:budaki@uns.ac.rs), [tatjanapuskar@yahoo.com](mailto:tatjanapuskar@yahoo.com), [vukelic@uns.ac.rs](mailto:vukelic@uns.ac.rs), [dubravkamarkovic@yahoo.com](mailto:dubravkamarkovic@yahoo.com), [hodolic@uns.ac.rs](mailto:hodolic@uns.ac.rs)

Rezultati istraživanja prikazani u ovom radu su deo istraživanja realizovani u okviru projekta "Istraživanje i razvoj metoda modeliranja i postupaka izrade dentalnih nadoknada primenom savremenih tehnologija i računarom podržanih sistema" – TR 035020, finansiranim od strane Ministarstva nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

**Rad po pozivu:**

Petrović, P.B., Hodolić, J., Danilov, I., Lukić, N., Vukelić, Đ.

**ROBOTSKI ASISTIRANA 3D ULTRAZVUČNA MEDICINSKA DIJAGNOSTIKA –  
Novi Co-x konceptualni okvir za lekar – robot – pacijent kolaborativni rad**

**Rezime:** U ovom radu izlažu se konceptualni okviri jedne radikalno nove primene antropomorfnih robota u oblasti neinvazivne medicinske dijagnostike – interaktivno ultrazvučno skeniranje i prostorna vizuelizacija sonograma. Antropomorfnu robot se u ovom kontekstu pojavljuje kao inteligentni asistent lekara koji omogućava prostornu akviziciju sonograma kao diskretne vremenske sekvence i mašinski precizno izvršavanje određene klase zadataka tipa manipulacionih primitiva ultrazvučnom sondom koji otvara prostor za razvoj i primenu novih tehnika ultrazvučnog pregleda koje lekar ne može da realizuje kroz konvencionalne pristupe bazirane na skeniranju slobodnom rukom. Ovaj pristup je baziran na simbiozi različitih tehnologija i novim tehnološkim prodorima, posebno u delu robotike. Ključni tehnološki iskorak je u izgradnji antropomorfnog robotskog humanoida koji će omogućiti bezbedan kolaborativni rad u direktnom fizičkom kontaktu čoveka, lekara i pacijenta, i robota. Pored fizičke sigurnosti u odnosu na pacijenta i lekara, koja je kategoričke prirode, robot mora da ostvari specifično ponašanje popustljivog tipa, uključujući i svojstvo sledjenja zadate trajektorije sile i podatljivosti odnosno, pasivne povratne pokretljivosti. Dalje, tehnološki iskorak je i u delu akvizicije sonograma, koji se iz ravanskog transformišu u prostorni oblik, što zahteva razrešavanje mnogih teorijskih i praktičnih problema matematičke i tehnološke prirode. Ova istraživanja se sprovode u okviru projekata TR35007 i TR35020, koji finansijski podržava resorno ministarstvo za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj.

**Ključne reči:** Medicinska dijagnostika, Ultrazvuk, Robotika, Skeniranje

**1. UVOD**

Tehnološki napredak koji je ostvaren u prethodnoj deceniji i koji se neprekidno odvija u ubrzanju u oblasti robotike, stvara nove prostore za primenu robota. Jedna od najizazovnijih jeste medicina, odnosno medicinska robotika. Robotska hirurgija (minimalno invazivna endoskopska hirurgija i mikrohirurgija) i robotska dijagnostika, a takodje i robotska rehabilitacija su oblasti u kojima će se dešavati dramatične promene u godinama koje dolaze.

Pored šire društvene koristi kroz implikacije na opšte zdravlje, ovi trendovi otvaraju respektivan prostor za ekonomski razvoj i jak impuls za razvoj u domenu nauke i istraživanja. Lekari i inženjeri treba da kroz multidisciplinarni i interdisciplinarni rad zajednički iskoriste šansu koja se stvara. Nova generacija robota (*next generation robotics*), robotski humanoidi, odnosno nove kibernetске tvorevine sposobne za kolaborativni i timski rad sa čovekom, autonomne, komunikativne i svesne okruženja u kojem se nalaze, nose enorman generički potencijal za stvaranje novih proizvoda, novih metoda i novih tehnologija. U tom smislu, neinvazivna dijagnostika, bazirana na primeni medicinske sonografije je jedna od oblasti u kojoj će nove robotske tehnologije moći da pruže

respektivan doprinos, same za sebe i u kombinaciji sa drugim medicinskim tehnologijama.

U okviru ovog rada izlažu se osnovni konceptualni okviri i preliminarni, odnosno rani istraživački rezultati, istraživanja koje ima za cilj da definiše i omedji širu problematiku za razvoj jedne radikalno nove medicinske tehnologije: robotski asistirane trodimenzionalne sonografije za efikasnu neinvazivnu dijagnostiku i prostornu vizuelizaciju, sa kolaborativnim odnosom lekar – robot – pacijent. U ovoj tehnologiji robot ima funkciju inteligentnog asistenta, koji osnažuje performanse čoveka (*human augmentation system*). Ova istraživanja su realizovana u okviru projekta TR 35007 i 35020<sup>1</sup>.

**2. MOTIVACIJA**

2d ultrazvučna dijagnostika je vremenski i cenovno vrlo efikasna tehnologija za medicinsku

<sup>1</sup> Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije kroz projekte: Inteligentni robotski sistemi za ekstremno diverzifikovanu proizvodnju - TR35007 i Istraživanje i razvoj metoda modeliranja i postupaka izrade dentalnih nadoknada primenom savremenih tehnologija i računarom podržanih sistema – TR35020; ciklus projekata tehnološkog razvoja za period 2011. do 2014. godine.

dijagnostiku, i jedna je od najrasprostranjenijih tehnologija za anatomsku vizuelizaciju još od pronalaska tehnologije radiološke anatomske vizuelizacije bazirane na X-zracima. Ona omogućava lekaru da sa lakoćom generiše i pamti veliki broj različitih tankih anatomskih preseka kroz ljudsko telo, u proizvoljno izabranoj ravni i u realnom vremenu. Takođe, ultrazvučna dijagnostika je bez poznatih rizika po zdravlje čoveka.

Ipak, 2d ultrazvučna dijagnostika ima nekoliko vrlo značajnih slabosti, [1]. Prvi, i najznačajniji nedostatak je subjektivna zavisnost, odnosno veliki uticaj lekara na performanse tehnologije u celini. Čovek određuje uslove pod kojim ultrazvučna sonda uspostavlja kontakt sa telom, pamti, analizira i superponira male ravanske fragmente. Posebno je kritična potreba za pamćenjem lokalnih preseka i formiranjem prostornog modela u apstraktnom, mentalnom prostoru čoveka. Lekar pamti i superponira niz parcijalnih preseka i tako gradi virtuelni anatomski prostorni model. U takvim okolnostima, moguće su samo kvalitativne i parcijalno kvantitativne ocene stanja posmatranog organa, sa redukovanom verodostojnošću, bez ili sa vrlo ograničenom mogućnošću arhiviranja generisanih rezultata.

Drugo, generisani 2d preseki se izvode manuelno i zato nisu definisani u apsolutnom smislu u odnosu na telo pacijenta. Zato je nemoguće napraviti objektivnu komparaciju, posebno kvantitativnu, rezultata sonografskog pregleda izvedenog u različitim vremenskim trenucima. Ovim se onemogućava egzaktno praćenje patologije, odnosno promena na posmatranom organu u dužem vremenskom intervalu i time praćenje razvoja patoloških promena i/ili efekata primenjene terapije.

Treće, arhivirani 2d preseki onemogućavaju lekara da ih kasnije efektivno analizira, posebno u smislu pogleda iz pogodnije ravni, ili eliminisanja pomeranja organa pod uticajem respiracije ili neadekvatne poze pacijenta tokom izvodjenja dijagnostičkog pregleda.

Četvrto, intenzitet kontaktne sile, posebno kod abdominalne dijagnostike, zahteva značajni fizički napor lekara. Zamor i fizičko naprezanje često čine 2d sonografiju napornim poslom.

Navedene metodološke slabosti se mogu potencijalno razrešiti kombinovanim pristupom, koji se sastoji u dodavanju treće dimenzije, odnosno prelaskom na prostornu sonografiju i primenom aktivnog mehaničkog sistema koji će pomagati lekaru u generisanju kontaktne sile između ultrazvučne sonde i tela pacijenta, i precizno ostvarivati zadate položaje i kretanja.

Ovakvom ekstenzijom konvencionalne 2d sonografije moguće je dobiti novi dijagnostički kvalitet u odnosu na tehnologiju kompjuterizovane tomografije (CT) i magnetne rezonanse (MR). Za razliku od neinvazivne dijagnostike bazirane na CT ili MR tehnologiji, sonografija se odlikuje vrlo velikom brzinom 2d skeniranja, od 15 do 60Hz, uz mogućnost slobodnog izbora ravni u kojoj se vrši tomografski zahvat, odnosno ugao gledanja unutrašnjeg organa. CT i MR tehnologije su u osnovi vrlo neproduktivne (proces je vrlo spor zbog potrebe generisanja velikog broja sukcesivnih preseka ljudskog tela), skeniranje se ostvaruje uvek pod istim uglom u odnosu na ljudsko telo (skoro isključivo ortogonalno u odnosu na glavnu podužnu osu) i u paralelnim ravnima, sa zahvatom čitavog poprečnog preseka tela nezavisno od organa koji se ciljano dijagnostikuje).

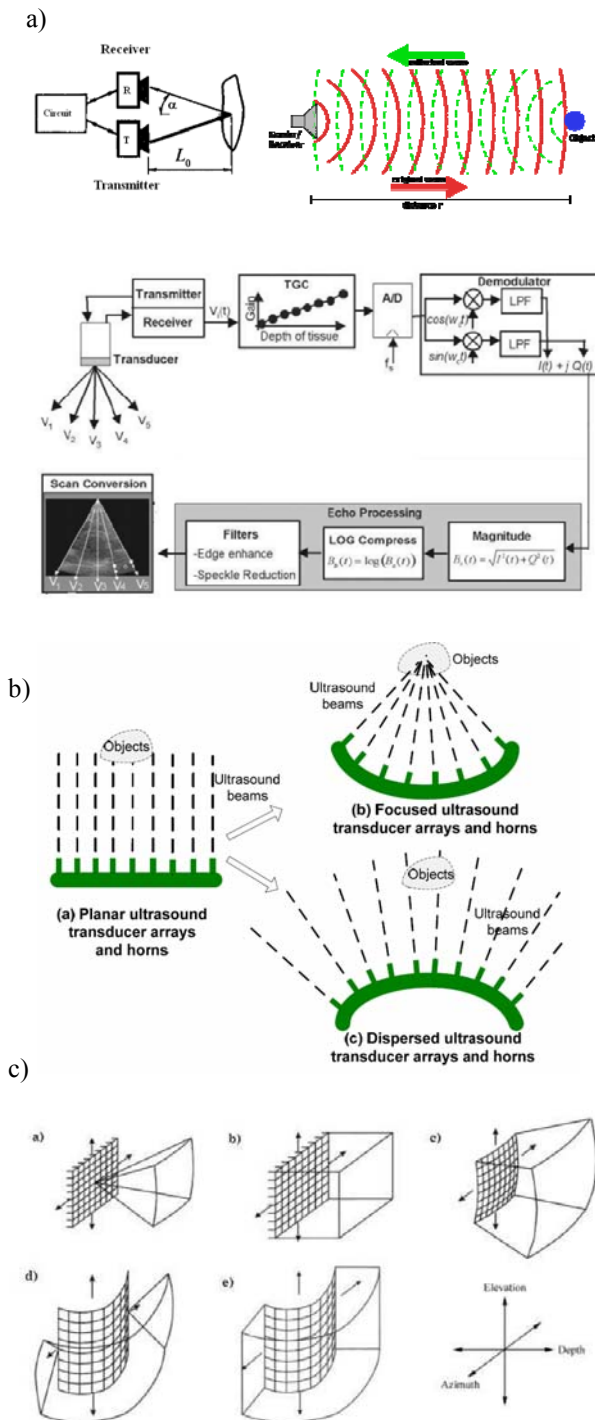
### 3. TEHNIKE 3d SONOGRAFIJE

Prvi trodimenzionalni zapis je praktično demonstriran 1970. godine, a prvi komercijalni sistem ove vrste je realizovan 1989. godine (Kretztechnik AG, COMBISON 330). Ova tehnologija se dalje razvijala, tako da su nastala mnoga rešenja koja su primenjivana u različitim kontekstima [2-5]. Ipak, za razliku od MR i CT čiji se razvoj eksplozivno odvijao, tehnologija 3d sonografije nije imala takav razvojni put zbog svoje tehničke kompleksnosti, posebno u slučaju 3d vizuelizacije u realnom vremenu.

Konvencionalna 2d sonografija se realizuje pomoću ultrazvučne sonde koja se sastoji iz skupa kolimiranih izvora ultrazvuka i prijemnika njegovog odraza od prepreke ka kojoj se usmerava. Pojedinačni par izvora i prijemnika se fizički izvodi kao integrisani primopredajni sklop (piezokristal naizmenično generiše ultrazvučni impuls, a zatim se transformiše u senzor koji prima njegove refleksije od okruženja), (slika 1a). Takav primopredajni sklop se dalje grupiše u linijski niz (slika 1b). U zavisnosti od fizičke veličine primopredajnog sklopa, broja primopredajnih elemenata i relativnog usmeravanja, definiše se prostorna rezolucija ultrazvučne sonde. Relativno usmeravanje primopredajnih sklopova može da bude tako izvedeno da se dobijaju sonde koje generišu 2d ultrazvučno polje sa paralelnim, konvergentnim (fokusiranim) i divergentnim (rasutim) profilom.

Za 3d sonografiju postoje dve osnovne mogućnosti kada su ultrazvučne sonde u pitanju. Prva je bazirana na konvencionalnim 2d linijskim ultrazvučnim sondama a druga na specijalnim ravnim sondama matične i kružne forme.

Koncept ravanske sonde je prikazan na slici 1c za slučaj matrično formirane merne sonde. U praksi se sreću i ravanske sonde kružnog oblika.



Sl. 1. Princip funkcionisanja ultrazvučnog pretvarača i varijantni oblici: a)koncept primopredajnika i osnovna arhitektura sistema za generisanje i obradu primljenog signala, b)varijantni oblici linijske ultrazvučne sonde i c)varijantni oblici ravanske ultrazvučne sonde matričnog tipa.

U obe tehnološke varijante, generisanje prostornih sonografskih prikaza bez prekomernih izobličenja,

zahteva da se na odgovarajući način reše tri grupe problema:

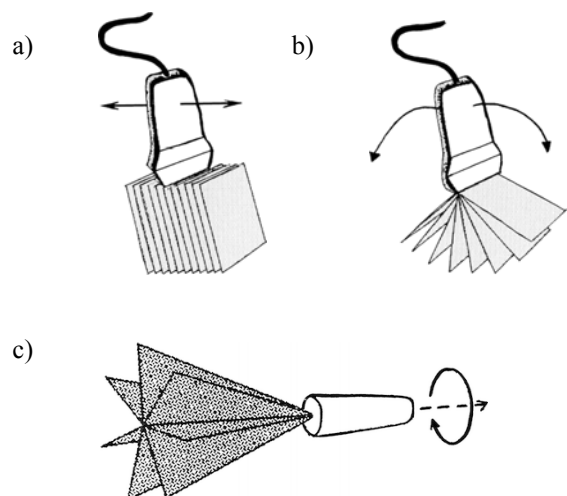
1. Generisanje prostornih koordinata koje određuju lokaciju ultrazvučne sonde u kontaktu sa telom pacijenta;
2. Komfornost i sloboda rukovanja; i
3. Potiskivanje pomeraja koji su posledica respiratornih, kardijalnih ili drugih fenomena.

Generalno, postoje 4 metode za realizaciju 3d sonografije [5]:

1. Slobodno manuelno skeniranje bez lociranja pozicije i orijentacije ultrazvučne sonde - *untracked freehand systems*.
2. Slobodno manuelno skeniranje sa bezkontaktnim lociranjem pozicije i orijentacije ultrazvučne sonde - *tracked freehand systems*.
3. Slobodno skeniranje ravanskom (matričnom) sondom dinamičkog tipa (četvorodimenzioni ultrazvučni skener).
4. Skeniranje asistirano dodatnim mehaničkim sistemom.

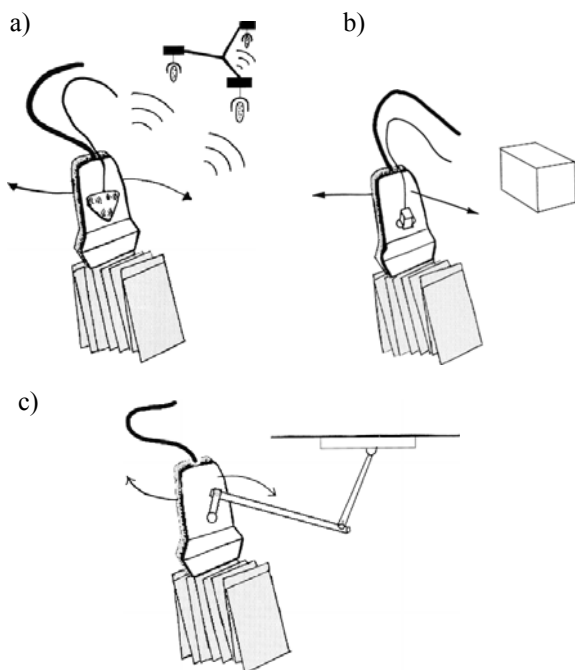
Pod pojmom slobodno skeniranje ovde se podrazumeva da lekar tokom pregleda drži sondu u svojoj ruci i da ne postoji bilo kakav dodatni sistem oslanjanja sonde mehaničkog tipa. U osnovi, slobodno skeniranje je u tehničkom smislu rukovanja sondom identično konvencionalnoj 2d sonografiji.

Na slici 2 prikazan je slučaj slobodnog manualnog skeniranja bez senzorske lokacije pozicije i orijentacije ultrazvučne linijske sonde. Prikazani su tipični pokreti. Suština je u tome da lekar mora da ostvari uniformno kretanje da bi se iz niza generisanih preseka mogao da produkuje prostorni prikaz sa prihvatljivom distorzijom. Ovo je trivijalni slučaj tehnologije 3d sonografije.



Sl. 2. Kinematski primitivi kretanja ultrazvučne sonde za slučaj manualnog skeniranja bez lociranja položaja sonde.

Problem greške izazvan neuniformnim kretanjem ultrazvučne sonde rešava se primenom sistema za njeno lociranje, odnosno precizno određivanje pozicije i orijentacije u nekom koordinatnom sistemu, relativno u odnosu na telo pacijenta. Generalno, postoje dve osnovne tehnologije: tehnologija beskontaktnog lociranja i tehnologija kontaktnog lociranja (slika 3). Tehnologija beskontaktnog lociranja izvodi se najčešće pomoću akustičkih senzora. Tri minijaturna zvučnika se ugrađuju u telo sonde i tokom ultrazvučnog pregleda emituju impulsne signale. Tri prostorno raspoređena mikrofona iznad pacijenta primaju te signale, na osnovu čega se daljom obradom (preračunavanje vremenskog kašnjenja), određuje položaj sonde u prostoru. Simultano se svakom preseku koji generiše ultrazvučna sonda, dodaju koordinate koje određuju njen položaj u prostoru, čime se uspostavlja ključni zahtev za 3d sonografiju, a to je poznavanje položaja u prostoru svakog tomografskog zapisa. Na sličan način se određivanje lokacije izvodi i magnetnim senzorima. Magneti se fizički ugrađuju u linijsku sondu. Pomeranjem sonde u prostoru dolazi do promena u lokalnom magnetnom polju i te promene se registruju posebnim pretvaračkim sklopom velike osetljivosti. Na slici 3c je prikazan slučaj kontaktnog sistema za lokaciju sonde, koji je baziran na pasivnoj antropomorfnoj ruci u čijim se obrtnim zglobovima nalaze ugaoni senzori pomoću kojih se izračunava položaj sonde u prostoru. Ultrazvučna sonda se slobodno kreće i lekar manuelno održava njenu poziciju u prostoru.



Sl. 3. Varijantne tehnologije manuelnog skeniranja sa lokacijom položaja ultrazvučne sonde. a) i b) beskontaktna lokacija; c) kontaktna lokacija.

Treću grupu čini tehnologija koja je bazirana na aktivnim mehaničkim nosećim strukturama koje nose ultrazvučnu sondu i autonomno omogućavaju njeno kretanje po precizno zadatoj trajektoriji. Generalno, tu postoje dve grupe rešenja ove vrste. Prva je bazirana na mehaničkim sklopovima koji se nose rukom, ali imaju unutrašnji pogon kojim se obezbeđuje uniformno kretanje sa poznatim parametrima. Na slici 4 je prikazan jedan takav funkcionalni modul sa ugrađenom povratnom spregom po sili i upravljačkom zakonu koji omogućava upravljanje mehaničkom impedansom, [7].

Druga, značajno naprednija grupa rešenja je bazirana na aktivnim sistemima za nošenje merne sonde. Ovi aktivni sistemi se oslanjaju na stabilnu podlogu i tako omogućavaju postizanje značajno veće prostorne preciznosti skeniranja i precizno generisane kontaktne sile. Izvode se u obliku specijalizovanih ili adaptiranih standardnih industrijskih robota.



Sl. 4. Ručni, mehanički aktuirani sistemi za pomeranje ultrazvučne linijske sonde za 3d sonografiju, [7].

Na slici 5 prikazano je rešenje specijalnog robota za 3d sonografiju endokavitacija [8]. Ovakvi sistemi su uvek specijalnog karaktera, usko prilagodjeni za dijagnostiku određenog organa.

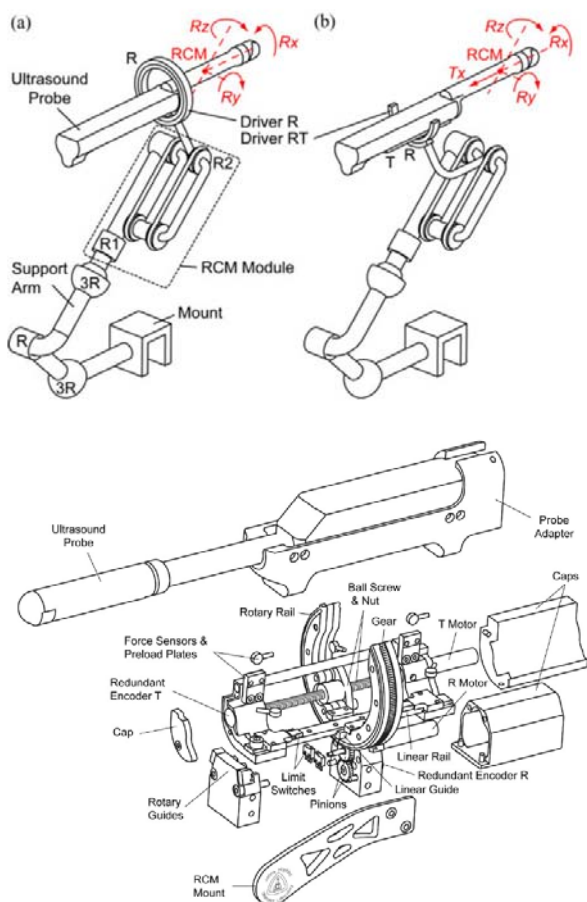
Ovim se ne iscrpljuje prostor varijantnih rešenja mehaničkih sistema za 3d sonografiju. Ključna tehnologija u ovoj oblasti je bazirana na univerzalnim robotima. Verovatno najstarije rešenje ove vrste je bazirano na Hipokrat platformi, razvijenoj uz pomoć Mitsubishi PA-10 robota, opremljenog senzorom sile, koji je ugrađen na njegovom vrhu. Robot je upravlján po sili, ali je zbog neadekvatnih funkcionalnih performansi ovog sistema njegov razvoj zaustavljen [9].

Hipokrat koncept je dalje unapređivan uvodjenjem različitih tehnoloških rešenja, a ona su najčešće bila fokusirana na koncept teleoperacije.

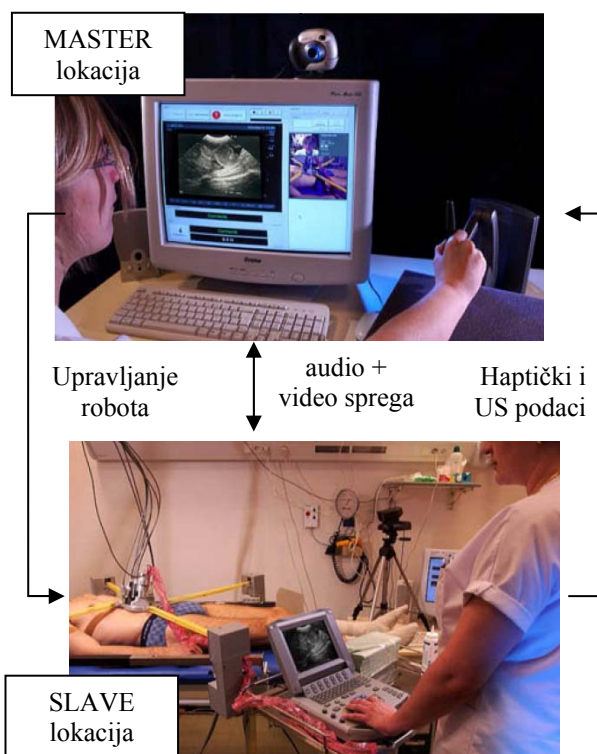


U tom smislu, posebno je interesantan TER projekat [10].

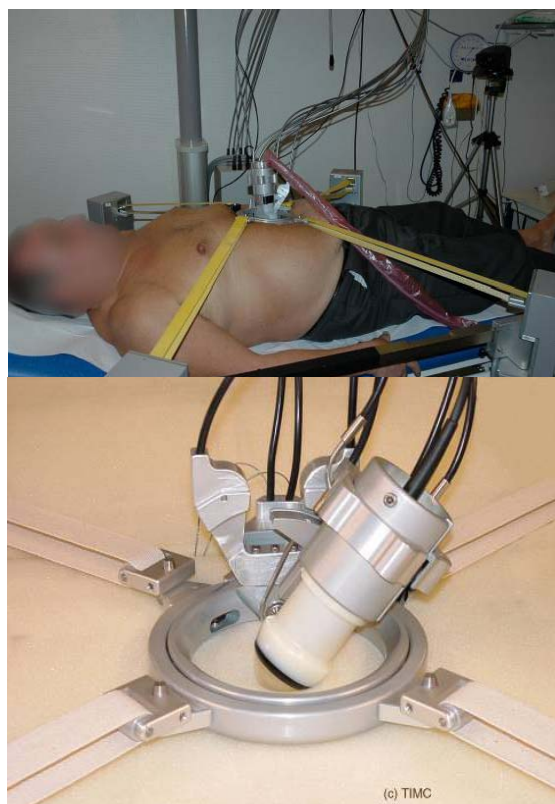
TER sistem je baziran na MASTER-SLAVE konceptu, pri čemu su lekar i pacijent fizički razdvojeni, a kontakt ostvaruju preko dvosmerne telekonferencijske audio-video sprege. Preko odgovarajuće haptičke jedinice, lekar upravlja kretanje sonde, koja je ugradjena na vrh paralelnog robota kablovskog tipa, a izvedena kao prstenasta platforma. Robot svoje kretanje ostvaruje u ravni sa dva antagonistička para aktuatora, koji pokreću i prednaprežu prstenastu platformu na njegovom vrhu. Kod prve verzije TER sistema korišćeni su pneumatski mišići kao aktuacioni sistem, ali oni nisu mogli da ostvare potrebne performanse kinematskog i pozicionog tipa, pa je kod druge verzije, pogon izveden pomoću elektromotora i reduktora. Prstenasta platforma na sebi nosi modul sa dva dodatna stepena slobode za orijentaciju nosača u koji se postavlja ultrazvučna sonda. Merni sistem robota uvek obezbeđuje preciznu informaciju o koordinatama sonde u radnom prostoru, čime se omogućava formiranje prostornih ultrasonografskih prikaza. Detalji su prikazani na slikama 6 i 7.



Sl. 5. Koncept robota za mehanizovano 3d sonografsko skeniranje endokavitacija sa detaljnim prikazom sklopa nosača ultrazvučne sonde (dole).



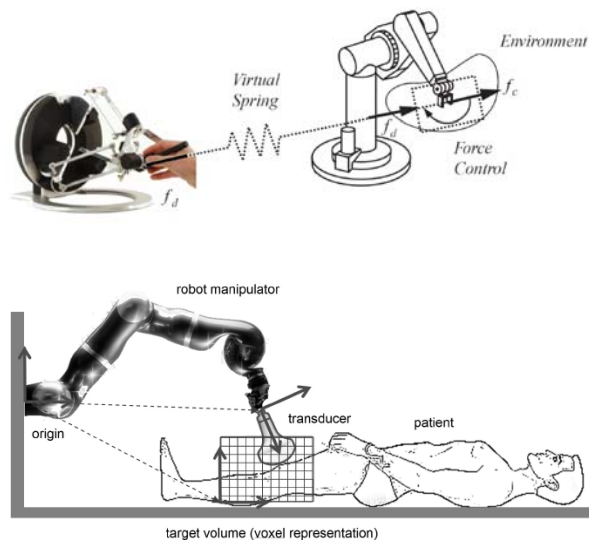
Sl. 6. Koncept funkcionisanja TER robotskog sistema za 3d teledirigovanu ultrasonografiju abdomena (telemedicina), [10].



Sl. 7. Detalj TER robotskog sistema u kontaktu sa pacijentom (gore) i nosača ultrazvučne sonde.

Sa aspekta primene robotike u 3d sonografiji posebno je interesantno rešenje navedeno na

slikama 8 i 9, [11]. U pitanju je projekat koji je baziran na DLR / KUKA robotu sa mekim zglobovima i vrlo velike specifične nosivosti koja je približno jednaka jedinici. Kao što je to prikazano na slici 7, robot je upravljao preko odgovarajuće haptičke jedinice, dakle kao i u slučaju TER sistema u pitanju je teleoperacija. Upravljački sistem je tako koncipiran da kopira pokrete lekara.



Sl. 8. Koncept robotske 3d teleoperatorske sonografije razvijen kroz primenu mekog robota DLR / KUKA LWR.

LWR robot poseduje 7 stepeni slobode, kao čovekova ruka. Svaka servo osa je opremljena lokalnim senzorom koji registruje intenzitet pogonskog momenta koji aktuator saopštava pogonjenom segmentu i ostatku kinematskog lanca prema vrhu robota. Robot poseduje poziciono upravljanje i upravljanje po sili. Nosivost robota je 15 kg, što znači da može da saopšti kontaktnu silu ka okruženju u intenzitetu od 15 daN.

Haptička jedinica preko koje se zadaju kretanja vrha robota i time i ultrazvučne sonde generiše otpor u svome kretanju koji je proporcionalan kontaktnoj sili koju robot ostvaruje sa telom pacijenta. Time se omogućava da lekar oseti interakciju sonde i tela pacijenta i da kontroliše tu interakciju. Da bi se izbegao zamor lekara u radu, kontaktna sila sa okruženjem je redukovana za odgovarajući faktor linearne razmere. Povratna sprega po sili, omogućava da interaktivnost robota i haptičke jedinice u vidu virtualne generalisane opruge, kao što je to prikazano na slici 8. Robot poseduje mogućnost rada u 3 karakteristična moda: plivajući, haptički i automatski.

Slika 9 prikazuje tipičnu situaciju rada ovog robotskog sistema na primeru fantoma fetusa. Generisani 3d model prikazan je takodje na slici 9.



Sl. 9. Koncept robotske 3d teleoperatorske sonografije razvijen kroz primenu mekog robota DLR / KUKA LWR.

#### 4. GENERISANJE 3d MODELA

2d zapisi sonograma u ravni su zapravo vremenska serija sa prostorno koreliranim pikselima. Na osnovu ove serije moguće je generisati tačne prostorne modele skeniranih anatomskih struktura. Moguće su dve varijante: površinski prostorni modeli i zapreminski prostorni modeli sonograma, [1, 12].

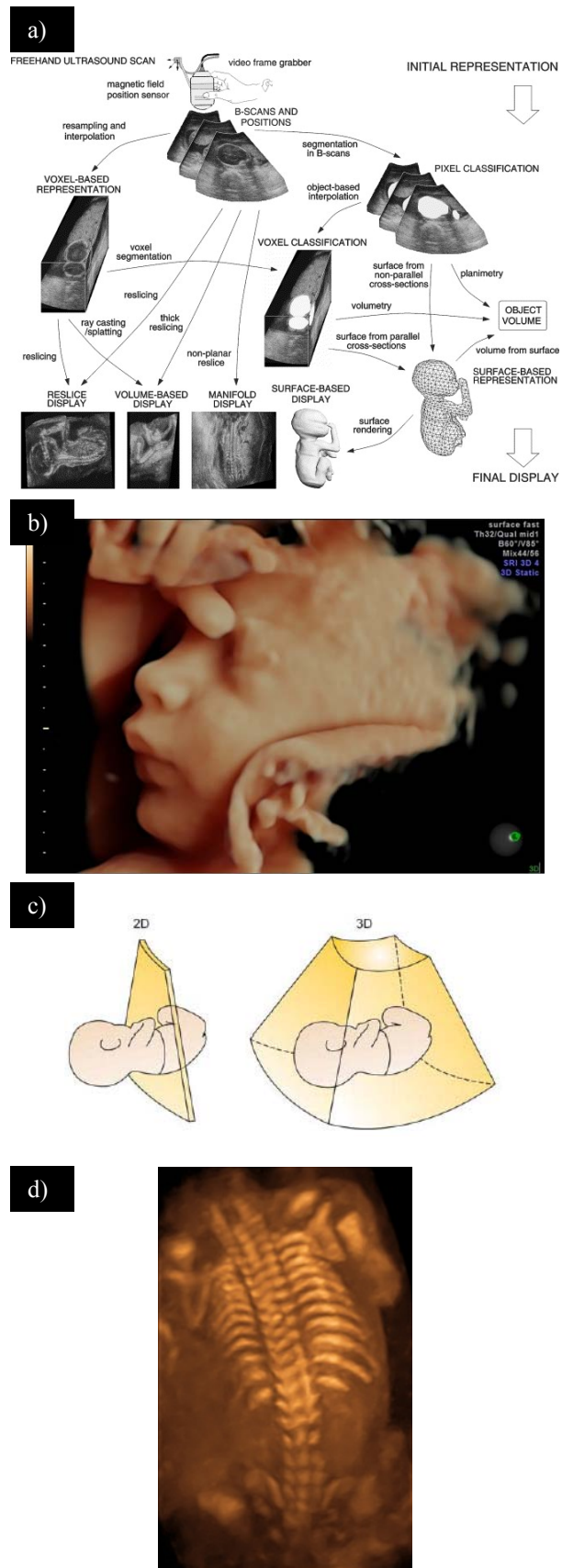
Površinski prostorni modeli, su modeli koji sadrže samo omotače prepoznatih prostornih objekata. Ovi modeli se sastoje samo od prostorno raspoređenog uredjenog skupa piksela. U pitanju su granični pikseli koji se prepoznaju kao konture odgovarajućim tehnikama na svakom pojedinačnom 2d tomografskom zapisu sonograma. Ove konture se izvode odgovarajućim kontrastiranjem originalnog zapisa tako da odgovaraju graničnim površima organa.

Zapreminski prostorni modeli bazirani su na generisanju voksela, odnosno prostornog zapreminskog kvatna, izvedenog klasifikacijom piksela iz uredjenog skupa 2d tomografskih zapisa. Suština je u tome da svaki piksel na 2d sonogramskom zapisu ima svoje prostorne koordinate. Superponiranjem piksela iz generisane serije 2d sonogramskih zapisa, sprovodi se proces generisanja voksela. Segmentacijom voksela odgovarajućim tehnikama prepoznavanja, odnosno klasifikacije, generišu se klasteri voksela koji pripadaju jednom objektu – primarni prostorni model se strukturira. Granični vokseli omogućavaju transformaciju zapreminskog u ekvivalentni površinski prostorni model.

Nad generisanim prostornim modelima moguće je formirati proizvoljne ravanske preseke, uključujući i preseke koji se zbog fizičke neizvodljivosti ne mogu dobiti konvencionalnom 2d sonografijom. Takodje, složeni organi kod kojih je izvršeno prepoznavanje gradivne strukture kao posebnih prostornih ili površinskih objekata, mogu se ekstrahovati i dalje analizirati izdvojeno od susednog anatomskog okruženja. Nad generisanim modelima je moguće izvršiti odgovarajuću linijsku, površinsku i zapreminsku metriku, što ima posebnu vrednost za dijagnostiku i praćenje efekata terapije. Prostorni modeli omogućavaju komparativnu analizu sonograma izvedenu u različitim vremenskim trenucima i formiranje istorijskih zapisa koji se mogu paralelno obradivati.

Na slici 10 prikazana je struktura procesa generisanja 3d sonogramskih modela (a), primer zapreminskog modela glave fetusa koji je generisan iz serije ravanskih sonograma (b), koncept slobodnog definisanja ravni preseka nad generisanim virtuelnim sonografskim modelom

(c) i primer kostura fetusa ekstrahovanog iz generisanog složenog prostornog modela.



Sl. 10. Koncept generisanja 3d sonogramskog modela i primeri prostornog modela fetusa.

## 5. ROBOTSKA 3d SONOGRAFIJA

Robot, kao ni jedna druga tehnologija, omogućava da se lokalni tomografski zapisi generisani ultrazvučnim sistemom, precizno povežu sa globalnim koordinatnim sistemom radnog prostora u kojem se dijagnostički proces odvija i da se trajno arhiviraju, odnosno pamte. Preciznost lociranja tomografskih ravni, poziciono i ugaono, se sa lakoćom ostvaruje na nivou desetog dela milimetra i stepena, ili bolje. Takođe, ukoliko se robot dogradi sistemom upravljanja po sili, onda je moguće precizno upravljanje kontaktnom silom kojom ultrazvučna sonda deluje na telo pacijenta, i to uvek kako je lekaru potrebno da bi ostvario najbolju vizuelizaciju u posmatranoj ravni. Treće, ali podjednako bitno, jeste i mogućnost da robot, kao aktivni mehanizam izvede precizno vođenje ultrazvučne sonde po nekoj unapred zadatoj trajektoriji, održavajući pri tome relativnu orijentaciju, brzinu kretanja i kontaktnu silu prema unapred definisanoj specifikaciji. Ovako generalno definisan okvir za 3d sonografiju postaje potpuno praktično izvodiv u okvirima novog koncepta robota koji je predmet aktuelnih istraživačko-razvojnih aktivnosti, a koji paralelno počinje da ulazi i u domen komercijalne valorizacije. Taj novi koncept je koncept industrijskih humanoidnih robota, [13].

U ovom kontekstu tokom 2012. godine na projektu TR35007 inicirane su preliminarne istraživačke aktivnosti sa ciljem definisanja osnovnih okvira za izgradnju robotskog sistema za 3d sonografiju baziranog na industrijskim humanoidima kao generičkoj tehnologiji za ovu oblast (slika 11). Suština ovog koncepta sastoji se u kolaborativnom izvršavanju ultrazvučnog pregleda pacijenta, sledeći opšti okvir interakcije čoveka i robota definisanog kroz Co-X koncept, odnosno *Robot Coworker* scenario timskog rada čoveka i robota. U okviru Co-X koncepta, čovek ima funkciju tutora, a robot pomoćnika, koji timski sa čovekom ili autonomno obavlja određene sekvence nekog složenog zadatka. Koncept koji je ovde postavljen kao istraživački okvir isključuje teleoperaciju, kontakt lekar-robot-pacijent je direktan, fizički.

Ovaj koncept počiva na popustljivom robotu, odnosno robotu koji poseduje meke zglobove sa upravljanom popustljivošću, [14]. Sa aspekta izvršavanja zadatka ultrazvučnog pregleda / vizuelizacije, robot mora da poseduje sledeće sposobnosti:

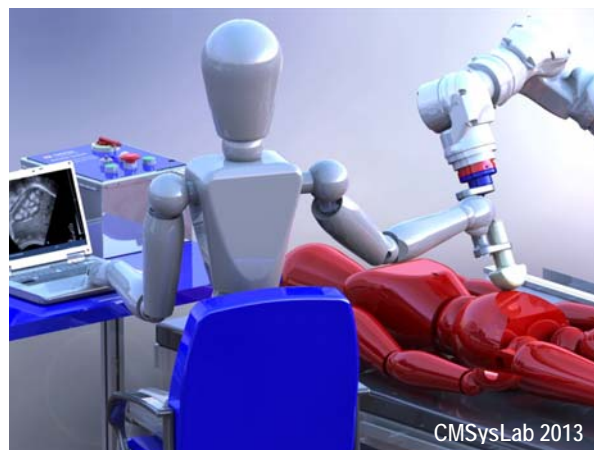
1. Upravljivu aktivnu pokretljivost – konvencionalno upravljanje robota po poziciji;
2. Upravljivu pasivnu pokretljivost (povratna

pasivna pokretljivost - *backdrivability*), i

3. Upravljivu popustljivost (reaktivna interakcija sa okruženjem) i generisanje zadate kontaktne sile / admitanse.

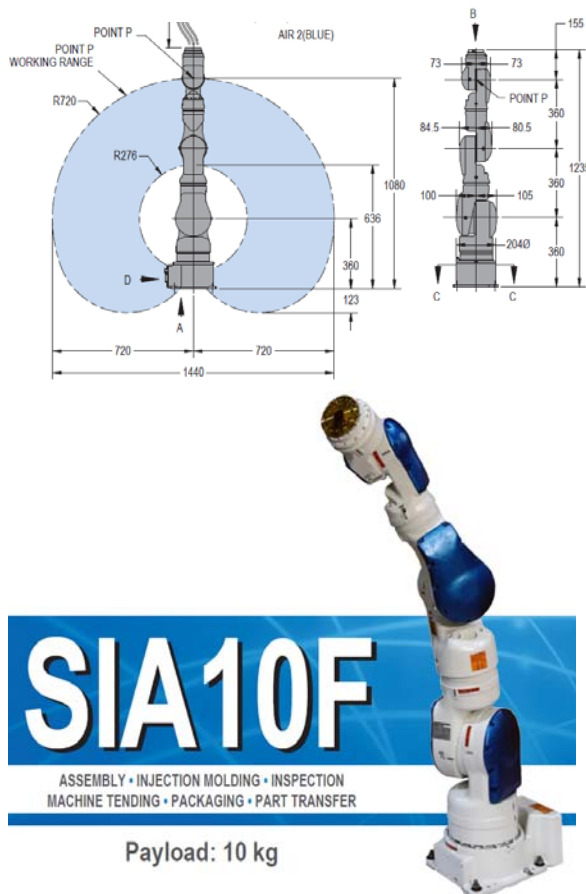
Ovaj zadatak se prirodno proširuje i na funkciju aktivnog upravljanja kontaktnom silom, u smislu sledjenja zadate trajektorije kontaktne sile u interakciji sa okruženjem, odnosno telom pacijenta, ili dalje, funkcijom prenosa energije na okruženje u impulsnom ili nekom drugom obliku inspirisanom biomimetičkim aspektima. Ovako definisan upravljački zadatak je vrlo kompleksan, bitno kompleksniji od onog koji postoji kod konvencionalnog robota.

Sa aspekta upravljanja, izvršavanje kontaktnog zadatka u robotski asistiranom sonografiji je relaksirano činjenicom da se interakcija ostvaruje sa okruženjem koje ima vrlo malu krutost i veliko prigušenje. Ovakav kontekst garantuje stabilnost u ostvarivanju zadatog kretanja i zadate kontaktne sile.



Sl. 11. Virtuelni model sistema za robotski asistiranu 3d sonografiju, koji je koncipiran u okviru projekata TR35007 i TR35020: aktivno popustljiva humanoidna ruka - robot Yaskawa SIA 10F, nosi ultrazvučnu sondu i kroz odgovarajuće interaktivne modove rada omogućava širok spektar kooperativnog rada lekara i robota.

Osnovu ovog sistema čini humanoidna ruka – robot Yaskawa SIA10F kojom raspolaže Laboratorija za kibernetiku i mehatronske sisteme (CMSysLab) Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Robot poseduje nosivost od 10 kg, što znači da je sila kojom može da deluje na sondu u kontaktu sa telom pacijenta do 10 daN. Robot ima 7 stepeni slobode, dakle u pitanju je redundantna kinematska struktura koja omogućava optimalni izbor poze robotske ruke u odnosu na pacijenta. Dodatnim translatorskim modulom, robot dobija i 8. stepen slobode, što ga čini savršenom programabilnom i mehančki rezponzivnom platformom za nošenje ultrazvučne sonde. Robot ima dohvatač 720 mm do ose rotacije 6. stepena slobode, tačnost pozicioniranja od  $\pm 0.1\text{mm}$  i ukupnu težinu 60 kg. Izgled robota i detalji vezani za geometriju su prikazani na slici 11 i slici 12.



Sl. 12. Izgled SIA 10F robota kojim raspolaže Laboratorija za kibernetiku i mehatronske sisteme (CMSysLab), Mašinskog fakulteta u Beogradu.

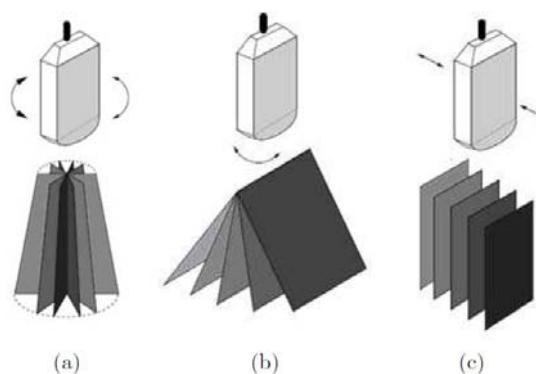
Upravljački sistem SIA10F robota, preko motoPlus razvojnog paketa, omogućava pristup osnovnim upravljačkim funkcijama, što stvara prostor za izgradnju različitih oblika ponašanja robotske ruke. Na vrhu robota će biti ugradjen specijalni modul nosača ultrazvučne sonde i interfejsa za fizičku interakciju sa lekarom. Taj interfejs je integrisani redundantni

devetokomponentni senzor sile, koji registruje vektor generalizovane sile kojom lekar deluje na vrh robota i/ili vektor kontaktne sile koju robot preko ultrazvučne sonde ostvaruje u kontaktu sa telom pacijenta. Senzorska redundansa omogućava dekomponovanje ove složene interakcije robota sa okruženjem i razlikovanje interakcije robot-lekar od interakcije robot-pacijent (ovakav oblik interakcije je u istraživačkom smislu novost i biće predmet posebnih istraživanja). Dodatno, praćenjem pogonskog momenta i momenta opterećenja zglobova, robot će posedovati mogućnost reakcije na kontakt sa okruženjem koji se ostvaruje i preko noseće strukture robota, odnosno segmenata koji spajaju njegove aktivne stepene slobode.

Konkretno, robotska ruka će ostvarivati dva osnovna oblika ponašanja: (navedena su 2 moda)

1. MOD 1: Pasivno popustljivo ponašanje (plivanje), koje aktivno kompenzuje gravitacione sile i omogućava visok stepen podatljivosti, odnosno pomeranja robota pod dejstvom lekara. Sistem ima funkciju pojačanja kontaktne sile, što omogućava da lekar sa višestruko manjim naporom ostvaruje velike kontaktne sile sonde sa telom pacijenta (potiskivanje slabljenja koje se dešava u slučaju prolaska ultrazvučnih talasa kroz naslage telesne masti pacijenta). Faktor pojačanja kontaktne sile je proizvoljan i njegovu vrednost bira lekar prema konkretnom slučaju rada sa pacijentom;
2. MOD 2: Aktivno popustljivo kretanje koje omogućava lekaru da zada neki konkretan zadatak koji će robot autonomno da obavi. Neki od kinematskih primitiva su prikazani na slici 13.

Upravljački sistem je povezan sa nadređenim sistemom za akviziciju, koji simultano pamti vremensku seriju parova 2d sonograma i njima pripadajućih prostornih koordinata ultrazvučne sonde.



Sl. 13. Kinematski primitivi ultrazvučne sonde u automatskom modu rada robota (MOD2).

## 6. ZAKLJUČAK

U radu je dat pregled tehnologije 3d medicinske sonografije. Posebno je razmatran koncept robotske sonografije. Predložen je koncept robotskog asistenta za ultrazvučno skeniranje bazirano na mekim robotima (industrijski humanoidi), sa elementima inteligentnog ponašanja robota, koji je svestan konteksta i razume potrebe lekara. Ovakav robot poseduje osobine podatljivosti, popustljivosti, selektivne popustljivosti, sposobnosti da generiše odgovarajuću admitansu i da generiše i održava zadatu kontaktnu silu.

Dalje aktivnosti: formiranje pilot istraživačkog tima koji će činiti lekari i inženjeri sa ciljem da se izvedu prve praktične probe. Humanoidna ruka Yaskawa SIA 10F kojom raspolaže Laboratorija za kibernetiku i mehatronske sisteme (CMSysLab) Mašinskog fakulteta u Beogradu je savršena eksperimentalna platforma za ovu namenu. Eksperimenti bi bili sprovedeni na fantomu ili u vodenom bazenu korišćenjem postojećih ultrazvučnih 2d aparata. Ovim eksperimentalnim radnjama bi se stekao realan osećaj i prva praktična iskustva na kojima bi dalje bila gradjena strategija za razvoj ove tehnologije u nacionalnim i internacionalnim okvirima (saradnja sa srodnim timovima i izgradnja novih konzorcijuma za projekte poput FP8 Horizon2020).

## 7. REFERENCE

- [1] Downey, D., Fenster A., Williams J.C., *Clinical Utility of Three-dimensional US*, Imaging & Therapeutic Technology, March-April 2000, Volume 20, Number 2, pp:559-571.
- [2] Vilchis A., Troccaz J., Cinquin P., Masuda K. and Pellissier F., *A New Robot Architecture for Tele-Echography*, IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 19, No. 5, pp 922-926, 2003.
- [3] P. Abolmaesumi, S. E. Salcudean, W.-H. Zhu, M. Sirospour, and S. DiMaio, *Image-guided control of a robot for medical ultrasound*, IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 18, pp. 1123, Feb. 2002.
- [4] Hong J., Dohi T., Hashizume M., Konishi K. and Hata N, *An Ultrasound-driven Needle Insertion Robot for Percutaneous Cholecystostomy*, Phys. Med. Biol. , Vol. 49, issue 3, pp 441-455, 2004.
- [5] Lessard, S. et al. *Parallel Robot for Medical 3D-Ultrasound Imaging*, IEEE International Symposium on Industrial Electronics , 2006.
- [6] Fenster A., Parraga G, and Bax J, *Three-dimensional ultrasound scanning*, Interface Focus, 2011 Aug 6;1(4):503-19. doi: 10.1098/rsfs.2011.0019.
- [7] Gilbertson M.W., *Handheld Force-Controlled Ultrasound Probe*, Master of Science Thesis in Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 2010.
- [8] Stoianovici D., Kim C, at ll, *Endocavity Ultrasound Probe Manipulators*, IEEE/ASME Transactions on mechatronics, 2012, DOI 10.1109/TMECH.2012.2195325
- [9] F. Pierrot, E. Dombre, E. Degoulange, L. Urbain, P. Caron, S. Boudet, J. Gariepy, and J. L. Megnien, *Hippocrate: A safe robot arm for medical applications with force feedback*, Med. Image Anal., vol. 3, no. 3, pp. 285–300, 1999.
- [10] J.J. Banihachemi J.J, Boidard E., Bosson J. L. at al, *TER: a robot for remote ultrasonic examination - Experimental evaluations*, Telesurgery, Springer Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, pp 91-99, 2008, DOI 10.1007/978-3-540-72999-0\_7.
- [11] Conti F, Park J., and Khatib O, *Interface Design and Control Strategies for a Robot Assisted Ultrasonic Examination System*, Proc. of the International Symposium on Experimental Robotics, New Delhi, India, December 2010.
- [12] Elliott S. T., *Volume ultrasound: the next big thing? Br. J. Radiol.*, 81, 8–9, 2008 (doi:10.1259/bjr/13475432).
- [13] Petrović, P., Lukić, N., Danilov, I., *Industrijski humanoidi - novi koncept robota za kolaborativni rad čovek-mašina u sistemima za robotsku montažu*, Zbornik radova 38. JUPITER konferencija, 34. simpozijum NU-ROBOTI-FTS, Beograd 2012, str. 3.126-3.139, ISBN: 978-86-7083-757-7.
- [14] P.B. Petrović, N. Lukić, I. Danilov, *Eksperimenti sa mekim zglobom industrijskog humanoida*, 57. ETRAN Konferencija, Zlatibor, jun 2013.

**Autori: Prof. dr. Petar B. Petrović<sup>1</sup>, Prof. dr. Janko Hodolić<sup>2</sup>, Ivan Danilov, dipl. ing.<sup>1</sup>, Nikola Lukić, dipl. ing<sup>1</sup> i Doc. dr. Djordje Vukelić<sup>2</sup>.**

1)Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Katedra za proizvodno mašinstvo, Centar za nove tehnologije, Kraljice Marije 16, 11120 Belgrade, Serbia, Tel: +381 11 3302435.

2)Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Institut za Proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2306, Fax: +381 21 454-495.

E-mail: pbpetrovic@mas.bg.ac.rs

hodolic@uns.ac.rs

idanilov@mas.bg.ac.rs

nlukic@mas.bg.ac.rs

vukelic@uns.ac.rs

Milekić, B., Trifković, B., Vuletić, J., Potran, M., Marković, D.

## PRIMENA ALGOMETRA U STOMATOLOGIJI

**Rezime:** Algometrija je objektivna, jednostavna i brza metoda za evaluaciju bola, koja se može primenjivati kako u naučnim istraživanjima, tako i u svakodnevnoj kliničkoj praksi. Izvodi se uz pomoć posebno konstruisanog instrumenta - algometra. Evaluacija bola uz pomoć algometra je objektivna, precizna, sigurna i relevantna. Pravilno kalibrisan algometar u kombinaciji sa drugim instrumentima za procenu bola je metoda izbora u pomoćnoj dijagnostici bola u regiji glave i vrata. U savremenoj stomatologiji algometrija bi trebala da postane sastavni deo kliničke dijagnostike i terapije.

**Ključne reči:** merenje bola, algometar, bol, algometrija

### 1. UVOD

Bol je multidimenzionalno iskustvo. Odatle i težnja da se objektivno i sveobuhvatno proceni. Algometrija se izdvojila kao jednostavna, brza i precizna metoda evaluacije bola, koja je od neprocenjivog značaja kako u svakodnevnoj kliničkoj praksi, tako i u brojnim naučnim istraživanjima. Krase je osobine da je neinvazivna, ponovljiva, validna, relevantna i ekonomski prihvatljiva metoda. Podjednako je primenljiva kako za jednostavne kontrole, tako i za sofisticirana merenja.

Definisana je kao visokosenzitivna, standardizovana, objektivna metoda merenja, koja se sprovodi uz pomoć aparata koji se naziva algometar. To je aparat koji na osnovu primenjenog pritiska, izvedene sile ili odgovarajuće mase na određenu jedinicu površine, detektuje i dokumentuje vrednosti praga bola i stepena podnošljivosti, praga tolerancije na bol [1, 2].

Algometrija se može shvatiti i kao metoda kojom se kvantifikuje ispitanikov subjektivan osećaj bola. Najčešće se koristi za kvantitativnu dijagnostiku različitih bolnih stanja, (posebno miofascijalnog bola i fibromialgije), kao i za istraživanja, koja se bave objašnjavanjem patofizioloških mehanizama različitih mišićnih bolnih sindroma [3].

Algometrija se kao klinička metoda primenjuje u sklopu različitih terapijskih i dijagnostičkih procedura:

1. Kvantitativna evaluacija stepena osetljivosti različitih oblika mišićnog bola
2. U dijagnostici fibromialgijskog sindroma
3. Kvantifikacija bola kod artritisa ili nekih drugih inflamatornih stanja.
4. Za diferencijalnu dijagnostiku dubokog mišićnog bola u odnosu na osetljivost

potkožnih tkiva

5. Na osnovu relevantnosti i ponovljivosti rezultata algometar ima važnu ulogu u otkrivanju stanja kada pacijent simulira bolest. Takođe moguća je njegova primena u vođenju dokumentacije o abnormalnoj osetljivosti u toku nekih ispada
6. Praćenje terapijskih efekata u nekim sistemskim bolnim stanjima
7. Praćenje stanja tretiranih trigger ili tender tačaka bola, kao prenosnih uzročnika pacijentovog stanja
8. Diferenciranje tačaka bola, koje uslovljavaju i potrebu za različitim terapijskim intervencijama
9. Praćenje uspeha terapije i delotvornosti leka

### 2. ALGOMETAR

Merenje se vrši aplikacijom sondi različitih dimenzija, na jedinicu površine koje se nazivaju tačke bola. Najčešće korišćene sonde su one prečnika 0,5 do 1cm, sa gumenim prenosnim delom, koji još više utiče na preciznost merenja [4,5].

Pritisak algometrom se odvija okomito na površinu tkiva i pritisak koji se vrši stalno je po istoj stopi primene [5]. Pritisak primenjene stope je obično u rasponu 0,05 - 20 N/s [6]. Ako je potrebna primena veće sile od 20 N na bolna mesta to ukazuje na pojavu hiperalgezije, što je izuzetno važan dijagnostički podatak [4]. Idealna kompresija se mora izvoditi dovoljno sporo da bi ispitanik na vreme mogao da reaguje kada oseti bol.

Postoje različite vrste ručnih (prostih) i digitalnih (elektronskih) algometara (Slika 1a, b). Ručni algometar ima mnoštvo nedostataka. Sa ovim algometrom je teško održati doslednu primenu stope na više testiranih perioda, što dovodi do

česte varijabilnosti u rezultatima. Takođe ograničeni su i rezultati testiranja koji povezuju bol sa biološkim aspektima u stvarnom vremenu. Izvedeni pritisak jako zavisi od ispitivača, njegove spretnosti i koncentracije.

Za reproduktivnost i validnost merenja algometrom od ključne važnosti su oprema i standardizovana metodologija (kalibracija instrumenta, ispitivača i mesta merenja) [1].



Slika 1. Prikaz manuelnog algometra (a) i slika digitalnog algometra (b)

Dizajn savremenog algometra opisan je još 1989. godine. Od tog doba unapređene su opruge, merači, dodati su elektronski čitači i menjani su načini kontakta sa kožom. Moderni algometri se sastoje od dela koji se prislanja na kožu, a koji se može sterilisati u autoklavu. Takođe ovaj deo je spojen sa optičkim enkoderom za beleženje sila u digitalnom formatu, kompatibilnim sa softverskom podrškom računara. Kako bi se eliminisala varijabilnost primenjene sile kod ručnog algometra, razvijen je pneumatski uređaj koji proizvodi konstantan pritisak. Greenspan i McGills (1991, 1994) koristili su čelične sonde različitih veličina i oblika kako bi odredili pritisak, oštrinu i senzacije bola na prstima ispitanika. Primenjena sila je kontrolisana od strane povratnog mehaničkog stimulišućeg sistema. Uvođenjem digitalnog algometra novije generacije sa softverskom podrškom od 2007. godine stvorene su nove mogućnosti za kvantifikaciju bola [7]. Takođe 2011. godine konstruisan je uređaj zamišljen tako da se uspostavi korelacija

između osećaja bola i vitalnih znakova (praćenje krvnog pritiska, pulsa, EMG-a, praga bola i tolerancije na bol). Na žalost, u našim uslovima ova tehnologija se ne primenjuje, prvenstveno, zbog ne posedovanja odgovarajuće aparature.

Većina autora se slaže u konstataciji da je algometrija pogodna kao metoda ispitivanja u različitim naučnim studijama, ali neki autori smatraju da joj u kliničkoj praksi treba pristupiti sa dozom opreza prilikom tumačenja rezultata [8,9].

Wagner FPI digitalni algometar je instrument koji omogućava praćenje ishoda lečenja, ispitivanje praga bola, ispitivanje tolerancije na bol, trigger i tender skorovanje [10]. Svojstva ove vrste algometara su unapređena postojanjem digitalnog merača (dizajn Plug'n'Play, tačnost od 0,3%, tastatura izbor uređaja - lbf / ozf / kgf / N, veliki 0,5" digitalni prikaz). Predstavlja patentirani Plug 'n Play dizajn uz kompaktno čvrsto prijanjajuće aluminijumsko kućište. Prikazuje "Peak", "T", "C" i "Lo Batt". Tenziju i pritisak meri u lbf, ozf, kgf i N jedinicama. Vrednosti prikazuje na 0.5" LCD displeju.

### 3. VREDNOSTI MERENJA DIGITALNIM ALGOMETROM

Dobijene vrednosti merenja sa ovim algometrom potvrđuju postojanje razlika u pragu bola između pacijenata sa mišićnim bolom i zdravih osoba. Mnoge studije su pokazale da je prag bola suštinski niži kod pacijenata sa fibromialgijom i orofacijalnim mišićnim disfunkcijama, nego kod zdravih ispitanika [1, 11].

Takođe kod zdravih osoba senzitivnost merenja varira na različitim mestima u istom delu tela. Istraživanja su pokazala da nema razlike u pragu bola između leve i desne strane u homolognim delovima tela [12]. Dakle, zdrava strana može se koristiti kao referentna kod jednostrano bolnih stanja. Izuzetno je dobra korelacija kod primene ove tehnike na sve dobne skupine i to kod oba pola [13].

Međutim u odnosu na pol nisu utvrđene statistički značajne razlike u vrednostima algometrijskih merenja. Takav stav nalazimo i u radovima drugih autora [3, 14,15]. U literaturi je ipak više onih koji podržavaju hipotezu o postojanju razlika između osoba muškog i ženskog pola u pojavi bola, merenog drugim vrstama algometara. Primena savremenog digitalnog algometra ove izvedbe tek je počela pre par godina, tako da merenja sa ručnim i drugim vrstama algometara nisu bila u potpunosti precizna [2].

Objašnjenje za nejednakosti u rezultatima koje se javljaju u literaturi treba tražiti i u primenjenim



tehnika merenja, različitim vrstama algometra koji su nejednako kalibrisani, mestima aplikacije, primenjenom intenzitetu itd. Sve ovo stvara sumnju da li je uopšte moguće poređenje takvih rezultata. Upravo zato bi predmet budućih istraživanja trebao da ide u pravcu razvijanja standardizovanih, kontrolisanih studija u odnosu na pol, koje bi bolje objasnile mehanizme uticaja polnih karakteristika i bola, kao i njihovo poređenje između pacijenata sa miofascijalnim bolom i zdravih osoba [16].

Važan podatak je i da se merenje smatra relevantnim tek kada se ponovi tri puta, što spada u jedan od aspekata standardizacije metodološkog postupka (3,17). Takođe između svakog od ovih izvedenih merenja neophodno je praviti pauze, da bi mišić izašao iz stanja izometrijske kontrakcije. Korišćenje i reproducibilnost algometrijskih merenja za kliničku praksu se ocenjuje kao dobra do izvrsna [18]. Procene na temelju dobre ponovljivosti rezultata i validnosti merenja se u literaturi često iskazuju preko interklasnog koeficijenta korelacije (ICC).

Takođe ICC nema osetljivost na sistemske promene kao što su poboljšanje ili pogoršanje usled ponovljenog testiranja. Štaviše, vrednosti ICC-a su bile u malom rasponu od 0,43 - 0,94 za pacijente sa MD, a u grupi zdravih ispitanika su takođe bili u nešto malo boljoj koreliranosti. Na pojavu značajnih razlika ICC-a utiče nekoliko faktora, prvenstveno različita mesta merenja, mali uzorak studije i iskustvo u testiranju. [18]

Usled mnoštva nesuglasica u načinima merenja bola i prikazivanju rezultata poslednjih godina u naučnoj literaturi iz ove oblasti, pojavila se inicijativa za formiranjem generalno prihvaćenog, normiranog protokola o primeni instrumenata za procenu bola kod različitih mišićnih bolnih sindroma. Jedan od takvih bio je i protokol čiji su tvorci Phau i sar. (2009), koji su sprovedli ispitivanje MFB i FM, u odnosu na vrednosti zdrave populacije. Njihov ispitivački protokol je izuzetno kompleksan, zahteva veliku stručnost i iskustvo osoba koje ga izvode i dugo traje. I pored ovih mana podaci koji se dobijaju mogu dati odgovor o multifaktorijskom aspektu bola i njegovoj mogućnosti da bude vodeći dijagnostički parametar. Instrumenti ovog protokola su algometrija, EMG, termalna i mehanička testiranja, vibracioni test, testovi stimulisanog, izazvanog bola, testovi psihološke procene i klinički pregled [19].

Čest metodološki pristup u stručnoj relevantnoj literaturi za dijagnostiku MD bio je u primeni kvantitativnog algometrijskog merenja bola, sa komparativnim merenjima vizuelnom analognom skalom bola - VAS [20]. Između ovih

instrumenata postoji međusobna povezanost, kao i to da su VAS i algometrija objektivnije i preciznije metode, od manuelne palpacije. Algometrija je bila u statistički značajnoj, negativnoj korelaciji sa vrednostima VAS u visokom rangu. Jedan od kriterijuma za razlikovanje miofascijalnog bola od drugih oblika bola u regiji glave, (npr. neurovaskularnih glavobolja, neuropatskih stanja itd) jeste osetljivost na palpaciju. U kliničkoj praksi, manuelna mišićna palpacija bila je predstavljena kao "zlatni standard" i još uvek je često primenjivana metoda ispitivanja mišićne osetljivosti [21, 22]. Svi problemi u vezi ovakve metodologije, koji se ogledaju u nemogućnosti standardizacije same procedure i u različitim interpretacijama reakcija pacijenta prilikom njenog izvođenja, nastoje se otkloniti algometrijskom metodom.

#### 4. ZAKLJUČAK

Zaključujemo da se algometrija preporučuje kao metoda ispitivanja u različitim naučnim studijama. Laka je, jednostavna za primenu i pouzdana na duže vreme. Pravilno kalibrisan algometar u kombinaciji sa drugim instrumentima za procenu bola je apsolutno ispravan i neophodan izbor u tzv. pomoćnoj dijagnostici bola u regiji glave i vrata. Zato možemo istaći da bi algometrija trebala da postane sastavni deo kliničke dijagnostike i terapije u svakodnevnoj kliničkoj praksi.

#### 5. LITERATURA

- [1.] Manfredini, D., Current Concepts on Temporomandibular Disorders. Berlin: Quintessence Publishing, 2010.
- [2.] Okeson, JP., Temporomandibularni poremećaji i okluzija. 5. izdanje-1. hrvatsko izdanje. Zagreb: Medicinska naklada, 2008.
- [3.] Ylinen, J., Pressure algometry. Australian Journal of Physiotherapy 2007; 53:207.
- [4.] Schmitter, M., Ohlman, B., John, M., Hirsch, C., Rammeisberg P. Research diagnostic criteria, for temporomandibular disorders: calibration reliability study. Cranio 2005; 23:212-218.
- [5.] Takahashi, K et al. Influence of surface anesthesia on the pressure pain threshold measured with different-sized probed. Somatosensory Motor Res 2005; 22: 299-305.
- [6.] Fischer, AA. Pressure algometry over normal muscles. Standard values, validity, and reproducibility of pressure threshold. Pain 1987; 30:115-126.
- [7.] Ylinen, J., Nyka, M., Kautiainen, H., Kkinen,

- A. Evaluation of repeatability of pressure algometry on the neck muscles for clinical use. *Man Ther* 2007;12:192-197.
- [8.] Jensen K et al. Pressure-pain threshold in human temporal region. Evaluation of a new pressure algometer. *Pain* 1986; 25:313-323
- [9.] Rolke, R., Campbell, AK., Magerl W, Treede RD. Deep pain thresholds in the distal limbs of healthy human subjects. *Eur J Pain* 2005; 9:39-48.
- [10.] <http://www.wagnerinstruments.com/wagpdfs/fpi.pdf>
- [11.] Bernhardt O, Schiffman EL, Look JO. Reliability and validity of a new fingertip-shaped pressure algometer for assessing pressure pain thresholds in the temporomandibular joint and masticatory muscles. *J Orofac Pain* 2007; 21:29-38.
- [12.] Smidt, N., van der Windt, DA., Assendelft, WJ., Mourits, AJ., Deville, WL., de Winter, AF., Bouter, LM. Interobserver reproducibility of the assessment of severity of complaints, grip strength, and pressure pain threshold in patients with lateral epicondylitis. *Arch Phys Med Rehabil* 2002; 83:1145-1150.
- [13.] Farella, M., Michelotti, A., Steenks, MH., Romeo, R., Cimino, R., Bosman, F. The diagnostic value of pressure algometry in myofascial pain of the jaw muscles. *J Oral Rehabil*. 2000; 27:9-13.
- [14.] Ayesh, EE., Jensen, TS., Svensson, P. Somatosensory function following painful repetitive electrical stimulation of the human temporomandibular joint and skin. *Exp Brain Res* 2007; 179:415-425.
- [15.] Nie, H., Arendt-Nielsen, L., Andersen, H., Graven-Nielsen, T. Temporal summation of pain evoked by mechanical stimulation in deep and superficial tissue. *J Pain* 2005; 6:348-355.
- [16.] Gracely, RH., Grant, MAB., Giesecke, T., Evoked pain measures in fibromyalgia. *Best Practice & Research Clinical Rheumatology* 2003; 17(4):593-609.
- [17.] Fredriksson, L., Alstergren, P., Kopp S., Absolute and relative facial pressure-pain threshold in healthy individuals. *J Orofac Pain* 2000; 14:98-104.
- [18.] Isselee, H., De Laat, A., Bogaerts, K., Lysens, R. Short-term reproducibility of pressure pain thresholds in masticatory muscles measured with a new algometer. *J Orofac Pain* 1998; 12:203-209.
- [19.] Pfau DB, Rolke R, Nickel R, Treede RD, Daublaender M. Somatosensory profiles in subgroups of patients with myogenic temporomandibular disorders and fibromyalgia syndrome. *Pain* 2009; 147(1-3):72-83.
- [20.] Friction, JR., Sheldon, GG. Muscle disorders. In: Pertes RA, Sheldon GG, editors. *Temporomandibular disorders and orofacial pain*. Chicago: Quintessence Publishing Co. 1995; 91-108.
- [21.] Dworkin, SF., LeResch, I. Research diagnostic criteria of temporomandibular disorders: Review, criteria, examinations and specifications, critique. *J Craniomandib Disord* 1992; 6:301-55.
- [22.] Grimmer-Somers, K., Vipond, N., Kumar, S., Hall, G. A review and critique of assessment instruments for patients with persistent pain. *Journal of Pain Research* 2009; 2:21-47.

**Autori:** **Asis.dr.sci. Bojana Milekić, Dr Jelena Vuletić, Dr Potran Michal, Prof. dr Dubravka Marković**, Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet u Novom Sad, Departman za stomatologiju, Hajduk Veljkova 12, 21000 Novi Sad, Srbija, Telefon: +381 21 661-33-62, Fax: +381 21 526-120.  
E-mail: bojanaana@neobee.net  
dubravkamarkovic@yahoo.com  
jelenavuletic@gmail.com  
michalpotran@gmail.com

**Asis.dr.sci Branka Trifković**, Univerzitet u Beogradu, Stomatološki fakultet, 11000 Beograd, Rankeova 4, Telefon: 011 2685 288.  
E-mail: brankatr@yahoo.com

## ZAHVALNICA

Rezultati prezentovani u ovom radu su realizovani u okviru projekta „Istraživanje i razvoj metoda modeliranja i postupaka izrade dentalnih nadoknada primenom savremenih tehnologija i računarnom podržanih sistema“, TR – 35020, finansiranog od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE  
ETIKUM 2013

## PROCEEDINGS

**Session 3:**

### **METROLOGY AND QUALITY IN THE FIELD OF ENVIRONMENTAL PROTECTION**

Novi Sad, 12-13 June 2013



*Rad po pozivu:*

Nakomčić-Smaragdakis, B., Čepić, Z., Dragutinović, N., Šljivac, D.

## KORIŠĆENJE KOGENERATIVNOG BIOGAS POSTROJENJA U CILJU SMANJENJA ZAGAĐENJA ŽIVOTNE SREDINE

**Rezime:** *Racionalno gazdovanje energijom predstavlja opšti interes društva u celini. Ograničenost u raspoloživim resursima fosilnih goriva, dovela je do razvoja novih tehnologija za korišćenje obnovljivih izvora energije, među kojima je značajna uloga i biogasa kao energenta. Vojvodina kao poljoprivredno orijentisana regija, raspolaže sa značajnijim potencijalima u biomasi i biogasu. Potencijal biogasa u AP Vojvodini mogao bi da obezbedi oko 20 GWh električne energije godišnje. Kogenerativna proizvodnja toplotne i električne energije iz biogasa omogućuje smanjenje zagađenja životne sredine, što je u radu prikazano na primeru farmi u Vrbasu, gde su izračunati sprečena emisija CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, ostvarena emisija NO<sub>x</sub> kao i sprečen uticaj nerazgrađenog stajnjaka na zemljište.*

**Ključne reči:** *Kogenerativno postrojenje, Biogas, Metan, Redukcija zagađenja*

### 1. UVOD

Jedno od fundamentalnih globalnih pitanja današnjice predstavlja problem iscrpljivanja resursa, među kojima dominiraju energetske resursi. U vreme kada se rezerve fosilnih goriva smanjuju, energetske troškovi rastu, a životnu sredinu ugrožava nepravilno odlaganje otpada, pronalazjenje rešenja za problem biološkog otpada i tretman otpadnih organskih materija postaje pitanje od najveće važnosti. Osim toga, pitanje energetske sigurnosti i stabilnosti u poslednjih nekoliko godina postalo je važno pitanje čitavog svetskog ekonomskog, privrednog i društvenog sistema. U samom energetske sektoru najvažniji mehanizmi za smanjenje emisije gasova sa efektom staklene bašte (GHG) su opšte poznati, ali ipak vredni ponovnog spominjanja, energetska efikasnost i uvođenje obnovljivih izvora energije u proizvodnji, transmisiji, distribuciji, potrošnji i zadovoljenju energetske potreba.

Globalni ciljevi za smanjenje zagađenja, ciljevi Kjoto sporazuma, kao i pitanja vezana za zdravlje ljudi, životinja i bezbednosti hrane zahtevaju odgovarajuća rešenja za adekvatno upravljanje organskim otpadom, gde životinjski otpad i anaerobna digestija igraju sve veću ulogu. Stajnjak može biti odličan obnovljiv izvor energije i istovremeno odličan izvor nutritijenata korišćen u poljoprivredne svrhe. S druge strane, velike količine životinjskog stajnjaka zbrinute na neadekvatan način predstavljaju opasnost od zagađenja sa potencijalno negativnim uticajem na životnu sredinu. Anaerobna digestija životinjskog stajnjaka ima za cilj konverziju organskog otpada u dve kategorije vrednih proizvoda: to je biogas,

obnovljivo gorivo koji se može koristiti za proizvodnju "zelene" električne i toplotne energije, i prerađeni supstrat, koji se može koristiti kao đubrivo u poljoprivredi. Osim toga, anaerobnom digestijom životinjskog stajnjaka pozitivan doprinos ogleđa se i u smanjenju emisije ugljen-dioksida i metana, sprečavanju štetnog delovanja nerazgrađenog tečnog stajnjaka na okolno zemljište, kao i smanjenju prostiranja neprijatnog mirisa.[1,2]

Kada se govori o biogasu, kao jednom od globalno zastupljenijih alternativnih izvora energije, obično se misli na gas sa velikom količinom metana u sebi, koji nastaje fermentacijom organskih supstanci, kao što su stajnjak, mulj iz otpadnih voda, gradski čvrsti otpad ili bilo koja druga biorazgradljiva materija, pri anaerobnim uslovima. Biogas je mešavina metana i ugljen-dioksida, a može sadržati i amonijak, sumpor-dioksida i vodonik u zavisnosti od korišćene biomase. Često se za biogas koriste i nazivi kao što su barski gas, deponijski gas, močvarski gas i slično, u zavisnosti od mesta nastanka. Svaki od njih ima različit sadržaj metana i ugljen-dioksida i manji udeo drugih gasova.

Prva istraživanja sa biogasom započeo je italijanski prirodnjak Alessandro Volta (1745–1827), koji je 1770. godine istraživao sagorevanje gasova iz močvara severnih jezera Italije. Engleski fizičar Michael Faraday (1791–1867) takođe je eksperimentisao sa gasovima iz močvare i utvrdio da se radi o ugljovodonicima. Ali je tek 1821. godine Amadeo Avogadro (1776–1856) izveo hemijsku formulu za metan koji je osnovni sastojak močvarnih gasova. Poznati francuski bakteriolog Louis Pasteur (1822–1895) istraživao

je biogas dobijen iz stajnjaka i prvi je predložio da se konjska balega voznog parka Pariza upotrebi za dobijanje gasa za osvetljenje ulica. Tek nakon drugog svetskog rata su otkriveni određeni poljoprivredni potencijali kao izvor dobijanja biogasa.

## 2. BIOGAS

Biogas je mešavina metana i ugljen-dioksida, koja se dobija prilikom razgradnje organskih materija pod anaerobnim uslovima. To je kvalitetno gorivo, koje može da zameni fosilna goriva, a takođe je i CO<sub>2</sub> neutralno. Pošto se biogas proizvodi tamo gde se organski materijal razgrađuje bez vazduha, postoji širok spektar organskih materija koje su pogodne za anaerobnu razgradnju. [3]

Neke od tih materija su:

- tečno i čvrsto stajsko đubrivo,
- posebno prikupljan biološki otpad iz stambenih delova,
- obnovljivi materijali, kao što su kukuruzna silaža, semenke koje se ne koriste za ishranu,
- mulj iz kanalizacije i masti,
- korišćeni podmazivači,
- trava (npr. u EU neobrađena zemlja),
- biološki otpad iz klanica, pivara, destilerija, prerade voća i proizvodnje vina, mlekararstva, industrije celuloze, šećerana...

Skoro svaka organska materija se može biološki razgraditi. Otpaci sa životinjskih farmi sastoje se uglavnom od životinjskog izmeta, u vidu tečnog stajnjaka, koji sadrže od 75-95% vode. Pre svega, važno je da u substratu bude dovoljno ugljenika. To se obično postiže sadržajem čvrstih materija od 5%, što je inače potrebno iz fizičkih razloga obzirom da se na njihovu površinu nastanjuju bakterije. Osim ugljenika, sadržaj azota i fosfora je od fundamentalnog značaja. Optimalan odnos ugljenika i azota je 20-30:1, dok je za odnos ugljenik fosfor to 150:1. Osim azota i fosfora potrebna je još i manja količina sumpora, i u tragovima kalcijum, kalijum, magnezijum, cink i gvožđe. Ovi elementi se obično nalaze u dovoljnoj količini u samom otpadu. Karakter anaerobnog procesa takođe zavisi i od niza faktora od kojih treba istaći temperaturu, sastav substrata, brzinu opterećenja, hidrauličko vreme zadržavanja, starost mulja, mešanje mulja, vrstu i broj prisutnih mikroorganizama i oblik trulišta. [4]

Kao što je već navedeno, kvalitet anaerobne digestije i sastav biogasa zavisi od niza faktora. U proseku, on se sastoji od 60-70% metana, 30-40% ugljen-dioksida. Osim ovih glavnih komponenata, sadrži još ugljenmonoksid, vodonik, azot,

vodoniksulfid, čiji sadržaj zavisi uglavnom od sastava ulaznog substrata. Toplotna moć biogasa zavisi od njegovog sastava, odnosno od sadržaja metana. Za navedeni prosečni sastav biogasa toplotna moć se kreće između 20-26 MJ/Nm<sup>3</sup>. Sušenjem gasa i smanjenjem sadržaja ugljen-dioksida povećava se njegova toplotna moć.

U tabeli 1. prikazani su prosečni sastavi suvog gasa dobijenog procesima biodegradacije pri anaerobnim uslovima u prirodnom sistemu (deponijski gas) – kolona 1, i gasa generisanog u reaktorima – kolona 2, kao i sastav deponijskog gasa na deponiji JKP "Čistoća" u Novom Sadu, kolona – 3. [5]

Tabela 1. Prosečan sastav biogasa [5]

Komponenta	Zapreminski udeo u suvom gasu [%]		
	1	2	3
Metan CH <sub>4</sub>	54	55 – 75	45 – 60
Ugljen-dioksid CO <sub>2</sub>	42	25 – 45	40 – 60
Ugljen-monoksid CO	-	0 – 0,3	0 – 0,2
Azot N <sub>2</sub>	3,1	1 – 5	2 – 5
Kiseonik O <sub>2</sub>	0,8	u tragovima	0,1 – 1
Sumpor-vodonik H <sub>2</sub> S	0,9	0,1 – 0,5	0 – 1
Amonijak NH <sub>3</sub>	-	-	0,1 – 1
Fluor F <sub>2</sub>	5*	-	-
Vodonik H <sub>2</sub>	-	0 – 3	-

\* - dato u mg/m<sup>3</sup> suvog gasa

U kontrolisanom okruženju proces anaerobne digestije se odvija u digestoru, hermetički zatvorenom sudu u koji se pored organskog rastvora dovodi i nekoliko vrsti bakterija. Na optimalnoj temperaturi od oko 38°C pod dejstvom mikroorganizama dolazi do razlaganja manjih organskih molekula u organske kiseline, od kojih potom nastaje metan. Nakon završenog procesa, tečni efluent se odvodi na dodatni tretman, dok se biogas može koristiti za dobijanje toplotne i/ili električne energije. Mešanje substrata omogućava bolje snabdevanje mikroorganizama hranjivim materijama jer zbog mešanja oni dospevaju u sve slojeve substrata pospešujući postupak proizvodnje biogasa. Zadržavanje substrata u digestoru je između 20 i 40 dana, zavisno o vrste substrata i temperature na kojoj se odvija digestija. [3,6]

## 3. PROCES DOBIJANJA ELEKTRIČNE I TOPLOTNE ENERGIJE IZ BIOGASA

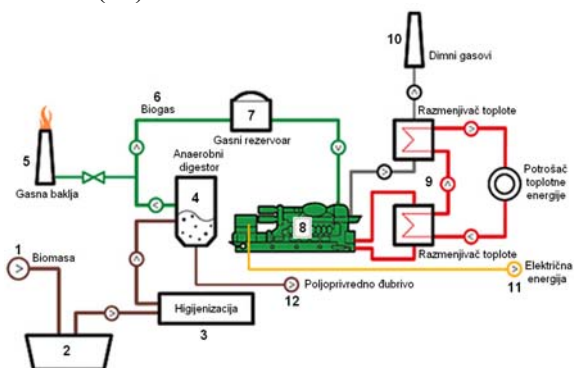
Toplotna moć biogasa je oko 6,5 kWh/Nm<sup>3</sup>. Jedan kubni metar biogasa sadrži približno istu količinu energije kao 0,6 litara lož-ulja, odnosno 0,65 Nm<sup>3</sup> prirodnog gasa.

Osnovni proces proizvodnje biogasa obično se sastoji iz tri dela:

- priprema biološkog inputa,
- razgradnja,

- tretman ostataka.

Kao što je prikazano na shemi (slika 7), organski materijal se prvo skuplja u rezervoaru za pred-skupljanje i mešanje (2). Ovaj rezervoar služi za mešanje i homogenizaciju različitih fermentacionih materija. Nakon higijenzacije na 70°C, gde se uništavaju sve bakterije negativne po proces fermentacije (3), materijal se transportuje u anaerobni digester (4). U slučaju prestanka rada postrojenja (npr. redovan servis), kao i u slučaju veće proizvodnje gasa, neophodna je gasna baklja, koja višak biogasa sagoreva (5). Prečišćena biomasa predstavlja početak anaerobne razgradnje. Neophodni uslov je konstantna temperatura i pH vrednost od 6,5 do 7,5. Kako bi se osigurao stalni dotok gasa, nezavisno od protoka inputa, proizvedeni biogas se skuplja u gasnom rezervoaru (7), odakle zatim odlazi u gasni motor (8). Toplota koja se stvara tokom rada motora, može da se efektivno iskoristi preko razmenjivača toplote (9). Ukupno je moguće iskoristiti oko 50% inputa kao toplotnu energiju za potrošače. Korišćenjem generatora, mehanička energija gasnog motora se pretvara u električnu energiju (11). Električna efikasnost motora GE Jenbacher je oko 40%. Posmatrano iz drugog ugla, za rad kogenerativnog postrojenja električne snage 500 kW potrebna je balega od oko 2.500 krava, 30.000 svinja ili 300.000 kokošaka. Preostali substrat može da se koristi kao poljoprivredno đubrivo (12).



Slika 1. Proces proizvodnje biogasa [3]

#### 4. POTENCIJAL PROIZVODNJE BIOGASA U AP VOJVODINI

Jedno od glavnih pitanja u proizvodnji biogasa je koliko se od jedinice organske materije može dobiti biogasa. S obzirom na to da dobijanje biogasa zavisi od mnogih činilaca, mogu se dati samo orijentacione vrednosti, prikazane u tabeli 2.

Tabela 2. Količina dobijenog biogasa iz pojedinih vrsta organske materije [7]

Organska materija	Količina biogasa u [m <sup>3</sup> /l]

Goveđe đubrivo	90-310
Svinjsko đubrivo	340-550
Kokošije đubrivo	310-620
Stajsko đubrivo	175-280

Pri razmatranju mogućnosti primene kogeneracije biomase u AP Vojvodini, za potencijal proizvodnje biogasa razmatrani su isključivo ekskrementi životinja, i to samo za velike farme. Procenjeno je da bi godišnja proizvodnja električne energije mogla da bude oko 20 GWh. Ukoliko se računa sa 8.000 h rada pri nominalnom opterećenju, instalirana snaga bila bi oko 2,5 MWe. Data je i procena da bi električna snaga do 2020. mogla da se udvostruči zbog trenda ukрупnjavanja farmi, na oko 5 MWe.[8]

U tabeli 3 prikazani su zvanični statistički podaci o broju stoke u Vojvodini.

Tabela 3 Broj stoke u AP Vojvodini, stanje u decembru 2010.[8]

	Goveda [kom]	Svinje [kom]	Živina [kom]
Ukupno APV	224.808	1,390.243	11,165.877
Privredna društva i zem. zadruge	24.716	486.963	5,164.458

Posebno je prikazan broj stoke privrednih društava i zemljoradničkih zadruga. Procenjuje se da ovi privredni subjekti imaju dovoljan broj uslovnih grla (UG) da samostalno, ili u kombinaciji sa silažom, ostvare izgradnju optimalne veličine biogasa postrojenja (više od 150 kWe). U novije vreme, to je sigurno moguće i na nekim od porodičnih gazdinstava, koja obrađuju i više stotina hektara i poseduju veći broj grla stoke.[8]

Procena je da proizvodnja biogasa na 5 velikih farmi goveda i 5 velikih farmi svinja koje se nalaze u AP Vojvodini, ima potencijal od oko 161 TJ/godišnje. Na ovim farmama je realno moguće ostvariti proizvodnju od 16 GWh/god (56 TJ/god) električne energije i oko 64 TJ/god (18 GWh/god) toplotne energije korišćenjem gasnih motora manjih snaga (0.5 do 1.0 MWe), što ovu proizvodnju biogasa čini vrlo opravdanom. [9]

Autonomna Pokrajina Vojvodina je razvijena poljoprivredna regija, a samim tim su i potencijali proizvodnje biogasa veliki. Ranih osamdesetih godina bilo je izgrađeno nekoliko postrojenja, od kojih se trenutno u eksploataciji ne nalazi ni jedno. Neka od postrojenja nikad nisu ni proradila, zbog tehničko-tehnoloških propusta u rešenjima još prilikom njihove izgradnje, a ostala su prestala da rade zbog lošeg održavanja i nepridržavanja propisa o korišćenju.

## 5. PRIMENA KORIŠĆENJA BIOGASA NA PRIMERU VRBASA

Vrbas spada u grupu veoma starih vojvođanskih naselja, koje ima sve mogućnosti da postane industrijski i razvojni centar ne samo AP Vojvodine i R. Srbije, već i Istočne Evrope. Kao svojevrsni industrijski centar bio bi pogodna lokacija za izgradnju budućeg postrojenja za proizvodnju biogasa. Na relativno maloj udaljenosti nalaze se farma svinja koja bi bila osnovni izvor sirovine tj. supstrata, zatim industrija ulja i biljnih masti "Vital", industrija mesa i mesnih preradevina "Carnex", fabrika šećera "Bačka", koje bi sa svojim organskim otpadom bile izvor kosupstrata.

Potencijalni investitori u biogas postrojenja prvenstveno su farme sa više od 1.000 uslovnih grla stoke i veliki zagađivači životne sredine, pre svega, otpadnim vodama i organskim otpacima. U opštini Vrbas nalaze se 4 velike farme, sa preko 1.000 UG svinja ili goveda i jedna manja farma sa 100 UG svinja, na kojima bi bilo moguće ostvariti organizovanu proizvodnju biogasa. Izgradnjom biogas postrojenja na ovim farmama, najveći efekat bi se postigao sa stanovišta zaštite životne sredine, jer bi se sprečilo ispuštanje nerazgrađenog tečnog stajnjaka u okolno zemljište i obližnje vodotokove. Pored toga, moguće je ostvariti značajnu proizvodnju energije, električne i toplotne. U opštini Vrbas nalazi se 5 velikih stočarskih farmi, od kojih se 3 nalazi u kompleksu „Carnex-a”, a to su farme svinja u Savinom Selu, Bačkom Dobrom polju i „Farmakop” u Vrbasu, i farme „Sava Kovačević” i „Supermix” u Kucuri. [10]

U tabeli broj 3 dat je broj uslovnih grla i moguća dnevna i godišnja proizvodnja biogasa na farmama u opštini Vrbas.

Tabela 3. Broj UG i moguća dnevna i godišnja proizvodnja biogasa na farmama opštine Vrbas [10]

Farma	Farma u Savinom Selu	Farma u Bačkom D. polju	Farmakop	Sava Kovačević	Supermix
Broj UG na farmi	2.639	1.958	5.275	1.077	100
Moguća dn. proizvodnja biogasa (m <sup>3</sup> /d)	3.600	2.880	7.250	1.110	130
Moguća god. proizvodnja biogasa (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /d)	1.26	1.01	2.54	0.40	0.044

Kao što se iz tabele 4 može videti farme u Savinom selu, Bačkom dobrom polju i

„Farmakop” u Vrbasu, i „Sava Kovačević” i „Supermix” u Kucuri, mogu da ostvare dnevnu proizvodnju biogasa od 3.600, 2.880, 7.250, 1.110 i 130 m<sup>3</sup>/d, respektivno.

Prosečno četvoročlano domaćinstvo u R. Srbiji potroši oko 600 kWh električne energije mesečno, odnosno 7.200 kWhel godišnje. Kada bi se ostvarila moguća proizvodnja električne energije iz biogasa na farmi u Savinom Selu od 3.013 MWhel, moguće bi bilo snabdevati električnom energijom 420 domaćinstava. Što se tiče preostalih farmi, proizvodnjom električne energije sa ovih farmi, moguće bi bilo snabdevati 340, 845, 130 i 15 domaćinstava, što ukupno sa svih 5 farmi daje mogućnost snabdevanja 1.750 domaćinstava.

### 5.1. Procena uticaja na životnu sredinu

Pozitivan doprinos planiranih biogas postrojenja na farmama u Opštini Vrbas, ogleda se u smanjenju emisije ugljendioksida i metana, sprečavanju štetnog delovanja nerazgrađenog tečnog stajnjaka na okolno zemljište, kao i smanjenju prostiranja neprijatnog mirisa. Trenutno, najveći problem predstavlja ispuštanje nerazgrađenog tečnog stajnjaka u okolno zemljište i kanale. U „Farmakopu”, jedan deo tečnog stajnjaka separira se i transportuje u lagune, dok se preostali deo ispušta u Veliki bački kanal, kao i na farmi „Sava Kovačević”, samo što se u ovom slučaju deo čvrste separacije rastura po poljima. „Supermix” poseduje septičke jame koje se prazne i tečni stajnjak se rastura takođe po poljima.

Smatra se da ugljen-dioksid, koji nastaje pri sagorevanju biogasa, ne doprinosi povećanju efekta staklene bašte, jer su biljke odgovarajuću količinu ugljen-dioksida prethodno preuzele u procesu fotosinteze iz atmosfere i vezale ga u organsku materiju. Do emisije metana, koji je 23 puta odgovorniji za stvaranje efekta staklene bašte nego ugljendioksid, kod postrojenja za biogas sa zaptivenim fermentorom može da dođe samo u slučaju havarija, ukoliko dođe do ekscenog ispuštanja biogasa u atmosferu.

### 5.2. Redukcija emisije zagađujućih materija na primeru farme svinja u Savinom Selu

#### *Redukcija emisije ugljen-dioksida*

Redukcija emisije ugljen-dioksida izračunata je na osnovu vrednosti emisije ugljen-dioksida koja bi se odavala u atmosferu, kada bi se ista količina električne energije proizvela iz fosilnih goriva. Emisija ugljen-dioksida u slučaju proizvodnje električne energije iz fosilnih goriva u termoelektranama, iznosi 0,27 kg CO<sub>2</sub>/kWh<sub>el</sub>. Ova vrednost dobijena je na osnovu stehiometrijskih



proračuna sagorevanja fosilnih goriva. Vrednost redukovane emisije ugljendioksida na godišnjem nivou dobija se kada se količina električne energije, koja bi se proizvela izgradnjom biogas postrojenja, pomnoži iznosom emisije u slučaju sagorevanja fosilnih goriva:

$$RCO_2 = 3 \cdot 10^6 kWh_{el} \times 0.27 kgCO_2 / kWh_{el} \quad (1)$$

$$= 814 tCO_2 / god$$

gde je:

$RCO_2$  - Redukovana emisija ugljen-dioksida na godišnjem nivou, koja bi se ispuštala u atmosferu sagorevanjem fosilnih goriva [t  $CO_2$ /god].

Godišnja proizvodnja biogasa na farmi svinja u Savinom Selu iznosi  $1,26 \cdot 10^6 m^3$ . Gustina ugljendioksida iznosi  $1,9768 kg/Nm^3$ , pa se preračunavanjem dobije da se godišnje u atmosferu ispusti 831 t ugljen-dioksida.

Ukupnu redukciju ugljen-dioksida čini zbir redukcije ugljen-dioksida zbog toga što se neće sagorevati fosilna goriva i količine koja se neće emitovati iz nezaštićene lagune u atmosferu, što ukupno čini:

$$814 + 831 = 1.645 t / god \quad (2)$$

#### **Redukcija emisije metana**

Na osnovu dnevne proizvodnje biogasa od  $3.600 m^3$ , godišnja proizvodnja biogasa iznosi oko  $1,26 \cdot 10^6 m^3$ , a godišnja proizvodnja metana oko  $0,76 \cdot 10^6 m^3$ , uz pretpostavku da je procentualni udeo metana u biogasu 60%. Gustina metana iznosi  $0,717 kg/m^3$ , pa se dobija da se godišnje proizvede oko 540 t metana. Pošto se izgradnjom i eksploatacijom biogas postrojenja sprečava emisija metana u atmosferu, proizilazi da će sprečena emisija metana iznositi 540 t/god. [10]

#### **Emisija NOx**

Prema katalogu proizvođača gasnih agregata „Jenbacher“, data je vrednost količine NOx koja se ispusti u atmosferu sagorevanjem  $1 m^3$  biogasa u agregatima tog proizvođača i ona iznosi maksimum  $500 mg/m^3$ , pa se godišnje u atmosferu ispusti maksimum 0,630 t azotnih oksida (NOx), jer je količina biogasa raspoloživa na godišnjem nivou  $1,26 \cdot 10^6 m^3$ . [10]

#### **Redukcija neprijatnih mirisa**

Neprijatni mirisi predstavljaju vid zagađenja koji je najočigledniji i na koji se ljudi najčešće žale. Pravilnom eksploatacijom biogas postrojenja, otklonili bi se neprijatni mirisi koji se sada rasprostiru jer se tečni stajnjak odlaže u lagune ili kanale u okolini farme.

#### **Redukcija zagađenja zemljišta**

Osim štetnog delovanja gasova ispuštenih u

atmosferu, dodatno životnu sredinu zagađuje i osoka ispuštena u zemljište ili vodotokove. Na farmi u Savinom Selu dnevno se proizvede 70,5 t tečnog stajnjaka, što na godišnjem nivou iznosi 25.730 t tečnog stajnjaka. Ta osoka se sada ne razgrađuje kontrolisano, nego se pušta u nezaštićeno zemljište. Time se zagađuje okolno zemljište, podzemne vode, pa i vodotokovi koji su spojeni sa podzemnim vodama. Izgradnjom biogas postrojenja potpuno bi se otklonio ovaj štetan uticaj, a prevrela tečnost koja u sebi još uvek sadrži organsku materiju, tretirala bi se u rezervoaru prevrele tečnosti aerobnom fermentacijom. Nakon toga bilo bi potpuno bezbedno ispustiti ovakav sadržaj u okolinu, odnosno upotrebiti je kao đubrivo u ratarstvu. [8]

Po analogiji sračunate su i redukcije emisije zagađujućih materija na preostale 4 farme opštine Vrbas, što je i prikazano u tabeli 4.

Tabela 4. Ekološki efekti planiranih biogas postrojenja [10]

Farma	Farma u Savinom Selu	Farma u Bačkom D. polju	Farmakop	Sava Kovačević	Supermix
Sprečena emisija $CO_2$ (t/god)	1.645	1.255	3.14	480	55
Sprečena emisija $CH_4$ (t/god)	540	435	1.090	170	19
Sprečen uticaj nerazgrad. stajnjaka na zemlj. (t/god)	25.730	18.980	51.100	15.330	840
Ostvarena emisija $NO_x$ (t/god)	0.630	0.505	1.270	0.194	0.022

## **6. ZAKLJUČAK**

Aдекватna dispozicija tečnog stajnjaka, postala je problem savremenog stočarstva. Prečišćavnje tečnog stajnjaka, sprečavanje difuznog zagađenja kao i smanjenje aero-zagađenja emitovanih sa životinjskih farmi ostaje i dalje veliki izazov stručnjacima iz ove oblasti. Rešavanje ovog problema u budućnosti će biti još teže, zbog stalno rastućih troškova energije. Rapidan rast cene energije sputava primenu savremenih metoda obrade ali istovremeno otvara put istraživanjima u pravcu iznalazanja alternativnih metoda prečišćavanja. Kao jedna od metoda jeste anaerobna digestija koja rešava problem tretmana uz smanjene troškove energije. Ranije se ovaj način obrade smatrao suviše skupim za

prečišćavanje tečnog stajnjaka, međutim danas postaje sve interesantniji. Osim toga, biogas se proizvodi regionalno (distribuirani proizvođači energije), čime se omogućava zapošljavanje stanovništva i angažovanje domaće industrije. Poljoprivreda dobija dodatne i sigurne dugoročne izvore prihoda, a iz ostataka iz proizvodnje biogasa dobija se biodubrivo, koje supstituise mineralno đubrivo.

Proces anaerobne digestije postaje sve popularniji način tretiranja organskog otpada, jer omogućava prikladan način pretvaranja otpada u električnu i toplotnu energiju, čime se smanjuje količina otpada, kao i broj patogenih supstanci, koje se nalaze u otpadu. Takođe, upotreba biogasa se podstiče, jer se na taj način dobija energija, a ne povećava se količina ugljen-dioksida u atmosferi. Takođe, sagorevanje metana je znatno čistije u odnosu na sagorevanje ugljeva.

Poseban akcenat u radu stavljen je na izgradnju biogas postrojenja u Vrbasu koja pokazuje pozitivne efekte korišćenja ovog obnovljivog izvora energije čijom bi se primenom postigla značajna redukcija emisije zagađujućih materija.

S obzirom da je AP Vojvodina poljoprivredno orijentisana, postoji značajan potencijal za izgradnju biogas postrojenja. Potrebno je podsticati povećano korišćenje ostatka biomase za proizvodnju toplotne energije, proizvodnju biogasa iz tečnog stajnjaka, koji bi se koristio za kombinovanu proizvodnju toplotne i električne energije.

Proizvodnja i valorizacija biogasa biće posebno interesantna na novim savremenim farmama, koje će se graditi u budućnosti. S obzirom da količina organskog otpada kao posledica antropoloških aktivnosti progresivno raste, i uz činjenicu da taj isti organski otpad može biti korišćen kao energetska resurs, pametnom i efikasnom energetsom politikom, farme mogu obezbediti energetska samostalnost, ostvariti ekonomsku dobit i ekološke benefite.

## 7. REFERENCE

- [1] Holm-Nielsen, J.B., Al Seadi, T., Oleskowicz-Popiel, P., *The future of anaerobic digestion and biogas utilization*, Bioresource Technology 100, pp 5478–84, 2009
- [2] Jingura, R.M., Matengaifa, R., *Optimization of biogas production by anaerobic digestion for sustainable energy development in Zimbabwe*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 13, pp 1116–20, 2009
- [3] Radišić, M., *Proizvodnja i primena biogasa*,

monografija, Zrenjanin, 2006.

- [4] Martinov, M., Tešić, M., Đatkov, Đ., *Energetsko, ekonomsko i ekološko vrednovanje rada potencijalnog biogas postrojenja u PK „Mitrosrem”*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2007.
- [5] Effenberger, M., Gronauer, A., Bukurov, M., *Doprinos zaštiti životne sredine korišćenjem biogasa*, Procesna tehnika i energetika u poljoprivredi 8:3-4: 68-71, 2004.
- [6] Nakomčić-Smaragdakis, B., Stupavski, M., Čepić, Z., Momčilović, D., *Tretman komunalnih otpadnih voda i proizvodnja biogasa*, Savremena poljoprivredna tehnika, Vol.38, No2, pp 131-143, Novi Sad, 2012.
- [7] Jovanović, B., Parović, M., *Stanje i razvoj biomase*, Beograd, 2009.
- [8] Martinov, M., i dr., *Studija o proceni ukupnih potencijala i mogućnostima proizvodnje i korišćenja biogasa na teritoriji AP Vojvodine*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2011
- [9] Gvozdenac, D., Nakomčić-Smaragdakis, B., Gvozdenac-Urošević, B., *Obnovljivi izvori energije*, FTN izdavaštvo, Novi Sad, 2010.
- [10] Tešić, M., Bukurov, M., Nakomčić-Smaragdakis, B., *Biogas plants in AP Vojvodina*, In proceedings, Joint workshop of geothermal and biomass energy sources for countries along the Danube, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2006.

## 8. ZAHVALNICA

Rad predstavlja deo istraživanja na projektima III-46009, III-42006, III-42004, III-42011 koje finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja.

**Autori:** Doc. dr Branka Nakomčić-Smaragdakis<sup>1</sup>, M.Sc. Zoran Čepić<sup>1</sup>, M.Sc. Nataša Dragutinović<sup>1</sup>, Prof. dr Damir Šljivac<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za Inženjerstvo zaštite životne sredine i zaštite na radu, Trg D. Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel: +38121-485-2395;

<sup>2</sup>J. J. Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Kneza Trpimira 2b, Osijek, Croatia

E-mail: [nakomcic@uns.ac.rs](mailto:nakomcic@uns.ac.rs)

[zorancepic@uns.ac.rs](mailto:zorancepic@uns.ac.rs)

[natasadragutinovic@uns.ac.rs](mailto:natasadragutinovic@uns.ac.rs)

[sljivac@etfos.hr](mailto:sljivac@etfos.hr)

Vojinović Miloradov, M., Španik, I., Radonić, J., Turk Sekulić, M., Milovanović, D., Mihajlović, I.

## NALAŽENJE EMERGENTNIH SUPSTANCI U POVRŠINSKIM VODAMA DUNAVA KOD NOVOG SADA

**Rezime:** *Emergentne supstance (ES) su sveprisutni, perzistentni i biološki aktivni polutanti, koji su rezultat prirodnih, industrijskih i antropogenih aktivnosti, a nisu uključeni u rutinske monitoring programe na EU nivou. Dominantne fizičko-hemijske karakteristike ES su: negativni efekti niskih doza, pseudo-perzistentnost/perzistentnost, stabilna struktura, slaba degradabilnost, hidrofилnost/lipofilnost, biokoncentracija/bioakumulacija u akvatičnim organizmima, hronični efekti, endokrini aktivnost, suspektna teratogenost i kancerogenost. U radu će biti istaknute posebnosti i specifičnosti, toksičnost i hazardnost ES, kao što su fenomeni pseudo-perzistencije i negativnih efekata niskih i subniskih doza ES na životnu sredinu, kao i prvi, originalni preliminarni rezultati screening-a ES u Dunavu u blizini Novog Sada, dobijenih u okviru međunarodnog Projekta (ESP.EAP.SFPP 984087).*

**Gljučne reči:** *emergentne supstance, površinska voda, Dunav, Novi Sad*

### 1. UVOD

Širok spektar sintetskih hemikalija, ali i prirodnih, koje su klasifikovane prema NORMAN-u kao emergentne supstance (ES), dizajnirane za upotrebu u industriji, poljoprivredi, farmaciji, veterini kao i komponente različitih sredstava za ličnu i kućnu higijenu, predstavljaju novoprepoznatu opasnost za životnu sredinu i zahtevaju posebnu pažnju istraživačkih aktivnosti, struke, regulatornih tela i javnosti. Negativni efekti niskih doza, toksičnosti i hazardnosti ES i efekat pseudo-perzistencije su prepoznati kao snažni hemijski i eko stresori na ukupnu biosferu sa nepoznatim toksičnim posledicama, sudbinom i transportom kroz sve medijume životne sredine. Efekti niskih doza se registruju u pikomolarnom i nanomolarnom opsegu. ES su najviše prisutne u otpadnim vodama i prirodnim recipientima, ali se detektuju i u podzemnim vodama i u sirovoj vodi za proizvodnju pijaćih voda. Najčešći putevi unosa ES u životnu sredinu su: otpadne komunalne i industrijske vode, filtratne vode sa deponija, odlaganje kontaminiranog mulja i otpada, akcidenti i drugi načini.

Dominantne fizičko-hemijske karakteristike, pored negativnog efekta niskih doza i pseudo perzistencije, su stabilna molekulska struktura, slaba degradabilnost, hidrofилnost i lipofilnost, biokoncentracija/bioakumulacija u akvatičnim organizmima, interakcija sa proteinima, toksičnost sa hazardnim efektima, suspektna teratogenost, mutagenost i kancerogenost sa akutnim, ali češće hroničnim efektima. ES su biološki aktivne supstance sa osobinom negativnog delovanja na

hormonske sisteme čoveka i biote. Specifičnost fizičko hemijskih osobina ES su i isparljivost/slaba isparljivost, polarnost/nepolarnost, po pravilu kratak poluživot,  $t_{1/2}$ , ali sa kontinualnim unosom u životnu sredinu. Molekule ES mogu da budu neutralne, kisele, bazne, u jonskom i cviter jonskom stanju. Glavna fizička i hemijska svojstva okarakterisana su sledećim vrednosnim performansama – konstantama protonacije (Log pKa 9.6 – 2.5), koeficijentom raspodele oktanol/voda (Log  $K_{OW}$  0.03 – 6.8), rastvorljivosti EM u void u rasponu ( $S_w$  od  $1 \cdot 10^6$  mg/l do 0.02 mg/l), koeficijent distribucije ES između otpadnog mulja i vode (Log  $K_d$  0.1 – 4.3 za odabrane ES), brzinama degradacije i drugim karakteristikama. Primarnim, sekundarnim i tercijarnim tretmanima otpadnih voda ES se praktično ne uklanjaju (<20%). Snažna sorpcija emergentnih jedinjenja na suspendovane čestice i sediment zavisi od pH vrednosti vodenog sistema. Hemijske i fizičke karakteristike ES kao što su rastvorljivost, isparljivost, adsorpcija/apsorpcija biodegradacija, reaktivnost, polarnost, stabilnost, perzistencija, toksičnost variraju u velikoj meri u zavisnosti od različitih molekulskih struktura, stereohemije i broja asimetričnih C atoma, od čega zavise i negativni i toksični uticaji na životnu sredinu i ljudsko zdravlje. ES pripadaju grupi starih, poznatih, ali i novo prepoznatih hemikalija, sa različitim primenama u svakodnevnom životu, sa novim hazardnim efektima, nepoznatim mehanizmima delovanja, izvorima i putevima transporta izloženosti. Za mnoge ES, postoji malo informacija o potencijalnom toksikološkom uticaju na ekosisteme, dugotrajnoj ekspoziciji,

hroničnim efektima i niskim dozama delovanja.

Sudbina i transport ES u prirodnim akvatičnim sistemima su gotovo nepoznati, a posebno u kontekstu distribucije voda/zemljište/sediment i procesima raspodele.

Pored NORMAN liste (<http://www.norman-network.net>), koja definiše preko 750 različitih ES, generalno se ES mogu podeliti na: globalne kontaminante, industrijske hemikalije, farmaceutike, sredstva za ličnu i kućnu higijenu, supstance sa hormonskom aktivnošću i nanomaterijale.

U radu će biti prikazane specifične fizičko-hemijske karakteristike ES, toksičnost kao i fenomen efekta niskih doza i pseudo-perzistencija. Prvi originalni preliminarni rezultati screening-a ES u Dunavu u blizini Novog Sada, dobijeni u okviru međunarodnog Projekta (ESP.EAP.SFPF 984087) biće opisani i analizirani u radu.

## 2. SPECIFIČNE FIZIČKO-HEMIJSKE KARAKTERISTIKE ES

Jedna od novoprepoznatih fizičko-hemijskih karakteristika ES u životnoj sredini je pseudoperzistencija. Permanentno ispuštanje komunalnih voda, otpadnih voda iz industrijskih postrojenja i direktan unos u akvatične sisteme bez tretmana, izazivaju pojavu nove karakteristike ES - pseudoperzistencije. I pored relativno kratkog vremena polu-života,  $t_{1/2}$ , karakteristika konstantnog unosa i prisustva ES u vodnim telima sa kontinualnim delovanjem na akvatične organizme, kategorizuje ih u pseudoperzistentne polutante. U medijumima životne sredine, pseudoperzistencija emergentnih supstanci javlja se kao rezultat znatno veće brzine unosa, tj.  $v_{inputa}$  od brzine  $v_{razgradnje}$  (mineralizacije) ES [1]. Nepoznate su ključne karakteristike metabolita i konjugata, formiranih kao rezultat moguće transformacije i degradacije ES fizičko-hemijskim procesima, kao što su hidroliza, fotoliza, oksidoredukcija, ali i biološkim procesima, od kojih je primarna mikrobiološka degradacija. Prisustvo ES u ekstremno niskim ali "konstantnim" koncentracijama izdvaja ES od konvencionalnih polutanata. Savremenim istraživanjima je potvrđeno da dugotrajna upotreba i ekspozicija niskim dozama ES-a ima različite negativne efekte na biosistem, kao i na čoveka.

Koncentracija industrijskih emergentnih hemikalija u akvatičnom medijumu može se predvideti na osnovu emisije ES u vodna tela, dostupnih podataka o transformaciji supstance u životnoj sredini i količini otpadne vode po stanovniku. Procena rizika po životnu sredinu može se izračunati poređenjem procenjene

koncentracije supstance u okolini, PEC sa koncentracijom za koju je procenjeno da nema biološke efekte (eng. predicted no-effect concentration, PNEC). Odnos PEC i PNEC vrednosti treba da bude manji od jedinice. U suprotnom, rizik po životnu sredinu postoji i odgovarajuće mere moraju se preduzeti kako bi se rizik smanjio, što uključuje i primenu procesa prioritizacije.

ES pokazuju akutnu, ali daleko veću hroničnu toksičnost, kao i ekotoksičnost, sa specifičnošću dejstva ekstremno niskih koncentracija. Fenomen niskih koncentracija u poslednje vreme izaziva posebnu pažnju, naročito kod emergentnih hemijskih supstanci koje ometaju rad endokrinog sistema živih organizama (eng. Endocrine Disrupting Substances, EDS) i predstavljaju rizik za ljudsko zdravlje i životnu sredinu. Poremećaj rada endokrinih sistema posledica je stalnog prisustva ES, kao mono-molekula niskih koncentracionih nivoia.

Biološko i fiziološko dejstvo većine biološki aktivnih emergentnih supstanci zavisi od niskih doza. Utvrđeno je da odnos dejstva i doze nije obavezno monoton i linearan. Za određen broj hemikalija, u koje spadaju i industrijske emergentne supstance, farmaceutici, ftalati i BAP otkriveno je da je toksična aktivnost više izražena pri niskim dozama. Efekat niskih doza karakterističan je za mnoge supstance sa hormonskom aktivnošću (hormonske otrove, supstance koje ometaju rad endokrinog sistema), sintetske estrogene (kontraceptivne pilule), dioksine, pesticide, plastične aditive (bisfenol A, ftalate), konzervanse (parabene, triklosan), surfaktante, deterdžente i sastojke kozmetičkih proizvoda (benzofenone).

Razvoj industrijskih procesa, upotreba različitih sintetskih emergentnih hemikalija, fenomen konstantnog prisustva i procena štetnih efekata nano koncentracija ES, zahtevaju pomeraje tradicionalnih načina zaštite, i formiraju potpuno nov koncept analize i zaštite životne sredine [1,2].

## 3. DETEKCIJA ES U AKVATIČNOJ SREDINI

Registrowanje rezidua ES zahteva savremene analitičke metode niskih granica detekcije, kombinacijom gasne i tačne hromatografije (GC-MS/MS, LC-MS/MS). Jedan od specifikuma analize emergentnih supstanci jeste i složenost uzoraka (kao što su otpadne vode ili kanalizacioni mulj), problem analize većeg broja jedinjenja iz jedinstvenog uzorka i hemijski kokteli različitih emergentnih hemikalija.

#### 4. ES U POVRŠINSKIM VODAMA DUNAVA

Pored standardnih ekotoksikoloških ispitivanja, detekcija i kvantifikacija ES prepoznata je kao neophodan segment za utvrđivanje hemijskog ekostatusa Dunava i dunavskog sliva.

U okviru različitih istraživačkih projekata i aktivnosti sprovedenih na uzorcima površinske vode Dunavu i pritokama, detektovan je značajan broj industrijskih emergentnih supstanci i određen broj prioriternih supstanci [3,4].

Istraživanja su bila fokusirana na sledeće grupe jedinjenja: farmaceutike i njihove metabolite (kofein, karbamazepin, 4-formilaminoantipirin (4-FAA), 4-acetilaminoantipirin (4-AAA), ciprofloksacin, eritromicin, azitromicin, ibuprofen, diklofenak, sulfametoksazol, trimetoprim, gemfibrozil, bezafibrat, ketoprofen, naproksen, lorazepam, sotalol), prioritne supstance - pesticide i njihove degradacione produkte (karbendazim, bentazon, 2,4-dihlorofenoksi sirćetna kiselina (2,4-D), mekoprop, antrazin, terbutilazin, diuron, izoproturon, simazin, propazin), sredstva za ličnu higijenu (metiljasmonat, cikloheksasiloksan), usporivače gorenja (trifenilfosfat), perfluorne kiseline (PFOS, PFOA, PFHpA, PFNA), supstance koje ometaju rad endokrinog sistema (nonilfenol (NP), 4-nonilfenoksi sirćetna kiselina (NPE1C), oksifenol (OP), nonilfenol etoksilati (NPEOs), bisfenol A, estron), aromatične komponente (metiljononi), benzotriazoli i druge ES.

Istraživanja su pokazala da se određene ES češće registruju u samom Dunavu nego pritokama ali i *vice versa*. Karakteristično je da se kofein, gemfibrozil, nitrofenoli, PFHpA, PFOA, PFOS, karbamazepin, sulfametoksazol, terbutilazin, NPE1C i benzotriazoli detektuju skoro u svakom uzorku vode Dunava. U pritokama frekventnije se registruju simazin, bisfenol A i nonilfenol [4]. Uočena pojava objašnjava se specifičnim emisionim izvorima, degradacionim procesima i razblaženjem nakon ulivanja u Dunav. Samo u malom broju uzoraka površinske vode Dunava, nonilfenol i bisfenol A su detektovani u vrlo visokim koncentracijama i visokim frekvencijama. Registrovana pojava ukazuje na specifične koncentrisane primarne izvore emisije supstanci, degradacione procese u vodnoj sredini i posebnostima hidroloških parametara.

Aktivne supstance farmaceutskih proizvoda se putem otpadnih voda unose u Dunav, prilično podjednako duž čitavog toka. Istraživanjima je utvrđen specifično visok nivo koncentracija karbamazepina na svim mernim mestima, što se objašnjava neočekivano velikom upotrebom i nekontrolisanim odlaganjem ovog antiepileptika.

Registrovana je direktno proporcionalna korelacija između gustine naseljenosti područja kroz koje protiče reka i prisustva farmaceutika u površinskim slojevima rečnih tokova do dubine od 1m. Specifičan porast rezidualnih nivoa sulfametoksazola izmeren je na lokalitetima donjeg toka Dunava. Kako bi se stekao uvid u poreklo rezidua antibakterijskog sulfonamida, sprovedena su detaljnija istraživanja u pritokama donjeg toka Dunava, kojima je utvrđeno da je uočen porast koncentracionih nivoa sulfametoksazola, kao posledica visokih koncentracija ovog farmaceutika u pritokama Velika Morava, Timok, Iskar, Rusenski Lom i Arges.

Prisustvo pesticida u površinskim vodama Dunava i pritoka, u velikoj meri zavisi od perioda godine u kome se uzorkovanje realizuje (sezonske varijacije). Značajne sezonske oscilacije u nivoima koncentracija mogu se uočiti zavisno od dinamike poljoprivredne proizvodnje i tretiranja obradivog zemljišta u blizini reke. Najviše koncentracije za 2,4-D, jednog od najčešće primenjivanih herbicida, PS, izmerene su nizvodno od Budimpešte i neposredno uz severnu granicu Vojvodine (oko 50 ng/l). Koncentracioni nivoi bentazona ujednačeni su duž čitavog toka Dunava i iznose od 5 do 10 ng/l. Nezavisno od regiona, detektovane koncentracije izoproturona i diurona bile su oko 5 ng/l i manje.

Zbog načina analitičkog postupka kvantifikacije nonilfenola (NP), u literaturi se objavljuju koncentracije isključivo >50 ng/l. Samo u malom broju analiziranih uzoraka vode Dunava detektovano je prisustvo NP. Prekoračenje standarda kvaliteta (eng. Environmental Quality Standard, EQS) definisanog direktivom Evropske unije (eng. Water Framework Directive, WFD) od 0,3 µg NP/l uočeno je u dve pritoke Dunava, Argesu i Timoku. Smatra se da je osnovni uzrok izmerenih visokih koncentracija nonilfenola direktno izlivanje netretirane otpadne vode. Najviši nivoi koncentracija alkilfenolnih komponenata u sedimentu detektovani su u okolini Pančeva. U Dunavu, bisfenol A izmeren je u pojedinim uzorcima vode, u relativno niskim koncentracijama (frekvencija detektovanja 29%) na sledećim lokalitetima: kod Bratislave, nakon ulivanja Morave, (116 ng/l), nizvodno od Budimpešte (12 ng/l), nizvodno od ulivanja Drave (27 ng/l) i na ušću Save (15 ng/l).

Analizom vode Dunava duž čitavog toka, u svakom analiziranom uzorku kvantifikovani su značajni koncentracioni nivoi antikorozivne industrijske emergentne hemikalije benzotriazola. Najviše prosečne vrednosti izmerene za 1H-benzotriazol (oko 213 ng/l) i lilitriazol (81 ng/l)

niže su u poređenju sa monitoring podacima drugih rečnih slivova Evrope (Rajne, Elbe i reke Po).

## 5. SKRINING ES U DUNAVU KOD NOVOG SADA

U okviru međunarodnog NATO projekta [4] izvršen je preliminarni skrining najfrekventnije detektovanih industrijskih emergentnih hemikalija na odabranim lokalitetima Dunava u okolini grada Novog Sada. Tačke uzorkovanja odabrane su sa ciljem utvrđivanja uticaja industrijskih i komunalnih otpadnih voda grada Novog Sada na kvalitet vode Dunava. Ovakav tip istraživanja po prvi put se sprovodi u okolini grada Novog Sada, Vojvodini i Srbiji.

Primarnim skriningom uzoraka površinske vode Dunava u okolini grada Novog Sada detektovano je više od 150 organskih polutanata iz grupe industrijskih emergentnih i prioriternih supstanci. Preliminarna kvalitativna analiza ukazuje na prisustvo kofeina, metil-jasmonata, cikloheksasiloksana, trifenilfosfata, terc-butil-oksaspirodeka-dien-diona, metil-jonona i benzotriazola [4].

Kvantitativna analiza potvrdila je prisustvo rezidua kofeina i njegovih metabolita teobromina i teofilina i antikoroziva, benzotriazola, u svim analiziranim uzorcima vode Dunava. U okviru proširenog obima kvantitativnih određivanja, u deset uzoraka površinske vode Dunava (u regionu Vojvodine) detektovano je (frekvencija detektovanja 97%) prisustvo rezidua metomila (S-metil-N-(metilkarbamoiloksi)-tioacetimidat), karbamatnog polarnog pesticida koji se nalazi na NORMAN listi najfrekventnije registrovanih i kvantifikovanih emergentnih supstanci.

Detektovani koncentracioni nivoi ukazuju na permanentno prisustvo ES u površinskim vodnim slojevima Dunava kod Novog Sada, kao i na potrebu sistematskog praćenja određenog broja pseudoperzistentnih jedinjenja u akviferu Dunava u dužem vremenskom periodu. Potrebno je obezbediti nove skrining i target analize uzoraka u više prostornih i vremenskih koordinata i povećati broj analiziranih jedinjenja, kako bi se stekao potpuniji uvid u hemijski ekostatus Dunava, prvenstveno na mestima ispuštanja industrijske otpadne vode i komunalne vode zagađene emergentnim hemikalijama koje se svakodnevno koriste.

### Zahvalnica

Rezultati prikazani u radu deo su istraživanja realizovanih u okviru programa NATO Science

for Peace and Security (ESP.EAP.SFPP 984087), projekta br. 680-00-140/2012-09/13 i projekta III46009 finansiranog od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

## 5. REFERENCE

- [1] Vojinović Miloradov, M., Turk Sekulić, M., Radonić, J., Kiurski, J., Milovanović, D., Spanik, I., Mihajlović, I. *Pseudo-persistent pollutants in the environment: emerging substances*, XVII International Symposium on Analytical and Environmental Problems, pp. 180-184, Szeged, Hungary, September 2011.
- [2] Vojinović-Miloradov, M., Turk Sekulić, M., Radonić, J., Mihajlović, I., Stošić, M. *Emerging substances of concern – a shift in traditional thinking*, XV International Eco-Conference on environmental protection of urban and suburban settlements, p.p. 265-271, Novi Sad, Serbia, September 2011.
- [3] Grujić, N., Milić, N., Turk Sekulić, M., Radonić, J., Milanović, M., Mihajlović, I., Vojinović Miloradov, M. *Quantification of emerging organic contaminants in the Danube River samples by HPLC*, Chemické Listy, 106, p.p. 264-266, 2012.
- [4] Vojinović-Miloradov, M., Turk Sekulić, M., Radonić, J., Milić, N., Grujić Letić, N., Mihajlović, I., Milanović, M. *Industrijske emergentne hemikalije u životnom okruženju*, Hemijska industrija, www.doiserbia.nb.rs/ft.aspx?id=0367-598X1300028V.

**Autori: Prof. Dr. Mirjana Vojinović Miloradov, Assist. Prof. Dr. Jelena Radonić, Assist. Prof. Dr. Maja Turk Sekulić, M.Sc. Dušan Milovanović, Dr. Ivana Mihajlović**, Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Departman za inženjerstvo zaštite životne sredine i zaštite na radu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel: +381 21 485 2405, Fax: +381 21 6350-696.

E-mail: [miloradov@uns.ac.rs](mailto:miloradov@uns.ac.rs)

[jelenaradonic@uns.ac.rs](mailto:jelenaradonic@uns.ac.rs)

[majaturk@uns.ac.rs](mailto:majaturk@uns.ac.rs)

[dušanmilovanovic@uns.ac.rs](mailto:dušanmilovanovic@uns.ac.rs)

[ivanamihajlovic@uns.ac.rs](mailto:ivanamihajlovic@uns.ac.rs)

**Prof. Dr. Ivan Španik**, Slovački Tehnološki Univerzitet u Bratislavi, Institut za analitičku hemiju, Radlinského 9, 812 37 Bratislava, Slovačka, Tel: +421 (2) 59 325 283.

E-mail: [ivan.spanik@stuba.sk](mailto:ivan.spanik@stuba.sk)

Hodolič, J., Komad, R., Lalić, N., Agarski, B., Brkić, M.

UTICAJ POSTROJENJA ZA PROIZVODNJU BIOGORIVA  
NA KVALITET ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE

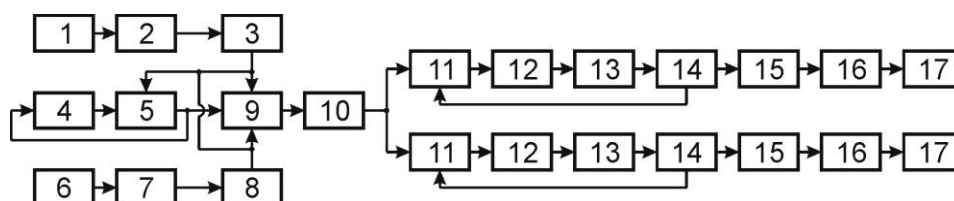
**Rezime:** Fabrika alatnih mašina i poljoprivredne opreme „Majeвица” iz Bačke Palanke planira izgradnju pogona za proizvodnju biogoriva od poljoprivredne i drvene biomase. U radu su razmotreni aspekti uticaja planiranog postrojenja za proizvodnju biogoriva na kvalitet zaštite životne sredine. Prvi deo rada odnosi se na biogorivo kao alternativni izvor energije i opisuje uštedu prirodnih resursa i smanjenje zagađenja životne sredine primenom biogoriva. Drugi deo rada analizira planirano postrojenje sa aspekta zaštite životne sredine i razmatra životni ciklus postrojenja počevši od proizvodnje linije mašina, eksploatacije do mogućnosti reciklaže na kraju životnog veka postrojenja. U zaključku rada konstatuju se pozitivni efekti proizvodnje čvrstog biogoriva (peleta) i postrojenja na kvalitet zaštite životne sredine.

**Ključne reči:** biogorivo, proizvodnja peleta, kvalitet zaštite životne sredine

## 1. UVOD

Inženjerstvo zaštite životne sredine posvećuje posebnu pažnju primeni alternativnih izvora energije i biogoriva [1-3]. U skladu sa ovim urađen je idejni tehničko-tehnološki projekt za opremanje linije za proizvodnju energetskih peleta od biomase u fabrici alatnih mašina i poljoprivredne opreme „Majeвица“ u Bačkoj

Palanci prema Zakonu o planiranju i izgradnji objekata [4]. Planirano postrojenje za proizvodnju čvrstog biogoriva uključuje transportnu, procesnu i termotehničku opremu prikazanoj na blok šemi slike 1. Biljni materijal (bale slame, poz. 1) ili drvene biomase (poz. 6) ubacuje se u dezintegrator bala (poz. 2) ili drobilicu drveta (poz. 7), a zatim materijal ide na usitnjavanje (sečku, poz. 3 ili grubi mlin, poz.8).



Sl. 1: Blok šema postrojenja za proizvodnju biogoriva: 1 – Skladište bala, 2- Dezintegrator bala, 3 – Sečka, 4 – Peć (ložište), 5 – Sušara, 6 – Skladište drveta, 7 – Drobilica, 8 – Grubi lin čekićar, 9 – Silosna ćelija, 10 – Fini mlin čekićar, 11 – Bin, 12 – Presa, 13 – Hladnjak, 14 – Separator, 15 – Automat. pakerica, 16 – Paleta za džakove, 17 – Usipno grlo za punjenje peleta u džambo vreće [5]

Grubo usitnjeni materijal pneumatski se ubacuje u silosnu ćeliju (poz. 9) ili u sušaru (poz. 5), ako je vlažan. Iz ćelije materijal se usmerava na finu meljavu (poz.10). Samleveno mlivo pneumatski se transportuje u bin (11), pa u kondicioner, dozator i presu (12). U kondicioneru koristi se voda ili para pod pritiskom u zatvorenom cevovodu za kondicioniranje biomase pre presovanja. Za presu koristi se ulje pod pritiskom u zatvorenom sistemu za podmazivanje prese. Za otvaranje i zatvaranje zasuna na binovima, filter ciklonu, hladnjaku, itd. koristi se komprimovani vazduh u zatvorenom sistemu [5]. Posle presovanja pelete odlaze u hladnjak na hlađenje (poz. 13), separator za izdvajanje polomljenih peleta (poz, 14) i automatsko pakovanje u džakove (poz. 15) ili u džambo vreće

(poz. 17). Tehnologija proizvodnje peleta od biomase obavlja se tako da zadovoljava kvalitet peleta prema Evropskom normativu za određivanje kvaliteta energetskih peleta od biomase [6].

Cilj ovog rada je da analizira uticaj planiranog postrojenja za proizvodnju energetskih peleta na kvalitet zaštite životne sredine kroz životni ciklus postrojenja.

2. UŠTEDA PRIRODNIH RESURSA I  
SMANJENJE ZAGAĐENJA ŽIVOTNE  
SREDINE PRIMENOM BIOGORIVA

Proizvodnjom energetskih peleta kao alternativne i održive vrste biogoriva (sl. 2) mogu da se u značajnoj meri uštede klasične vrste

energenata, kao što su: ulje za loženje, prirodni gas, ugalj i drvo.



Sl. 2. Primer peleta od biomase

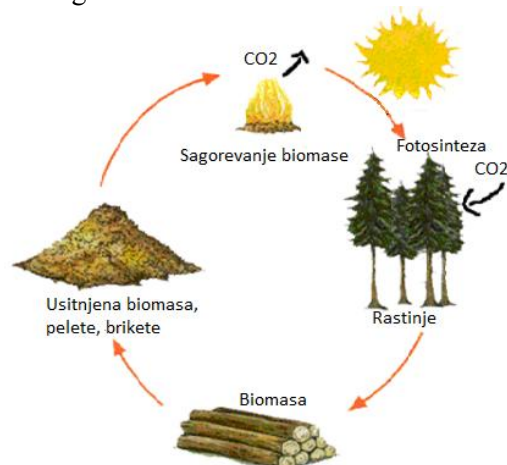
Na osnovu statističkih podataka može da se konstatuje da se u AP Vojvodini svake godine proizvede oko 9 miliona tona otpadne biomase, a u R. Srbiji 12,5 miliona tona [7-9]. Pošto jedan deo ovih ostataka biomase mora da se zaore radi povećanja plodnosti zemljišta, jedan deo da se ostavi za potrebe stočarstva i druge potrebe, procenjuje se da bi svake godine moglo da se u AP Vojvodini odvoji oko 3 miliona tona, odnosno u R. Srbiji 4,2 miliona tona otpadne biomase za potrebe proizvodnje toplotne i električne energije, odnosno za potrebe proizvodnje biogoriva.

Ako se uzme u obzir energetska vrednost biomase može da se izračuna da 1 kg biomase može da zameni 3,3 kg ulja za loženje. To znači da od 3 miliona tona biomase može da se supstituiše 909.091 t energetske ekvivalentnog ulja za loženje ili od 4,2 miliona tona biomase može da se uštedi 1.272.727 t ulja za loženje. Ova količina energetske ekvivalentnog goriva jednaka je ukupnoj potrošnji svih vrsta goriva u poljoprivredi AP Vojvodine, odnosno R. Srbije, respektivno.

Supstitucijom klasičnih vrsta energenata sa alternativnim vrstama, tj. otpadnom biomasom, značajno se smanjuje emisija štetnih gasova u atmosferu (za oko 60%), pošto biomasa ne sadrži značajnu količinu teških ugljovodonika. Ne povećava se sadržaj CO<sub>2</sub> u atmosferi (sl. 3), jer biomasa koristi CO<sub>2</sub> iz atmosfere za svoj rast (ne proizvodi se tzv. „efekat staklene bašte“). Naime, koliko se iz biomase ispusti CO<sub>2</sub> sagorevanjem, toliko se utroši CO<sub>2</sub> za rast i razvoj biljaka. Dakle, korišćenjem biogoriva ne povećava se sadržaj ugljendioksida u atmosferi, ne povećava se zagrevanje atmosfere i ne utiče se na globalne klimatske promene.

Pepeo koji nastaje posle sagorevanja biomase u ložištu nije štetan za okolinu, naprotiv s njim se mogu đubriti bašte i njive, pošto je to korisno mineralno đubrivo. Ovde treba naglasiti da hvatanje pepela iz gasovitih produkata

sagorevanja biogoriva (ciklonima, filterima i dr. sredstvima) dobija se štetna frakcija pepela, pošto sadrži teške metale, nepogodne za zemljište, biljke i žive organizme.



Sl. 3. Kruženje CO<sub>2</sub> u atmosferi [10]

U planiranom pogonu za proizvodnju energetskih peleta predviđena je peć (ložište) na biomasu, koja obezbeđuje sušaru sa toplotnom energijom. Peć koristi usitnjenu biomasu kao alternativno gorivo ili polomljene i zdrobljene pelete. Dakle, u ovom slučaju urađena je supstitucija klasičnih vrsta goriva sa biomasom kao alternativnom vrstom goriva, koja značajno manje zagađuje životnu sredinu od konvencionalnih energenata [11, 12]. Takođe, para koja izlazi iz sušare je vodena para, koja nema štetni uticaj na životnu sredinu.

### 3. ŽIVOTNI CIKLUS POSTROJENJA ZA PROIZVODNJU BIOGORIVA

U cilju analize planiranog postrojenja za proizvodnju biogoriva sa aspekta zaštite životne sredine u nastavku se razmatra životni ciklus postrojenja počevši od proizvodnje linije mašina, eksploatacije do mogućnosti reciklaže na kraju životnog veka postrojenja.

#### 3.1 Proizvodnja komponenata postrojenja

Izrada komponenti za mašine, uređaje i oprema za proizvodnju energetskih peleta od biomase, koje se planiraju da proizvode u fabrici „Majeвица“ u Bačkoj Palanci, s obzirom da se radi o poznatim konvencionalnim tehnologijama, koje imaju neznatni uticaj na životnu sredinu: sečenje lima i noseće konstrukcije, kovanje, zavarivanje, struganje, bušenje, glodanje, rendsanje, itd. U proizvodnom procesu ne radi se sa isparljivim hemijskim jedinjenjima, organskog ili mineralnog porekla, štetnim za životnu sredinu. Eventualni problemi koji se mogu pojaviti za životnu sredinu od strane strugotine, opiljaka, delova vara,



otpadaka od sečenja lima i noseće konstrukcije, uspešno se rešavaju tako što se ovaj otpad se sakuplja u kontejnere, odvozi i odlaže na za to zakonom propisano mesto. Istrošeno ulje, voda za hlađenje radnih organa mašina (strugova, glodala, itd.), sredstva za kaljenje komponenti, itd., takođe se sakuplja u rezervoare kontejnerskog tipa, i odvozi na zakonom propisno mesto. Količina ispuštenih zagađujućih materija u okolinu kontroliše se u skladu sa Uredbom o graničnim vrednostima emisija zagađujućih materija u vazduhu [13] i Uredbom o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode i rokovima za njihovo dostizanje [14], kao i Pravilnikom o dozvoljenim količinama opasnih i štetnih materija u zemljištu i vodi za navodnjavanje i metodama njihovog ispitivanja, [15].

### 3.2 Eksploatacija postrojenja

U toku procesa pripreme sirovine (biomase) za peletiranje, proizvodnje energetskih peleta, hlađenja i prešišćavanja (separacije) peleta, obezbeđuju se takvi tehničko-tehnološki uslovi rada da se u pogonu ne pojavljuje otpadna, organska, prašina. Predviđeno je da se prašina sakuplja pneumatskim putem preko sistema za otprašivanje (aspiracionog sistema): ciklona, filter ciklona, centrifugalnih ventilatora i silo-bunkera. Ona se ne ispušta u atmosferu, već se vraća u tehnološki proces, pošto se najviše radi o prašini organskog porekla (oko 95%). Količina ispuštenog zapašenog vazduha kontroliše se u skladu sa Pravilnikom o graničnim vrednostima emisije gasova i aerosola u atmosferu [16]. Dalje, u pogonu ne dolazi do direktne emisije otpadnih materija u okolinu. Naime, u toku proizvodnog procesa koristi se voda ili alternativno vodena para, u količini koju upija organska materija (usitnjena sirovina za peletiranje). Ovaj tehnološki postupak u procesu proizvodnje energetskih peleta naziva se kondicioniranje sirovine za peletiranje. Dakle, nema otpadnih voda koje bi se bacale u kanalizaciju. Otpadne vode nastaju samo u okviru sanitarnog čvora. Sanitarno-fekalne otpadne vode odvođe se u gradsku kanalizacionu mrežu, a u ovom slučaju nepostojanja gradske kanalizacije, potrebno je fekalne otpadne vode upuštati u vodonepropusnu septičku jamu, do opremanja lokacije kanalizacionom infrastrukturom. Mineralno ulje za podmazivanje radnih delova mašina i uređaja nalazi se u okviru zatvorenog sistema, da ne bi dolazilo do prosipanja ulja u kanalizaciju. Količina ispuštenih zagađujućih materija u okolinu kontroliše se u skladu sa Uredbom o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode i rokovima za njihovo dostizanje [14], kao i Pravilnikom o dozvoljenim

količinama opasnih i štetnih materija u zemljištu i vodi za navodnjavanje i metoda manjihovog ispitivanja [15].



Sl. 4. Montaža opreme u pogonu za peletiranje

### 3.3 Kraj životnog veka i mogućnosti reciklaže

Mašine, uređaji i oprema koje se planiraju da instaliraju u pogon za proizvodnju energetskih peleta od biomase su uglavnom izrađene od metala (oko 96%). Kosi trakasti transporteri, tzv. elevatori (4 kom.) koji služe za transport peleta, treba da se urade od valovite (harmonikaste) gume. Takođe, panelni zidovi sušare i peći za proizvodnju toplotne energije urađeni su u obliku sendviča (između limova nalazi se izolacija). Električni orman, kablovi, instrumenti, merna i upravljačka oprema rade se od elektro-materijala. Dakle, deo opreme koji nije metalni ukupno iznosi oko 4%. To znači da je 96% opreme reciklabilan, tj. može se ponovo vratiti u proces proizvodnje. Količina ispuštenih štetnih gasova kontroliše se u skladu sa Uredbom o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vazduhu [13].

## 4. ZAKLJUČAK

Korišćenjem energetskih peleta od biomase kao alternativne i održive vrste biogoriva supstituišu se klasične vrste energenata, kao što su: ulje za loženje, prirodni gas, ugalj i drvo. Zamenom klasičnih vrsta energenata sa biomasom, značajno se smanjuje emisija štetnih gasova u atmosferu (oko 60%). Naime, korišćenjem biogoriva ne povećava se sadržaj ugljendioksida u atmosferi, ne povećava se zagrevanje atmosfere i ne utiče se na globalne klimatske promene. Supstitucija klasičnih vrsta goriva sa biomasom, značajno manje se zagađuje životna sredina od konvencionalnih energenata. Takođe, para koja izlazi iz sušare je vodena para, koja nema štetni uticaj na životnu sredinu.

U toku procesa pripreme sirovine (biomase) za peletiranje, proizvodnje energetskih peleta,

hlađenja i prešišćavanja (separacije) peleta, obezbeđuju se takvi tehničko-tehnološki uslovi rada da se u pogonu ne pojavljuje otpadna, organska, prašina. Prašina se ne ispušta u atmosferu, već se vraća u tehnološki proces, pošto se najviše radi o prašini organskog porekla (oko 95%).

U toku proizvodnog procesa koristi se voda ili alternativno vodena para, u količini koju upija organska materija (usitnjena sirovina za peletiranje). Mineralno ulje za podmazivanje radnih delova mašina i uređaja ne prosipa se u kanalizaciju. Otpadne vode nastaju samo u okviru sanitarnog čvora koje se odvođe kroz regulisanu kanalizacionu mrežu. Oprema u pogonu za proizvodnju energetskih peleta od biomase je uglavnom izrađena od metala (oko 96%) i može se na kraju svog životnog ciklusa reciklirati. Proizvodni proces komponenata iz linije mašina i opreme za proizvodnju peleta, s obzirom da se radi o poznatim tehnologijama, ima neznatni uticaj po životnu sredinu. Količina ispuštenih zagađujućih materija u okolinu kontroliše se u skladu sa važećim zakonskim propisima i uredbama Vlade R. Srbije.

## 5. LITERATURA

- [1] Hodolič, J.; Vukelić, Đ.; Agarski, B.: *Biomass briquetting and environmental protection in the region of province of Vojvodina*; 13th International Conference TOP 2007, Bratislava, 26-28 June, pp. 111-116, 2007.
- [2] Hodolič, J.; Badida, M.; Majerik, M.; Šebo, D.: *Mašinstvo u inženjerstvu zaštite životne sredine*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2005.
- [3] Hodolič, J. i ostali: *Reciklaža i reciklažne tehnologije*, FTN izdavaštvo, Novi Sad, 2011.
- [4] -----: *Zakon o planiranju i izgradnji objekata*, Službeni glasnik RS, br. 72 od 3. septembra 2009, br. 81 od 2. oktobra 2009. – ispravka, br. 64 od 10. septembra 2010. i br. 24 od 4. aprila 2011, Beograd.
- [5] Hodolič J, Brkić M, Lalić N. *Idejni tehničko-tehnološki projekt za opremanje linije za proizvodnju energetskih peleta od biomase učinka 1 do 2 t/h u fabrici "Majevica" u Bačkoj Palanci*, FTN, Novi Sad, 2013, s. 36.
- [6] -----: *Evropski normativ za određivanje kvaliteta energetskih peleta od biomase* EN 14961, ENplus A1, A2 i B, Evropski komitet za standardizaciju, 2010. god.
- [7] Brkić M, Janić T. *Nova procena vrsta i količina biomase Vojvodine za proizvodnju energije*, Savremena poljoprivredna tehnika, Novi Sad, 36(2010)2, 178-188.
- [8] Brkić M, Janić T. *Potencijalne količine biomase za proizvodnju energije u Srbiji*, Savremena poljoprivredna tehnika, Novi Sad, 37(2011)3, 225-234.
- [9] Brkić M, Janić T. *Briketiranje i peletiranje biomase*, monografija, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 2009. s. 278.
- [10] <http://www.plomin.com/plomin/energija-iz-biomase/energija-biomase-i-sume-koje-apsorbiraju-co2/>
- [11] -----: *Zakon o zaštiti životne sredine*, Sl. glasnik RS, br. 135/2004, 55/205, 71/05-ispravka, 101/07, 65/08 i 36/2009, Beograd.
- [12] -----: *Zakon o zaštiti vazduha*, Službeni glasnik R. Srbije br. 36/09, Beograd. ([www.merz.gov.rs](http://www.merz.gov.rs)).
- [13] -----: *Uredba o graničnim vrednostima emisija zagađujućih materija u vazduhu*, Službeni glasnik RS, br. 55/205, 71/05-ispravka, 101/07 i 65/08, Beograd
- [14] -----: *Uredba o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode i rokovima za njihovo dostizanje*, Službeni glasnik R. Srbije br. 67/2011 i 48/2012, Beograd ([www.merz.gov.rs](http://www.merz.gov.rs)).
- [15] -----: *Pravilnik o dozvoljenim količinama opasnih i štetnih materija u zemljištu i vodi za navodnjavanje i metoda manjihovog ispitivanja*, „Sl. glasnik RS”, br. 23/94. ([www.sepa.gov.rs](http://www.sepa.gov.rs)).
- [16] -----: *Pravilnik o graničnim vrednostima, metodama merenja imisije, kriterijumima za uspostavljanje mernih mesta i evidenciji podataka*, "Sl. glasnik RS", br. 54/92, 30/99 i 19/2006.

**Autori: Prof. Dr. Janko Hodolič<sup>1</sup>, Radenko Komad<sup>2</sup>, dipl. inž. maš., Nenad Lalić<sup>2</sup>, dipl. inž. maš., mr Boris Agarski<sup>1</sup>, Prof. dr Miladin Brkić<sup>3</sup>,**

<sup>1</sup>Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Institut za Proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2306, Fax: +381 21 454-495.

<sup>2</sup>Majevica Holding, a.d., 21400 Bačka Palanka, Žarka Zrenjanina 123, Tel. +38121 751 388, Fax: +38121 6040 175.

<sup>3</sup>Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Trg Dositeja Obradovića 8, 21000 Novi Sad, Tel: +38121 485 3 500, Fax: +38121 485 3 421.

E-mail: [hodolic@uns.ac.rs](mailto:hodolic@uns.ac.rs);  
[tehnoraz@majevica.co.rs](mailto:tehnoraz@majevica.co.rs);  
[nenadmlsu@yahoo.com](mailto:nenadmlsu@yahoo.com);  
[agarski@uns.ac.rs](mailto:agarski@uns.ac.rs) ;  
[mbrkic@uns.ac.rs](mailto:mbrkic@uns.ac.rs)

Jovanović, J., Krivokapić, Z., Vujović, A.

## EFFECTIVENESS OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SYSTEM

**Abstract:** This paper analyzes the possibilities for improving the effectiveness of environmental management based on the ISO 14001 standard since the analysis of a number of literature sources as well as examination of the certified organizations in the region shows that the implementation of ISO 14001 does not necessarily lead to improvements in environmental performance. Thus, the application of this standard does not sufficiently encourage rational use of energy, or environmental aspect which is gaining in importance due to increasing energy consumption and hence environmental pollution. Therefore, the topic of this article is analysis of relatively new standard for energy management systems called ISO 50001 which overcomes perceived inefficiencies of ISO 14001 since it explicitly requires the measurement and improvement of energy performance which leads to sporadically good results in the reduction of energy consumption. Thus, at the end, the paper presents an approach to environmental management based on strategic performance management system - Balanced Scorecard application which allows organizations to create an effective system based on continuous measurement and improvement of environmental performance, which proves fundamental flaw in the implementation of ISO 14001 standard.

**Keywords:** effectiveness, standard, energy, management system

## 1. INTRODUCTION

The ISO 14001 standard provides the basic guidelines for the systematic improvement of the relations between the environment and organizations and it is designed for organizations

of all activities. Number of ISO 14001 certifications in the world has been increasing from year to year, however, the total number of such certificates at the end of 2011 counted only 24% of the number of ISO 9001 (Quality Management System) (Figure 1).

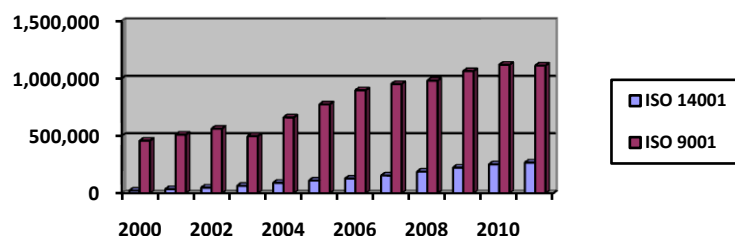


Figure 1. Distribution of ISO 9001 and ISO 14001 certification worldwide

The rationale for drastically smaller number of ISO 14001 certificates in relation to ISO 9001 is that organizations are not sufficiently oriented to this problem because most environmental management in accordance with ISO 14001 requires considerable financial investment. This standard should be viewed as a long term investment that can later become profitable in many ways, not only for the financial and non-financial benefits, but only if it is effectively implemented. A large number of papers have analyzed the benefits of implementing ISO 14001 standards. The most important benefits of the proven application of this standard are following / 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 /:

- Minimizing or eliminating of waste
- Reduced energy consumption
- minimization of adverse effects on the environment
- Improving operational safety
- Improving the efficiency of utilization of materials
- Better financial performance
- Better working with documented procedures and work instructions
- Better training of staff
- High systematic process

However, there are numerous organizations that with the implementation of this standard did not achieve the desired financial and environmental

goals. The various organizations depending on the approach to this problem have quite different experiences in relation to the ISO 14001 standard. While one had significant improvements in environmental performance and in relation to exercise financial and other benefits, others organizations, not nearly achieve their goals.

## 2. IMPROVING THE ENVIRONMENTAL PERFORMANCE BY APPLYING ISO 14001 STANDARDS

The ISO 14001 standard establishes no direct requirements for improving environmental performance, it creates the conditions for achieving these improvements, and the commitment of the organization depends on whether and to what extent to achieve the desired performance in terms of environmental protection. Comparing the ISO 14001 standard in 2004 with the previous release can be recognized that there are some improvements in highlighting the importance of measuring and improving the environmental performance of organizations. So, among other things, in point 4.3.3 (general and specific objectives and programs), both standard (ISO 14001:1996 and ISO 14001:2004) are expected to carry out the establishment and maintenance programs to meet environmental goals, but the new edition of the standard more indicates that the targets and indicators must be

measurable. However, there are different opinions on whether ISO 14001 certification is a "green wash" or essentially leads to better environmental performance. Analyses are quite mixed.

The paper / 4 / has shown that organizations do not develop EMS (Environmental Management System ISO 14001 environment) due to the sincere desire for the reduction of harmful impacts on the environment, but more because of government requirements and external stakeholders, market pressures, etc. The empirical analysis / 4 /, / 5 / and / 7 / provide evidence that certified EMS can not necessarily result in efficiency in the use of materials or waste minimization ... However, there are analyzes that suggest the opposite conclusion.

In the analyzes / 6, 8, 9 / show that organizations that have a certified EMS, and ISO standards included in daily activities have significant improvement of environmental performance. In a study / 10 / which analyzed the impact of ISO 14001 on environmental performance improvement has been observed trend of improvement of 59% of the measured performance while 41% of performance observed trend of deterioration. The trend of changes in the value of some performances after the implementation of the ISO 14001 standard is shown in Figure 2.

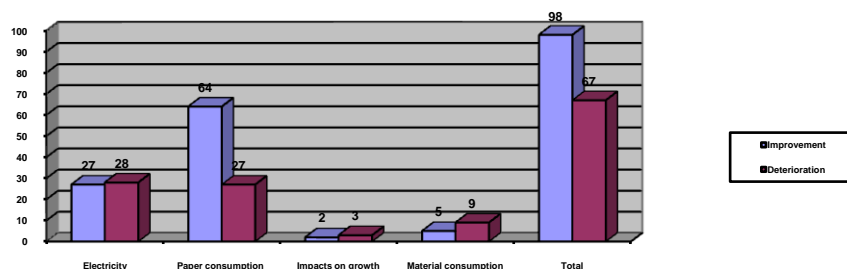


Figure 2. Trend of changes in value performance with the introduction of ISO 14001 standard. Some organizations may include

elements of performance management in their EMS based on ISO 14001, while others do not because it is not an explicit requirement of certification. Because of this organization have very different experiences with ISO 14000 certification in terms of improving the environmental performance / 11 /.

Analyzing Figure 2 reveals that the adoption of standards has no particular impact on improving environmental performance. Also, it is evident that one cannot establish a strict relationship between the implementation of standards and performance that are costly O (hazardous waste, energy consumption,...), or those where this is not the case as an example (noise, discharges to water, emissions to air, ...) The rationale for the different positions and the results given by the previous analysis can be found in the fact that the efficiency of ISO certification in improving environmental performance depends on how organizations design and develop EMS and finally how it uses the

The point is that the organization that has ISO 14001 certification does not necessarily expects to improve environmental performance, but only to provide evidence of commitment to improving the environment and the large number of organizations as their primary goal set only

certification system. Analyzing previously we may conclude that assimilation that introduces ISO 14001 to the existing management system and in daily activities, taking into account the current practices of the organization, is a key solution for improving environmental performance and thereby improve the efficiency of the system / 8 /. Thus, the emphasis is on measuring and improving performance.

### 3. ENERGY CONSUMPTION AS AN ASPECT OF THE ENVIRONMENT

Energy consumption is a problem that has been also considered in ISO 14001 standard - the system of environmental management that is oriented to a certain extent to this issue because organizations of all activities provides basic guidelines for the systematic improvement of the relationship with the environment. Implementation of this standard requires the identification of aspects and impacts on the environment with the aim of reducing harmful effects on the environment and thus reduces the exhaustion of natural resources, including the reduction of energy consumption. However, if the orientation of the standards in all aspects of the environment or the inadequate implementation of the organization, or a lack of awareness of employees

about the importance of energy consumption, only ISO 14001 standard has proven to be sufficiently effective in achieving significant energy performance of the organization. On the other hand, numerous analyzes indicate an increase in energy consumption in the world to grow significantly from year to year.

The fact that the energy consumption by 2035 will increase by 53% is worrisome. As a way to overcome this problem is the use of standards for the systematic management of energy. In relation to that in 2009 the CEN European Committee for Standardization officially published standard EN 16001 - Energy Management System. Two years later, in June 2011, the ISO 50001 - Energy Management System is also published. This standard is adopted at European level in November the same year as the ISO.

System approach to energy management that provides improved energy performance can provide maximum utilization of energy sources and energy resources, reducing energy consumption and thus production costs. The ISO 50001 is intended for all organizations, regardless their activity and some expectations are that its application may affect 60% of energy consumption and provides up to 20% energy savings in industrial organizations ([25]). Figure 3 [25] presents the basis of the ISO 50001 approach.

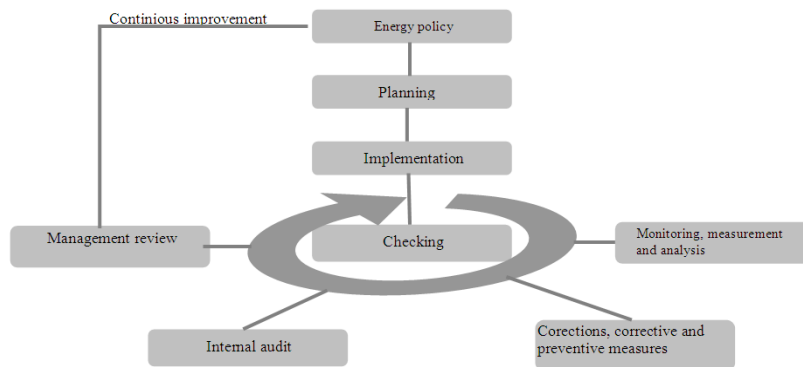


Figure 3. Model of energy management system according to ISO 50001

Model of energy management system (ISO 50001) is shown in Figure 3 and it is based on the PDCA continuous improvement system that describes this system as follows [25]:

- Plan: conduct a review of the energy and establish comparative value of energy performance indicators (ENPI), the general and specific objectives and action plans necessary to obtain results that will improve the energy performance in line with the energy policy of the organization;
- Do: apply energy management action plans;
- Check: monitor and measure processes and

activities of the key features that determine the energy performance of relation to the policy and overall objectives and the results;

- Take action: take action to continuously improve energy performance and energy management system (EnMS).

What is cited as a key advantage of this standard is that it does not require certification system and standard is fully focused on the measurement and improvement of energy performance which is much closer to the technical standards as standards of management. The world

has noticed the growing utilization of ISO 50001 due to excessive energy consumption and achieved very good results. Wave of interest in the standard ISO 50001 has spread to other organizations. Thus, some of the better-known as "PORSCHE", "Samsung", "COCA COLA", "Hyundai" and many others also implement ISO 50001 standard.

This standard is actually based on common elements that are found in ISO standards for management systems as it provides compatibility primarily with the ISO 9001 (Quality Management System) and ISO 14001 (Environmental Management System Protection). This fact is of particular importance given that a large number of organizations in the world and in our country are certified by at least one of the two standards which certainly simplifies implementation of energy standards. In this regard, it can be seen high compatibility requirements of ISO 50001, ISO 9001 and ISO 14001 relating to:

- Duties and responsibilities of the management
- Competency training and awareness
- Communication
- Documentation
- Internal control
- Non-conformities, corrective and preventive measures
- Management review

So the fact that the application of the standards achieved very good results in the reduction of energy consumption as a result of obligations (default) measurement and improvement of energy performance.

#### 4. BALANCED SCORECARD – STRATEGIC SYSTEM OF PERFORMANCE MANAGEMENT

So, as the implementation of the ISO 14001 lack on the focus on measuring and improving environmental performance, the implementation of ISO 50001 standard overcome those issues what resulted in very good results in practice. Although ISO 14001 does not explicitly define the obligation of measurement and improvement of environmental performance to the standard ISO 14004, this application received special attention. At the end of the ISO 14004 standard is presented in tables and examples of linking environmental performance goals and the desire to show the possibilities for improving performance in terms of environmental protection. However, standard ISO 14004 is not binding and the ISO 14001 standard, although oriented to improve set of objectives does not sufficiently define the obligation relating to measurement and improvement of environmental performance.

On the other hand it is known that the system of environmental management in the organization is at a disadvantage compared to other management systems. In addition to the lack of funds is determined by this issue. For these reasons, the organization certified under ISO 14001 are closer approach to setting easily attainable goals of environmental protection that do not require financial investment and, therefore, do not contribute to significant improvements in environmental performance.

In order to improve the effectiveness of environmental management, it would be of great importance to introduce a system for measuring performance. Strategic performance management system, such as the Balanced Scorecard could provide better positioning of EMS in an organization. Figure 4 presents a model of Balanced Scorecard, and its view on the selected software program QPR.

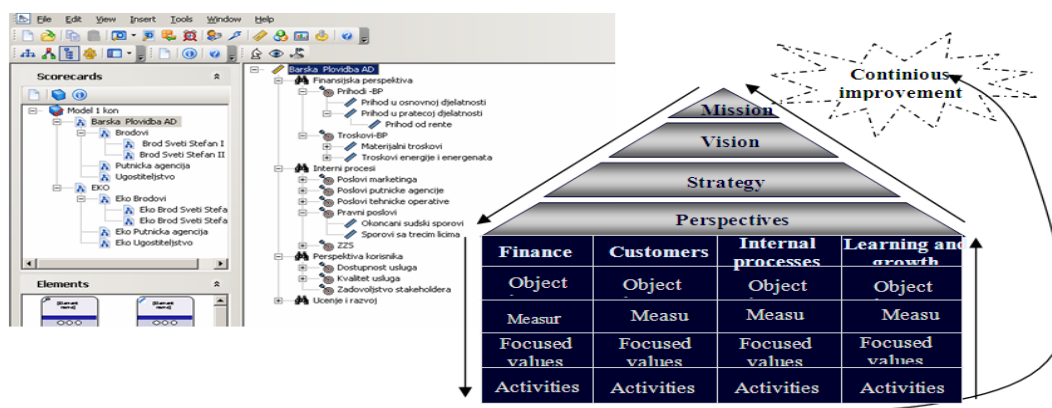


Figure 4. Balanced Scorecard Model

This system defines strategy that is always subject to testing and redefinition. It translates its activities into a series of continuous measurement and improvement of organizational performance and allows customization of the new changes. It is obvious that this approach is fully compatible with the access connection process, the objectives and measures described in ISO 14004 standard. Thus, if the definition of the strategy of the organization takes account of environmental concerns then the application of strategic performance management

system (Balanced Scorecard) contributed to the constant measurement and improvement of environmental performance, which proves basic flaw in the implementation of ISO 14001. This approach balances the additional position of this system in comparison with other management systems in an organization. Advantage of the Balanced Scorecard system lies in the fact that its implementation requires consequently establishment of connection and then the goals and measures which gives a review of the overall metric as in Figure 5.

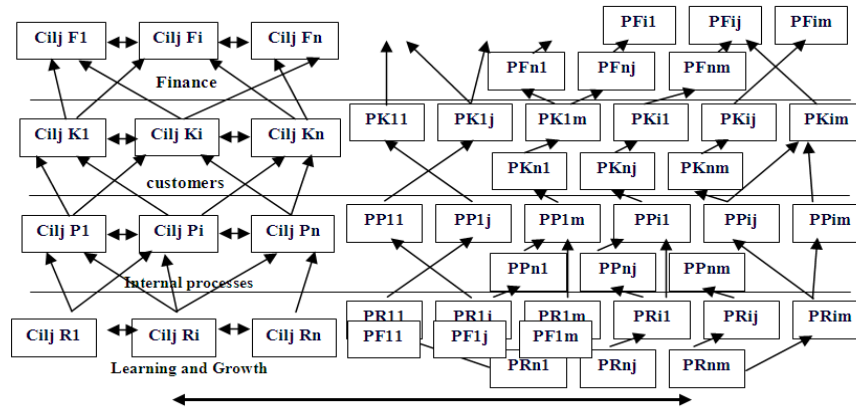


Figure 5. Cause-effect relationships link between objectives and measures inside Balanced scorecard

Visibility and correlation metric system of measurement in this way is very useful to be looked improving the impact of one measure has the other measures in the overall system and are critical to performance improvement is achieved whose significant achievement of strategic objectives. In this way, the main shortcoming observed in the implementation of ISO 14001 (which was removed in ISO 50001 - obligation measuring and improving energy performance) was overcome by the application of the system for measuring and improving performance.

## 5. CONCLUSION

In this paper an extensive analysis of numerous literature sources and access to organizations with environmental management pointed out to the lack of convincing results achieved by the application of ISO 14001. In fact, achieving improvements in environmental performance is not guaranteed by simply applying standards but also show that the key to successful implementation of the system of environmental management is found in the permanent obligation of performance measurements.

Thus, the application of ISO 50001, as the backbone system defines the obligation of measurement and improvement of energy

performance, achieved very good results in the rationalization of energy consumption. The importance of measuring and improving the environmental performance of the favored and ISO 14004 but is insufficiently defined in the standard ISO 14001 which gives organizations the opportunity to win a certificate and not an effective system of environmental management. Because the access to the ISO 50001 can serve as a guide in establishing an effective system of environmental management.

Bearing in mind the above and often inferior position of environmental concerns in relation to other relevant strategic directions of the organization and the importance of performance measurement in the establishment of an efficient management system, the paper presents a Balanced Scorecard system due to the very good results achieved in improving strategically relevant performance of the organization. This system is suitable for all combines seemingly opposing directions of development of the different management systems into a comprehensive strategic-oriented measurement system is primarily oriented to measuring and improving performance that, as shown in the work of environmental management achieved the necessary and desired efficiency.

## 6. LITERATURE

- [1] J. Jovanović, "Model unapredjenja sistema upravljanja zaštitom životne sredine primjenom multisoftvera", doktorski rad, Podgorica, 2009
- [2] ISO 14001:2004
- [3] ISO 14004:2004
- [4] Rowland-Jones R, Pryde M. and Cresser M, "An evaluation of current environmental management systems as indicators of environmental performance", *Management of Environmental Quality*, 2005
- [5] Prakash A, Potoski M, "Covenants with Weak Swords: ISO 14001 and Facilities Environmental Performance", *Journal of Policy Analysis and Management* 24, 2005
- [6] Andrew A. King, Michael J. Lenox, Ann Terlaak, "The Strategic Use of Decentralized Institutions: Exploring Certification with the ISO 14001 Management Standard", *Academy of Management Journal*, 2005.
- [7] Reinhardt F, "Market Failure and the Environmental Policies of Firms", *Journal of Industrial Ecology*, 3(1): 9-21, 1997
- [8] Naveh E. and A. A. Marcus, "When Does the ISO 9000 Quality Assurance Standard Lead to Performance Improvement? Assimilation and Going Beyond", *IEEE Transactions on Engineering Management* 51 (3): 352-363, 2004
- [9] O'Dwyer B, Owen D, "Assurance statement practice in environmental, social and sustainability reporting: a critical evaluation", *British Accounting Review*, 2005
- [10] Julia Hertin, Frans Berkhout, ..., "Are soft policy instruments effective? The link between environmental management systems and environmental performance of companies" *Universite Catholique de Louvain*, September 2004
- [11] Kausek Joe, "Environmental management, Quick and easy", *ASQ Quality press*, Wisconsin, 2006
- [12] P.C. Bressloff, D.J. Weir, "Neural Networks", *The GEC Journal of Research*, Vol 8, no. 3, pp. 151-169, 1991
- [13] Hong Kong Industry Department, "A guide to pollution control legislation affecting manufacturing industries", Hong Kong: Hong Kong Government Publication, 1998
- [14] Pun KF, Fung YK, Wong FY, "Identification of critical factors for total quality environmental management", *Proceedings of the 3rd Annual International Conference on Industrial Engineering Theories, Applications and Practice*, Dec 28e31, Hong Kong, 1998
- [15] Fussler C, "Driving eco-innovation: A breakthrough discipline for innovation and sustainability", London: Pitman, 1996
- [16] Weissman SH, Sekutowski JC, "ECM: a technology for the nineties"; *AT&T Tech*, November-December, 24e33, 1991
- [17] Christensen P, Rasmussen BD, "Implementation of environmental management in the Danish printing house industry", *Eco-Manage Audit*, I.5:88e94, 1998
- [18] Poksinska, Bozena, Dahlgaard, Jens J, Eklund, Jorgen AE, "Implementing ISO 14000 in Sweden: motives, benefits and comparisons with ISO 9000", *Int J Qual & Reliab Manage*, 2003
- [19] Denton T, "Sustainable development at the first level", *Chem Mark Rep* 1994
- [20] Sayre D, "Inside ISO 14000 - The competitive advantage of environmental management", Delray Beach, FL: St Lucie Press, 1996
- [21] Miles MP, Covin JG, "Environmental marketing: A source of reputational, competitive, and financial advantage", Abstract published in 1998 AMA Marketing Exchange Colloquium, Vienna, Austria 1999
- [22] Cohen MA, Penn SA, Naimon J. "Strategic management of small firms in hostile and benign environments", *Strategic Management*, 1995
- [23] Chapman TS, "Achieving better environmental performance: Are you ready?", *Green Product*, 1994
- [24] Tibor T, "ISO 14000 - A guide to the new environmental management standards", USA: Wayne McGuirt, 1996
- [25] ISO 50001: 2011- Energy Management System – Requirements with guidance for use

**Authors:** Assist. Prof. Jelena Jovanovic, Prof. Zdravko Krivokapic, Assist. Prof. Aleksandar Vujovic, University of Montenegro, Faculty of Mechanical Engineering Podgorica, Cetinjska 2, Tel: +382 20 242907, Fax: +382 20 242907.  
E-mail: [sjelena@t-com.me](mailto:sjelena@t-com.me)  
[zdravkok@ac.me](mailto:zdravkok@ac.me)  
[aleksv@ac.me](mailto:aleksv@ac.me)



*Rad po pozivu:*

Lazarević, M., Ćosić, I., Sremčev, N., Lazarević, Đ., Ostojić, G.

## POVEĆANJE EFIKASNOSTI RADA SISTEMA ZA DEMONTAŽU PROIZVODA PRIMENOM IDENTIFIKACIONIH TEHNOLOGIJA

**Rezime:** Neefikasnost rada sistema za demontažu proizvoda je jedan od osnovnih problema koji treba rešiti kada se govori o preradi proizvoda na kraju životnog veka. Demontaža proizvoda na kraju životnog veka koja prethodi reciklaži, pored brojnih izazova, otežana je i nedostatkom informacija o strukturi proizvoda, tehnološkom postupku demontaže kao i o neizvesnošću stanja u kome se proizvodi nalaze. Nedostatak informacija o proizvodima ima za posledicu otežano planiranje, izvršavanje i praćenje procesa u postupku demontaže i reciklaže. Rad prikazuje kako se primenom identifikacionih tehnologija mogu stvoriti uslovi za povećanje kvaliteta i efikasnosti rada sistema za demontažu.

**Ključne reči:** demontaža, strategije, informacije, RFID tehnologija, reciklaža

### 1. UVOD

Kvalitet upravljanja proizvodima u različitim fazama životnog veka zavisi od informacija potrebnih u posmatranom trenutku vremena. Pri tome se mora imati u vidu kompleksnost postavljenog zadatka upravljanja demontažom, gde se proizvod kreće putem na kome se nalaze različite prepreke-uticaji: pravne norme, ekološki zahtevi i problemi, tržište, transport, itd. Proizvod od trenutka kada njegovi delovi počnu da se proizvode započinje svoje putovanje – ulazi u odgovarajući tok koji treba da se završi konačnim prestankom njegove upotrebe i odlaganjem delova proizvoda i svih njegovih delova u odgovarajuće tokove za demontažu i reciklažu.

Prelazeći iz faze u fazu životnog veka i imajući u vidu karakteristike proizvoda, menjaju se i potrebne informacije za upravljanje demontažom i reciklažom za dati proizvod. U svakoj od faza životnog veka proizvoda (raskrsnica) neophodno je prikupiti odgovarajućom brzinom (što je brže moguće) potrebnu količinu podataka (neophodnu), obraditi ih i potom, na osnovu njih, utvrditi dalji pravac kretanja proizvoda (kao sistema ili kao njegovih delova-posle demontaže).

Sa ciljem povećanja brzine prikupljanja, potrebnog broja i kvaliteta podataka radi povećanja brzine njihove obrade i delovanja na proizvod u postupku demontaže, predlaže se primena identifikacione tehnologije sa radio frekventnom identifikacijom (Radio-Frequency IDentification RFID). Brza raspoloživost informacija u određenom (realnom) trenutku vremena (potrebnog obima i kvaliteta) povećava stepen efikasnosti i efektivnosti upravljanja u sistemima za demontažu i reciklažu a takođe i

celokupnom životnom veku proizvoda. Posebno je potrebno naglasiti povećanje stepena kvaliteta procesa reciklaže. Primena RFID tehnologije svakako mora biti podržana i odgovarajućim softverskim rešenjem. Dakle, kao neophodni elementi za podizanje efikasnosti rada sistema za demontažu proizvoda vide se: nosioci informacija (identifikacione tehnologije), softverska integracija i infrastruktura neophodna za integraciju radnog mesta sa napred navedenim elementima (RFID čitač/pisač, monitor, mrežna komunikaciona infrastruktura). U radu će biti prikazana integralni model primene identifikacione tehnologije u sistemu za demontažu.

### 2. PRIMENA RFID TEHNOLOGIJE

Proučavanje i primena RFID tehnologije idu u više pravaca danas. Postoje pojedinačne upotrebe navedene tehnologije od strane nekih kompanija u cilju rešavanja problema u upravljanju određenim tokovima materijala i informacija. Sa druge strane, u poslednje vreme dosta su intenzivirana proučavanja rezultata iz prakse od strane pojedinih naučnih institucija, koje na osnovu njih postavljaju nove, sa naučne strane podržane principe upravljanja proizvodima u toku životnog veka koristeći prednosti RFID tehnologije [1].

Detaljna analiza RFID tehnologije i trenutna PLM rešenja ukazuju da postoje ogromne mogućnosti za kombinovanja rešenja PLM – RFID koje mogu doneti velike koristi različitim proizvodnim sistemima [2].

RFID tehnologija je našla široku primenu u različitim sistemima sa vrlo različitim namenama, od proizvodnje i montaže, do različitih sistema za

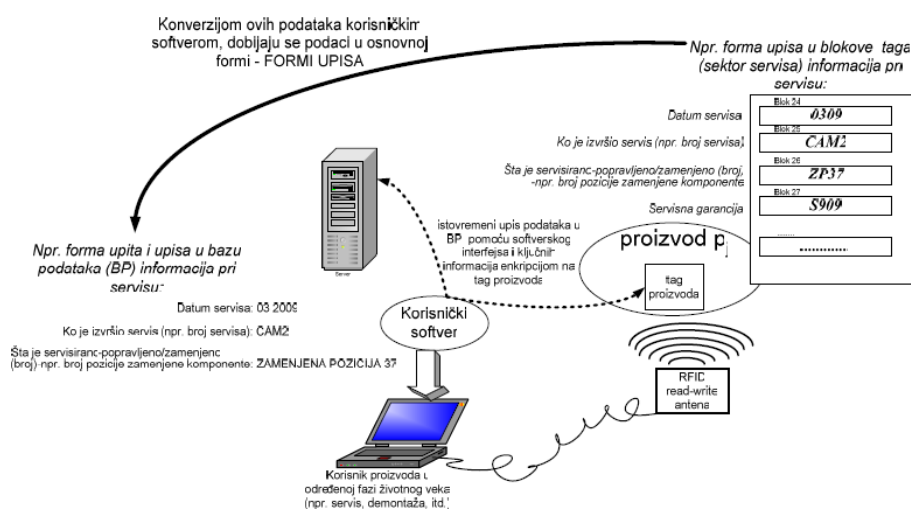
identifikaciju i praćenje ljudi i objekata (pa čak i uzdravstvenim institucijama). Postoje i brojna rešenja originalne primene RFID tehnologije, koja nisu obuhvaćena napred navedenim primerima.

## 2.1. RFID tehnologija

Radio Frequency IDentification (RFID) predstavlja sistem za automatsko prikupljanje podataka (Automated Data Collection - ADC) koji omogućava poslovnim procesima da bežičnim putem prihvate i prenose podatke koristeći radio talase. RFID tehnologija omogućava kompanijama da dodele jedinstvenu oznaku individualnim proizvodima ili resursima.

Upotrebom radio talasa, podaci se prihvataju i premeštaju bežičnim putem od i do poslovne aktivnosti u realnom vremenu.

Osnovne elemente svakog RFID sistema čine: tag - kao nosilac informacija, predstavlja obaveznu komponentu, čitač - takođe obavezna komponenta, antena (obavezna), kontroler – obavezna komponenta, mada većina čitača novije generacije ima već ugrađenu ovu komponentu, senzor, indikator i aktuator – ove opcione komponente su potrebne za eksterni ulaz i izlaz sistema, računarski i softverski sistem – teoretski RFID sistem može da funkcioniše nezavisno od ovih komponenti, ali je praktično beskoristan bez njih, i komunikaciona infrastruktura – ovu obaveznu komponentu sačinjavaju obe vrste mreža (žičana i bežična) i infrastruktura potrebna da se prethodno navedene komponente povežu i ostvare uspešnu komunikaciju (Slika 1.).



Slika 1. Osnovne komponente RFID tehnologije

## 3. POLAZIŠTE U PLANIRANJU PROCESA DEMONTAŽE

Polazište u planiranju procesa demontaže nalazi se u strategijama za upravljanje proizvodima u toku životnog veka. Strategije za upravljanje proizvodima na kraju životnog veka vrše opšte usmeravanje proizvoda, i daju preporuke za upravljanje proizvodom na kraju životnog veka.

Proizvodi završavaju svoj životni vek kada vlasnik uoči da su troškovi održavanja i popravke isuviše veliki u poređenju sa ukupnom vrednosti istog tog proizvoda ili kada je primetno da je tehnološki prevaziđen. Proučavanja vezana za strategije kraja životnog veka proizvoda su u novije vreme vrlo brojna. Kao rezultat ovih istraživanja najprihvatljivija i po svom karakteru najsveobuhvatnija klasifikacija kraja životnog veka proizvoda razlikuje sledeće scenarije [3]:

1. Ponovnu upotrebu upotrebljanih proizvoda;

2. Rekonstrukciju upotrebljanih proizvoda;
3. Korišćenje upotrebljanih proizvoda za rezervne delove;
4. Reciklažu sa demontažom;
5. Reciklažu bez demontaže;
6. Deponovanje upotrebljanih proizvoda.

Analizom navedenih strategija dolazi se do zaključka da se za upravljanje proizvodima na kraju životnog veka, prema strategijama 2, 3 i 4, javlja potreba za demontažom proizvoda.

### 3.1 Informacije potrebne za izbor strategija

Informacija se može definisati kao bilo koja vrsta znanja koja se može razmeniti, i ona se uvek može izraziti (t.j. predstaviti) odgovarajućom vrstom podataka. U postupku projektovanja sistema za demontažu, prvi korak jeste izbor strategija za upravljanje proizvodima na kraju životnog veka. Za odlučivanje pri izboru odgovarajuće strategije za dati proizvod neophodno je posedovanje informacija o proizvodu.

Informacije koje su potrebne za izbor strategija mogu se podeliti u dve kategorije i to:

- informacije o karakteristikama proizvoda, i
- informacije o karakteristikama okoline u odnosu na proizvod.

U informacije karakteristika proizvoda spadaju: konstrukcione informacije, informacije o pouzdanosti, informacije potrebne za

demontažu, informacije o proizvodnji, informacije o životnom veku, informacije o lokaciji.

U informacije karakteristika okoline u odnosu na proizvod spadaju: tržišne informacije, informacije o zakonodavstvu, informacije o korporativnoj politici.

Faza životnog veka proizvoda	Informacije koje se generišu u odgovarajućoj fazi životnog veka proizvoda _ IG	IG informacije i njihov značaj za upravljanje proizvodom u istoj i/ili narednim fazama									
		P	S	T	PR	U	S <sub>C</sub>	KŽV	DIS	RM, R, W	
proizvođač, proizvodnja _ P	- gde je proizveden, - kada je proizveden, - kako se čuva, - strategija KŽVproizvod, - da li sadrži opasne/toksične komponente (materijale), itd.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
skladištenje _ S	- kada je pristiglo u magacin, - ko je prihvatio robu, - gde je magacin (država, grad) - ko je izdao robu iz magacina, itd.		x		x						
transport _ T	- ko je transportovao proizvod; - kada je transportovan; kako je transportovan; itd.										
prodaja _ PR	- Ko je i gde kupio proizvod (npr. : broj i.k.) - Datum prodaje proizvoda, itd.	x			x			x	x		
upotreba _ U											
servis _ SC	- Datum servisa, - Ko je izvršio servis, - Šta je servisirano (pozicija koja je popravljena-servisirana); - Servisna garancija	x				x	x	x	x	x	
kraj životnog veka _ (KŽV)	-preporučena strategija KŽV proizvoda (eventualno - pošto se utvrdi stanje proizvoda posle analiza stanja i dijagnoze) - Ko je preuzeo proizvod (gde je proizvod preusmeren iz magacina) - Kada je proizvod preuzet	x						x	x	x	
demontaža _ DIS	- gde se vrši demontaža (može na tag ali ne mora, zavisi od izabrane strategije. Npr. ako je str. 3 ili 4 bazni tag se skida i on ne nosi informacije dalje. Prema str. 2 svi delovi pa i tag nastavljaju dalje zajedno pa tag nastavlja «život»). Ove informacije su važne da se upišu u bazu podataka, da bi proizvođač mogao da zna tačnu poziciju svih svojih proizvoda. - Strategija prema kojoj se vrši demontaža proizvoda (opciono upis na tag i obavezno upis u bazu podataka) - vreme završetka demontaže proizvoda (opciono upis na tag i obavezno upis u bazu podataka)	x							x	x	
remontaža,reciklaža, skladištenje za ponovnu upotrebu ili bacanje na otpad _ RM, R, RU, W	- ako je proizvod remontovan-rekonstruisan - vreme kada je završena rekonstrukcija - gde je izvršena remontaža	x						x	x	x	x

napomena: x - znači da informacije generisane u posmatranoj fazi imaju značaja na upravljanje proizvoda u fazi u kojoj je stavljen znak "x"

Tabela 1. Informaciona korelacija između pojedinih faza ž. veka proizvoda

Međutim, jedan od najizazovnijih problema u projektovanju i radu sistema za demontažu je problem planiranja. Tehnološki postupak određuje redosled operacija demontaže do potpunog rastavljanja proizvoda na sastavne delove, ali se ponekad koriste samo njegovi pojedini delovi. Delovi ili sklopovi često se mogu prodati radi ponovnog korišćenja ili odložiti na otpad, što zavisi od zahteva tržišta. Postupak demontaže ima veliki uticaj na efikasnost i troškove demontaže. Ukoliko je proizvod složeniji planiranje postaje sve teže [4].

Sistem za demontažu pruža mogućnost proizvođačima da zarade na ponovnom korišćenju demontiranih komponenti ukoliko se ništa ne baca u nepovrat. Većina komponenata u sklopu, ima različito vreme upotrebnog veka. U mehaničkim proizvodima, pokretni delovi, npr., imaju veću stopu otkaza i oni se češće zamenjuju. Nasuprot tome, moderne elektro komponente treba da zadovolje veća očekivanja u pogledu životnog veka i mogu da budu pogodne za upotrebu u drugim proizvodima. U pojedinim slučajevima, kompjuterski čipovi poseduju veću pouzdanost nego njihovi novo proizvedeni konkurenti.

Odgovorni proizvođači moraju uzeti u razmatranje troškove ugrožavanja životne okoline. Ovo čini ponovnu upotrebu komponenti i delova u

proizvodnji novih proizvoda ekonomski prihvatljivom. Ponovna upotreba može se u osnovi podeliti u dve kategorije. Prva je korišćenje komponenti i delova u novim proizvodima. Takođe, mogu se koristiti u istim vrstama proizvoda nižeg ili višeg kvaliteta, koji ne zahtevaju veliku preciznost. Drugi oblik ponovnog korišćenja je upotreba za rezervne delove istih ili sličnih proizvoda.

Proizvodi dospevaju u proizvodni sistem za demontažu u različitim količinama, po vrstama i kvalitetu. U bilo kome posebnom slučaju, količina - veličina, kvalitet i vremenski period upotrebnog veka proizvoda može nepredvidljivo varirati. Razlika između proizvodnog i demontažnog sistema je u prilivu dolazećih delova i materijala. U klasičnim proizvodnim sistemima oni pristižu pravilno, u određenim vremenskim intervalima, dok u demontažnim sistemima pristižu različiti proizvodi u nepredvidivim količinama i različitog kvaliteta. Zato je prvi korak planiranja sistema za demontažu identifikacija grupe proizvoda koji dolaze u sistem.

U interesu proizvođača je da se postigne balans između efikasnog korišćenja radne snage, alata, mašina i prostora. U procesima demontaže, teško je kontrolisati osnovni lanac snabdevanja. Pri tom se čine naponi da se obezbedi dovoljna količina za

rad sistema, a time se nagomilavaju nepravilne zalihe proizvoda na skladištima. Drugi složeni problem demontažnog sistema je varijabilnost vrsta proizvoda koji prispevaju na skladište. Ova problematika se deli po dve osnove. Prva je problem promenljivosti količina, koja pravi konfuziju u pravljenju rasporeda obrade proizvoda (što ima za posledicu zalihe u preradi na oba kraja sistema, i na ulazu i na izlazu). Druga je određivanje potrebnih pripremno-završnih vremena, postupaka rada, alata, mašina itd., koje su potpuno nepredvidljive kao posledica ranije navedenih specifičnosti u postupcima demontaže. Kada se projektuje veliki i kompleksan sistem za demontažu glavni doprinos uspehu su ekonomski ciljevi i efikasno korišćenje resursa. Međutim, projekat sistema treba da uzme u obzir i zahteve prirodne okoline. Pažljivo planiranje strateških atributa sistema će u velikoj meri doprineti kvalitetu sistema za demontažu u celini [4].

#### 4. SELEKCIJA KOMPONENTI U POSTUPKU DEMONTAŽE

Po izboru odgovarajuće strategija za dati proizvod i sekvencijalnog izvršavanja pojedinih zahvata demontaže neophodno je izvršiti selekciju demontiranih komponenti (delova / sklopova).

U osnovi se mogu razlikovati sledeće mogućnosti za selekciju komponenti po izvršenoj demontaži (Slika 2.):

1. izdvajanje opasnih komponenti - materijala (O ili H (hazard));
2. reciklaža materijala (R);
3. ponovo upotrebiti (P12);
4. doraditi (D);
5. spaljivanje (S ili I (incineration));
6. odlaganje na otpad (W (waste)).

moguće strategije za proizvod: delimično strategija 3 i u osnovi strategija 4									moguće varijante za selekciju komponenti					
	deo	PS	kom	nivo ugradnje	materijal	masa (kg)	dimenzije	demontaža prema strategiji (2,3,4)	Opasan O	Ponovo upotrebiti P	Doraditi D	Reciklaža materijala R	Spaljivanje S	Odlaganje na otpad W
1	Zavrtanj		4	2	ČV. 40		JUEM.B1.456	3, 4		K1		C		
2	Zadnje kuciste		1	2	Plastika			4				P1		
3	Zavrtanj		1	2	ČV. 40		JUEM.B1.456	3, 4		K1		C		

Slika 2. Scenario prethodne selekcije komponenti

Pre započinjanja bilo kakvog rastavljanja proizvoda neophodno je utvrditi da li se izvršavanjem odgovarajuće operacije rastavlja i neka komponenta/materijal koja može ugroziti bezbednost i zdravlje radnika i/ili kontaminirati/ugroziti okolinu. Ukoliko se utvrdi postojanje takve komponente/materijala (O - opasna komponenta/materijal), neophodno je potpuno definisati proceduru-postupak za njeno izdvajanje, selekciju i potom bezbedno raspolaganje/skladištenje nakon uklanjanja.

Reciklaža predstavlja varijantu za selekciju materijala kojom se komponente usmeravaju u tokove materijala koji vode ka sistemima za preradu proizvoda do sirovog materijala. Tako se već jednom upotrebljeni materijali vraćanjem u sisteme za preradu dovode do "sirovog" stanja i potom ponovo koriste za izradu novih proizvoda. Na taj način u potpunosti je zaokružen ciklus korišćenja pojedinih materijala.

#### 4.1 Procedura za selekciju komponenti u operaciji demontaže

Prilikom izvođenja pojedinih zahvata (Zi) demontaže neophodno je po razdvajanju pojedinih delova/sklopova izvršiti njihovu selekciju u odgovarajuće tokove materijala.

Procedura selekcije - postupak selekcije se vrši u osnovi kroz četiri faze (Slika 2.):

- a) analiza stanja (A),
- b) dijagnoza stanja (D),

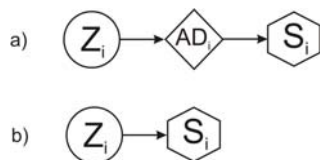
- c) izbor varijante za selekciju (Slika 21.) (H, R, D, P, S i/ili W),
- d) selekcija (S).

Analiza stanja (A) predstavlja postupak kojim se pomoću odgovarajućih sredstava utvrđuje stanje demontiranog dela/sklopa. U zavisnosti od toga šta se kontroliše sredstva demontaže proizvoda mogu biti različita. Ona mogu biti obična mehanička merila za kontrolu dimenzija (kljunasto merilo, mikrometar, račve...), različiti elektro uređaji (za merenje otpora ili napona npr., ...), različiti ultrazvučni uređaji za kontrolu, itd.. ili pak ona uopšte nisu ni potrebna, jer se analiza stanja utvrđuje vizuelnim putem.

Dijagnoza stanja (D) je postupak u kome se vrši poređenje utvrđenih vrednosti parametara (u postupku analize stanja) sa preporučenim vrednostima.

Na osnovu utvrđenog odstupanja parametara, dijagnozom stanja, vrši se izbor odgovarajuće varijante za selekciju dela/sklopa iz predhodno utvrđenog scenarija za selekciju (Slika 2.).

Faze analize stanja i dijagnoze ne moraju uvek biti prisutne u proceduri selekcije (Slika 3. (b)). Ovo važi u slučaju ako u scenariju (proceduri) za selekciju (Slika 2.) za demontirani deo nije predviđeno više mogućih varijanti selekcije već postoji samo jedna (npr. R). U ovom slučaju odmah po izvršenju zahvata (Zi) demontaže vrši se samo selekcija (Si) komponente u skladu sa predhodno utvrđenim scenarijem.



Slika 3. Procedura izvršenja zahvata, analize stanja, dijagnoze i selekcije komponenti

## 5. STRUKTURA SOFTVERA ZA PRIMENU RFID U SISTEMU ZA DEMONTAŽU

Softver za obradu informacija iz životnog veka proizvoda sastoji se od dva dela.

Prvi deo jeste i njegov centralni deo, a služi za obradu informacija u oba smera - ka korisnicima i prijem informacija od korisnika. Ovaj softver je PLA softver (Product Life Administration - softver za obradu informacija životnog veka proizvoda).

Drugi deo softvera je predviđen za komunikaciju sa korisnicima i on se naziva Korisnički Interfejs - RFID (KI - RFID). KI-RFID takođe obrađuje informacije u oba smera, ali su informacije koje KI-RFID prosleđuje ka PLA manjeg obima. Upravo jedan od modula KI-RFID korisničkog interfejsa jeste i KI-RFID-D, odnosno softver koji se koristi u sistemu za demontažu.

### 5.1 Softver za administriranje informacija iz životnog veka proizvoda (PLA - Product Life Administration)

Softver za obradu informacija o životnom veku proizvoda proizvedenih u odgovarajućem proizvodnom sistemu (PLA - Product Life Administration) sadrži više delova.

U osnovi mogu se izdvojiti neki od njegovih najvažnijih elemenata kao što su: registracija korisnika programa-interfejsa i proizvoda, njihove lokacije (npr.: registracija servisa, EoL skladišta proizvoda, i sl.), vrlo važan deo koji se odnosi na izveštaje o proizvodima i njihovom statusu. Suštinski skup podataka u bazi podataka obuhvata ažuriranje svih informacija vezanih za akcije načinjene nad proizvodom i aktera-korisnika koji su ih izvršili.

### 5.2 Korisnički interfejs-program za demontažu (KI-RFID-D)

Korisnički interfejs-program (KI-RFID) - jeste samo deo složenog softverskog paketa PLA, koji se distribuira korisnicima u lancu životnog veka proizvoda. Na primer, korisnici u demontaži proizvoda moraju dobiti licenciranu verziju softvera predviđenu za proces demontaže da bi mogli pristupiti podacima koji se odnose na proces demontaže, a koji se nalaze u BP (Baza Podataka) ili na tagu (Slika 4.). Može se primetiti da je

korisniku u demontaži autorizovan pristup delu programskog paketa koji se odnosi na demontažu proizvoda. Stvar je odluke proizvođača proizvoda i softvera da li će dozvoliti pristup iz procesa demontaže nekom od ostalih delova programa, a koji se odnose na podatke neke od faza iz životnog veka proizvoda (proizvodnje, prodaje, servisa, EoL skladišta proizvoda, remontaže, itd.).

Autorizovani softver (KI-RFID) omogućava da se očitaju podaci i sa taga, na takav način da se izvrši konverzija podataka unetih na tag u formi enkripcije u podatke koji su jasni korisniku, odnosno vraća ih u formu u kojoj su bili prilikom upisa na tag (u formu odgovora na programske upite prilikom unosa podataka) (Slika 5.). Takođe, na slici (Slika 4.), može se primetiti, da proizvođač može omogućiti i predvideti softverskim rešenjem, da korisnik u određenoj fazi ŽV proizvoda može pristupiti i drugim korisničkim sektorima taga ako je to potrebno (npr. sektorima prodaje, skladišta, EoL skladištima, proizvodnje, demontaže, itd.) ali je onemogućen da pravi bilo kakve izmene u njima. Svi podaci sa odgovarajućeg korisničkog sektora taga vidljivi su po svim blokovima sektora. Njemu je dozvoljeno samo da preuzima podatke, a sve u cilju da se omogući i postigne optimalno upravljanje proizvodom i njegovim pojedinim komponentama.

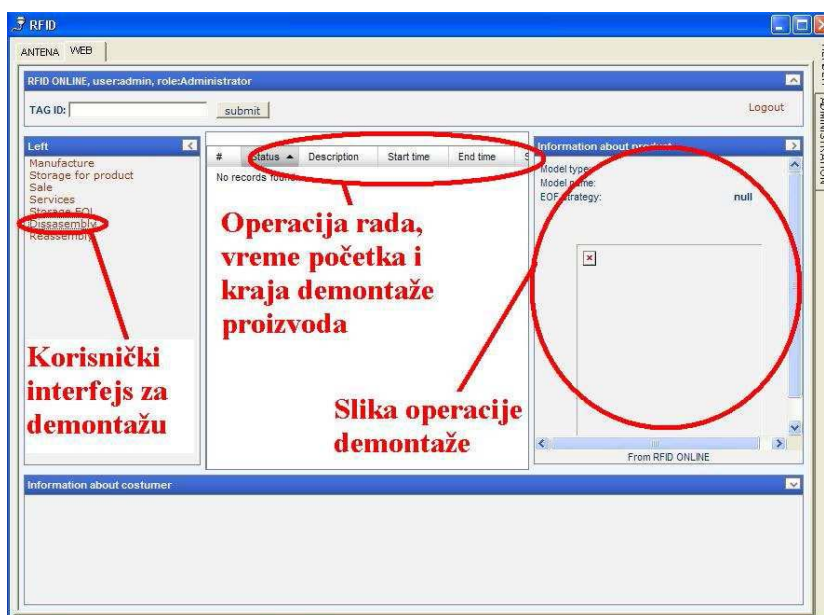
U suštini, u najvećem broju slučajeva, demontaža i reciklaža ne mogu se posmatrati odvojeno. Razvoj području demontaže je od velikog značaja za procese reciklaže i obratno. Proizvodi koji dolaze u sistem za demontažu ne nose sa sobom nikakvu informaciju o životnom veku koji su upravo završili, a sa druge strane nema nikakvih informacija ni o strukturi samog proizvoda – delova i materijala. Iz tog razloga proces demontaže proizvoda je u značajnoj meri otežan zbog nepoznavanja postupka demontaže, stanja pojedinih komponenti i vrste materijala, što ima za posledicu ima smanjenje kvaliteta selekcije demontiranih komponenti i materijala u odgovarajuće tokove [5].

Zbog toga, primena RFID tehnologije u značajnoj meri može pomoći prevazilaženju navedenog problema. KI-RFID-D softver je razvijen da pomogne u prevazilaženju problema nedostatka informacija, a takođe i da se omogući optimizacija upravljanja proizvodom, materijalima i njegovim pojedinim komponentama.

Za najveći broj proizvoda koji stignu u sistem za demontažu, kao što je već rečeno, ne postoje nikakve informacija o postupku demontaže, a potom i selekcije demontiranih komponenti i materijala. Pored navedenog, u najvećem broju slučajeva ne postoji bilo kakva informacija kod

proizvođača o statusu proizvoda u njegovom životnom veku. Korisnički interfejs u demontaži (KI-RFID-D), ima za cilj da pruži informacije o postupku demontaže proizvoda, potrebnim alatima i selekciji komponenti sa jedne strane, a sa druge

da proizvođaču prosledi informaciju o statusu proizvoda koji je prispeo u sistem za demontažu (Slika 4.). Upravo ovaj deo stvara bolju perspektivu mogućnosti upravljanja proizvodima u toku životnog veka [6].



Slika 4. Korisnički interfejs u demontaži – KI-RFID-D

Princip oblikovanja KI-RFID (Slika 4.) je da se na radna mesta distribuiraju samo najosnovnije informacije koje su neophodne za korektno izvršavanje operacija rada. Upotreba interfejsa ne opterećuje proces rada radnika i svedena je na najmanju moguću meru. Očitavanjem taga, radnika u procesu demontaže na svom monitoru dobija informacije o: označavanju početka operacije (start time), zahtev za opisom tehnološkog postupka-Description (ako je potrebno) i označavanje kraja operacije rada (end time). Kao poboljšanje kvaliteta podataka o proizvodu sa desne strane forme nalazi se i slika proizvoda sa njegovim nazivom i strategijom KŽV (Information about the product). Time je omogućeno brzo donošenje odluka u samom procesu demontaže, što je do sada u najvećoj meri bio razlog za produženo vreme prerade pojedinih proizvoda. Produženo vreme demontaže proizvoda direktno utiče na cenu prerade proizvoda [7].

Unos početka i kraja izvršavanja pojedinih operacija, kao i EPC kod proizvoda koji je došao na obradu, unose se paralelno i u bazu podataka proizvođača. Samo pokretanje aplikacije – registrovanje KI-RFID na mreži dovoljno je da se odredi tačna pozicija demontaže proizvoda – u kojoj zemlji, u kojem mestu, u kojem proizvodnom sistemu. Na taj način sve potrebne informacije su prosledene u oba smera – od

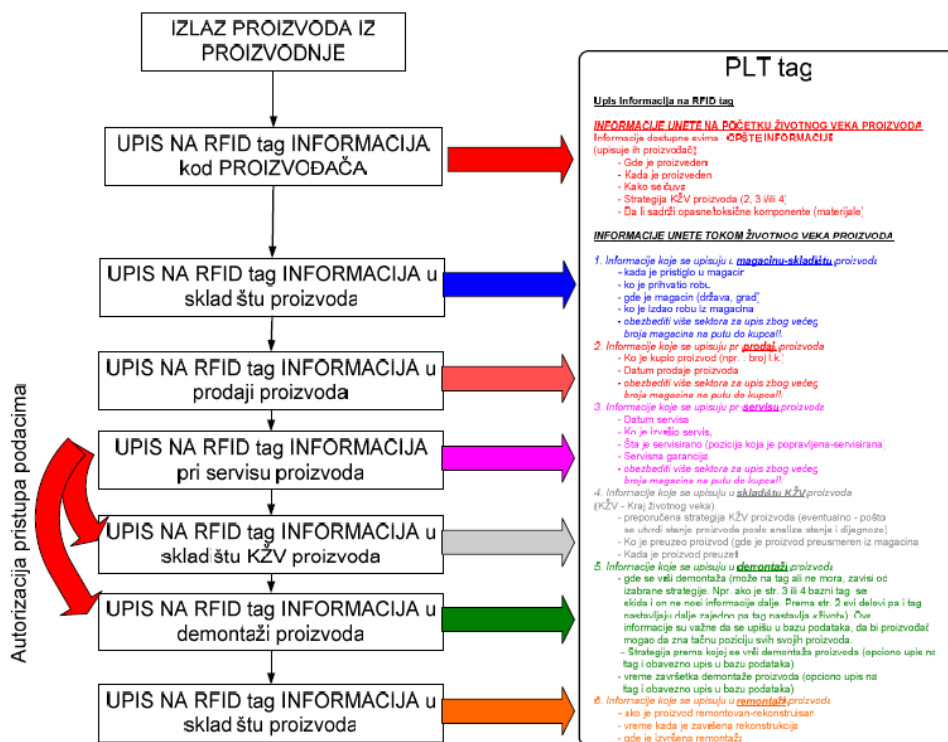
proizvođača ka korisniku proizvoda u demontaži i od korisnika u demontaži ka proizvođaču. Slika o trenutnom statusu i stanju proizvoda je na taj način potpuno jasna.

### 5.3 Informacije RFID taga u demontaži proizvoda

Prve informacije o ŽV proizvoda unose se još u proizvodnji od strane proizvođača. To su osnovne informacije o proizvodu. Njima se daju prve smernice za upravljanje proizvodom tokom životnog veka. Unose se na pojedinim operacijama rada (ako ima više tagova u strukturi proizvoda) kao i na kraju procesa proizvodnje, kada se podaci unose na PLT tag proizvoda.

Kada se razmatra njihova dostupnost pojedinim korisnicima u ŽV proizvoda, može se primetiti da su svi korisnici u nizu, od početka do kraja upotrebe proizvoda zainteresovani za ove podatke. Iz tog razloga može se zaključiti da ne postoji potreba za autorizaciju pristupa navedenim informacijama.

Podaci koji se unose na RFID tag u pojedinim fazama ŽV a koji se koriste u procesu demontaže, treba da su kratki. Njihov unos ne treba da opterećuje korisnika proizvoda (komponente), odnosno da sve aktivnosti oko unosa podataka budu svedene na najmanju moguću meru.



Slika 5. Upis informacija na tag i autorizacija pristupa po sektorima

## 6. PRIMENA RFID TEHNOLOGIJE U SISTEMU ZA DEMONTAŽU

Upravljanje proizvodima u toku životnog veka primenom RFID tehnologije u sistemu za demontažu, biće prikazano na primeru hipotetičkog proizvoda. Hipotetički proizvod je po svojoj strukturi karakterističan i prolazi kroz veći broj faza-operacija demontaže. Na slici (Slika 6.) se može primetiti sekvencijalno izvršavanje pojedinih operacija rada uz neophodno očitavanje odgovarajućih RFID tagova. Primenom KI-RFID korisničkog interfejsa dobijaju se trenutne informacije o postupku demontaže proizvoda.

Postupak demontaže se na taj način odvija brzo, jer su informacije o njihovom izvršavanju jasne i precizne. Takođe, selekcija komponenti posle izvršene analize stanja i dijagnoze o stanju dela i potrebnoj selekciji je ubrzana i odvija se bez zastoja jer su dobijene instrukcije za selekciju komponenti za svaki od scenarija stanja proizvoda.

Instrukcije koje se dobijaju primenom RFID tehnologije (taga kao identifikacione tehnologije) i korisničkog interfejsa su brze, precizne i jednoznačne, a tiču se: analize vrste spojeva, analize i preporuka mogućih izmena stanja proizvoda i veza proizvoda, preporuka za utvrđivanje potrebnog tipa demontaže proizvoda, i

analize i preporuka za izbor varijante procesa demontaže.

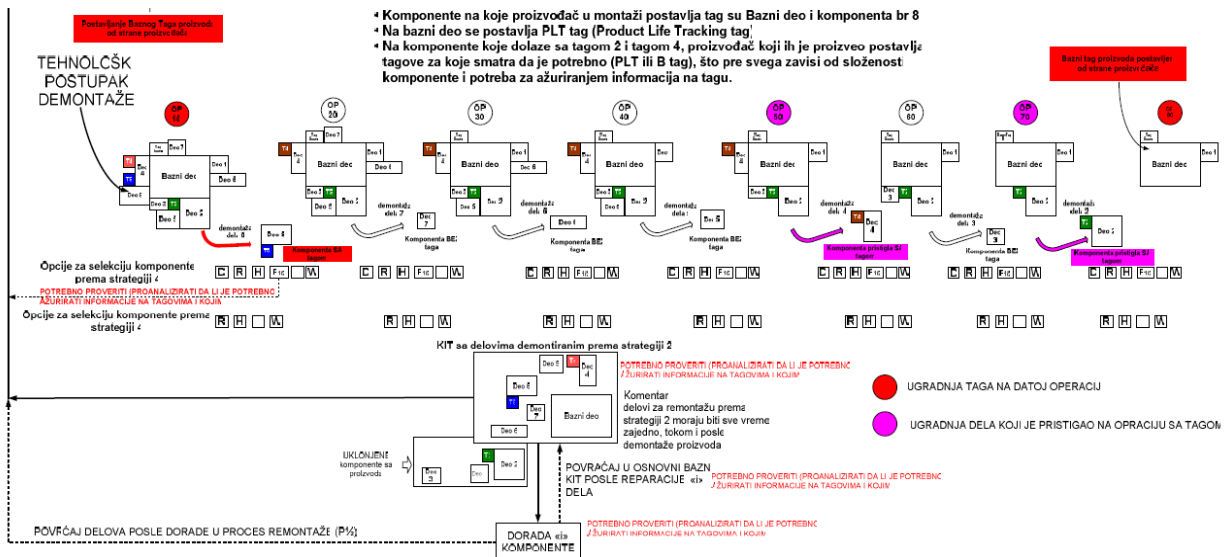
### 6.1 Analiza primene RFID tehnologije u sistemu za demontažu

Prepoznate su prednosti u sistemu za demontažu koje nosi RFID tehnologija i aplikacija KI-RFID Demontaža. Simulacija rada sistema je izvedena u laboratorijskim uslovima (Slika 6.).

Uputstva za izvođenje procesa demontaže su jasna, brzo dostupna i ne zahtevaju veliko angažovanje radnika za njihovo preuzimanje. Obuka za korišćenje aplikacije je jednostavna i brza.

Instaliranje celog sistema, softversko-hardversko rešenje, ne zahteva veliko angažovanje. Posebno su značajna uputstva za selekciju materijala u odgovarajuće tokove po izvršenom procesu demontaže, čime je u značajnoj unapređen kvalitet tokova materijala koji izlaze iz sistema za demontažu.

Uočen problem velikog broja varijanti proizvoda i proizvođača. Nametnuto pitanje potrebe projektovanja univerzalne aplikacije KI-RFID Demontaža. Eksperimenti su pokazali i naveli na zaključak o potrebi kreiranja univerzalne korisničke aplikacije KI-RFID za sve korisnike u životnom veku proizvoda, sa ciljem povećanja univerzalnosti primene navedene tehnologije i prikazanog rešenja za njenu implementaciju.



Slika 6. Analiza procesa montaže i demontaže hipotetičkog proizvoda p<sub>j</sub>

## 7. ZAKLJUČAK

Sumiranjem rezultata istraživanja u upravljanju proizvodima u toku životnog veka od trenutka prodaje pa do trenutka prestanka njegove upotrebe, prema navedenom modelu, dolazi se do određenih zaključaka o prednostima koje nosi završetak životnog veka proizvoda i to: proizvođači dobijaju informacije o svojim proizvodima i njihovom trenutnom statusu, serviseri (održavanje) u radu imaju na raspolaganju mogućnost dobijanja saveta putem interneta u realnom (ili bolje reći najkraćem mogućem) vremenu i sve informacije o prethodnom stanju proizvoda, centri za reciklažu dobijaju potpune i tačne informacije o sastavu - vrsti materijala proizvoda, kao i vrednosti pojedinih komponenti (ako ih je moguće iskoristiti prema strategijama 2 i 3), projektanti mogu koristiti informacije od korisnika iz životnog veka proizvoda koje su redovno ažurirane primenom KI-RFID aplikacija, i na taj način unaprediti kvalitet proizvoda, reciklažeri/ponovni korisnici mogu dobiti precizne informacije o vrednosti materijala i komponenti, krajnji korisnici proizvoda mogu izvući veću korist od proizvoda smanjujući na taj način troškove proizvodnje i dajući proizvodu novi "život".

Unapređenje kvaliteta rada sistema za demontažu rada sistema se ogleda u povećanju stepena efikasnosti izvršavanja pojedinih operacija rada. Takođe, imajući u vidu tokove materijala za reciklažu, navedenim tehnologijama omogućava se distribucija informacija na osnovu kojih se vrši pravilna selekcija demontiranih komponenti, u skladu sa izabranom strategijom za upravljanje proizvodima na kraju životnog veka.

## 8. LITERATURA

- [1] RFID Technology: Changing Business Dramatically, SAP RFID, Accessed:12.03.2009. Available: from:www.sap.com/contactsap
- [2] Rakić-Skoković, M.: *Označavanje i prepoznavanje poslovnih resursa u istemima efektivnog upravljanja primenom RFID tehnologije*, magistarska teza, novembar 2007.
- [3] Ostojić, G., Jovanović, V., Stankovski, S., Lazarević, M.: *Digitalna proizvodnja i RFID tehnologija*, IX Međunarodna naučno-stručna konferencija, MMA 2006 Fleksibilne tehnologije, Novi Sad, Srbija i Crna Gora, 15-16 jun 2006., str. 119-120., ISBN 86-85211-96-4.
- [4] Gupta, S. M. and Veerakamolmal, P.: *Disassembly Of Products, NIST Systems Integration for Manufacturing Application Program*, Final Report, 1996.
- [5] Lazarević, M., Čosić, I., Anišić, Z.: *Uticaj izbora strategija za upravljanje proizvodima na kraju životnog ciklusa na strukturu proizvodnog sistema*, XIII naučna konferencija-IS sa međunarodnim učešćem, Herceg Novi, 2005., str. 083-093, ISBN 86-7780-008-5.

**Autori: Doc. Dr. Milovan Lazarević, Prof. Dr. Ilija Čosić, M.Sc. Nemanja Sremčev, M.Sc. Đorđe Lazarević, Doc. Dr Gordana Ostojić**, Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Departman za industrijsko inženjerstvo i menadžment, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2153  
 E-mail: [laza@uns.ac.rs](mailto:laza@uns.ac.rs)  
[ilijac@uns.ac.rs](mailto:ilijac@uns.ac.rs)  
[nextesla@gmail.com](mailto:nextesla@gmail.com)  
[heydzo@gmail.com](mailto:heydzo@gmail.com)  
[goca@uns.ac.rs](mailto:goca@uns.ac.rs)



Košíková, A., Ladomerský, J., Hroncová, E.

## GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN THE MANAGEMENT OF MUNICIPAL WASTE IN THE MODEL REGION

**Abstract:** *One of the current problems of waste management is waste disposal itself, which from passive waste landfilling is preferable through systematic and coordinated procedures and measures in the long term, according to the waste hierarchy, i.e. waste prevention, reuse and preparation for reuse, recycling, material or energy recovery of waste in modern municipal waste incineration. These trends are developing on the basis that municipal waste is still a usable material for further production and their effective use as an alternative energy source. The quantity of waste despite various measures is uncontrollably growing, but potentially available landfill capacity decreases, while costs are rising, therefore it is necessary to find new solutions. Capacity expansion and construction of incinerators can significantly shift the possibility of energy recovery from waste in Slovakia.*

**Keywords:** *greenhouse gas emissions, municipal solid waste, landfilling, recycling, incineration, IPCC.*

### 1 INTRODUCTION

Climate change and greenhouse gases (GHG) have become significant issues related to waste management in recent years. Waste management contributes to GHG emissions through its use of energy and fuels, through incineration of waste containing fossil carbon, primarily plastic, and through emissions of CH<sub>4</sub> from anaerobic degradation of organic waste [1]. However, waste management also provides savings by producing energy and providing recyclable materials as for example, iron scrap and recovered paper. Within each main treatment process, the various Technologies available add variability to the parameters controlling the GHG emissions, suggesting that a single value of CO<sub>2</sub> equivalents per tonne of waste.

### 2 METHODOLOGY AND DATA

The municipal solid waste was estimated to be 176 749 tons with an average production of 269 kg per capita/year in region of Banská Bystrica in 2011 [2]. It represents 10% of municipal solid waste generated from all municipalities in Slovakia. The dominant device

for waste disposal in the selected region is landfilled municipal waste (90%). Recently there have been implemented several initiatives to recycle the various components of municipal waste at different stages in the process of waste management. Despite intensive efforts, landfilling of municipal solid waste remains an integral part of waste management in the region.

IPCC for national inventories of greenhouse gases defines two methods for estimating CH<sub>4</sub> emissions from solid waste landfills: default method (Tier 1) and FOD - First Order Decay method (Tier 2). The main difference between these methods is that the FOD method produces a time-independent emission profile, which better reflects the actual structure of the degradation process in time, while the standard method is based on the assumption that all CH<sub>4</sub> is released during disposal. Standard method provides a reasonable estimate of actual greenhouse gas emissions, if the composition of the waste is constant over several decades [3].

The equation for Tier 1 (according to the basic methodology in the IPCC Guidelines revised in 1996), is used to calculate the total annual emissions of methane and is based on the following assumptions:

$$CH_4 \text{ emissions (Gg/year)} = [(MSW_F \cdot MSW_T \cdot L_0) - R] \cdot (1 - OX)$$

Default values of 1 for methane correction factor (MCF), 0,77 for fraction of degradable organic carbon dissimilated (DOCF), and 0,1 for oxidation factor (OX) and zero for recovered methane (R) were used for computation in this study as per the IPCC Tier 1 method.

The common method for estimating CO<sub>2</sub> emissions from incineration is based on an estimate of the fossil carbon content in the waste combusted [4]. Estimation of CO<sub>2</sub> emissions, based on the composition of the waste is calculated using the following equation:

$$CO_2 \text{ emissions} = MSW \cdot \sum_j (WF_j \cdot dm_j \cdot CF_j \cdot FCF_j \cdot OF_j) \cdot 44/12$$

The generic waste management systems were defined around the three main residual waste management options:

1. Sanitary landfilling
2. Incineration of MSW
3. Recycling of MSW

Modelling the 8 generic scenarios involved defining the scenarios, choosing technologies and assessing operational parameters typical of up-to-date waste management technologies.

### 3 RESULTS AND DISCUSSION

To calculate methane emissions from landfills average composition of landfill waste in the European Union were used. There is no standard methodology for defining the composition of the waste [5], but several studies have estimated the composition of the average European household waste, the results are comparable, but not identical [6]. Some studies have estimated the average composition of solid waste, but in most cases there is a deficit of some important components such as kitchen waste, garden waste, which have a substantial impact on the balance of greenhouse gas emissions. Morphological composition of municipal waste in EU is shown in Table 1 [7].

<i>Commodity</i>	<i>Per cent [%]</i>
Aluminium	1
Kitchen waste	25
Wood	8
Paper	18
Plastics	12
Textil	4
Nappies	3
Combustion material	10
Ruber	5
Glas	5
Metal	2
White material	1
Garden waste	6

Table 1 Composition of municipal solid waste in EU

The potential savings of greenhouse gas emissions in waste management is not possible to perform an assessment on one technology level. Therefore we elected 8 possible options for recovery and disposal of mixed municipal solid waste to assess their contribution to greenhouse gas emissions. Their brief description is as follows:

#### **SCENARIO 0**

Zero scenario stands for the unchanged method of waste management. The current situation of waste management in the region of Banska Bystrica reveals that the most common method of disposal of waste is landfilled. Estimate of the quantity produced in mixed municipal waste in selected region in 2020 based on the current development of waste production is 136 286 tons. Calculated annual greenhouse gas emissions are 220 793 tons of CO<sub>2</sub> eq.

#### **SCENARIO 1**

Scenario 1 prerequisites the establishment of a waste incineration plant, which will burn annually 70 000 tons of waste from the total quantity produced mixed municipal waste in 2020. The rest of the mixed municipal waste in quantities of 66 286 tons per year will be disposed of at controlled landfills. Calculated annual greenhouse gas emissions represent 99 072 tons CO<sub>2</sub> eq.

#### **SCENARIO 2a AND 2a**

Scenario 2 assumes that 70 000 tons of waste per annum will be burned in the proposed WTE facility and the rest of the mixed municipal waste 100% (66 286 tons) will be recycled. This

reduction cannot be achieved without raising public awareness about recycling. 2a and 2b variants differ in the applied emission factor. This gives a saving of greenhouse gas emissions per year 11 834 tons, 17946 tons CO<sub>2</sub> eq. respectively.

### **SCENARIO 3a AND 3b**

Scenario 3 assumes that 70 000 tons of waste per annum will be burned in the proposed WTE facility. Residual municipal waste (66,286 tons) was partitioned into two halves, of which 50 % (33 143 tons) will be recycled and 50% (33143 tons) landfilled. Calculated annual greenhouse gas emissions are 43 618 tons, 40 563 CO<sub>2</sub>eq. tons respectively.

### **SCENARIO 4a AND 4b**

It is expected that 70 000 tons of residual municipal waste is recycled annually instead of being burned. Calculated annual greenhouse gas emissions are 103 683 tons and 88,143 CO<sub>2</sub> eq. respectively.

## **4 CONCLUSIONS**

Assessing the global warming issues of waste management in terms of potential saving in CO<sub>2</sub> emissions cannot be done on a single technology level. This study was conducted to evaluate the most appropriate municipal solid waste management scenario with respect to greenhouse gas emissions. The result of the study draws some conclusions as follows:

- The baseline variant (Variant 0) was the major contributor of GHG emissions.
- The proposed incineration facility, which would be used 51 % of the energy mixed waste would reduce greenhouse gas emissions by 45% (Variant 1).
- Similar results could be achieved by recycling with the same amount of residual waste (Variant 4a and 4b). However, to achieve the same recycling rates as combustion is problematic, because recycling requires the installation of several techniques, while the combustion requires only one technique.

Moreover, not all recycling techniques or not properly implemented techniques save greenhouse gas emissions, but it may be significant sources of emissions. Therefore lower emission factor EF = - 0,053 should be regarded as grossly optimistic and high estimate of the emission factor EF = - 0,275 for virtually unrealistic. Therefore, the variant 2b, 3b and 4b should be regarded as very realistic.

Currently, the new EU Waste Directive seeks to increase material and energy recovery. Increasing number of WTE facilities can provide the greatest potential for controlled future of CH<sub>4</sub> emissions from landfill. Achieving accelerated growth of WTE facilities will require broad implementation of support policy and the provision of economic incentives for the use of energy from waste. The development of WTE facility provides several other benefits including the reduction of building landfills and reducing greenhouse gas emissions. Analysis of the current state of development of waste management in the world shows that the balance of GHG emissions in the future will play an important role in determining strategies for waste management solutions at local and regional scales.

The scope of the study was to quantify how much the different feasible management systems for municipal waste contribute to GHG emissions. This information may be used in ranking the alternatives and for identifying which parts in a waste management system are the main factors in the GHG account.

## **5 REFERENCES**

- [1] CHRISTENSEN, T., Simion, F., Tonini, D., Moller, J. (2009): *Global warming factors modelled for 40 generic municipal waste management scenarios*. In: Waste management and Research, vol. 27, 871 – 884 pp.
- [2] REGIONÁLNY INFORMAČNÝ SYSTÉM O ODPADOCH (RISO). (2013): *Produkcia odpadu a nakladanie s odpadom v SR*. [online]. Available: <http://cms.enviroportal.sk/odpady/verejne-informacie.php>
- [3] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE: *Good practice Guidance*

*and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories.* [online]. Available:[http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/5\\_Waste.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/5_Waste.pdf)

[4] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE:: *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. CH<sub>4</sub> emissions from solid waste disposal.* [online]. Available:[http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/5\\_1\\_CH4\\_Solid\\_Waste.pdf](http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/5_1_CH4_Solid_Waste.pdf).

[5] BEIGL, P., LEBERSORGER, S., SALHOFER, S. (2008): *Modelling municipal solid waste generation: A review.* Waste Management. vol. 27, pp. 789-799

[6] KREISSIG, J., STOFFREGEN, A. (2008): *Life cycle assessment of waste-to-energy plants in Europe – Modelling of thermal treatment of municipal and similar waste to calculate eco-profiles for the European reference life cycle data*

*system.*(ELCD). PE International GmbH, Leinfelden – Echterdingen, Germany.

[7] EUROSTAT (2011): *Municipal waste statistic.* [online].

Available:[http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics\\_explained/index.php/Municipal\\_waste\\_statistics](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Municipal_waste_statistics)

**Authors: Prof. Mgr. Juraj Ladomerský, CSc., Ing. Emília Hroncová, PhD.,** Technical University in Zvolen, Faculty of Ecology and Environmental Science, Department of Environmental Engineering, Študentská 17, 960 01 Zvolen, Slovak republic.

**Ing. Alžbeta Košíková,** University of Central Europe, Institute of Ecology and Environmental Science, Kráľovská 386/11, 909 01 Skalica.

E-mail: [jladomersky@yahoo.co.uk](mailto:jladomersky@yahoo.co.uk)  
[emilia.hroncova@gmail.com](mailto:emilia.hroncova@gmail.com)  
[kosikova@yahoo.com](mailto:kosikova@yahoo.com)

Maoduš, N., Vujić, G., Ubavin, D., Zoraja, B.

SAKUPLJANJE DEPONIJSKOG GASA NA DEPONIJI U NOVOM SADU – STUDIJA  
SLUČAJA

**Rezime:** Većina opštinskih deponija u našoj zemlji predstavljaju kontrolisana smetlišta na kojima se ne sprovode sve mere upravljanja otpadom. Prilikom gradnje ovih deponija nije se vodilo računa o mogućnostima upotrebe deponijskog gasa u energetske svrhe, te se prilikom prikupljanja gasa javljaju određeni problemi. Redovna višegodišnja analiza gasa pokazala je da je koncentracija metana u gasu na pojedinim biotrnovima konstantno visoka što je dovelo do ideje o sakupljanju deponijskog gasa kako bi se utvrdilo ponašanje sistem za sakupljanje gasa u nesanitarnim uslovima. Cilj ovog rada je da prikaže probleme pri sakupljanju deponijskog gasa na nesanitarnim deponijama i mogućnosti njegovog iskorišćenja.

**Ključne reči:** Deponijski gas, sakupljanje, problemi, upotreba

## 1 UVOD

Deponijski gas je zapaljiva i potencijalno opasna gasna smeša koja se sastoji uglavnom od metana (CH<sub>4</sub>) i ugljen dioksida (CO<sub>2</sub>) sa primesama lako isparljivih organskih supstanci (VOC).

Metan predstavlja važan gas sa efetom staklene bašte čiji je potencijal globalnog zagrevanja 21 – 25 puta veći od ugljen dioksida [1, 2]. Procenjuje se da emisije metana sa deponija smeća čine 3 – 19% od ukupnih svetskih antropogenih izvora metana [3]. Kjoto protokol definiše potrebu za smanjenjem neravnoteže između emisija metana i ugljen dioksida, a Bela knjiga evropske unije definiše politiku upotrebe obnovljivih izvora energije. Metan koji potiče sa deponija je jednim delom postao atraktivan zbog smanjenja atmosferskog zagađenja, a drugim, većinskim, delom zbog njegovog energetskog potencijala. Politika povećanog učešća obnovljivih izvora energije u sveukupnoj proizvodnji energije, kao i zbog velike zavisnosti od uvoza energije u našu zemlju su usmerile istraživanja u pravcu mogućnosti iskorišćenja deponijskog gasa.

Deponijski gas nastaje usled razgradnje organske materije od strane bakterija prirodno prisutnih u otpadu i zemljištu koje se koristi za pokrivanje otpada. [4, 5, 6, 7]. Nakon odlaganja na deponiju deo organskog otpada će početi da se razgrađuje putem biološko-hemijskih reakcija. Komponente otpada koje sadrže značajne količine biorazgradive materije su hrana, baštenski otpad, tekstil, papir i karton. Bakterije razgrađuju organski otpad u četiri faze prilikom čega se sastav gasa, koji nastaje kao rezultat razgradnje otpada, menja u toku svake faze. [8].

Za određivanje energetskog potencijala deponijskog gasa od presudnog značaja su konstantnost generisanja i koncentracija metana u gasu. Međutim, postoje mnogi faktori koji utiču na sastav i količinu nastalog deponijskog gasa među kojima su meteorološki parametri (temperatura, količina padavina, atmosferski pritisak i relativna vlažnost vazduha), starost i vrsta otpada, kao i mere upravljanja otpadom na deponiji [9, 10]. Pad atmosferskog pritiska se povezuje sa povećanom emisijom deponijskog gasa, a sami tim i metana. Padavine, snežni i ledeni pokrivač na površini deponije mogu značajno da utiču na količinu i sastav deponijskog gasa (pozitivno i negativno) [11, 12]. Sezonske promene takođe utiču na količinu i sastav deponijskog gasa.

## 2 PROCES NASTANKA DEPONIJSKOG GASA

Nastanak metana predstavlja biološki anaerobni proces. On nastaje prirodnim putem u telu deponija gde nema prisustva kiseonika. U deponijama komunalnog otpada organske komponente nakon odlaganja prolaze kroz promene putem biohemijskih reakcija. U prisustvu atmosferskog vazduha u površinskim slojevima deponije dolazi do aerobne razgradnje organskog otpada (oksidacije) koja je slična sagorevanju otpada zbog toga što su produkti dekompozicije otpada ugljen-dioksid i vodena para. Međutim, osnovna reakcija u telu deponije je anaerobna razgradnja organske materije koja se odvija u tri faze. U prvoj fazi fermentne bakterije hidrolizom svode kompleksne organske materije na rastvorljive molekule. U drugoj fazi ove molekule acidofirmirajuće bakterije prevode u proste

organske kiseline, ugljen-dioksid, vodonik, pri čemu nastaju osnovne kiseline – acetatna kiselina, propionska kiselina, buterna kiselina i etanol. Naposletku u trećoj fazi metanogene bakterije formiraju metan razgradnjom kiselina na metan i ugljendioksid ili redukovanjem ugljendioksida sa vodonikom [13].

Proces kojim nastaje metan predstavlja prirodnu pojavu kojom je moguće upravljati, a koja je kompatibilna sa reciklažom nutrijenata, tretmanom otpada i kontrolom neprijatnih mirisa na deponiji. Temperatura i pH vrednost su veoma značajni za produkciju metana. Metan nastaje samo u uslovima bez prisustva kiseonika (anaerobna sredina) i u temperaturnom opsegu od 4 do 60°C. Količina gasa se povećava sa povećanjem temperature, a optimalna pH vrednost za razvoj i život anaerobnih bakterija se kreće u opsegu između 7,5 – 8,5 (blago baznoj sredini) [13].

Metan nastao u anaerobnoj sredini tela deponije je sličan prirodnom gasu. Međutim, za razliku od čistog metana, prirodni gas ima višu kalorijsku vrednost zbog prisustva drugih, visoko energetskih ugljovodonika. Metan u prisustvu kiseonika predstavlja visoko zapaljiv gas koji može da se sagoreva u motorima sa unutrašnjim sagorevanjem radi proizvodnje električne ili toplotne energije [13].

Deo metana koji potiče iz deponija je moguće sakupljati i koristiti kao obnovljivi izvor energije. Sa suprotne strane, kada se metan ne sakuplja, već ispušta u atmosferu, do izražaja dolazi njegov potencijal globalnog zagrevanja koji prema IPCC može biti i do 23 puta veći od iste količine ugljen-dioksida [14].

Najjednostavniji oblik tretmana ili destrukcije deponijskog gasa je spaljivanje na baklji što predstavlja bolju alternativu nego njegovo ispuštanje u atmosferu.

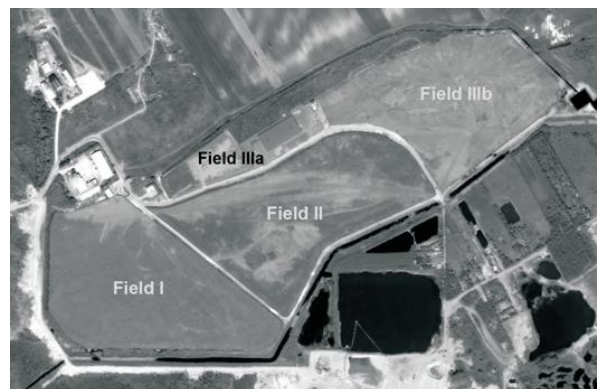
### 3 KARAKTERISTIKE DEPONIJE U NOVOM SADU

Postojeća deponija komunalnog otpada u Novom Sadu se nalazi na 6 km severno od centra grada i na udaljenosti od približno 700 m od najbližih kuća u naselju [15].

Ukupna površina deponije iznosi 56 ha od čega površina za deponovanje otpada iznosi 22 ha. Dubina otpada na deponiji se kreće između 2,5 i 15 metara. Deponija je u funkciji skoro 30 godina, a za to vreme je na njoj deponovano približno 2.000.000 m<sup>3</sup> komunalnog i građevinskog otpada. U današnje vreme deponija prima oko 360 t otpada na dnevnoj bazi, od čega se u reciklažnom centru lociarnom na telu deponije izdvoji oko 3,6 t

sekundarnih sirovina u toku jednog dana. Preostala količina otpada koja se ne obradi u reciklažnom centru se deponuje. Nakon zatvaranja postojeće lokacije, otpad će se odlagati na novu lokaciju gde će biti izgrađena sanitarna deponija [15].

Na polju I se nalazi 29 degazacionih bunara, na polju II 33 dok se na polju III (koje se sastoji od polja IIIa i IIIb) nalazi 43 biotrna. [15].

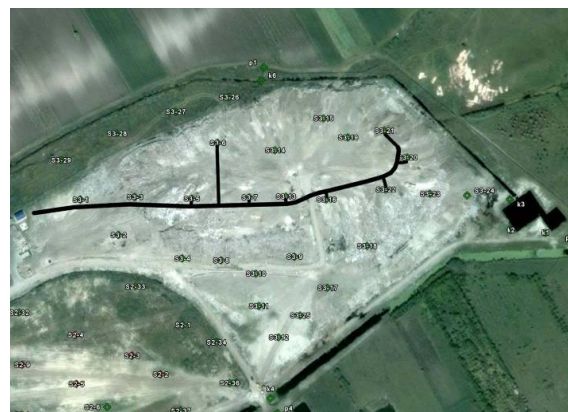


Sl. 1: Pregled polja na novosadskoj deponiji [15]

Biotrнови predstavljaju vertikalne perforirane cevi i funkcionišu na principu razlike pritiska i difuzije gasa iz tela deponije u atmosferu [16].

### 4 PROBNI SISTEM ZA PRIKUPLJANJE GASA

Koncentracija metana u deponijskom gasu na biotrnovima na novosadskoj deponiji je redovno praćena u višegodišnjem periodu, a posebno u periodu od 2009. do 2011. godine kada su postavljeni degazatori na celju površini deponije. Gasna analiza je vršena četiri puta godišnje, odnosno po jednom u toku svakog godišnjeg doba. Rezultati analize su ukazali da postoji 14 biotrnova na kojima je koncentracija metana viša od 25 % vol od kojih se 10 nalazi na polju IIIb.



Sl. 2: cevovod i povezani biotrnovi

Polje IIIb je najviše odgovaralo za povezivanje biotrnova zbog toga što je ono zatvoreno za odlaganje otpada 3 godine pre sprovođenja

eksperimenta i zbog toga što na tom polju nema kretanja mehanizacije (bageri, kompaktori...) osim kosača. Pored toga ovo polje je jedino koje je zatvoreno za rad te je produkcija metana bila u početnoj fazi.

Na osnovu višegodišnjih analiza gasa je odlučeno da se povežu biotrnovi za koje se pokazalo da imaju konstantno visoku koncentraciju metana u deponijskom gasu. Ideja koja je i pokrenula ovaj projekat je da se ispitaju mogućnosti sakupljanja deponijskog gasa u nesanitarnim uslovima i da se prikupljeni gas spaljuje na baklji čime bi se smanjila količina metana oslobođenog u atmosferu.

Za potrebe izrade projekta, izgrađen je cevovod na koji je prvobitno povezano 8 biotrnova koji su ispunjavali određeni kriterijum (videti sl. 3). Cevovod je povezan sa duvaljkom (vakuum pumpom) sa bočnim kanalom koja se kontroliše putem frekventnog regulatora (videti sl.4). Kriterijum za izbor biotrnova za povezivanje su bili koncentracija metana i udaljenost od pumpne

stanice. Na prvobitno povezanim biotrnovima koncentracija metana se kretala od 35 do 53% vol u zavisnosti od biotrna i godišnjeg doba (videti tabelu 1).



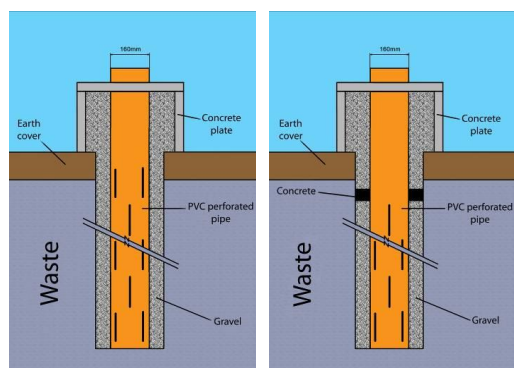
Sl. 3: Duvaljka sa bočnim kanalom

Well	Concentration [% vol]							
	August 2009.	November 2009.	December 2009.	April 2010.	July 2010.	November 2010.	February 2011.	July 2011.
S3-5	24.2	34.1	-	22.7	15.7	29.5	19.5	23.3
S3-6	50.5	30.4	30.2	28.6	25.5	47.1	29.3	25.6
S3-7	42.4	21.5	20.9	43.4	29.1	44.1	30.9	35
S3-13	46.3	34.1	33.1	59.6	21.1	59.8	42.5	34
S3-16	40.5	46	49.4	61.3	53.2	51.5	35.1	35.2
S3-20	40	58.7	59.8	60.9	52.7	58.1	53.8	47.8
S3-21	49.1	49.8	51.3	45.5	-	50.4	38.9	37.4
S3-22	46.5	-	62.9	59.5	25.7	39.9	27.8	24.2

Tabela 1: Rezultati sezonske gasne analize na povezanim biotrnovima

Kada je sistem pušten u pogon, izvršena su i prva merenja gasa i podešavanje protoka gasa kako bi se smanjila mogućnost infiltracije kiseonika u cevovod kroz površinu deponije. Izmerena koncentracija metana na izlazu duvaljke je bila 35,5 % vol pri protoku gasa od 26 m<sup>3</sup>/h, ali je u gasu bila prisutna i visoka koncentracija kiseonika (7.6 % vol). Kasnijim pregledom cevovoda je utvrđeno da su razlog visoke koncentracije kiseonika u sakupljenom gasu loše izvedni biotrnovi (Sl. 5), nedostatak regulacionog ventila na svakom biotrn i previše visok protok gasa kroz cevovod.

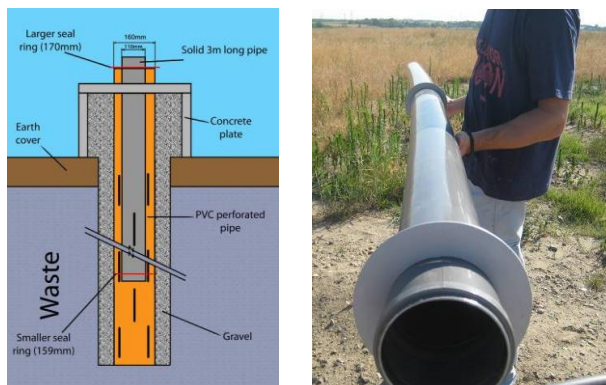
Da bi se smanjila infiltracija kiseonika u cevovod bilo je potrebno izvršiti modifikacije na postojećim biotrnovima. Modifikacije su se sastojale od ubacivanja cevi prečnika 110 mm i dužine 3 m sa dva metalna prstena čija je svrha da smanje protok gasa koji dolazi sa površine biotrna. Prečnik ovih prstenova je 159 mm i 170 mm.



Sl. 4: Levo – nepravilno izveden biotrn, desno – pravilno izveden biotrn

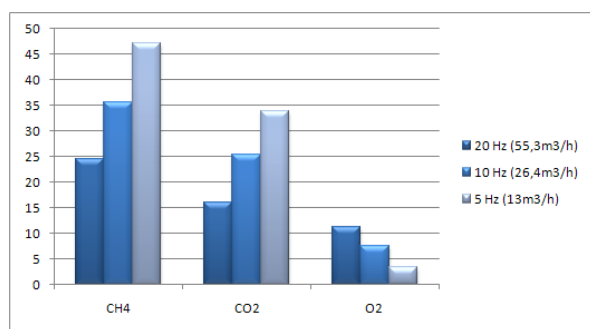
Svrha prstena manjeg prečnika je da smanji količinu vazduha koji se uvlači kroz otvore pri površini deponije jer se on nalazi na dubini od 2,5 m, a svrha većeg prstena je da drži ubačenu cev od propadanja na dno biotrna. (Sl. 6). Svi spojevi cevi na biotrnovima su dodatno zaptiveni silikonom kako bi se obezbedilo da ne dolazi do prodora kiseonika kroz njih. Ove modifikacije se nisu pokazale kao efikasne zbog nemogućnosti da se

obezbedi savršeno zaptivanje prstena na toj dubini i zbog odsustva regulacionog ventila na svakom biotrnju kojim bi se regulisao protok kroz svaki biotrn.



Sl. 5: *Levo – modifikacije na biotrnovima; Desno – neperforirana cev uba; ena u biotrnove*

Nakon pomenutih modifikacija na biotrnovima i podešavanja protoka gasa na duvaljci izvršen je novi set merenja koja su pokazala da modifikacije na biotrnovima nisu bile uspešne jer su koncentracija metana i kiseonika ostale nepromenjene. Jedini način da se smanji koncentracija kiseonika u prikupljenom gasu, osim postavljanja regulacionih ventila, je da se smanji protok gasa. Kada je protok smanjen sa 26 na 13 m<sup>3</sup>/h koncentracija kiseonika je opala na 3,4 %, dok je koncentracija metana porasla na 47 % (sl. 7) što predstavlja prihvatljivu vrednost za kratak vremenski period da bi se gas sagorevao na baklji.



Sl. 6: *Koncentracija metana, ugljen-dioksida i kiseonika u zavisnosti od protoka prikupljenog gasa*

## 5 ZAKLJUČAK

Ovo je prvi projekat ovog tipa u našoj zemlji, a ovaj rad predstavlja skup problema koji su se javljali u toku rada i razvoja projekta. Postoje određene modifikacije na sistemu koje je potrebno izvršiti pre završetka projekta, među kojima je potrebno dodavanje regulacionih ventila na svaki

biotrn kako bi se mogao regulisati pad pritiska na svakom biotrnju.

Kod sakupljanja deponijskog gasa je najbitnija brzina sakupljanja, koja mora biti usklađena sa potencijalom i brzinom produkcije deponijskog gasa određene deponije. Intenzivna ekstrakcija gasa dovešće do problema po pitanju sastava i mogućnosti pojave infiltracije kiseonika, što može rezultirati narušavanjem uslova produkcije metana. Infiltrirani kiseonik menja uslove razgradnje otpada iz anaerobnih u aerobne čime se prekida proizvodnja metana.

Uočavanjem nepravilnosti prvobitnog sistema i stanja deponije koja nije pravilno uređena (projektovana), pristupilo se unapređenju sistema, kao jednom od neophodnih koraka za postavljanje baklje za sagorevanje gasa.

## 6 REFERENCE

- [1] Brasseur, G. P., *et al.*, European Scientific Assessment of the Atmospheric Effects of Aircraft Emissions, *Atmospheric Environment*, 32 (1998), 13, pp. 2329-2418
- [2] He, C., *et al.*, A Catalytic/Sorption Hybrid Process for Land fill Gas Cleanup, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 36 (1997), 10, pp. 4100-4107
- [3] EPA, United States Environmental Protection Agency, International anthropogenic methane emissions: estimates for 1990, Office of Policy, Planning and Evaluation, Washington, DC. US EPA, 1994.
- [4] Dunfield, P., *et al.*, Methane Production and Consumption in Temperate and Subarctic Peat Soils: Response to Temperature and pH Soil, *Biology and Biochemistry*, 25 (1993), 3, pp. 321-326
- [5] Fornes, L., Ott, C., Jager, J., Development of a Landfill Cover with Capillary Barrier for Methane Oxidation – Methane Oxidation in a Compost Layer, *Proceedings, 9th International Waste Management and Landfill Symposium, Sardinia, Italy, 2003*, pp. 167-168
- [6] Hanson, R. S., Hanson, T. E., Methanotrophic Bacteria, *Microbiol. Rev.*, 60 (1996), 2, pp. 439- 471
- [7] Higgins, I., *et. al.*, Methane-Oxidizing Microorganisms, *Microbiological Reviews*, 45 (1981), 4, pp. 556-590
- [8] Cheremisinoff, N. P., *Hand book of Solid Waste Management and Waste Minimization Technologies*, Elsevier Sciences, 2003
- [9] Akesson, M., Nilsson, P., Material Dependence of Methane Production Rates in Landfills, *Waste Management & Research*, 16 (1998), 2, pp. 108-118



- [10] Mata-Alvarez, J., Fundamentals of the Anaerobic Digestion Process, in: Biomechanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes (Ed. J. Mata-Alvarez), IWA Publishing, London, 2003, pp. 1-19
- [11] Meres, M., et al., Operational and Meteorological Influence on the Utilized Biogas Composition at the Barycz Landfill Site in Cracow, Poland, Waste Management & Research, 22 (2004), 3, pp. 195-201
- [12] Christophersen, M., et al., Lateral Gas Transport in Soil Adjacent to an Old Landfill: Factors Governing Emissions and Methane Oxidation, Waste Management & Research, 19 (2001), 6, pp. 595-601
- [13] Schwart R., et al., Methane generation, final report to the state energy conservation office, (2005)
- [14] Themelis J.N., Ulloa A.P., Methane Generation In Landfills, Earth Engineering Center and Department of Earth and Environmental Engineering Columbia University, New York, NY10027, USA, (2006)
- [15] Vujic G., et al., Influence of Ambience Temperature and Operational-Constructive Parameters on Landfill Gas Generation – Case Study Novi Sad, Thermal Science: year 2010, Vol. 14, No. 2, pp. 555-564
- [16] Gebert, J., Groengroeft, A., Passive Landfill Gas Emission – Influence of Atmospheric Pressure and Implications for the Operation of Methane – Oxidising Biofilters, Waste Management, 26 (2006), 3, pp. 245-251

**Autori: MSc. Nikola Maodus, prof. dr Goran Vujic, doc. dr Dejan Ubavin, MSc. Bojana Zoraja**, Departman za inženjerstvo zaštite životne sredine Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6 Novi Sad, Republika Srbija  
 E-mail: [nikolamaodus@uns.ac.rs](mailto:nikolamaodus@uns.ac.rs),  
[goranvujic@uns.ac.rs](mailto:goranvujic@uns.ac.rs),  
[dejanubavin@uns.ac.rs](mailto:dejanubavin@uns.ac.rs),  
[bojanaberonja@uns.ac.rs](mailto:bojanaberonja@uns.ac.rs)

This page was intentionally left blank

Blanuša, V., Štrbac, B., Živković, A., Hadžistević, M.

**DIAGNOSIS THERMAL SOURCE ON CNC MACHINE TOOLS USING INFRARED THERMOGRAPHY**

**Abstract:** *This paper presents the values of the temperature of metal, ceramic and plastic materials in which there is a causation of burns in contact with hot surfaces. Experiments were performed on heat sources and thermal dangers on the machine tool Index GU 600 in the stationary state of the machine and they show values of temperature on the characteristic points of the machine. The temperature source diagnostics and their quantitative values were measured using the infrared (IR) thermography.*

**Keywords:** *machine tool, course thermal, infrared (IR) thermography.*

**1. INTRODUCTION**

Temperature is probably the most measured industrial variable since virtually every process, in nature and industry, is temperature dependent. Temperature has a significant role as the indicator of the product or the machine part condition, both in production and in quality control. The occurrence of high temperatures on machine tools during the processing operations can cause danger from the aspect of the occupational safety of the operator. In the contact between the operator and hot surfaces, burns can occur. Temperature areas where burns can occur are determined on the basis of scientific results of diverse groups. Moritz and Henriques have performed experiments on the pigs' skin which is similar to the human one. They were researching skin temperatures when burns occur [1].

In concrete, the temperature influence on machine tools is manifold. The increase in temperature and heat deformation of the main spindle (machine element) directly influences the accuracy of the workpiece and the working ability of the bearing. Therefore, the permitted increase in the temperature of the main spindle bearing is defined by the demanded accuracy of the machine tool. Temperature in the cutting zone has a great impact to the machine itself, the workpiece and the tool as well, and the researches related to this phenomenon deserve greater attention. Apart from the previously mentioned heat sources on machine tools, there are also heat sources in the motors as well (for the main motion, supplementary motion, chip transport, etc.), their gears for the main and supplementary motion, electrical cabinets, operational units, etc.

As a diagnostic tool for revealing temperature sources, the infrared thermovision camera is

applied. This technique is employed for the measurement of surface characteristics for a variety of researches involving all possible heat transfer phenomena. The method is especially important and useful because it gives spatially resolved surface temperature distributions non-intrusively, even when large gradients of surface temperature are present [2].

**2. METHODOLOGY**

Each body with the temperature above the absolute zero has infrared radiation in the function of one's own temperature. In physics, it is well-known that the temperature is a measure of average atomic kinetic energy, and based on this definition, a machine tools temperature can be determined by measuring the intensity of the emitted electromagnetic radiation in the infrared spectrum respecting the Stefan-Boltzmann's law. Electromagnetic waves originating from the mechanical particle motion can be characterized with their intensity and wavelength. Both these characteristics refer to temperature, i.e. a warmer object has shorter wavelength and vice versa. Infrared radiation emitted from the black body is described using the Plank's radiation law [3].

The energy which reaches the thermal sensor consists not only of the energy emitted by the surroundings and intercepted by the object's surface. The radiation reaching the thermovision camera consists of the radiation emitted by the analyzed object and the radiation reflected by other sources in the object vicinity, as well as from the transmitted radiation [4].

The atmosphere between the scanner and the object partly absorbs and therefore weakens the radiation, but then, at the same time, the emissivity of the atmospheric gases helps

strengthening it. All the above are major sources of the method-related errors and should be considered when calculating the object temperature. For obtaining accurate measuring results, it is necessary to recognize the reflected radiation sources and prevent their influence on the overall measuring result. Apart from these factors, the accuracy of measuring results is also influenced by the following: ambient temperature, observation angle, air humidity, and the distance between the thermovision camera sensor and the analyzed object.

### 3. EXPERIMENTAL RESEARCH OF TEMPERATURE ON THE CONTACT SURFACES OF THE CNC MACHINE - INDEX GU 600

For the demands of the present study, a ThermoPro TP8S thermal camera (Wuhan Guide Infrared Technology) is employed. The field of this camera is  $16^\circ \times 12^\circ/35$  (mm) and the IR resolution is  $384 \times 288$  pixels. The camera performs measurements in the long-wavelength infrared range of the electromagnetic spectrum, with the measuring insecurity of  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  [5]. For the emissivity value calibration, a contact thermocouple PCE-T396 with the accuracy  $\pm 0.2\%$  is used. Researchers are performed in the stationary temperature condition. Generally, on all tool machines, the heat generation locations are motors for motion on determined axes, a motor for the hydro aggregate, main spindle bedding (contact between rolling elements with bearing rings), processing zone, electrical cabinets, managing area electronics, etc. Heat sources in beddings and processing zone have been described in details in a large number of papers dealing with the issue. When considering the joints of the main spindles, whether bedded by cylindrical bearings or ball bearings in the former or the later bedding, there will not be any surface heating which can cause the burns. [6].

In the case of heat generation in the processing zone, the contact surface temperature can reach the value that can cause burns if the cooling and lubricant agent is off or it is simply missing from the process zone. The machine tool Index GU 600, on which the heat sources and the heat dangers were researched.

The analysis of the infrared thermal images of the software package of the IR camera presents the temperature values that can prove the fact that the burns will not occur during the contact of the employees with the machine surfaces. Ambient temperature during the experiment was  $TP=21.5^\circ\text{C}$ . The appearance of the infrared thermal image

of the transfer for the main motion is presented in Fig. 1a, and for the front of the machine is shown in Fig. 1b.

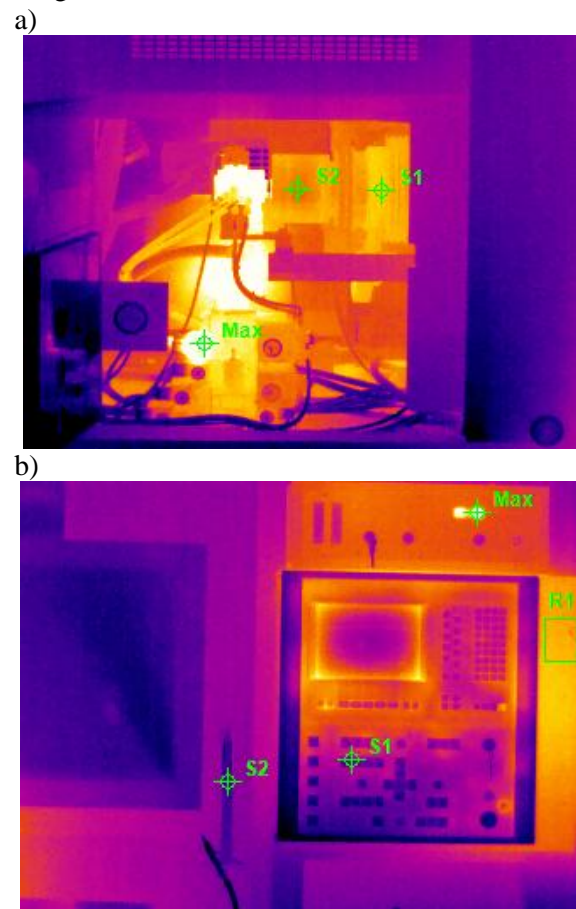


Fig. 1. Transfer for the main motion (a) and for the front of the machine (b)

Temperature value on the characteristic points of the transfer for the main motions was  $TS1=33.8^\circ\text{C}$  and  $TS2=31.6^\circ\text{C}$ . Temperature of the warmest surface from the Figure 1b was  $TR1tp=33.8^\circ\text{C}$  with the thermal vapour, and  $TR1 tv.k=34.1^\circ\text{C}$  with the thermovision camera. The image also shows temperature on the managing board keys, and that temperature is  $TS1t=27.5^\circ\text{C}$ , while the temperature on the protection door handle is  $TS2r=27.0^\circ\text{C}$ .

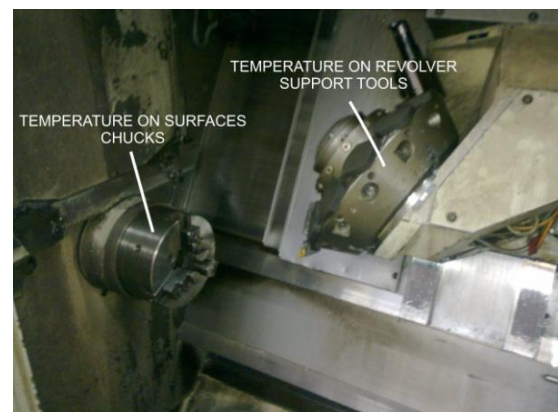


Fig. 2. Workplace of the machine tool

Figure 2 presents the appearance of the machine workplace with the surfaces on the revolver support tools and on surface chunks, on which the temperature was also measured. Temperature on the revolver support tool was  $TRN=31.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , and on the surface chunk was  $TSG=32.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (surface temperatures were measured using the four-channel measuring instrument with thermocouples).

Temperature value on the motor for (supplementary) transversal motion (y axis) using the temperature measuring instrument with the thermocouple in a stationary temperature condition was  $TMP=32.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , and on the protective motor box for longitudinal motion (z axis) was  $TMU=28.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Measuring the temperature from the side of the machine defines heat sources on the surfaces, and temperature was measured with the thermocouple, and its value on the characteristic point was  $T2st=33.1\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Fig. 3a); on the motor gear for chip transporter was  $TTS=41.2\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Fig. 3b); while on the motor for driven tools depends on the spin number, processing operations, etc.). It is important to mention that temperature on the surface of the motor gear for the chip transporter can vary depending on the chip type and the type of material, and the temperature value is higher in the transportation of the band chip).

a)



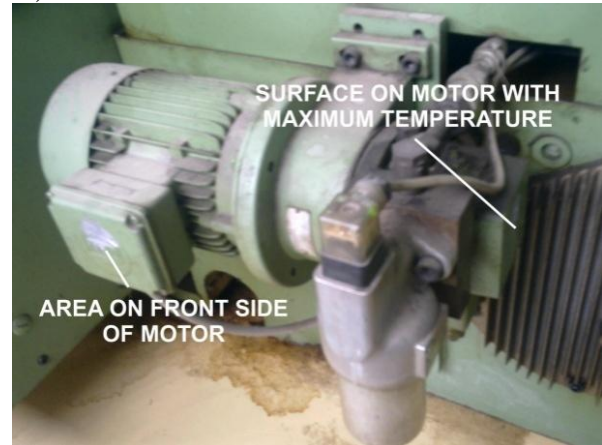
b)



Fig. 3. Side of the machine (a) and motor gear for chip transporter (b)

From the rear side of the machine, heat sources are the motor for hydro-aggregate, motor for the main motion and the system for electrical cabinet cooling. Temperature value on the motor for hydro-aggregate was  $THA=33.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , and on the hydro-aggregate gear was  $TPHA=45,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . On the motor for the main motion, using the infrared thermometer, temperature was  $TMGK=33.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Figure 4 a) shows the motor for the hydro-aggregate, and 4b) shows the motor for the main motion.

a)



b)



Fig. 4. Motor for hydro-aggregate (a) and motor for the main motion (b)

Temperature value on the plastic opening for the electrical cabinet ventilation, using the infrared thermometer, was  $TUS=43.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  from the inside, and  $TBS=37.2\text{ }^{\circ}\text{C}$  from the side of the ventilation element.

Workpiece temperature after processing depends on the type of material being processed, processing operations, processing regimes, cooling and lubricant agents, etc. Workpiece temperature after processing and applying the cooling agent was  $TIZ=38\text{ }^{\circ}\text{C}$ . In the cases when the cooling and lubricant agent is spent, or it is excluded from the process, the workpiece temperature can go up to  $TIZ=80-120\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Table 1 presents the temperature values during the beginning of the chip occurrence for the contact time over one minute, and Table 2 shows the experimentally obtained temperature values on the characteristic points of the machine tool.

MATERIAL	Beginning of the chip occurrence for the contact time $T_p$		
	1 min °C	10 min °C	8 h and longer °C
Metal	51	48	43
Ceramics, glass and stone	56	48	43
Plastic masses	60	48	43

Table 1. Beginning of the chip occurrence in the surface contact for the contact length of 1 min and longer

Action zone	Characteristic points	Temperature values [°C]
Front of the machine	$T_{R1}$	33.8
	$T_{S1t}$	27.5
	$T_{S2r}$	27.0
Machine workplace	$T_{RN}$	31.0
	$T_{SG}$	32.5
Main motion gear	$T_{S1}$	33.8
	$T_{S2}$	31.6
Motors for longitudinal and transverse motion	$T_{MP}$	32.0
	$T_{MU}$	28.0
Side of the machine	$T_{2st}$	33.1
	$T_{TS}$	41.2
	$T_{GA}$	29.7
Rear of the machine	$T_{HA}$	33.1
	$T_{PHA}$	45.9
	$T_{MGK}$	33.0
	$T_{US}$	43.0
	$T_{BS}$	37.2

Table 2. Temperature values on characteristic points

#### 4. CONCLUSION

The application of contemporary measuring instruments can be used to define heat sources on machine tools. The comparison of theoretical temperature values when burns occur with the experimentally obtained values can be useful for defining the potential burn locations. If these locations exist, the application of the infrared thermography can be a useful and fast manner to diagnose these locations and warn all the

employees who can have any contacts with these hot surfaces.

#### 5. REFERENCES

- [1] Moritz, A., Henriques, F.: *The Relative Importance of Time and Surface Temperature in the Causation of Cutaneous Burns*, Studies of Thermal Injury II, Am J. Path, Vol. 23, Page 695-720, 1947.
- [2] Kowalewski, TA., Ligrani, P., Dreizler, A., Schulz, C., Fey, U., Egami, Y.: *Temperature and heat flux*. Springer handbook of experimental fluid mechanics. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag; 2007.
- [3] Ehinger, K., et al.: *125 years temperature*, 03/TEMP-EN Rev. B 06.2008.
- [4] Orzechowski, T.: *Determining local values of the heat transfer coefficient on a fin surface*, Experimental Thermal and Fluid Science, 31 (2007), 947-955.
- [5] *ThermoPro TP8S thermal infrared camera*, Wuhan Guide Infrared Technology Co., Hongshan District, Wuhan, China, 2007.
- [6] Blanuša, V., Zeljković, M., Živković, A., Štrbac, B., Hadžistević, M.: *Savremeni postupci merenja temperature*, Zbornik radova, CD rom, Infoteh-Jahorina, Sesija PRS-Proizvodni sistemi, Ref. Prs 6, ISSN: 99938-624-2-8, 2012.

**Authors: M.Sc. Vladimir Blanuša, M.Sc. Branko Štrbac, dr Aleksandar Živković, Prof. dr Miodrag Hadžistević.**

Faculty of Technical Science, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Phone: +381 21 4852332, Fax: +381 21 458 133.

E-mail: blanusa@uns.ac.rs

strbac@uns.ac.rs

acoz@uns.ac.rs

miodrags@uns.ac.rs

#### Acknowledgement

Results of investigation presented in this paper are part of the research realized in the framework of the project "Research and Development of Modelling Methods and Approaches in Manufacturing Dental Recoveries with the Application of Modern Technologies and Computer Aided Systems" – TR 035020, financed by the Ministry of Science and Technological Development of the Republic of Serbia.

Sovilj-Nikic, I., Sovilj-Nikic, S., Hodolič, J., Hadzistevic, M., Sovilj, B., Gajic, V.

**ANALYSIS OF IMPLEMENTATION OF DIRECTIVE ON WASTE IN ELECTRICAL AND ELECTRONIC EQUIPMENT IN EUROPEAN COUNTRIES**

*Abstract:* In the problems of managing waste in electrical and electronic equipment (WEEE) many countries are faced with the need to repair the existing situation and the need to simultaneously prevent and control sources of new pollution. Global trends in the quantity and composition of WEEE, as well as the adopted strategies and practice of management of waste in electrical and electronic equipment have been comprehensively investigated and in this paper are given for selected countries in Europe.

*Key words:* recycling, electronic and electrical equipment, legislation

**1. INTRODUCTION**

Sustainable use of natural resources and environmental protection is provided by functioning of system of environmental protection which consists of measures, conditions and instruments for the sustainable management of natural resources and the prevention, control, reduction and repair of all types of environmental pollution. This paper identifies and discusses four common priority areas for WEEE in Europe, namely: resource exhaustion, ethical problem, the impact on health and the environment and strategies of EEW return [1].

**2. CURRENT TRENDS IN WEEE OPERATION**

The rapid growth in production and application of electrical and electronic devices in the last decade has stimulated productivity and enabled in many countries rapid economic growth. But it could not pass without causing environmental problems, because it has caused the creation of massive amounts of waste. Increasing of amounts of WEEE is growing by alarming tempo, 3-5% per year, which is three times faster than the total amount of communal waste [2]. Recent studies indicate that more than 70% of the total amount of PCs disposed in communal landfills. These landfills are not designed nor suited for this type of waste disposal. Electrical and electronic equipment is very bulky and not suitable for pressing WEEE in landfills creates a much larger volume compared with other consumer products, and incineration is difficult, because it is mainly composed of non-combustible plastic and glass. During incineration or landfill disposal these substances can very easy release into the environment by polluting the air, soil and waterways. The presence of toxic substances

causes the WEEE containing them to dispose separately from household waste and, whenever is possible, submit to the recycling process. At the same time, materials were obtained by dividing and selecting WEEE reach relatively high prices on market of secondary raw materials, so that the economic effect goes in favor of such waste is not disposed together with communal waste. Basel Convention calls all countries to reduce the export of hazardous waste to a minimum and that if it is possible to tackle the problem of waste within the own boundaries. The obligation of the Basel Convention is not conditional on the level of development of the waste management of the importing country. Majority of European countries have already implemented the Basel Convention and they have forbidden export of hazardous waste to developing countries for any reason. The EU has also prepared directives for manufacturers of electrical and electronic devices and equipment required to be responsible for the full life cycle of their products. These regulations require from manufacturers to purchase at their own expense all outmoded and faulty electrical and electronic devices and equipment and to gradually start ejecting and replacing toxic substances in their products [2].

**3. EU DIRECTIVES RELATING TO WEEE**

The European Union is implemented the following two directives related to the EE waste in its legislation:

- Directive 2002/96/EC European Parliament and the Council of Europe - Waste in Electrical and Electronic Equipment (WEEE) Directive. This Directive is referred to the management of waste made from old or faulty electrical and electronic equipment, and

- Directive of European Parliament and the Council of Europe - Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment Regulations (RoHS) Directive. This directive is referred to the limitations of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment.

These two directives were adopted on 27 January 2003 by the EU and started to apply on 13 February 2003. After the adoption of the Directive member countries of the European Union in the period until 13 August 2004 have been obliged to introduce these two directives in their legislation. Implementation is carried out through national laws, regulations and other administrative measures. [3]

WEEE and RoHS Directives are intended to significantly reduce the amount of EE equipment or the EEW that dump to the landfill without control or entered in waste incinerator as well as to eliminate dangerous substances which EE products include.

The EU directives do not directly burden customers of EE devices, companies or individuals, but require member states to introduce the same in their national policies. It is important to note that the EU can introduce punitive penal for member states that fail to implement these directives.

WEEE Directive is a very extensive and covers practically all the electrical and electronic equipment.

To stimulate manufacturers to use design of the device that allows easy repair, disassembly, and especially re-use and recycling of the EEW and its components and materials, WEEE Directive has established the principle of extended producer responsibility (EPR). This principle implies that EE equipment manufacturers are financially responsible for the care of their products at the end of the life cycle and manage them in accordance with the Directive.

In this context, member states should take appropriate measures that producers through the design or the way of their production do not prevent the possibility of re-use of EE equipment, unless such design or the way of production can improve the aspect of environmental protection and / or security requirements.

Dealers should provide the possibility of substitution on the basis of "old for new". However, the Directive allows member states not to apply this provision.

The primary goal of the directives is to minimize the amount of the EEW as a specific municipal solid waste, and to reach a high level of

separate collection of such waste.

The EEW management systems have to be organized by the producers on the individual and collective basis, so that manufacturers can create common systems for the fulfillment of their obligations using the best available techniques for treatment, repair and recycling.

Each export of EE waste equipment for further processing has to be in accordance with the regulations of the EU and the OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) regarding the export of waste.

According to the WEEE Directive, producers of EE equipment have to bear the costs of collection of the EEW as well as the cost of further treatment of this waste.

For historical products, those that were released on the market before the August 13, 2005 the cost of waste management should be shared by all manufacturers. Users with the exception of households may be partially or fully responsible for the financing of "historical products" management [3].

For new products, i.e. those that have been on the market after the August 13, 2005 the producers have "individual responsibility". So that each owner will bear the costs of managing its outdated EE equipment, was on an individual or company. This can make through the programs set by individual companies or through the participation in the collective programs. It is not allowed any compensation for the financing of waste management resulting from new EE products [3].

When manufacturers put a new product on the market they have to provide financial guarantees that the waste management of products will be covered. Manufacturers can join the Organization for the responsibility of the manufacturer, where all involved manufacturers pay for recycling insurance, or to open a bank account for these guarantees independently.

Every new product has to be wearing the label that:

- 1) confirm that it will be separately collected and

- 2) contains the name of the manufacturer

Manufacturer has to provide information to consumers about the available systems for collecting the WEEE and about the impact of hazardous substances contained in the EE waste of products on the environment and health.

Manufacturer also has to provide information for easy recycling, reparations and re-use EE device. This information includes the identity of components and materials and location of hazardous substance within the product.

The members of EU have to establish



production search information about the number of EE equipment that was put on the market, as well as information on quantities collected, re-used, recycled and repaired EE equipment.

The members of EU have to establish systems for inspection and monitoring and impose the effective penalties for lack of cooperation.

RoHS Directive follows WEEE Directive and their scope is similar, because the products covered by WEEE are included in RoHS Directive. Defining the terms and conditions of implementation by member states in the imposition of penalties are the same for both the Directives.

RoHS Directive formulates that even if all the EEW collected and recycled separately, the toxic content can be a risk to health and the environment. For that reason, this directive requires the substitution of hazardous substances with safer materials, which are also more suitable to improve the profitability of the recycling of waste, as well as for reducing the impact on the health of workers in the factories for recycling.

#### 4. COUNTRY EXAMPLES

##### 4.1 Germany

Germany Cabinet has introduced WEEE and RoHS Directives through the draft of law on WEEE adopted on 1st September 2004. The Lower House of Parliament (Bundestag) was approved in mid-December, and the Bundesrat on 18 February 2005.

##### Key provisions:

Deadlines:

- Not later than one year after publication, perform the following activities:
  - Registering of manufacturers
  - Provide collection containers
  - Provide information on EEW
  - Obtaining financing guarantees
    - Product labeling
    - Returns of EEW to producers and treatment of EEW

Collection of EEW from households:

Municipalities organize and fund the collection points for refund at no charge. Manufacturers provide containers for six categories of collecting. Municipalities can, if they are able to cover the cost of collecting the EEW. For sellers there is no obligation of taking on 1:1.

The composition of WEEE in Germany is given in Figure 1.

Manufacturers' liability:

New EEW manufacturers may require from the Central register to calculate compensation to them, which they have to pay. That compensation is

based on the share of their products on the city's landfill. Manufacturer should provide evidence of the quantity of products which are disposed on the landfill.

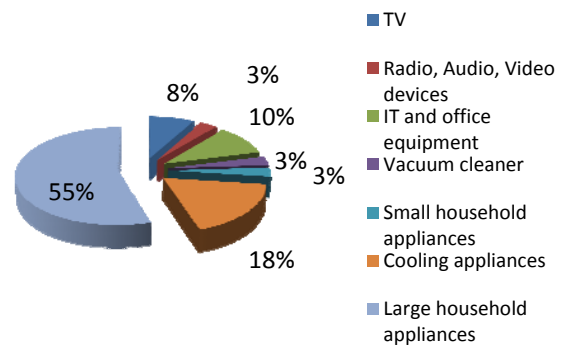


Fig. 1. Composition of WEEE in Germany [3]

Industry reaction:

- EAR Foundation was established on 12 February 2004 by 27 EE equipment manufacturers and 3 trade associations in order to obtain approval and acquisitions of responsibility to perform independent clearing operations. Since March 2005 the producer may make the test register at the EAR web site. Active registration was planned for June 2005.
- In August 2004 Panasonic, JVC and Thomson have established an initial program of EE equipments recycling.

In Germany from the 1st June 2012 the distribution of surplus is automatically a part of the contract and has not to be signed separately as up to now.

The Federal Ministry for Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety has issued the necessary regulation for changing the cost ordinance of the law for electrical and electronic equipment (ElektroGKostV) on 14 December 2011. The fees will decrease by 18 percent on average [3].

Companies dealing with waste treatment are also team up in order to be ready for the return of all categories that are collected within the country.

##### 4.2 Switzerland

Switzerland is a signatory to the Basel Ban convention on trans-boundary movement of hazardous waste and has been a pioneer in legislating WEEE management. Legally, WEEE management was introduced in 1998 by the Swiss Federal Office for the Environment by way of an ordinance. It outlines the obligation of users for the proper return of WEEE, the obligation of traders and manufacturers to take back as well as

obligations and requirements for disposal [4].

Regulation on the return, download and disposal of electrical and electronic equipment is expanded in June 2004, including tools and electric toys. In the changes the requirements of manufacturers for alignment of return system for all categories of EE devices were implemented. Since the mid-1990s Swica and SENS have been organizations that covered the area of WEEE management.

In Figure 2 the composition of WEEE in Switzerland is shown.

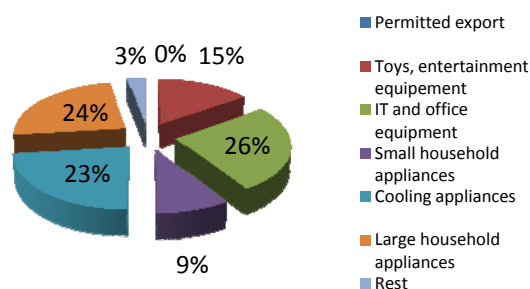


Fig. 2. Composition of WEEE in Switzerland [3]

#### 4.2 United Kingdom

Regulations which implement the WEEE Directive have implemented in January 2006. Regulations for issuing license to the factories for WEE treatment were adopted at a time in order to be approved prior implementation of the producer responsibility obligations.

Several companies dealing with the treatment of waste (Onyx, Valpak, Wastepack) have established their own programs. Groups Gambica and Repic are formed by the manufacturer.

The composition of WEEE in United Kingdom is given on Figure 3.

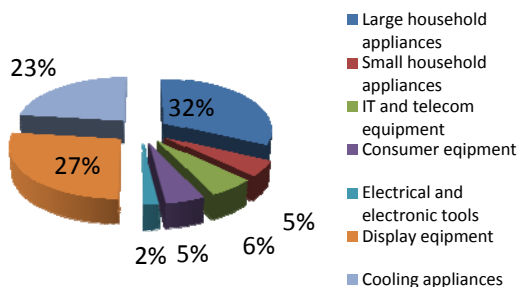


Fig. 3. Composition of WEEE in United Kingdom [3]

Since December 2011 the local waste removers have taken pink colored plastic bags with WEEE on collecting household waste and devote them to an adequate recycling facility. All municipalities

are part of a field trial, which is financed by WEEE Project Fund and is under the patronage of the Department for Business Innovation and Skills. The WEEE Project Fund is held by distributors. Overall there are 20 projects of this kind, which are realized throughout the nation until December 2012 [3].

#### 5. CONCLUSION

Analyzing the international documents in different countries it can be concluded that most of the countries have authority competent for environment. National policy of waste management is carried out within that authority.

Integration of ecological and economic objectives can be the base for the concept of developing goals in the European countries.

Global amounts of WEEE are increasing by time. There is need to have methods and techniques for estimating the real amounts of WEEE as well as efficient WEEE managing in the European countries.

#### 6. REFERENCES

- [1] Howorka, F.: *Understanding the Barriers to Recycling of Waste Electrical and Electronic Equipment*, Universität für Bodenkultur, Wien, 2011.
- [2] James E. McCarthy: *Recycling Computers and Electronic Equipment: Legislative and Regulatory Approaches for "E-Waste"*, Science, and Industry Division, 2002
- [3] European Commission (2011a): Eurostat, Environmental Data Centre on Waste: WEEE – Key Statistics and Data. Available under: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/waste/data/wastestreams/weee> (last accessed 5th October 2012)
- [4] Ongondo, F.O., Williams, I.D., Cherrett, T.J.: *How are WEEE doing? A global review of the management of electrical and electronic wastes*, Waste Management, 31, pp.714–730, 2011

**Authori: Ivan Sovilj-Nikić<sup>1</sup> PhD st, mr Sandra Sovilj-Nikić<sup>1</sup>, Dr.h.c. prof. Ing. Janko Hodolic<sup>2</sup>, Assoc. prof. dr.Miodrag Hadžistević<sup>1</sup>, Prof. dr. Bogdan Sovilj<sup>1</sup>, Prof. dr. Vladeta Gajić<sup>1</sup>, 1., Faculty of Technical Sciences, , Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia 2., Stredoeurópska vysoká škola v Skalici, Kráľovská 386/11, 909 01 Skalica, Slovakia E-mail: [bsoviljl@uns.ac.rs](mailto:bsoviljl@uns.ac.rs), [hodolic@sevs.sk](mailto:hodolic@sevs.sk), [smiodrag@uns.ac.rs](mailto:smiodrag@uns.ac.rs), [vgajic@uns.ac.rs](mailto:vgajic@uns.ac.rs),**

Ilić, M., Budak, I., Agarski, B.

**GRAVIMETRIC ANALYSIS OF INHALABLE DUST FRACTIONS IN DENTAL LABORATORIES**

**Abstract:** *Dust in dental working environment contains particles of a wide range of sizes. The behavior, deposition and fate of any particle after entry into the human respiratory system, and the response that it elicits, depends on the nature and size of the particle.*

*The paper focuses on investigation of concentration of dust in dental laboratories by gravimetric analysis.*

*For research sampling was made with personal sampler, with conical nozzle extension for inhalable dust fractions and filter.*

*Results of analysis of the working conditions in dental laboratory in Novi Sad are presented.*

**Key words:** *Dust; Working environment; Dentistry, Gravimetric analysis.*

**1. INTRODUCTION**

Dust is a dispersed system in which the dispersed phase consists of solid matter particles, and the dispersion medium of air or other gas carrier. It is generally seen as a solid particles aerosol produced by mechanical means, with particle diameter ranging from 0.1  $\mu\text{m}$  and higher.

The air in dental laboratories is highly polluted with grinding dust. Especially dangerous is extremely fine dust. These particles can penetrate deep into the lungs, causing serious damage. The invisibility of air-polluting substances is highly misleading.

In general, there are six major categories of hazards in dental laboratory [1]:

1. **Physical hazards** – noise, vibration, lighting, electrical, heat and cold, dust, fire, machinery and working space.
2. **Chemical hazards** – gases, fumes, vapours and liquids.
3. **Radiation** – microwave, infra-red, ultraviolet and x-ray.
4. **Ergonomic** – tool design, equipment design, job design, workstation and manual handling.
5. **Psychological** – shift work, workload, dealing with the public, harassment, discrimination and low-level constant noise.
6. **Biological** – infection, bacteria and viruses.

Dust in dental working environment contains particles of a wide range of sizes. The behavior, deposition and fate of any particle after entry into the human respiratory system, and the response that it elicits, depends on the nature and size of the particle. [2]

**2. GENERAL ASPECTS OF DUST**

Three particulate mass fractions are defined (Fig.1) [3]:

**1. Inhalable Particulate Mass**

Those materials that are hazardous when deposited anywhere in the respiratory tract. This includes particulate matter that enters the head airways region including the nose and mouth, nasopharynx, oropharynx and laryngopharynx and those materials that can produce systemic toxicity from deposition anywhere in the respiratory system. Inhalable samplers were defined as having a collection efficiency of 50% (50% cut-point) at 100 microns.

**2. Thoracic Particulate Mass**

Those materials that are hazardous when deposited anywhere within the lung airways and the gas-exchange region. This includes particulate matter that enters the tracheobronchial region including the trachea, bronchi, and bronchioles. Thoracic samplers were defined as having a 50% cut-point at 10 microns.

**3. Respirable Particulate Mass**

Those materials that are hazardous when deposited in the gas-exchange region including the respiratory bronchioles and alveoli. A significant change from previous definitions, the 1993 recommendation increased the 50% cut-point for respirable dust samplers from 3.5 to 4.0 microns.

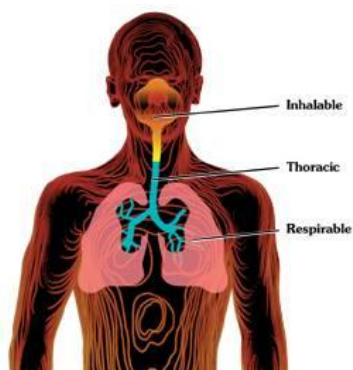


Fig.1. Classification of dust particles that can get into human body

## 2. 1 Dust problems in dental labs

The basic things which generate dust in a dental environment are:

- sandblasting,
- polishing and grinding,
- mixing and investing.

Adequate and efficient protection should be considered to prevent occupationally related diseases. If the dental technicians do not use appropriate protection, parts of metal filings, ceramic and acrylate dust and other filth, which is present in the air of the dental laboratory, during making of dental fixed and mobile dentures, can damage their health. In the first place, the respiratory system can be injured. While grinding the metal framework of fixed and partial dentures dust and particles of precious and non-precious alloy are dispersed in the air [4]. Precious alloy usually consists of gold, palladium, silver, and copper, platinum and of small quantities of zinc, indium and tin. While grinding non-precious castings particles of cobalt, chrome and molybdenum alloy can be found in the air. Beside the inhalation of the dust, particles of ceramic dust, carbide and metal particles can lead to pulmonary silicosis and other pathological changes in airways [5].

## 3. DUST SAMPLING

Among the many methods of sampling aerosols, the two principal ones are:

- 1) direct reading and
- 2) time-integrated method.

Instruments based on the method of direct reading [6], such as instruments based on the principle of light scattering, condensed nuclei counters and electrical mobility analyzers, enable measurement of particle concentration in a few minutes at the point of sampling. Due to the fact that they measure the concentration of particles in

the short term, direct reading instruments are widely used, for example, to examine occupational hygiene surveys or clean room for continuous and periodical particle detection.

On the other hand, the time-integrated instruments, including filtration and impaction, determine the concentration of the aerosol by measuring particle mass collected on the filter or the substrates. The filter sample integrated with the particle mass ensures the average concentration of aerosols during the sampling period. By using microbalance, collected particles are analyzed gravimetrically. This method, however, often requires long-term sampling in order to collect the sufficient amount of particles for the gravimetric analysis, although the method is generally simple and inexpensive.

Unfortunately, it can be difficult to obtain representative samples of aerosols. Great variety when designing samplers leads to significant variations in their performance. The direction and speed of wind, input values, geometry, orientation, particle size, electrical charge, particle bouncing properties, conductive properties, as well as the other factors, affect the performance of the sampler in different ways.

### 3.1 Measuring zone

Specific analytical methods have been developed to determine the working atmosphere pollution and filth of air in the workplace and the environment. Working atmosphere should be constantly monitored in order to find out if the concentrations of toxic gases, vapors and dust are within tolerable MPC limits. Therefore, methods used must be appropriate, sufficiently sensitive, reliable and specific. At the same time, one of the most important factors for obtaining accurate results when determining the working atmosphere pollution is the proper way of collecting the sample. Depending on the purpose of taking air samples, there are three places where they should be collected [8]:

1. In the immediate vicinity of the workers in order to test the level of exposure to polluting substances. These samples should be taken in the worker's breathing zone, and if he changes positions during work, representative samples should be taken in all of his working positions. These samples are the most important ones in the assessment of health hazards.
2. In the immediate vicinity of air pollution sources in order to obtain information about the amount of pollutants discharged into the work environment. These samples are

important for planning of technical measures to combat air pollution.

3. From different parts of working place in order to obtain the spatial distribution of the air pollution concentration.

### 3.2 Calculation of dust concentration

The volume of air passing through the sampler is calculated by multiplying the mean volumetric flow rate in cubic meters per minute by the sampling time in minutes. (Note: flow rate in liter/min = 1000 x flow rate in  $\text{m}^3/\text{min}$ .) The net weight gain (mg) of the sample substrate is divided by the volume of air sampled ( $\text{m}^3$ ) to give the average dust concentration in milligrams per cubic meter of air ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ).

Where an unpumped sampler has been used alongside a pumped sampler on the same worker, the mass of material collected on the unpumped sampler would normally be expected to be between 5 and 20% of the mass collected on the pumped sampler over the same period. In those instances where the dust concentrations are unusually high and variable, the unpumped sampler may collect an abnormally large mass of material. In these circumstances it is reasonable to assume that the pumped sampler positioned on the chest is not necessarily representative of the dust actually inhaled by the worker, and to either disregard the result, or treat it as a 'worst-case' estimate of personal exposure.

### 3.3 Sampling time

A long sampling time ensures a heavier deposit and therefore reduces the weighing inaccuracies. Sampling times should therefore be as long as is reasonably practical (preferably not less than four hours, unless short-term concentrations are being evaluated) and should be representative of the working periods of individuals exposed. If the dust concentration is so high that a single sample would be overloaded, several substrates should be used consecutively [9].

## 4. CASE STUDY

### 4.1 Gravimetric analysis of dust in dental lab

For research of dust concentration in dental laboratories, which is presented in this paper, the sampling was carried out in an enclosed environment in the dental laboratory of the Medical Faculty in Novi Sad, at the Department of dentistry, in the laboratory for fixed and mobile

prosthetics. Personal sampler EGO PLUS TT (Fig.2) was used, with adjustable display, conical nozzle extension and „grid“ ester mixed cellulose filter, 0.8  $\mu\text{m}$  pore size, 25 mm in diameter.

„Grid“ ester mixed cellulose filters are also suitable for light microscopes and SEM, since their texture enables less static rejection of particles and they are less subjective to weight change due to moisture absorption [10].



Fig. 2. Personal sampler for dust, gas and toxic vapours in working environment

The measurements were taken in the first zone, i.e. personal sampler was positioned on the upper chest, near the collarbone, in the breathing zone of the technician (Figure 3). The breathing zone represents the area around the face of workers, from which they take breath. The general recommendation is not to extend it to more than 30 cm from the mouth. During the day, sampling was carried out from 09.00 to 13.00h.



Fig. 3. Position of personal sampler

Before and after sampling, filters were conditioned at 25°C and 38% relative humidity.

Microclimatic parameters (air velocity, temperature, and relative humidity) were continuously monitored during the experiment, using the Lutron Electronic anemometer to measure air velocity and Probus, a device for measuring humidity. Both devices also measure the temperature. No air movement was registered, i.e. it was constantly 0.0 m/s. The air temperature ranged from 22 to 25°C and relative humidity

from 34% to 37%. Air conditioning was turned off during the test.



Fig. 4: The scale at which conducts gravimetric analysis of filters.

A trial was conducted prior to the sampling in order to assess the stability of microclimate parameters during the day. During the preliminary testing, sampling was performed for 4 hours in order to assess the concentration of particles in the room using the gravimetric method. The average value was  $0.02675 \mu\text{g m}^{-3}$ . In gravimetric analysis, Kern & Sohn ABJ 120-4M scales, with the accuracy of  $\pm 0.0002 \text{ g}$  was used (Figure 4.). Also, a measurement was carried out during two working days for 8h a day (8-16h), a total of 16h, in order to collect more particles and confirm the results of concentration, and it was  $0.04375 \mu\text{g m}^{-3}$ .

## 5. CONCLUSION

Gravimetric analysis describes a set of methods in analytical chemistry for the quantitative determination of an analyte based on the mass of a solid.

In this case gives information on the concentration of dust in dental lab.

As a conclusion one can say that it is necessary to improve the performance of legally obligated protective measures to prevent environmental and health damage in dental laboratories, because of the concentration of dust, but also because of its composition.

Very important aspect is also the education of the dental technician about the risks for the environment and health that exist if the protective measures are not performed.

## 6. REFERENCES

- [1] Health and Safety Laboratory, Methods for the Determination of Hazardous Substances MDHS14/3: General methods for sampling and gravimetric analysis of respirable and inhalable dust, 2000
- [2] Fathie K., Saied M., Moftah I., Abdelnaser O.: „Evaluation of dental technicians awareness of health and safety rule in dental laboratories at some cities in Libya“, International journal of engineering, 2010, Hunedoara, Romania.
- [3] Health and Safety Laboratory, Methods for the Determination of Hazardous Substances: “General methods for sampling and gravimetric analysis of respirable and inhalable dust”, 2000, Suffolk, England
- [4] Faria A., Rosa A., Rodrigues R., Ribiro R.: “In Vitro Cytotoxicity of dental alloys and cpTi Obtained by Casting”, J Biomed Mater Res Part B: Appl Biomater 2008; 85B: pp. 504-508.
- [5] Nayebzadeh A., Dufresne A., Harive S., Begin R.: “Minerology of lung tissue in dental laboratory technicians pneumoconiosis”, Am Ind Hyg Assoc J 1999; 60: 349-353.
- [6] Standard SRPS CEN / TR 16013-1:2011: Workplace exposure - Guide for the use of direct-reading instruments for aerosol monitoring - Part 1: Choice of monitor for specific applications
- [7] Casuccio, Gary S., Schlaegle, Steven F., Lersch, Traci L., Huffman, Gerald P., Chen, Y., Shah, N.: Measurement of fine particulate matter using electron microscopy techniques. Fuel Process Technol. 85, 763–779, 2004
- [8] Simendić, B., Milanko, V., Kovačević, R.: Of a method for the determination of wood dust in the workplace, High Technical School of Professional Studies in Novi Sad, Novi Sad, 2010
- [9] Nagode, A., Godec M., Kosec G., Kosec L.: Investigations of carbide precipitates in modified 9 % Cr steel using different electron spectroscopy techniques, RMZ – Materials and Geoenvironment, Vol. 58, No. 1, pp. 59–70, 2011
- [10] Pons, M.N., Vivier, H., Belaroui, K., Bernard-Michel, B., Cordier, F., Oulhana, D.: Particle morphology: from visualization to measurement. Powder Technology 103, 44–57, 1999

**Acknowledgement:** Results of investigation presented in this paper are part of the research realized in the framework of the project “Research and development of modeling methods and approaches in manufacturing of dental recoveries with the application of modern technologies and computer aided systems“ – TR 035020, financed by the Ministry of science and technological development of the Republic of Serbia.

**Authors:** M.Sc. Milana Ilić, dr Igor Budak, mr Boris Agarski, University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Serbia  
 Phone: +381 21 485 24 76  
 E-mail: [milanai@uns.ac.rs](mailto:milanai@uns.ac.rs)  
[budaki@uns.ac.rs](mailto:budaki@uns.ac.rs)  
[agarski@uns.ac.rs](mailto:agarski@uns.ac.rs)

Živančev, M., Batinić, B., Tot, B.,

**TRENTNO STANJE U OBLASTI UPRAVLJANJA OTPADNIM VODAMA U SRBIJI**

**Rezime:** Zemlje u razvoju kontinuirano rade na poboljšanju kvaliteta života i unapređenju životne sredine. Upravljanje otpadnim vodama je jedan od problema, koji zahteva adekvatno i održivo rešenje kako bi se postigli željeni ciljevi. Prvi korak u rešavanju ovog problema jeste prikupljanje i prikazivanje informacija o trenutnom stanju u oblasti upravljanja otpadnim vodama, i utvrđivanje ključnih problema. Utvrđivanje Podataka o Infrastrukturi Otpadnih Voda u Republici Srbiji sa „on-line“ merenjima sastava i količina otpadnih voda u reprezentativnim opštinama – **UPIOV** projekat, je upravo zamišljen u tu svrhu i na osnovu rezultata ovog projekta kao jedan od glavnih problema ističe se nizak procenat seoskog stanovništva koji je povezan na kanalizaciju.

**Ključne reči:** otpadne vode, kanalizaciona mreža, Srbija

**1. UVOD**

Problem optimizacije regionalnih sistema za upravljanje otpadnim vodama može se generalno definisati na sledeći način: definisanje načina transporta i tretmana otpadnih voda, unutar regije ili pripadnosti sliva, koje osiguravaju usklađenost sa datim kriterijumima za kontrolu zagađenja, uz minimalne troškove [1]. Trenutna situacija u Srbiji je uglavnom fokusirana na centralizovane sisteme u velikim gradovima. Ovi sistemi su stari i nisu efikasni, a većina prikupljene otpadne vode odlazi u prirodne vodotoke bez ikakvog predtretmana. Centralizovani sistemi, odnosno njihova izgradnja i održavanje su dosta skupi, a uz to se porastom urbanih centara i opterećenja ovakvih sistema povećava i rizik po životnu sredinu. Krajnji recipijenti, vodeni tokovi u Srbiji su veliki i za sada nisu toliko „ranjivi“, ali u skorijem budućem periodu neophodno je naći održiva rešenja, pre svega u pogledu prikupljanja otpadnih voda i njihovog tretmana u ruralnim područjima.

U pogledu komunalne opremljenosti, u poređenju sa razvijenim zemljama, Srbija se nalazi pri dnu lestvice evropskih zemalja. Većina evropskih gradova ima procenat stanovnika priključenih na kanalizacioni sistem veći od 95%, dok Beograd i Novi Sad imaju oko 85%. Situacija je još nepovoljnija na nivou zemlje, tako da je u Vojvodini priključeno 45%, a u centralnoj Srbiji bez Beograda svega 37% od ukupnog broja stanovnika. Ovo podaci jasno ukazuju na činjenicu da u urbanim sredinama nastaju mnogobrojni ekološki problemi izazvani neadekvatnim prikupljanjem, evakuacijom i prečišćavanjem otpadnih voda. U tom smislu, zabrinutost za uravnoteženi razvoj gradova i njihove komunalne infrastrukture je opravdana.

**2. NAČINI TRETMANA I  
KARAKTERISTIKE OTPADNIH VODA**

Zadatak prečišćavanja je da se smanji zagađenje otpadne vode, do te mere da prečišćena otpadna voda može da se ispušta u prijemnik otpadnih voda, bez štetnih posledica po prijemnik, ili da se recirkuliše ili ponovo upotrebi [2].

Tehnološki proces prečišćavanja otpadnih voda se može sastojati iz brojnih faza obrade, zavisno od karakteristika sirove otpadne vode i od zahtevanog kvaliteta prečišćene otpadne vode, a za svaku od tih faza postoji po nekoliko opcija [3].

Za naselja koja ne sprovode prečišćavanje voda predlaže se gradnja postrojenja koja bi se sastojala od:

- 1) *prethodne obrade* (uklanjanje grubog materijala rešetkom; uklanjanje inertnog materijala, u tzv. hvataču peska),
- 2) *primarnog prečišćavanja* (po pravilu se primenjuje postupak uklanjanja suspendovanih čestica u gravitacionom taložniku), i
- 3) *sekundarnog prečišćavanja* (uklanjanja biorazgradivog organskog jedinjenja, daleko najčešće nekom od izvedbi aerobnog biološkog procesa prečišćavanja sa aktivnim muljem, često kombinovanog sa
- 4) tzv. *tercijarnim prečišćavanjem*, koje se u slučaju obrade otpadnih voda naselja u pravilu sastoji od uklanjanja tzv. nutrienata, azota i fosfora, koji su glavni uzročnik eutrofikacije prijemnika prečišćenih otpadnih voda; ili se tercijalno prečišćavanje izvodi kao posebna faza procesa prečišćavanja, nakon sekundarnog prečišćavanja (Anonim. 2009).

Karakteristike	Koncentracija, mg/l	
	Opseg	Tipično
<b>Fizičke</b>		
Suva materija (suvi ostatak)		
Ukupno	300-1.200	700
Suspendovane čestice, ukupno	100-400	220
Suspendovane čestice, isparljive (*)	70-300	150
Rastvorene materije, ukupno	250-850	500
Rastvorene materije, isparljive (*)	100-300	150
<b>Hemijske</b>		
Organski ugljenik		
BPK <sub>5</sub>	100-400	250
HPK	200-1.000	500
Ukupni azot (kao N)	15-90	40
Ukupni fosfor (kao P)	5-20	12
pH	7-7,5	7,0
Hloridi	30-85	50

5)\*Gubitak žarenjem suvog ostatka, približno odgovara sadržaju organske materije.

Tabela 1. Karakteristike otpadne vode naselja [4]

### 3. UPRAVLJANJE OTPADNIM VODAMA

Veći deo komunalnih otpadnih voda čine upotrebljene vode iz domaćinstava. Za njih je karakterističan konstantan sastav u jednom regionu u dužem periodu, kao rezultat životnog standarda i načina življenja stanovništva.

Količina otpadne vode nastala po stanovniku dnevno raste sa veličinom naselja, kao i sa promenom načina življenja. Ove količine takođe variraju i u zavisnosti od nivoa razvoja i odnosa stanovništva prema racionalnoj upotrebi vode za piće. U ruralnim centrima je to ispod 150 l/stanovniku dnevno, dok u gradskim područjima sa nekoliko desetina hiljada stanovnika produkcija otpadne vode dostiže 200 l/stanovniku dnevno. Poređenja radi, više od 300 l/stanovniku dnevno se koristi u Parizu, gde se velike količine koriste za pranje ulica. Značajno više od 400 l/stanovniku dnevno se troši u mnogim američkim gradovima [4]. U većim gradovima u kanalizaciju često dospeva i voda malih potoka i od dreniranja visokih podzemnih voda. Ovakve situacije povećavaju troškove transporta i prečišćavanja komunalnih otpadnih voda, jer dimenzionisanje postrojenja za prečišćavanje zavisi od količine zagađenja, kao i od hidrauličkog kapaciteta (hidrauličkog opterećenja) [1].

Zaštita voda uključuje načelo održivog razvoja i integrisano upravljanje vodama radi osiguranja odgovarajućeg vodnog režima (količina i kvaliteta voda), koji se zasniva na odredbama Zakona o

vodama, Zakona o režimu voda, planovima zaštite voda od zagađenja i drugim propisima iz oblasti zaštite voda od zagađivanja. Pored toga moraju se uvažavati i drugi zakoni, kao što su Zakon o zaštiti životne sredine, Zakon o proceni uticaja na životnu sredinu, Zakon o strateškoj proceni uticaja na životnu sredinu, Zakon o integrisanom sprečavanju i kontroli zagađivanja životne sredine, Zakon o prostornom planiranju, Uredba o utvrđivanju vodoprivredne osnove, Uredba o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vodu i rokovima za njihovo dostizanje, itd. U oblasti zaštite voda neophodno je primenjivati i međunarodne sporazume koji se odnose na zaštitu voda.

Integralno upravljanje vodama u smislu Zakona o vodama, čini skup mera i aktivnosti usmerenih na održavanje i unapređenje vodnog režima, obezbeđivanje potrebnih količina voda zahtevanog kvaliteta za različite namene, zaštitu voda od zagađivanja i zaštitu od štetnog dejstva voda.

### 3. TRENUTNO STANJE U SRBIJI

Kako bi se utvrdilo stvarno stanje u sektoru otpadnih voda, osmišljen je UPIOV projekat – Utvrđivanje Podataka o Infrastrukturi Otpadnih Voda, na osnovu kog bi trebalo da se odrede prioriteta u ovom sektoru [5].

Kvalitet sistema za upravljanje i tretman otpadnih voda predstavlja važnu osnovu za unapređenje kvaliteta života i zdravlja ljudi, uz pozitivan uticaj na životnu sredinu. Pored toga dobra komunalna infrastruktura predstavlja preduslov za dalji privredni razvoj jednog regiona. Podaci o komunalnoj infrastrukturi široj javnosti uglavnom nisu poznati, UPIOV projekat omogućava uvid u trenutno stanje ovih sistema, a kao aktivna baza podataka takođe je omogućeno kontinualno obnavljanje informacija, što je veoma bitno za stručnu javnost i potencijalne investitore.

Sakupljeni podaci u okviru UPIOV projekta sadrže informacije o pokrivenosti stanovništva kanizacionom mrežom, količinama i sastavu otpadnih voda, industrijskim tokovima otpadnih voda kao i o finansijskim mogućnostima stanovništva, na nivou opština.

Podaci o kanizacionoj mreži u opštinama obuhvataju: broj stanovnika i naselja priključena na sistem kanizacione mreže, dužina kanizacione mreže, troškovi usluga koji se odnose na odgovorno preduzeće i sl.

U Republici Srbiji postoji širok spektar kada je u pitanju pokrivenost kanizacionom mrežom, od 0% u malim opštinama kao što su Kovačica, Osečina, Žagubica i sl., gde su kanizacioni



sistemi tek u fazi planiranja, do većih opština gde pokrivenost dostiže do 80%. U opštinama sa većim procentom pokrivenosti najveći problem predstavljaju seoska naselja koja su uglavnom bez kanalizacionog sistema. Procent gradskog stanovništva povezanog na kanalizacionu mrežu je između 20 - 60 % za male i srednje opštine, dok je ova vrednost u većim opštinama uglavnom iznad 60 %. Seosko stanovništvo u većini opština nema kanalizacioni sistem, osim kada su u blizini većih gradova, ali i u tim slučajevima pokrivenost uglavnom ne prelazi 50%. Još jedan od velikih problema je i prosečna starost postojećih kanalizacionih sistema, koja obično prelazi 20 godina [5].

### 3.1. Otpadne vode naselja i sistem odvođenja

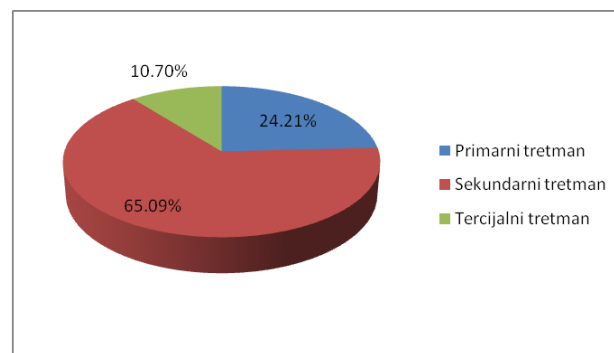
U sledećoj tabeli su prikazani sakupljeni podaci za 2011. godinu za Republiku Srbiju.

Ukupna količina otpadnih voda	3 499 157
Prečišćene otpadne vode	188 509
Dužina kanalizacione mreže	14 948 km
Broj domaćinstava priključenih na kanalizaciju	1 419 482
Procentat priključenih stanovnika	56.3 %
Procentat stanovništva obuhvaćen tretmanom otpadnih voda	10.7 %

Tabela 2. Otpadne vode u Republici Srbiji u hiljadama m<sup>3</sup> za 2011. god

Poređenjem sa istim podacima iz 2010. uočeno je sledeće: ukupna količina otpadnih voda u 2011. godini veća je za 1,1 %; u opštinama bez javne kanalizacije ispušteno je za 6,9 % manje otpadne vode; u industrijskom sektoru smanjena je količina otpadne vode za 5,1 %, dok su ostali korisnici isпустили za 5,8 % manje otpadne vode nego u istom periodu prethodne godine. U 2011. godini prečišćeno je za 9,6 % više otpadne vode nego u 2010. godini, a najzastupljeniji način prečišćavanja je sekundarni tretman[6].

U Republici Srbiji trenutno postoji oko 40 postrojenja za tretman otpadnih voda, sa kapacitetom koji se kreće od 30.000 do 150.000 m<sup>3</sup>/dan i uglavnom se tretman zasniva na sistemima za prečišćavanje aktivnim muljem. Međutim, veliki broj ovih postrojenja ne radi punim kapacitetom, a neka od njih su čak i van funkcije. Na slici 1 procentualno je prikazana primena primarnog, sekundarnog i tercijarnog tretmana otpadnih voda u Srbiji.



Slika 1. Zastupljenost tretmana otpadnih voda

Industrijski tokovi otpadnih voda u opštinama su poseban deo baze podataka koji opisuju tip industrije, količinu otpadnih voda koja se ispušta i karakteristike otpadnih voda, ako postoje. Postoji mali procent industrija i postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda. Industrije uglavnom ispuštaju otpadne vode bez ikakvog predtretmana, a opterećenje krajnjeg primaoca je visok, ili ako postoji prečišćavanje otpadnih voda, radi pod velikim opterećenjem. Ministarstvo uvodi praksu obaveze da svaka industrija mora da sprovodi kontinualno merenje količina i sastava otpadnih voda. Još jedan problem je što su neke industrije povezane na gradsku kanalizaciju, i u nedostatku predtretmana povećava se opterećenje postrojenja za tretman komunalnih otpadnih voda.

Za svaku opštinu postoje podaci o krajnjem recipijentu otpadnih voda i pripadnosti recipijenta odgovarajućem basenu. U Srbiji postoji 6 glavnih basena (Tisa, Dunav, kanal DTD, Sava, Drina i Morava) sa različitim brojem stanica i opterećenjima u njima. Merni podaci o kvalitetu otpadnih voda ima veoma mali broj preduzeća i opština, što dodatno opravdava predložene projektne aktivnosti koje se odnose na razvoj i implementaciju on-line monitoring kvaliteta i kvantiteta otpadnih voda u svim opštinama u Srbiji.

## 4. PROBLEMI I MOGUĆA REŠENJA

Novi koncept kanalisanja treba zasnivati na ekosistemskim pristupima i na zatvaranju ciklusa protoka otpadnih materija, a ne na kontinualnom „nizvodnom“ toku mešavine vode i otpadnih materija. Ovo je osnovna razlika između ruralnih i urbanih kanalizacionih sistema, gde se kod ovih drugih u mreži razgranatih kolektora rešenje traži „na kraju cevi“ [7].

Tehno-ekonomski najoptimalnije rešenje, kod ruralnih razuđenih naselja, je prečišćavanje otpadnih voda za grupe stambenih objekata i objekte društvenog standarda primenom sistema koji obuhvata: vodonepropusni septički tank ili „Imhof“ tank, kombinovan sa aerobnim procesom

prečišćavanja i prečišćavanjem efluenta na intermitentnom peščano-šljunčanom filteru. Za postrojenja sa opterećenjima bližim 500 ES upotrebljavaju se složeni uređaji - različiti tipovi mini blokova - kompaktna ili *Imhoff* komore ili specijalno dizajnirani kontejneri prečišćivači (*HAFI kontejneri*), a za opterećenja od 1.000 - 2.000 ES mogu da se koriste tehničko-tehnološke linije - bio blokovi)[8].

Koncept ruralnih sistema za prikupljanje i tretman otpadnih voda ima i ekološki i ekonomski značaj za lokalnu zajednicu. Uvodi se princip zaštite životne sredine redukovanjem zagađenja na mestu nastajanja, a korišćenjem prečišćene vode za zalivanje se smanjuje potrošnja čiste vode. Pre izbora adekvatnog sistema za prečišćavanje neophodno je odrediti fizičke karakteristike zemljišta, karakteristike terena, blizinu/dubinu površinskih i podzemnih voda i raspored postojećih objekata na placu. Dispozicija sistema treba biti takva da elementi sistema ne ugrožavaju ostale objekte na placu ili susednoj parceli.

## 5. ZAKLJUČAK

Kod ruralnih razuđenih naselja, tehnno-ekonomski i ekološki najoptimalnije rešenje sistema za prikupljanje i tretman otpadnih voda za grupe stambenih objekata i objekte društvenog standarda je primena aerobnog postupka sa korišćenjem prečišćene vode za zalivanje i navodnjavanje. Ovakav sistem je prilagođen mesnim prilikama jer nije potrebna dugačka kanalizaciona mreža, jednostavan je za izvođenje i ne iziskuje dugoročne investicije. U slučaju prekida rada sistema šteta je mala jer je rizik sveden na minimum zbog malog broja korisnika. Sistem je dobro prilagodljiv zahtevanom stepenu tretmana otpadne vode prema kriterijumu kvaliteta vode za navodnjavanje. Ovaj sistem se prostorno - planski može dobro uklopiti u okruženje. Za upravljanje i održavanje postoji problem kvalifikovanog osoblja. Kod ograničenog prostora postoji problem lociranja i nepovoljni uticaj na životnu sredinu. Nepravilnom manipulacijom može doći do povećanja rizika po zdravlje. Realna je mogućnost neprihvatanja koncepta od strane korisnika, što podrazumeva prethodnu kampanju edukacije. Preduslov za primenu je izrada pilot sistema u različitim sredinama i uspostavljanje podzakonske regulative.

## 6. REFERENCE

[1] Dalmacija B., Bečelić-Tomin M., Klašnja M., Rončević S., Krčmar D., Agbaba J., Tričković J., Karlović E., Pešić V.: *Osnovi upravljanja*

*otpadnim vodama*, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad, 2010.

- [2] Klašnja M., Gaćeša S., Grujić O., Šćiban M.: *Ekološko rešavanje problema otpadnih voda agroindustrije korišćenjem u poljoprivrednoj proizvodnji*, *Zaštita životne sredine i poljoprivreda*, Savremena poljoprivreda 41, br.6, str. 72- 75, 1993.,
- [3] Klašnja M. i Gaćeša S.: *Voda u industriji slada i piva*, *Pivarstvo*, Vol 28, No. 1-2, str 20-31, 1995.
- [4] Anonim. 2009. *Strategija vodosnabdevanja i zaštite voda u AP Vojvodini*, Departman za hemiju, PMF Novi Sad, 2009.
- [5] UPIOV projekat - *Utvrdjivanje Podataka o Infrastrukturi Otpadnih Voda u Republici Srbiji sa on-line merenjima sastava i količina otpadnih voda na reprezentativnim opštinama*, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Novi Sad, 2012.
- [6] Statistički podaci-Životna sredina, Republički zavod za statistiku, ISSN 0353-9555, Republika Srbija, <http://webrzs.stat.gov.rs/WebSite/Public/PageView.aspx?pKey=198>
- [7] Veljković N.: *Unapređenje kvaliteta vode kod lokalnih vodovoda i kanalizacije manjih mesta u Srbiji*, Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo, str. 80 -85, Beograd, 2010.
- [8] *Istraživanje kapaciteta i prostornog rasporeda postrojenja za tretman otpadnih voda uz procenu količina i razvoj mogućih opcija za tretman mulja na teritoriji AP Vojvodine*, Pokrajinski sekretarijat za urbanizam, graditeljstvo i zaštitu životne sredine, Novi Sad, 2013.

**Autori: M.Sc. Miodrag Živančev, M.Sc. Bojan Batinić, M.Sc. Bojana Tot**, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet Tehničkih Nauka, Departman za inženjerstvo zaštite životne sredine i zaštite na radu, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485 2459, Fax: +381 21 455-672.

E-mail: [miodragzivancev@uns.ac.rs](mailto:miodragzivancev@uns.ac.rs)  
[bojanbatinic@uns.ac.rs](mailto:bojanbatinic@uns.ac.rs)  
[bojanatot@uns.ac.rs](mailto:bojanatot@uns.ac.rs)

**Medić, V.****MOGUĆNOSTI KORIŠĆENJA BIOMASE PRIKAZANE NA PRIMERU JEDNE  
OPŠTINE**

**Rezime:** U radu su prikazani postupci korišćenja čvrste biomase kao obnovljivog izvora energije sa naglaskom na potencijale, mogućnosti i prepreke korišćenja poljoprivrednih ostataka u opštini Bačka Topola. Cilj je bio da se prikažu raspoloživost i mogućnost primene biomase, sprovođenje mera podsticaja u ovoj oblasti kao i glavne prepreke i poteškoće.

**Ključne reči:** biomasa, poljoprivredni ostatak, obnovljivi izvori energije

**1. UVOD**

Alternativni izvori energije imaju važno mesto u svakoj energetskoj diskusiji, a podstaknuti evropskom regulativom, dobijaju sve značajnije mesto i u srpskoj energetici. Potrebno je sagledati potencijale svakog od obnovljivih izvora energije i tražiti puteve njihove maksimalne iskorišćenosti. Od Republike Srbije se očekuje doprinos očuvanju životne sredine kroz zamenu fosilnih goriva obnovljivim izvorima energije, a ocenjeno je da je sa promenama najbolje da se krene sa nivoa opštine. Sa druge strane, razvoj sektora obnovljivih izvora energije može pomoći u aktiviranju rada malih i srednjih preduzeća, povećanju zaposlenja kao i regionalnom razvoju zemlje. Brojna naučna i praktična istraživanja usmerena su upravo na mogućnosti upotrebe biljnih ostataka kao potencijalnog energenta, što je logičan izbor obnovljivog izvora energije za AP Vojvodinu, kao i za opštinu Bačka Topola.

**2. DEFINICIJA BIOMASE I NJENO  
ENERGETSKO ISKORIŠĆAVANJE****2.1. Pojam i vrste biomase**

Direktiva 2001/77/EC daje definiciju biomase: Biomasa predstavlja biorazgradivi deo proizvoda, otpada i ostataka u poljoprivredi (uključujući biljne i životinjske supstance), u šumarstvu i pripadajućoj industriji, kao i biorazgradivi deo industrijskog i gradskog otpada. Ova definicija biomase koja je data u Direktivi na nivou je inicijalne definicije, očekujući da će zemlje za sebe definisati znatno preciznije šta se podrazumeva pod pojmom biomase.

Kada se govori o biomasi kao obnovljivom gorivu, podrazumeva se materija sačinjena od biljne mase u vidu proizvoda, nusproizvoda, otpada ili ostataka te biljne mase. Najšire

prihvaćena podela biomase kao obnovljivog izvora energije je na čvrstu, tečnu i gasovitu.

Čvrstu biomasu čine ostaci ratarske proizvodnje, rezidbe iz voćarstva i vinogradarstva, ostaci iz šumarstva, biljna masa brzorastućih biljaka, deo selektovanog komunalnog otpada, ostaci iz drvoprerađivačke industrije, ostaci prerade poljoprivrednih proizvoda i drugo.

Pod tečnom biomasom podrazumevaju se tečna biogoriva – biodizel i bioetanol.

Biogas predstavlja gasovitu biomasu i on može da se proizvede iz životinjskih ekskremenata ili energetskih biljaka, ali kao sirovina mogu da posluže i druge otpadne materije. [1]

**2.2. Postupci korišćenja biomase**

Glavne karakteristike biomase su velika vlaga i mala energetska vrednost po jedinici mase tako da se prvo mora izvršiti prerada biomase sa ciljem dobijanja pogodnijeg oblika za transport, skladištenje i upotrebu. U većini današnjih postrojenja, gde se kao energent koristi biomasa, se nalaze sistemi sa direktnim sagorevanjem koji su slični onima na fosilna goriva. Spektar tehnologija za preradu biomase koje se mogu koristiti je veoma širok i u praksi se pri izboru optimalnog procesa nailazi na ozbiljne probleme. Osnovni nedostaci ogledaju se u kratkom periodu korišćenja i još uvek nedokazanom efikasnošću postojećih tehnologija, pogotovo onih koje se tiču termičke obrade biomase i maloj fleksibilnošću u pogledu vrste biomase. Dok je za šumsku biomasu izbor tehnologija dosta širok, poljoprivredna biomasa nailazi u praksi na niz veoma značajnih teškoća. U daljem tekstu su nabrojane neke od tehnologija i metoda koje se najčešće koriste prilikom energetskog iskorišćavanja biomase.

Kogeneracija je pojam, koji označava kombinovanu proizvodnju električne i toplotne energije. Ovako kombinovanom proizvodnjom električne i toplotne energije može da se poveća

ukupni stepen korisnosti primarne energije goriva, koji u nekim slučajevima dostiže i preko 85 % [1]. Gasifikacija čvrstog goriva predstavlja termički proces razgradnje čvrstih materijala pri povišenim temperaturama u cilju dobijanja gasovitog goriva. Gasifikacija je termohemijski proces koji se ostvaruje kada se biomasa zagreva u sredini sa smanjenim prisustvom kiseonika i tada dolazi do proizvodnje gasa, niske ili srednje toplotne vrednosti koji sadrži ugljen-monoksid i vodonik. Piroлиза je postupak termičke dekompozicije, pri kojoj se materijal zagreva spoljašnjim izvorom toplote bez prisustva vazduha, a kao rezultat se dobija mešavina čvrstog, tečnog i gasovitog goriva. Drveni ugalj, koji je produkt pirolize, gori na mnogo višim temperaturama nego prvobitna biomasa, što ga čini korisnijim u procesima proizvodnje.

Biodizel je hemijsko jedinjenje koje se dobija esterifikacijom, odnosno hemijskom reakcijom viših nezasićenih masnih kiselina i alkohola u prisustvu katalizatora. Za dobijanje biodizela mogu se koristiti ulja dobijena iz uljane repice, suncokreta, soje, palme ili drugih uljarica, životinjske masti ili reciklirano jestivo ulje. Biodizel je neotrovan, biorazgradiv, a kada se uporedi sa konvencionalnim dizelom ima značajno nižu emisija štetnih jedinjenja.

Tehnologija briketiranja – peletiranja je postupak prilikom kojeg se usitnjeni materijal, pod visokim pritiskom, pretvara u kompaktnu formu velike zapreminske mase, pogodne za dalju manipulaciju i korišćenje. Briketiranje je tehnologija kojom se mehaničkim sabijanjem prevazilazi jedan od dva osnovna nedostatka biomase

- njena velika zapremina, zbog koje je njen transport na veću udaljenost neekonomičan,
- nemogućnost korišćenja biomase u već postojećim ložištima.

### **3. POTENCIJAL BIOMASE U OPŠTINI BAČKA TOPOLA**

Poljoprivreda ima potencijal da postane veliki izvor energije, zato što je količina proizvedene biomase na godišnjem nivou značajna, a samim tim i mogućnosti dobijene energije. Trenutno korišćenje biomase kao energenta je zanemarljivo i trebali bi se uložiti napor da se ovakva nepovoljna situacija u budućnosti izmeni. U opštini Bačka Topola, kao biomasa za energetske svrhe, raspoloživi su gotovo isključivo biljni ostaci ratarske proizvodnje i mala količina ostataka bagerema i topole. Plodno zemljište zauzima površinu od 53.900 ha, dok je pod neplodnim zemljištem 5.687 ha. Učešće šumskog zemljišta u opštini je samo 1,01 %, što je znatno ispod

proseka u AP Vojvodini. Kod proizvodnje pšenice i kukuruza evidentno se da u odnosu na privatna gazdinstva mnogo bolji prinosi postižu u preduzećima i zadrugama, tako da bi se u daljim istraživanjima trebalo fokusirati upravo na njih. Opština Bačka Topola, kod proizvodnje kukuruza i pšenice, uglavnom ostvaruje rezultate po pitanju prinosa iznad republičkog proseka.

#### **3.1. Povećanje potencijala iskorišćavanja biomase**

Postoji potencijal u proizvodnji toplotne i električne energije pomoću energetskih sistema koji kao ulaz koriste čvrstu biomasu. Posebna pažnja bi se trebala posvetiti posmatranju onih sistema koji koriste biomasu iz poljoprivrede kao što su kukurozovina i slama, pošto je pod zasadima kukuruza odnosno pšenice najveći broj obradivih površina.

S obzirom da je ustanovljeno da potencijali na nivou opštine postoje, dalji korak ka razvijanju i iskorišćenju istih predstavlja razvoj tehnologije za njeno iskorišćenje. Pored primene za grejanje i kombinovanu proizvodnju električne i toplotne energije, razvoj ide ka proizvodnji tečnog goriva i ka proizvodnji lignoceluloznog etanola. Pored toga, dalji razvoj uobičajenih postrojenja za konverziju biomase u toplotnu energiju takođe se unapređuje, sa ciljem ostvarenja višeg stepena iskorišćenja, boljih ekonomskih pokazatelja i smanjenja emisije štetnih produkata. Težnja je, pored ostalog, da cena postrojenja bude što niža, odnosno prihvatljiva za širok broj potencijalnih korisnika. Dodatna povoljnost bi bila to što oprema za nove tehnologije proizvodila mogla da se proizvodi u zemlji što bi doprinelo doprinele bi celokupnom razvoju.

Neophodni su istraživački i razvojni napor, koji bi bili usmereni ka povećanju površina poljoprivrednog zemljišta i prinosa, uz istovremeno očuvanje plodnosti zemljišta. Jedan od bitnih zadataka jeste i utvrđivanje realnih prinosa biljnih ostataka, kao i količine, koja može bez negativnih posledica, pre svega na plodnost zemljišta, da se koristi za energetske svrhe.

Proizvodnja i energetska korišćenje brzorastućeg bilja već dugo je predmet raznih istraživanja. U AP Vojvodini prednost treba dati brzorastućim šumama, pre svega topoli. S obzirom da je šumovitost na površini Opštine izrazito mala, trebalo bi detaljnije raditi na povećanju zelenih površina i pronalaženju optimalnih vrsta brzorastućeg drveća, koje bi se moglo saditi u cilju njihovog energetskog iskorišćavanja.

Najveće mogućnosti za Opštinu Bačka Topola su u pojedinačnom grejanju stambenih kuća kao i za mala i srednja postrojenja. Veliki problem

pojedinačnog grejanja predstavljaju visoka emisija štetnih materija. Povećanje potencijala biomase bi se postiglo povećanjem energetske efikasnosti i stepena korisnosti generatora toplote. Ekonomičniji rad postrojenja za grejanje stambenih objekata može da se postigne ukoliko se izabere generator toplote koji ne zadovoljava maksimalnu snagu, iz razloga što je maksimalna snaga retko neophodna. Mogućnost plasmana toplotne energije, koja bi bila produkt kogenerativnog postrojenja, ima velik uticaj na ekonomske pokazatelje. U tom smislu značajna je dužina angažovanja postrojenja tokom godine, količina toplotne energije koja se iskoristi, kao i promena količine tokom vremena. Bilo bi poželjno da je postrojenje na takvoj lokaciji koje je relativno blizu potrošača. Vrelovodi, do udaljenih potrošača, povećavaju troškove investicije i gubitke u transportu.

### 3.2. Trenutno stanje u Opštini Bačka Topola

Najveći udeo poljoprivrednih površina je zasaden kukuruzom i pšenicom, te je istraživanje bilo usmereno ka analizi tehnologija za povećanje prinosa ovih biljnih vrsta i tehnologija ubiranja, transporta, skladištenja, prerade i konvertovanja u energiju. Prinos oklaska kukuruza obračunava se uzimajući u obzir u proseku oko 1,4 t/ha, prinos slame strnih žita je 2,5 t/ha, a slame soje oko 3 t/ha. Ove su vrednosti na nivou malo ispod prosečnih i predstavljaju realan prinos koji se može ostvariti i u uslovima manjih padavina i lošijeg prinosa [2].

Korišćenjem dobijenih podataka žetvene strukture za 2010/2011 godinu dolazi se do zaključka da su raspoloživi biljni ostaci, koji bi se potencijalno mogli koristiti u energetske svrhe, sledeći:

Kukuruz–površina 29.000 ha → 40.000 t ostataka,

Slama–površina 11.000 ha → 27.000 t ostataka,

Soja–površina 2.200 ha → 6.600 t ostataka.

Pomoću podataka dobijenih iz setvene strukture izračunato je da je na raspolaganju godišnje oko 74.000 t biomase, koja bi mogla da se koristi kao izvor energije. Energetska vrednost biomase, posle primarne konverzije iznosi oko 9 MJ/kg ili 2,5 kWh/kg, tako da se na osnovu ovih vrednosti ocenjuje da bi neto toplotna energija biljnih ostataka, na godišnjem nivou bila oko 185 GWh. Ukoliko bi se celokupna biomasa koristila za proizvodnju električne energije godišnje bi moglo da se generiše oko 46,3 GWh električne energije.



Slika 1. Predlog lokacije postrojenja i pozicije toploвода

### 3.3. Glavne poteškoće

Pored mnogih prednosti koje ima eksploatacija biomase, takođe je potrebno naglasiti i njene određene nepogodnosti kao što su:

- problemi oko sakupljanja i skladištenja,
- periodičnost nastanka biomase,
- mala toplotna moć svedena na jedinicu zapremine,
- razuđenost u prostoru,
- nepovoljan oblik i visoka vlažnost biomase,
- visoke ekonomske investicije u postrojenja,
- narušavanje poljoprivredne proizvodnje.

Nepovoljna ekonomska i tehnološka situacija u našoj zemlji, posebno u ruralnim sredinama, predstavlja ogromnu prepreku ka iskorišćenju biomase. Tehnološka opremljenost, kao i planiranje, sakupljanje i skladištenje na samom izvoru sirovine, predstavlja bitnu kariku u veoma složenom procesu, koji je potrebno ispoštovati u cilju efikasnog funkcionisanja postrojenja na biomasu. Veliki problem predstavljalo bi i obezbeđenje dovoljne količine biomase kojom je potrebno konstantno snabdevati postrojenje.

Sa stanovišta Opštine Bačka Topola najveći potencijal predstavljalo bi korišćenje poljoprivredne biomase kao što su kukuruzovina, slama i soja. Ali tada se nailazi na problem zato što je korišćenje slame kao goriva složeno, jer se sagorevanjem slame dobija velika količina pepela za koji bi se, moralo naći trajno rešenje odlaganja. Takođe, cene takvih postrojenja su visoke i ocenjuje se da su neprihvatljive za uslove u Republici Srbiji.

Dalji problemi se ogledaju u tome što zemljište predstavlja, u toku ljudskog veka, neobnovljivi resurs, koji mora da se očuva. To se posebno

odnosi na odnošenje biljnih ostataka ratarske proizvodnje. Odnosanjem žetvenih ostataka u cilju njihovog korišćenja kao sirovine ili goriva smanjuje se količina organske materije, koja može da se vrati u zemljište, što ima određenog uticaja na njegove osobine i plodnost.

Rezerve mineralnih materija u biljnim ostacima teško i sporo su dostupne, mada velika količina biomase u zemlji može da utiče i negativno na plodnost, stvarajući mogućnosti za razvoj biljnih bolesti i ometajući kontakt semena sa zemljom, odnosno vodom i hranljivim materijama. Kada se sve ove činjenice uzmu u obzir, istraživanjima se došlo do grube procene da odnošenje oko jedne trećine biljnih ostataka ne bi prouzrokovalo posledice na plodnost zemljišta. Današnja, široko primenjivana praksa sagorevanja biljnih ostataka na njivi predstavlja najveću štetu za očuvanje zemljišta.

Još jedan od problema koji se nameće je da proizvođači generatora toplote daju podatak samo za stepen korisnosti pri nazivnoj termičkoj snazi i skoro uvek za najbolji kvalitet goriva i optimalne pogonske uslove. Pri izboru tehnologija se mora uzeti u obzir da je stepen korisnosti pri parcijalnim snagama i promenljivim pogonskim uslovima uvek niži. Prosečan godišnji stepen korisnosti, za savremena postrojenja koja koriste pelete drveta, iver i cepanice je niži od maksimalnog za 5 do 15 %. Na ovaj podatak bi trebalo da se obrati pažnja pri izboru tehnologija

#### 4. ZAKLJUČCI

Definisanje energetske potencijala biomase sprovedeno je tako što je sagledana setvena struktura Opštine, kao i prosečni godišnji prinosi biljnih ostataka koji bi mogli da se koriste u energetske svrhe. Pored raspoloživih količina u obzir treba da se uzme, koje količine realno mogu da se prikupe, te da se od njih oduzmu količine, koje se koriste za druge namene, na primer za prostirku ili stočnu hranu. Na osnovu sprovedenog istraživanja jasno je da je u Opštini Bačka Topola, u oblasti obnovljivih izvora energije biomasa ima značajan potencijal. U buduću bi on mogao i da se poveća, ali uzimajući u obzir proizvodnju hrane i očuvanje plodnosti zemljišta, trebalo bi da se fokusira gajenje brzorastućeg energetskog bilja. Da bi se to ostvarilo potrebno je da se prate dostignuća u ovoj oblasti. Ostvarenje tih mogućnosti trebalo bi da bude tema posebnog projekta, kojim bi se sagledale biljne vrste, raspoloživo zemljište po kategorijama i pogodnostima za gajenje biljnih vrsta, postupak ubiranja i pripreme za energetske primenu i ostalo. Sve aktivnosti moraju da budu praćene i

razmatranjem uticaja na plodnost zemljišta, kao neobnovljivog resursa životne sredine.

Ocenjuje se da korišćenjem isključivo potencijala Opštine, za sada, nema uslova za izgradnju postrojenja za kombinovanu proizvodnju električne i toplotne energije. Ovakva postrojenja su kompleksna, kako sa tehničkog stanovišta, tako i u pogledu ostvarivanja dobrih ekonomskih pokazatelja. Takođe su velika, tako da bi snabdevanje dovoljnom količinom biomase, koja je potrebna za optimalan rad postrojenja, bio veliki problem.

Glavni zaključak je da bi bilo potrebno da se jednom u dve godine izrađuje opštinski akcioni plan, koji obrađuje problematiku energetske efikasnosti i korišćenja obnovljivih izvora energije. Takođe je bitno da se neprekidno prate propisi i podsticaji u ovoj oblasti, kao i napredovanje tehnologije, te ocenjuje njihova primenljivost u Opštini Bačka Topola.

Pitanja održivog razvoja se ne odnosi samo na društvenu svest za potrebom očuvanja životne sredine, već predstavljaju i zakonsku obavezu, te je stoga korišćenje biomase kao obnovljivog izvora energije, podsticano svim dokumentima u oblasti energetike na svetskom, evropskom i nacionalnom nivou. Biomasa je u AP Vojvodini i Opštini Bačka Topola obnovljivi izvor energije sa ubedljivo najvećim potencijalom, što je diktirano geografskim, geološkim i klimatskim uslovima. Njenim korišćenjem Opština Bačka Topola bi se uklopila u sadašnje i buduće nacionalne ciljeve Republike Srbije, smanjila bi se emisija štetnih materija u atmosferu, a takođe bi se omogućilo maksimalno iskorišćenje ljudskih i materijalnih resursa.

#### 5. REFERENCE

- [1] Martinov M, Đatkov Đ, Dragutinović G, Brkić M, Pešenjanski I, Veselinov B, Kiš F, Milojević-Veselinov S, Tešić M, Đaković D. 2008. *Mogućnosti kombinovane proizvodnje električne i toplotne energije iz biomase u AP Vojvodini*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
- [2] Martinov M, Tešić M, Brkić M. 2006. *Ostaci biljne proizvodnje kao izvor energije - case study opština Bečej*, PIK 'Bečej', Savremena poljoprivredna tehnika 32(1-2): 10-17.

**Autor: M.Sc. Vesna Medić**, Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Institut za Proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2306.

E-mail: [medicv@uns.ac.rs](mailto:medicv@uns.ac.rs)

Mandić, A., Hodolič, J.

RECIKLAŽNE TEHNOLOGIJE U KOMPANIJI CIMOS – LIVNICA KIKINDA

**Rezime:** Tema ovog rada je reciklaža otpadnog metala i kaluparskog peska u automatizovanoj proizvodnji nodularnog liva u Kompaniji Cimos – Livnica Kikinda. U radu se govori o reciklaži metala i reciklaži gvožđa kao jednom od otpadnih materijala koji se najviše reciklira, reciklaži metalne strugotine i reciklaži fabričkog peska. Poseban osvrt dat je na predloge poboljšanja reciklaže fabričkog peska, briketiranju metalne strugotine kao jednom od predloga poboljšanja procesa u Kompaniji Cimos i primeni fabričkog peska u drugim industrijama.

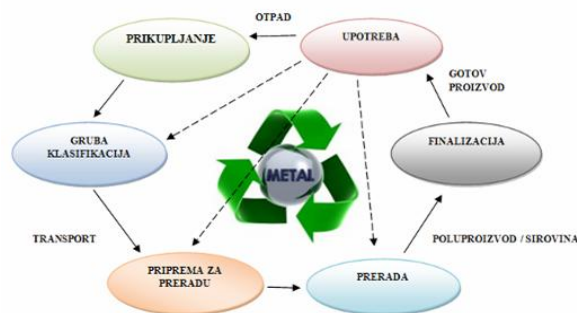
**Ključne reči:** reciklaža - otpadnog metala, kaluparskog peska, metalne strugotine

1. UVOD

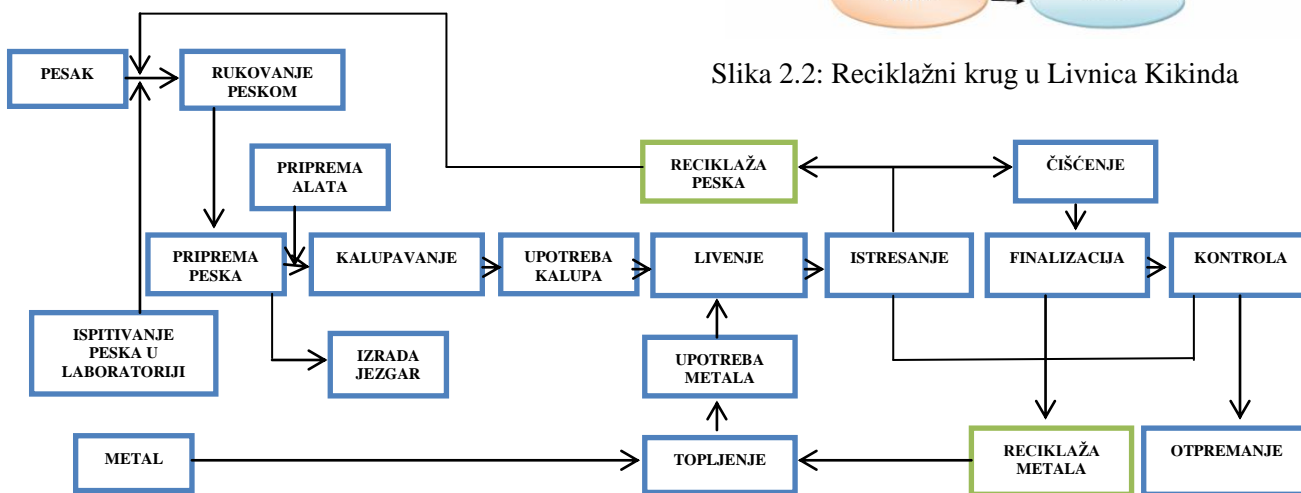
Reciklaža (ponovno iskorišćenje) sekundarnih sirovina polako, ali sigurno ulazi u svest ljudi. Sadašnje stanje u vezi sa reciklažom u Srbiji nije na zadovoljavajućem nivou. Poslednjih godina intenzivno se radi na podizanju svesti stanovništva, na edukaciji i upoznavanju sa postupkom reciklaže i sakupljanju sekundarnih sirovina.

koji nastaju u toku proizvodnje, ostaci ulivnog sistema, strugotina i metalni otpad koji se otkupljuje od fizičkih i pravnih lica. Takav otpad se dalje koristi kao sirovina. Reciklažni krug u Livnici Kikinda prikazan je na slici 2.2.

2. RECIKLAŽNE TEHNOLOGIJE U KOMPANIJI CIMOS – LIVNICA KIKINDA



Slika 2.2: Reciklažni krug u Livnici Kikinda



Slika 2.1: Reciklažne tehnologije u LK

2.1 Tok metalnog otpada

Postupak reciklaže metalnog otpada u Kompaniji Cimos – LK odvija se u koracima koji su ustaljeni i obavljaju se duži niz godina. Postupak tretiranja metalnog otpada u LK je definisan internim dokumentima koji su napisani u skladu sa zakonom o upravljanju otpadom.

Kao metalni otpad pojavljuju se škart delovi

Škart delovi i strugotina, kao materijal koji se reciklira, sakupljaju se i odvajaju u posebnim kontejnerima. Razvrstavanje otpadnog metala se vrši prema vrsti materijala: čelik, nodularni liv, sivi liv, aluminijum itd.

U škart delove ubrajaju se: neispravni odlivci, neispravni delovi koji su nastali u procesu mašinske obrade, tela alata (nosači pločica) bez reznih pločica (rezne pločice zbog svojih

svojstava tj. sastava ne smeju se koristiti u postupku livenja).

Transport kontejnera se vrši prevoznim sredstvima koja su predviđena za ovu namenu i to su uglavnom viljuškari i kamioni (slika 2.3).



Slika 2.3: Viljuškar i kamion

Nakon prevoza, metalni otpad se skladišti i koristi po potrebi. Skladišta su opremljena sredstvima za manipulaciju i tu spadaju pokretne trake i magneti koji se koriste za prenos otpada iz skladišta do peći.

Može se opisati i jedan postupak sakupljanja strugotine iz pogona Metalac koji čini deo navedene firme. Pomoću pokretnih traka strugotina se sa mašine odvodi u kontejnere koji se viljuškarcima odnose i prazne u veći kontejner. Dno tog kontejnera je oblika sita i on služi za ceđenje strugotine tj.odvajanje preostalog SHP sredstva. Iz kontejnera SHP sredstvo se cedi u tepsije koje se nalaze ispod kontejnera. Iz tepsijese pimpom SHP sredstvo prebacuje u magnetni prečištač, strugotina se pomoću magnetnog prečištača odvaja iz SHP sredstva i pada u taložnik. Kao filter u postupku prečišćavanja koristi se papir. Tako filtrirano SHP sredstvo se vraća u rezervoare mašina. Nakon ceđenja strugotina se odnosi u pogone za livenje i od nje se u postupku livenja prvo izrađuju ingoti (slika 2.4) koji se kasnije koriste kao šarže odnosno punjenja za peći.



Slika 2.4: Izgled ingota

## 2.2 Predlog poboljšanja reciklaže strugotine

Mnogi industrijski proizvodni procesi imaju i mehaničku obradu livenih delova struganjem, glodanjem i bušenjem. Tako dobijena strugotina može ponovo da se upotrebi. Iako livene delove tradicionalno mašinski obrađuju specijalizirane

fabrike kao dobavljači drugih industrija, tržišni je trend da se gruba i završna mašinska obrada obavlja u samim livnicama.

Fabrike specijalizovane za mašinsku obradu prodaju strugotinu kao otpadni materijal, dok livnice isti koriste kao povratni materijal ili ga prodaju trgovinama otpadnog materijala.

Briketiranje metalne strugotine može da bude visoko profitabilna proizvodnja za fabrike koje vrše mašinsku obradu. Mašinska obrada i briketiranje koje može da vrši sama livnica u vlastitom pogonu smanjuje troškove i do 100 evra po toni briketiranog materijala. Takođe, pri transportu i skladištenju briketi imaju izvesne prednosti.

U samom lancu reciklaže strugotine nakon mašinske obrade delova od nodularnog liva u Livnici Kikinda nedostaje presa za izradu briketa (slika 2.5) čime bi se smanjili troškovi i vreme reciklaže strugotine, jer bi se u postupku izostavila izrada ingota, a samim tim bi došlo do velike uštede u vremenu i energiji. Takođe, manje bi se zagađivala životna sredina, jer bi se smanjila emisija štetnih gasova i prašine koji predstavljaju prateće pojave procesa topljenja. Treba navesti da su briketi mnogo bolja sirovina za sam postupak topljenja, nego što je to strugotina. Ovo se potvrđuje činjenicom da, ako se kao sirovina u procesu topljenja koristi strugotina, zbog visokih temperatura imamo pojavu da velik procenat strugotine sagori što na kraju rezultuje manjom količinom liva.



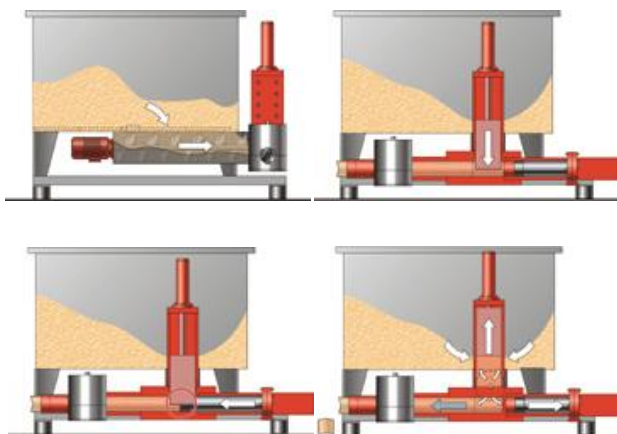
Slika 2.5: Presa za briketiranje metalne strugotine i izgled metalnog briketa

Hidraulična presa za izradu briketa od metalne strugotine pomoću sile sabija materijal u kompaktne brikete. Prilikom ovog procesa dolazi do menjanja karakteristika materijala tako da se dobija proizvod koji je po svojim osobinama sličan osnovnom sirovom materijalu. Ovako dobijeni briketi mogu se koristiti u ponovnom procesu topljenja i izradi novih proizvoda. Na slici 2.6 date su četiri faze u proizvodnji briketa od metalne strugotine:

- faza 1 - doziranje metalne strugotine;
- faza 2 - nabijanje strugotine hidrauličnom presom;



- faza 3 – pravljenje briketa pod pritiskom;
- faza 4 – izbacivanje briketa.



Slika 2.6: Briketiranje metalne strugotine

### 2.3 Reciklaža kružne (upotrebljavane) kalupne mešavine

Kalupna mešavina koja se odvaja od odlivaka pri istresanju, rastresita i u komadima, mora da se reciklira i pripremi za ponovno korišćenje kao komponenta sa najvećim udelom u prerađenim mešavinama.

U fabrici, kalupna mešavina se može reciklirati veći broj puta sve dok pesak koji se prerađuje, usled toplote i mehaničke abrazije, ne izgubi svoja zahtevana svojstva za proizvodnju kaluparske forme. Preradom, pesak koji se prerađuje, gubi svoja zahtevana svojstva i takav pesak se naziva „fabrički pesak“. U daljem procesu fabrički pesak se zamenjuje novim (svežim) peskom.

Mešavina koja kruži u livačkoj proizvodnji prolazi kroz niz tehnoloških operacija čiji izbor zavisi od predviđenog tehnološkog postupka prerade. Najčešće je obavezno da se vrši:

- magnetna separacija,
- drobljenje,
- prosejavanje,
- hlađenje.

Kvarcni pesak se više puta reciklira tokom procesa proizvodnje kalupne mešavine čime se smanjuje potreba za velikim količinama skupog, novog kvarcnog peska.

Suština procesa reciklaže je:

- odstranjivanje mehaničkih nečistoća, uglavnom metalnih,
- uklanjanje sloja veziva sa površine peska,
- izdvajanje prašine i sitnih čestica,
- hlađenje,
- dobijanje zrna određene veličine i jednorodnosti.

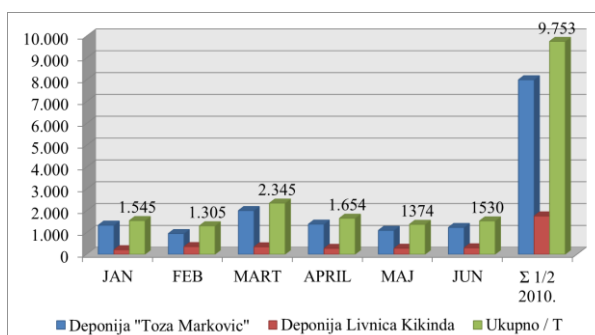
Pesak može da se reciklira na razne načine čišćenjem i izdvajanjem iz mešavine. U zavisnosti od vrste korišćene mešavine, tehnologije kalupovanja i zahteva za čistoćom peska,

primenjuje se celokupan ciklus procesa reciklaže ili samo nekoliko operacija.

### 2.4 Primena fabričkog peska u drugim industrijama

Livnice koriste velike količine peska kao jednu od komponenti u procesu livenja. Fabrike uspešno recikliraju i ponovo koriste pesak više puta. Kada se pesak više ne može koristiti, uklanja se iz fabrike i takav iskorišćeni pesak se naziva „fabrički pesak“.

U Proizvodnom centru 17 (Nodularni liv) Livnice Kikinda godišnje se izbacilo približno 6000 tona fabričkog peska, a na nivou cele Livnice Kikinda izbacilo se približno 20.000 tona. Na grafikonu 2.1 može se videti količina odbačenog fabričkog peska u prvih šest meseci 2010. godine u svim proizvodnim centrima Livnice Kikinda.



Grafikon 2.1: Količina odbačenog fabričkog peska u LK u prvih 6 meseci 2010. godine

Za razliku od drugih zemalja koje su našle veliku primenu fabričkog peska u drugim industrijama, odbačeni fabrički pesak, ne samo Livnice Kikinda, već i mnogih drugih u Srbiji, odnosi se na deponije i završava kao otpad koji nema dalju primenu.

U Americi oko 3000 fabrika godišnje izbacilo 6-10 miliona tona fabričkog peska. Karakteristično je da livnice pesak koriste više puta dok ne postane nusproizvod, međutim, u 2001. godini, samo 10% fabričkog peska recikliralo se van livničke industrije.

Trenutno od 500.000 do 700.000 tona fabričkog peska koristi se, na godišnjem nivou, u inženjerske svrhe. Najveći deo fabričkog peska se primenjuje u geotehnici, kao što je izgradnja nasipa i baze za izgradnju puteva.

Fabrički pesak ima gotovo sve osobine prirodnog ili proizvedenog peska i može da se koristi kao zamena za pesak. Upotrebljava se kao materijal za popunjavanje nasipa ili kao vruća mešavina za izradu asfalta, tečno punjenje i cementni beton. Takođe, fabrički pesak može da se drobi sa jezgrima i koristi za izgradnju baze za puteve. U tabeli 2.1 može se videti rangiranje

iskorišćenosti fabričkog peska u različitim primenama.

MESTO	PRIMENA
1.	Nasipi
2.	Osnova za izgradnju puteve
3.	Vruća mešavina za asfalt
4.	Tečno punjenje
5.	Zemljište / hortikultura
6.	Cement i cementni proizvodi
7.	Kontrola proklizavanja
8.	Druga primena

Tabela 2.1: Primena fabričkog peska u drugim industrijama



Slika 2.7: Primena fabričkog peska u izgradnji stepenastog nasipa i asfaltnog puta

Ostale oblasti inženjersva u kojima se primenjuje fabrički pesak su:

- proizvodnja cementa,
- proizvodnja maltera,
- agrikultura / dopuna zemljištu,
- za oblaganje opasnih materija,
- za posipanje puteva pod snegom i ledom,
- za rastapanje,
- za proizvodnju staklene vune,
- za proizvodnju fibreglasa,
- za pokrivanje deponija.

#### 2.4 Primena recikliranog otpadnog metala

Kao primer upotrebe recikliranog metalnog otpada može se prikazati proizvodni program nodularnog liva Kompanije Cimos - Livnica Kikinda, gde u proizvodnji novih delova veoma velik udeo ima metalni otpad. Proizvodni program Livnice u Kikindi zasniva se na proizvodnji delova za potrebe automobilske industrije.

Razne vrste izduvnih grana, turbo cevi, turbo izduvnih grana (slika 2.8), nosača motora, kućišta turbina (slika 2.9) – proizvode se od nodularnog i legiranog nodularnog liva.



Slika 2.8: Turbo cev i turbo izduvna grana, Ford



Slika 2.9: Nosač motora (PSA), kućište turbine, Fiat

### 3. ZAKLJUČAK

Širom sveta razvoj i ekspanzija industrijskih procesa i neprestano uvođenje u proizvodnju novih proizvoda stvara sve veće količine opasnog otpada koji predstavlja potencijalnu pretnju životnoj sredini i javnom zdravlju. Čovek je, sa svojim aktivnostima, odlučujući činilac u menjanju i zagađivanju okoline. Korišćenje savremenih sredstava zaštite čovekove radne i životne sredine nužan je zahtev savremenog tehnološkog napretka.

Problem sa kojim se suočavaju mnoge livnice u našoj zemlji jeste odlaganje fabričkog peska na deponije umesto da se istom nadje primena u drugim granama industrije. Sve je više deponija na kojima se otpad odlaže, a koje degradiraju tlo, smanjuju površinu obradivog zemljišta i postaju potencijalni izvori zaraze ljudi i životinja. Reciklaža značajno smanjuje količinu otpada koji se odlaže na deponije, a samim tim i njihovo širenje.

### 4. REFERENCE

- [1] Branković, dr M.: *Tehnologija livačkih kalupa*, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 1982
- [2] [www.industrialresourcescouncil.org/Materials/FoundrySandsSlags/tabid/364/Default.aspx](http://www.industrialresourcescouncil.org/Materials/FoundrySandsSlags/tabid/364/Default.aspx)

**Autor: Aleksandar Mandić**, Cimos - Livnica Kikinda, Bašaidski put bb, 23300 Kikinda, Serbia, Tel: +381 63 101 2723.

**Prof. dr Janko Hodolič**, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija  
E-mail: [aleksandar.mandic81@gmail.com](mailto:aleksandar.mandic81@gmail.com)  
[hodolic@uns.ac.rs](mailto:hodolic@uns.ac.rs)

**Sovilj-Nikić, I., Radujkov, D., Sovilj-Nikić, S., Mudrinić, A., Sovilj, B., Kusić, G.**

## **UTICAJ NIVOVA BUKE NA LJUDSKI ORGANIZAM UZROKOVANE RADOM UREĐAJA U ŠTAMPARIJI**

**Rezime:** Postoje procene da je problem buke i vibracija dominira u ovom našem trećem milenijumu. Povećanje nivoa buke i vibracija zbog niza negativnih efekata zahtevaju da se pronađu efikasna rešenja zaštite uključujući razvoj i proizvodnju tehnološke opreme sa smanjenjem nivoa emitovanja akustične energije. U ovom radu se na osnovu savremenih teorijskih shvatanja buke i njenog uticaja na okolinu izvršena merenja akustičnih karakteristika buke pri radu uređaja u štampariji, data analiza uticaja buke na ljudski organizam i predlozi za projektovanje i realizaciju mera zaštite od buke.

**Ključne reči:** Buka, vibracije, štamparija

### **1. UVOD**

Danas buka i vibracije predstavljaju najznačajnije zagađivače čovekove radne i životne sredine, odmah iza problema sa zagađenjem vazduha. Buka i vibracije su značajni pokazatelji kvaliteta proizvoda i tehnološkog nivoa proizvodne organizacije. Svaki tehnološki sistem proizvodi određeni nivo buke i vibracija, što utiče na zaposlene u rodnoj sredini kao i u okruženju van industrijske lokacije. U svim takvim slučajevima tehnički propisi koji se odnose na opasne posledice buke i vibracija u radnoj i životnoj sredini moraju da budu ispunjeni. [1]

Najrazvijenije zemlje i progresivne kompanije pokušavaju da prilikom razvoja svojih proizvoda i tehnologiji primene savremena znanja u cilju smanjenja buke i vibracija. U većini industrijskih razvijenih zemalja istraživanja osnovnih faktora zagađenja okoline pokazuju da buka i vibracije zauzimaju treće mesto posle zagađenja vazduha i vode. [2]

Savremena znanja, međunarodni projekti mogu dovesti da se zaustavi povećanje buke. Nivo buke i vibracija koje emituje neki proizvod, pored dokaza o svom kvalitetu takođe utiče na pouzdanost i trajnost proizvoda. [3,4]

Razvoj novih proizvoda i težnja da se poveća produktivnost tehnološke opreme dovodi do povećanja insatlisanih snaga, povećanja brzine i automatizaciju procesa poslovanja. To je jedan od razloga za povećanje nivoa vibracija, što dovodi do povećanja ukupnog nivoa buke koja se emituje. Upotreba zvučnih izolacionih i upijajućih materijala na način koji nije adekvatan izaziva visok nivo buke kako u samoj radnoj sredini tako i u svojoj okolini. [5,6]

### **2. DIJAGNOSTIKA VIBRACIJA I BUKE U PROIZVODNIM POGONIMA**

Unutar svih tehničkih sistema koji imaju pokretne delove dolazi do generisanja mehaničkih sila prilikom obavljanja funkcije cilja. Mehaničke sile kao pobudne sile dovode do oscilovanja tehničkog sistema, tako da se praćenjem oscilatornog ponašanja sistema može zaključiti u kakvom se stanju nalazi posmatrani tehnički sistem. Merenje i analiza vibracija je jedna od osnovnih metoda za dijagnostiku savremenih tehničkih sistema. Vibracije nastaju kao posledica mehaničkih sila koje se generišu unutar tehničkih sistema i najčešće nastaju usled:

- neuravnoteženosti obrtnih masa
  - prelaznih režima u toku eksploatacije (zaletanje, usporavanje, udari i dr.)
  - habanje tribomehaničkih elemenata u kontaktu (kotrljajni i klizni ležajevi, zupčanici, kaišnici...)
  - osnovne funkcije cilja tehničkog sistema (vibracioni transporter, vibraciona sita...)
- Sveobuhvatnost vibrodijagnostike je najbolje ilustrovana činjenicom da se pomoću nje mogu identifikovati skoro svi od najčešći otkazi tehničkih sistema .

Kod najvećeg broja tehničkih sistema vibracije su nepoželjne jer:

- intenziviraju proces habanja svih pokretnih elemenata,
- izazivaju lom mehaničkih komponenta
- dovode do slabljenja razdvojivih veza (zavrtnji, klinovi...)
- dovode do otkaza elektronskih komponenata i sistema
- dovode do oštećenja izolacije kablova koji se dodiruju,
- Prouzrokuju buku
- izazivaju oštećenja i oboljenja kod čoveka. [7]

Često se u literaturi može naći da buka kao dijagnostički parametar razmatra u okviru oscilatornog ponašanja, pa se ova metoda zove još i vibrodijagnostičkom metodom. Zbog određenih specifičnosti koje odlikuju metodu merenja i analize buke bolje je izvršiti razdvajanje ove dve metode.

Buka može da ukaže na potencijalni problem kod tehničkih sistema i njenim merenjem i analizom moguće je identifikovati uzrok povišenog nivoa buke. Uvelikom broju slučajeva je teško izvršiti akustičko izolovanje posmatranog tehničkog sistema od okolne buke, čime je sam postupak utvrđivanja stanja merenjem i analizom buke otežan.

Buka se meri iz sledećih razloga:

- buka može da se ukaže kao potencijalni problem koji može da dodvede do otkaza tehničkih sistema,
- da bi se utvrdilo da li nivoi buke prelaze propisane nivoe
- da bi se utvrdili i izolovali izvori buke
- da bi se procenio uticaj buke na radnike koji se nalaze u takvom okruženju i procenio rizik od oštećenja sluha.
- jer najnoviji mstandardi nalažu da se tokom razvoja novih mašina usvoji ono rešenje koje će stvoriti najniži nivo buke i sl.

Opšteprihvaćeni opsezi koji se koriste u oblasti analize buke su aktivni opsezi. Ceo akustički opseg može se, u principu, opisati samo pomoću merenja zvučnog pritiska. To znači da se svi ostali akustički parametri mogu izvesti na osnovu izmerenog pritiska. U praksi, zvučni pritisak je jedini parametar koji se meri. Vlažnost vazduha, temperatura i vetar u okruženjumogu da utiču na tačnost merenja (sl.). Za smanjenje uklanjanja ovih uticaja postoje različiti dodatni uređaji.

### 3. EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA

#### 3.1. Uslovi i rezultati ispitivanja

Ispitivanja nivoa buke koja nastaje pri obavljanju štamparske delatnosti izvršena je u poslovnim prostorijama preduzeća. Merenje nivoa buke obavljeno je u terminu dan, veče i noć. Merenja su izvršena u skladu sa pravilnikom o metodama merenja buke, sadržini i obliku izveštaja o merenju buke („Službeni glasnik Republike Srbije br. 72/2010“), a rezultat merenja su cenjeni na osnovu Uredbe o indikatorima buke, graničnim vrednostima metodama za ocenjivanje indikatora buke, uznemiravanja i štetnih efekata buke u životnoj sredini („Službeni glasnik Republike Srbije br. 75/2010“).

Štamparija je lokacija objekta i izvora buke, a merno mesto se nalazi u dnevnom boravku

porodične kuće. Izvori buke su:

1. Nož za sečenje papira „POLIGRAPH PERFECTA“ model SEYPA 132 ser. Br. 42042 380/220V ukupne snage 7,7kW
2. „Heidelberg“ univerzalna mašina za štampu snage motora 3 kW, koja se u trenutku merenja koristi kao štanc mašina
3. „Heidelberg“ zaklopna mašina snage elektromotora 1,2 kW.

Tokom merenja van funkcije bila je mašina za savijanje papira, kao i mašina za plastificiranje. Svi gore navedeni izvori buke nalaze se u jednoj prostoriji koja se koristi kao poslovni prostor. U pitanju je montažni objekat koji je dograđen u nastavku stambenog objekta u širini cele građevinske parcele. Usled manjka radne snage i nemogućnosti da više mašina radi istovremeno merenje je vršeno pri pojedinačnom radu svake mašine. Tokom merenja prozori i vrata na poslovnom prostoru bili su zatvoreni.

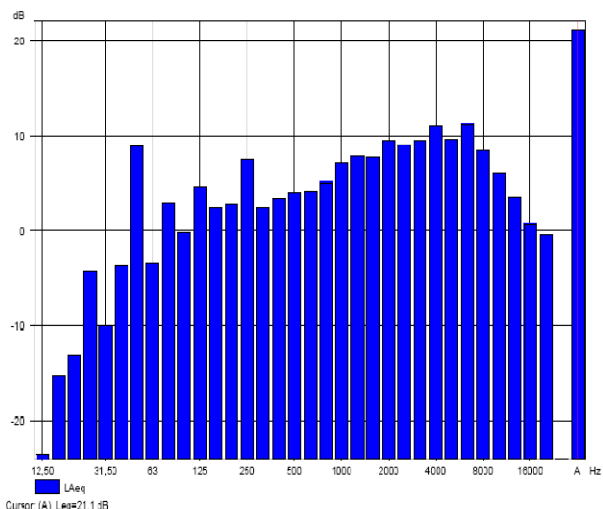
Zvuk se od izvora do merne tačke prostirao vazдушnim i strukturnim putem. Na izmerene vrednosti uticao je saobraćaj duž ulica. Između mernog mesta i izvora buke ne postoji akustična barijera.

Metrološki uslovi u 20:30h su bili  $t=16,0^{\circ}\text{C}$ ;  $R_h$ = oko 77,0%;  $v=5\text{m/s}$ ;  $p$ =oko 1015HPa

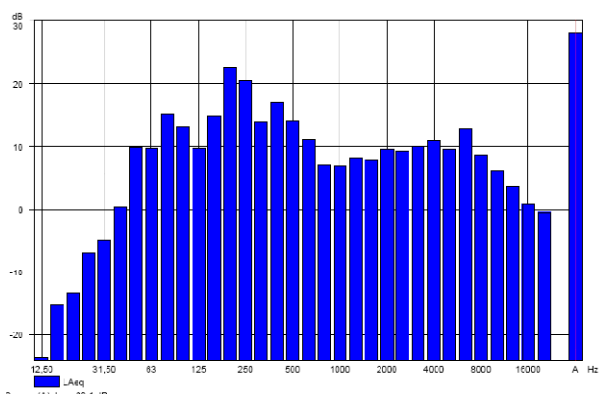
Metrološki uslovi u 22:30h su bili  $t=14,0^{\circ}\text{C}$ ;  $R_h$ = oko 77,0%;  $v=3\text{m/s}$ ;  $p$ =oko 1016HPa

Merenje je izvršeno u terminu dan-veče-noć. Dužina vremenskog intervala u kome je kvadratna vrednost A- ponderisanog zvučnog pritiska integrisana i usrednjena: 15min.

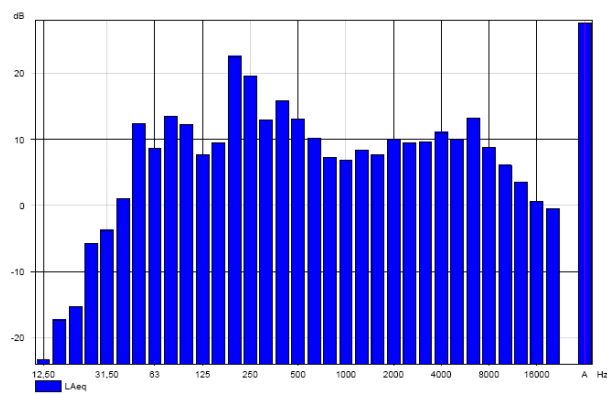
Buka je bila promenljiva i širokopolasna. Odabrana dinamička karakteristika instrumenta je fast.



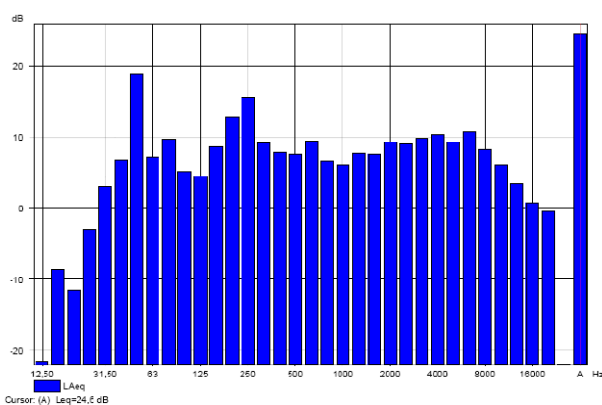
Slika 1. Reidualna buka u terminu dan-veče



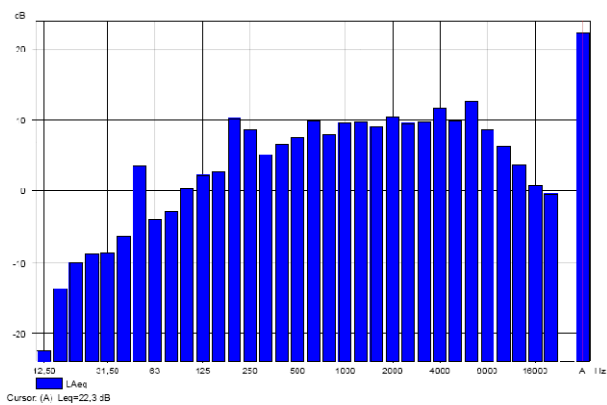
Slika 2. Ukupna buka pri radu noža za sečenje papira



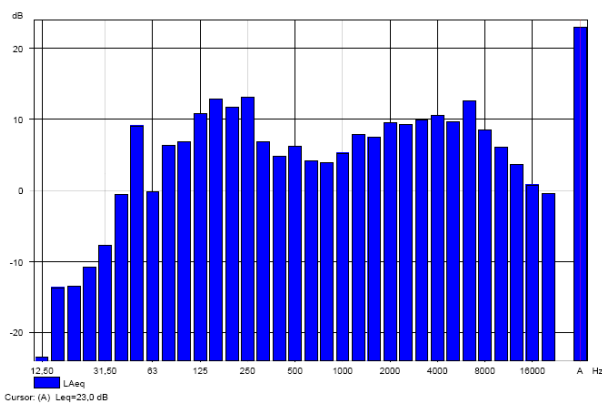
Slika 6. Ukupna buka pri radu noža za sečenje papira u terminu noć



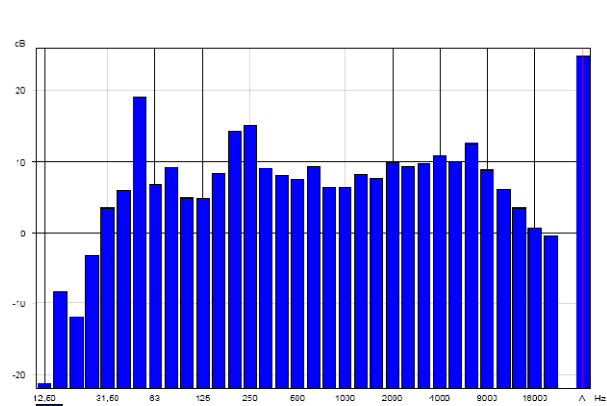
Slika 3. Ukupna buka pri radu „Heidelberg“ štanc mašine



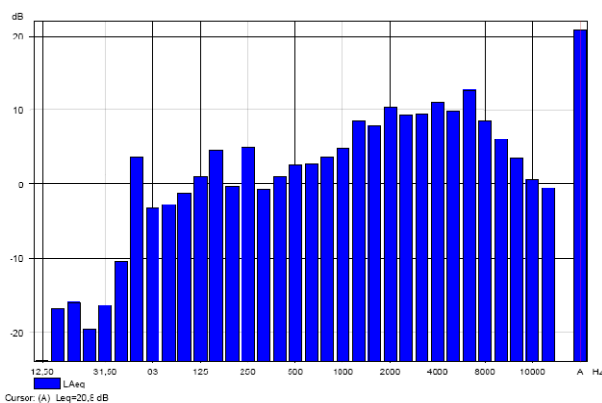
Slika 7. Ukupna buka pri radu noža za sečenje papira sa postavljenom gumenom prostirkom u terminu noć



Slika 4. Ukupna buka pri radu „Heidelberg“ zaklapne mašine



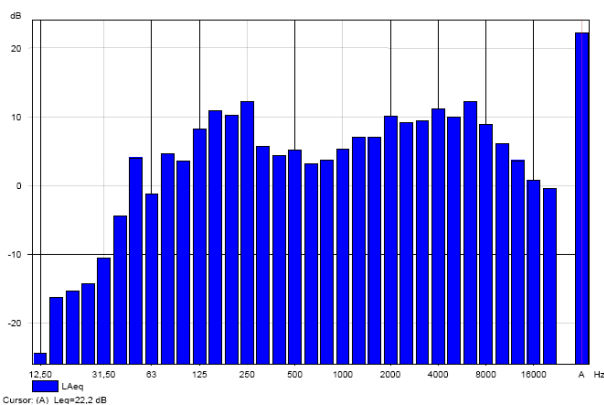
Slika 8. Ukupna buka pri radu „Heidelberg“ štanc mašine u terminu noć



Slika 5. Rezidualna buka u terminu noć

Merna tačka	Opis merjenja	Ekvivalentni nivo $L_{Aeq,T}$ (dB)	Korekcija $K_f$ (dB)	Merodavni nivo $L_{RAeq,T}$ (dB)	Dozvoljeni nivo buke (dB)
M.1	Rezidualna buka	$21,1 \pm 2,1^*$	-	$21 \pm 2,1^*$	35
M.1	Ukupna buka pri radu noža za sečenje papira	$28,1 \pm 2,1^*$	5	$33 \pm 2,1^*$	35
M.1	Ukupna buka pri radu „Heidelberg“ štanc mašine	$24,6 \pm 2,2^*$	-	$25 \pm 2,2^*$	35
M.1	Ukupna buka pri radu „Heidelberg“ zaklapne mašine	$23,0 \pm 2,1^*$	-	$23 \pm 2,1^*$	35

Tabela 1. Merjenje nivoa buke u terminu dan-veče



Slika 9. Ukupna buka pri radu „Heidelberg“ zaklapne mašine

Merna tačka	Opis merenja	Ekvivalentni nivo $L_{Aeq,T}$ (dB)	Korekcija $K_f$ (dB)	Merodavni nivo $L_{RAeq,T}$ (dB)	Dozvoljeni nivo buke (dB)
M.1	Rezidualna buka	$20,8 \pm 2,1^*$	-	$21 \pm 2,1^*$	30
M.1	Ukupna buka pri radu noža za sečenje papira	$27,6 \pm 2,1^*$	5	$33 \pm 2,1^*$	30
M.1	Ukupna buka pri radu noža za sečenje papira, sa postavljenom gumenom prostirkom	$22,3 \pm 2,3^*$	-	$22 \pm 2,3^*$	30
M.1	Ukupna buka pri radu "Heidelberg" štanc mašine	$24,8 \pm 2,0^*$	-	$25 \pm 2,0^*$	30
M.1	Ukupna buka pri radu "Heidelberg" zaklapne mašine	$22,2 \pm 2,2^*$	-	$22 \pm 2,2^*$	30

Tabela 2. Merenje buke u terminu noć

### 3.2. Analiza rezultata ispitivanja

Prema Uredbi o indikatorima buke, граниčnim vrednostima, metodama za ocenjivanje indikatora buke, uznemiravanja i štetnih efekata buke u životnoj sredini („Službeni glasnik Republike Srbije br. 75/2010“) dozvoljeni nivo buke u boravišnoj prostoriji u terminu dan veče iznosi 35dB (A). Merodavni nivo buke u dnevnom boravku ne prelaze граниčnu vrednost buke za termin dan-vače iznosi 35dB(A). Merodavni nivo buke u dnevnom boravku ne prelaze граниčnu vrednost ta zermn dan veče tj. Rezultati ispitivanja su usaglašeni sa zahtevima Uredbe pri radu navedenih izvora.

Prema uredbi o indikatorima buke граниčnim vrednostima, metodama za ocenjivanje indikatora buke, uznemiravanja i štetnih efekata buke u životnoj sredini („Službeni glasnik Republike Srbije br. 75/2010“) dozvoljeni nivo buke u boravišnoj prostoriji , u terminu noć iznosi 30dB (A). Merodavni nivoi buke u dnevnom boravku ne prelaze граниčnu vrednost buke za termin noć tj. Rezultati ispitivanja su usaglašeni sa zahtevima Uredbe pri radu navedenih izvora. Kada nije postavljena gumena prostirka ispod noža za sečenje papira na redovni nivo buke u dnevnom boravku prelazi граниčnu vrednost buke za termin

noć tj. Rezultati ispitivanja nisu usaglašena sa zahtevima uredbe.

## 4. ZAKLJUČAK

Buka predstavlja jedan od najznačajnijih zagađivača ljudske radne i životne sredine odmah iza zagađenja vode vode i vazduha. Postavljanje gumene prostirke ispod noža za sečenje došlo je do značajnog efekta u smanjenju buke.

Pravilna akustična obrada radne prostorije bila bi neophodna za slučaj rada svih instalisanih mašina.

## 5. LITERATURA

- [1] Beranek L.L., *Noise and Vibration Control*, Mc Grow-Hill, Book Company, NewYork, 1971
- [2] Budisavljevic B.B., Boljevic D., *Elaborate about acoustic measurements*, Institute IMS AD, Belgrade, 2002
- [3] Pain H.J. *The Physics of Vibrations and Waves*, John Willey & Sons, London, 1976
- [4] Smanja C., Tripkovic N., *Elaborate about the investigation of parameters of working environment*, Institute for health protection, Novi Sad, 2003
- [5] Sovilj B., Tripkovic N., Sovilj-Nikic S., Sovilj-Nikic I., *Influence of the noise level on the human organism caused with operating of devices for filling juice*, PAAM Conference Balatonalmadi, 2003
- [6] Uzunovic R. *Zastita od buke i vibracija- Noise and Vibration Control*, Lola Institut ,Belgrade, 1997
- [7] Todorović, P., Jeremić, B., Mačužić, I., *Tehnička dijagnostika*, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2010

**Autori:** Ivan Sovilj-Nikić<sup>1</sup>, Dejan Radujkov<sup>2</sup>, Sandra Sovilj-Nikić<sup>1</sup>, Aleksandar Mudrinić<sup>2</sup>, Prof. dr. Bogdan Sovilj<sup>1</sup>, Goran Kusić<sup>2</sup>,<sup>1</sup> Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Institut za Proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 23 43, Fax: +381 21 454-495. <sup>2</sup> DOO Institut za preventivu, Kraljevića Marka 11, 21000 Novi Sad, Serbia  
E-mail: [bsovilj@uns.ac.rs](mailto:bsovilj@uns.ac.rs)  
[diomed17@yahoo.com](mailto:diomed17@yahoo.com)  
[sandrasn@eunet.rs](mailto:sandrasn@eunet.rs)  
[institut@izp.rs](mailto:institut@izp.rs)

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE  
ETIKUM 2013

# PROCEEDINGS

**Session 4:**

## **SCIENTIFIC PRESENTATIONS OF CASE-LCA NETWORK PARTNERS**

Novi Sad, 12-13 June 2013





*Invited paper:*

**Szita Toth, K., Roncz, J.**

## LCA ACTIVITY IN HUNGARY

**Abstract:** *This paper gives a general overview mainly about LCA activity of University of Miskolc in the last two years. The LCA researches are linked to research projects and also to student's work, and cover different fields: methodological development of measurement of regional sustainability and LCSA of eco-innovation, but beside this there were classical environmental LCA of product or technological process (coffee, lighting system, pharmaceutical waste, waste treatment). The LCA application increased a little bit, it is used by other Faculties and Institutes the Department of Chemical Machinery and Faculty of Earth Science too, and they have also close cooperation with Bay-Logi-Applied Research Institute and LCA Center too. We focus on this paper for the Brownfield revitalisation.*

**Key words:** *LCA, LCSA, methodological development, Brownfield, revitalization*

### 1. INTRODUCTION

The brownfields' revitalization has become the focus of interest across the whole world. The growing numbers of abandoned industrial areas, left as the fingerprints of the deindustrialization and structural change of the industry, can rightfully represent a major aim and therefore the significant share of development plans in the 21st century. While on the other hand their contamination, dilapidated condition has become unfavourable or even risky from the city point of view. And at the same time, more and more attention was paid for the relatively cheap, unused brownfield zones by the investors because of the growing scarcity of available green fields. Revitalisation of these areas requires an evaluation process, and we tried apply the LCA for it.

### 2. BROWNFIELD SITES

#### 2.1 General overview

The concept of brownfield firstly appeared in the American literature in the 1980s, when these sites have been identified as abandoned industrial areas [6]. The relatively narrow definition has constantly changed and became more widen as the deindustrialization process deepened and the number of abandoned industrial sites significantly increased. Although there are different definitions in Europe and in the U.S., their essential elements are the same, so they describe and identify the brown zones similarly. [14], [1]

The consideration of related risks is an important question from another point of view: it can significantly limit the reutilisation possibilities of

the areas. As a result, according to the new definition of CLARINET Working Group, brownfields are those fields that had been used before, but the activity was abandoned and they have left the utilised area with different environmental impact, so an intervention is required in order to reutilise them [14].

The expanded meaning of the term 'brownfield' is confirmed by the fact that not only industrial areas but, dilapidated housing stocks, extensively utilized agricultural lands and areas with transport functions were later classified in the literature as brownfields. As the development of brownfield sites has become a priority, more and more researchers have set the target to find the appropriate methods which can optimise the targeted or the external factors<sup>1</sup> of the developments or their alternatives - remediation, rehabilitation, and regeneration. [2], [15]

#### 2.2. Brownfield sites in the North Hungarian region

In the region there are several typical negative examples for such areas, where such industry dominated which perfectly fitted in to the CMEA's labour of division, ruled by the socialist industrial development policy. After the changing of the system, at first, these rural sites were liquidated besides the long distance-commuters who were also fired from the central sites [7]. Since then, at some production sites production has restarted, but aside from a few exceptions there were hardly any major investment; therefore, the technological standards has not grown significantly. Among cities with huge former

---

<sup>1</sup>such as risk reduction, cost, environmental impact, resource utilization

industrial potential several – like Miskolc and Ózd- could not manage to take over the place of the deteriorating, but dominating mining and metallurgical industries settling down other industries. Horváth et al. (2002) analysed the legal, economic and environmental issues of brownfield reutilisation in Borsod County, as a conclusion he introduced that were only one or two significant new foreign investments<sup>2</sup>,but the major plants of the cities are still struggling to survive (e.g.: Diósgyőr Steel Works -DAM). [5] [8]. Other larger brownfield sites integrated into the settlement structure can be found in Balassagyarmat, Salgótarján, Bátorfenyere, Borsodnádásd, while there are brownfield areas in further 22 municipalities or in their outskirts. [3]. In 2006, a study estimated the regional brownfield area to 2213 hectares. Other analysis quantify ca. 1561,2 million HUF economic value for these function-lost premises.<sup>3</sup> [3] Another research gives the size of regional brownfields in functional breakdown. According to this report, the larger proportions of these are abandoned industrial areas (46%), ex-mining areas (5%), barracks or military-related sites (8%) and other (41%) type of sites. 13 percentages of the 2579 hectares is closely related to the golden ages of steel production. [9]

Among the available numerous tools SWOT analysis, Cost Benefit Analysis (CBA), LCA, utility based evaluation, indicator based sustainability assessment can be mentioned as most significant. In our research we focus on the LCA method and the risks of brownfield revitalisation, the rehabilitation possibilities and remediation.

### 2.3. LCA thinking adaptation for risk assessment of DAM

The LCA concept had been adapted for the total life period of DAM. The history of DAM:  
 1870 – Industrial steel production - Started  
 Millennium - First part of XX<sup>th</sup> century – flowering production, developed technology, infrastructure: hospital, schools, culture & sport centrum, housing –SWD is a town in the town  
 After 1945 - heavy industrial Centrum, University  
 1986 - the biggest employer,  
 Miskolc is the second biggest city in Hungary  
 1989-Social-economic system change – privatization  
 Production decreased, unemployment population increased-  
 2004 – production stopped – had been brownfield

<sup>2</sup>e.g.: Shinwa, Bosch, Halna.

<sup>3</sup>[http://www.ktk-ces.hu/brownfield\\_database\\_start.html](http://www.ktk-ces.hu/brownfield_database_start.html)

site.

Recently the possible development ways are: logistics, industrial park, services.

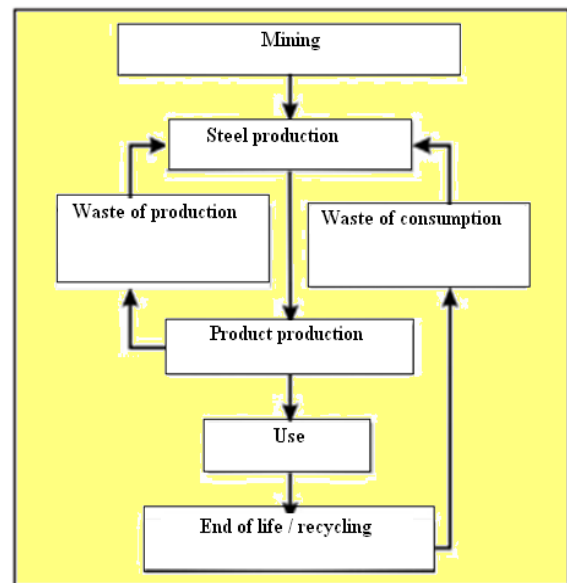


Figure 1 The System boundaries

We collected the main inventory elements from the beginning to 2004 and determined the biggest environmental impacts, as risk factors of development. [12]

Functional unit was 1 m<sup>2</sup> of brownfield site.

*Steps of brownfield revitalisation process:*

- 1: Develop a Community Vision
- 2: Identify Brownfield Sites
- 3: Assess Level of Contamination
- 4: Determine Reuse Options
- 5: Evaluate Cleanup Options
- 6: Implement a Redevelopment Plan

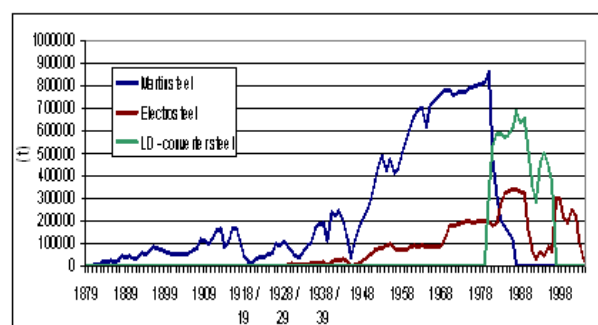


Figure 2 Production of DAM between 1870-2004  
 Source: Jung et al., 2004

1978 year is the flowering age of the DAM. In that time there 20000 employments worked. Three main steels produced: heat furnace, LD converter steel and electro steel furnace. The raw material and energy source arrived from the near mines. The production resulted emissions and solid waste. The energy consumption was very high, in average 20 MJ per kg steel. The slag deposit have

been reused and revitalised, there started a new industrial park.

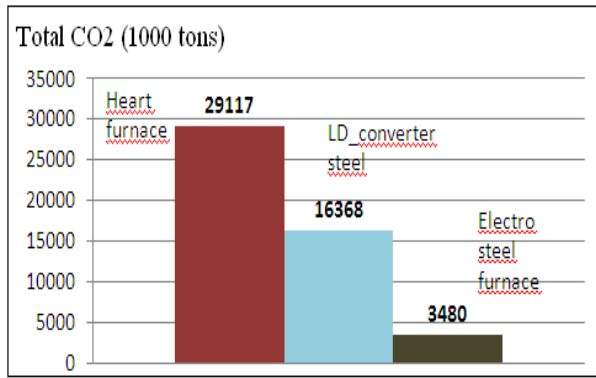


Figure 3 Total CO2 emission in 1978

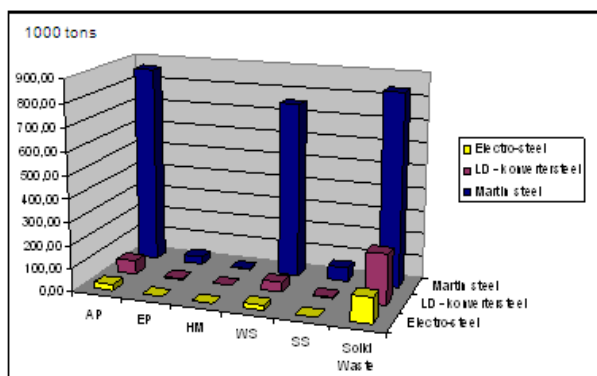


Figure 4 Environmental impact per 1 ton steel

Indicator	unit	Electro-steel	Converter-steel	Cast-iron
Global-Warming-Potentials	kg-CO2	0,388	1,87	4,09
Ozone-Depletion	kg-CFC11	0,00000209	5,94E-07	0,0000306
Acidification-P	kg-SO2	0,00294	0,00655	0,031
Eutrophisation-P	kg-PO4	0,000131	0,000494	0,0011
Heavy-Metals	kg-Pb	0,0000316	0,000148	0,000095
Carcinogens	kg-B(a)P	1,17E-08	3,57E-07	0,00000486
Winter-Smog	kg-SPM	0,00233	0,00485	0,0271
Summer-Smog	kg-C2H4	0,000123	0,000653	0,00211
Pesticides	kg-act.subst	0	0	0
Energy	MJ-LHV	9,27	32,6	65,6
Solid-waste	kg	1,12	2,18	8,36

Table 1 Environmental impact per 1 kg steel

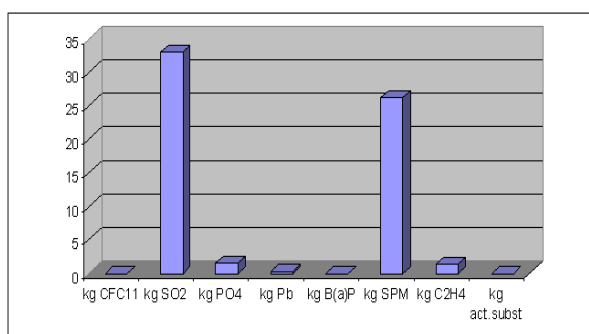


Figure 5 Environmental load per 1 m<sup>2</sup> brownfield site

In this paper we focus on the LCA method, and the risks of brownfield revitalisation, the rehabilitation possibilities and remediation. On base of the LCA results this area has not content

dangers component. The type of cleanup required at a brownfield site depends on a number of factors. These factors include location, type and amount of contamination present, how widespread and deep the contamination is and the intended future use. The most common types of cleanups include removal or treatment of contaminated soil, capping and/or covering the contaminated area, and cleaning up ground water.

The benefits of brownfield redevelopment are moving on large scale. The benefits are to the community, have been eliminated health and safety hazards; eliminated eyesores. The revitalisation results new jobs and new investment into the community, increasing the productivity of the land and increasing property values and tax receipts by local and state governments. The implementation is a newer task. [12]

### 3. OTHER LCA ACTIVITY

We had two other LCA projects. One of them was the evaluating of sustainability as environmental performance of regional energy systems. The life-cycle studies have been extended the use of renewable technologies. As secondary study we analyzed the earlier professional studies concerning the energy sector. The function unit was 1 MJ, the investigated system contents the all power plants. We applied matrix formula for the investigation.

Energy consumption is similar to the Hungarian average, but the structure of energy production is different from country level. In the North Hungarian Region the primary energy production is based on lignite and locally produced renewable, the rate of Hydrocarbon less. The evaluating has some uncertainty factors and dilemmas, can be grouped into the following 4 categories: approach, indicators, statistic data and criteria of evaluation. The practical advantages are also promising: the consequent environmental, social and economic evaluation of regional performance can support regional decision-making policy in order to help the region to catch up by a more sustainable route. [10], [11]

Other project was the eco-innovation analysis by LCA. The LCSA approach is well adaptable to measure the sustainability of innovative product, technology or services.

$$LCSA = LCA + LCC + SLCA$$

This methods are independent considering the area of application (sector), and help to compare the environmental, economic and social aspects of the different investment. On base of result of assessment we easier could choose the best practice. [13]

The Chemical Machinery Department studied the Life Cycle Assessment for Thermic Treatments of Organic Industrial Waste.

The Bay-Logi Institute used the LCA application to base the new waste law in Hungary.

The Students studied different fields in their diploma work: the lighting system environmental load, the landfill gas environmental impacts, pharmaceutical waste environmental load and finally the coffee vertical supply chain environmental and economic impact.

We took part in SETAC Annual meeting and LCA CASE Study Symposium, and in the Hungarian LCA Conferences. There was a common presentation about CASE LCA activity too in Copenhagen.

#### 4. REFERENCING

- [1] Albanese Stefano, De Vivo Benedetto, Lima Annamaria, Cicchella Domenico, Civitillo Diego, Cosenza Antonio (2010): Geochemical baselines and risk assessment of the Bagnoli brownfield site coastal sea sediments (Naples, Italy), *Journal of Geochemical Exploration*, Volume 105, Issues 1–2, April–May 2010, Pages 19–33
- [2] CLARINET Working Group (1998): "Brownfield Redevelopment" of the network CLARINET...[www.commonforum.eu/Documents/DOC/Clarinet/brownfields.pdf](http://www.commonforum.eu/Documents/DOC/Clarinet/brownfields.pdf)
- [3] ÉMOP (2007) – Észak-magyarországi Operatív Program 2007-2013
- [4] Federal Environmental Agency (2002): *Brownfields Handbook: How to Manage Federal Environmental Liability Risks* [http://books.google.hu/books/about/Brownfields\\_Handbook.html?id=oGdPAAAAMAAJ&redir\\_esc=y](http://books.google.hu/books/about/Brownfields_Handbook.html?id=oGdPAAAAMAAJ&redir_esc=y)
- [5] Horváth Gergely, Szabó Ilona, Szacsuri Gábor (2002): A barnamezők kérdéskörének, jogi gazdasági és környezetvédelmi vizsgálata, különös tekintettel a Borsod megyei régióra EMLA Alapítvány a Környezeti Oktatás Támogatására
- [6] ICF Consulting, The E.P. Systems Group (1999): *Assessment of State Initiatives to Promote Redevelopment of Brownfields*. [www.innovations.harvard.edu/showdoc.html?id=7582&p=1](http://www.innovations.harvard.edu/showdoc.html?id=7582&p=1)
- [7] Kiss Edit Éva (2001): Hazai ipari parkok néhány jellemző vonása Falu Város Régió 9.sz.
- [8] Kukely György – Zábrádi Zsolt (2004): Az ipar szerepe vidéki nagyvárosaink rendszerváltozás utáni fejlődésében. In: Kovács Ferenc (szerk.). *Táj, tér, tervezés. Geográfus Doktoranduszok*
- VIII. Országos Konferenciája tudományos közleményei. Szeged, 2004. szeptember 5-6. CD kötet,
- [9] Roncz, J. K. Szita Toth (2013): A barnamezős területek újrahasznosításának megítélése metaanalízis alapján, különös tekintettel az Észak-magyarországi régióra Észak-magyarországi stratégiai Füzetek 1
- [10] Roncz J., Tóthné Szita K. (2012): Planning of brownfield revitalisation by LCA Eco-Matrix pp 25-38
- [11] Szita Toth, K., J. Roncz (2012): Evaluating of sustainability as Environmental performance of the regional energy systems SETAC AM Berlin
- [12] Tóthné Szita Klára (2013): Barnamezős területek fejlesztésének szempontjai és az életciklus szemlélet *Ökonomie – Theorie der Praxis* 525-537
- [13] Szita Toth, K. (2013): LCSA application to evaluate of environmental innovation SETAC Annual Meeting, Glasgow Máj 12-16
- [14] US Environmental Agency (1996): EPA's Brownfields Program [www.epa.org](http://www.epa.org)
- [15] Yasushi Inoue - Arata Katayama (2011): Two-scale evaluation of remediation technologies for a contaminated site by applying economic input-output life cycle assessment: Risk-cost, risk-energy consumption and risk-CO<sub>2</sub>emission, *Journal of Hazardous Materials*, Volume 192, Issue 3, 15 September 2011, Pages 1234–1242

**Authors: Prof. Dr. Klára Szita Tóth CSc. Judit Roncz PhD aspirant** University of Miskolc, Faculty of Economics Hungary 3515 Miskolc-Egyetemváros Phone.: +3646 565 111, Fax: +36 46 563 402.  
E-mail: [regszita@uni-miskolc.hu](mailto:regszita@uni-miskolc.hu)  
[judit.roncz@gmail.com](mailto:judit.roncz@gmail.com)

#### 5. FINAL REMARKS

The article is supported by the TÁMOP 4.2.1.B-10/2/KONV-001-2010-0001 project. A felsőoktatás minőségének javítása kiválósági központok fejlesztésére alapozva a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területein

Tichá, M.

**LCA ACTIVITY OF UJEP ENVIRONMENTAL FACULTY**

**Abstract:** The paper presents the activity of the University of J. E. Purkyne in Usti nad Labe in the field of Life Cycle Assessment (LCA) and possible uses of LCA methodology in an industrial framework. It is also reviews the possibilities that yield ISO 14000 series based on LCA in industrial environmental practices.

**Key words:** (LCA, EPD, Eco-Efficiency, CFP)

**1. INTRODUCTION**

The University of J. E. Purkyne, Faculty of the Environment (UJEP) introduced LCA (Life Cycle Assessment) into its study program in the year 1997. The main reason for its introduction was the significance of LCA in assessing environmental impacts. It was obvious that LCA had become the most significant analytical information tool, which can be used to complete a comprehensive environmental impact assessment of a selected product during its entire lifecycle. UJEP cooperates with their LCA expert and with other Czech and foreign universities on projects that use LCA as the main tool for assessing environmental impacts of products and services. UJEP's LCA expert also cooperates with UNMZ on ISO 14040 preparation. The development of ISO 14000 series shows the growing importance of LCA that is increasingly used as a base for new standards.

**2. RECENT LCA RESEARCH****Project A**

Full Proposal Title: **Sustainable Hydrothermal Manufacturing of Nanomaterials**

Proposal acronym: **SHYMAN**

Type of finding: FP7-NMP-2011-LARGE-5

Work program: Large-scale green and economical synthesis of nanoparticles and nanostructures

Czech Project Partner: Technical University in Prague

The SHYMAN project is focused on establishing continuous hydrothermal synthesis as one of the most flexible and sustainable means of manufacturing nanomaterials on a large scale, serving industries of strategic importance to Europe. Academic specialists in reactor modeling, kinetics and metrology are developing the 'know how' needed to scale up the current pilot, small scale system. The Czech project partner is responsible for quantification of environmental impact using LCA methodology of final products

that contain nanoparticles for improvement of their characteristics.

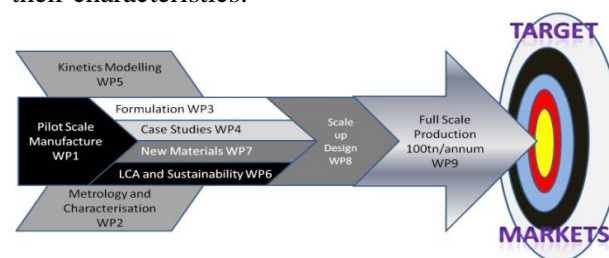


Figure 1 SHYMAN project stages

**Project B**

Full Proposal Title: **LCA study of a machine tool**

Sponsored by: Ministry of Industry and Trade, Czech Republic

Provided by the Czech Technical University in Brno

Life cycle assessment study of a machine tool is provided as a full scale study that includes all life cycle stages including:

- Raw materials' excavation
- Manufacturing
- Use / maintenance
- End of Life / Recycling

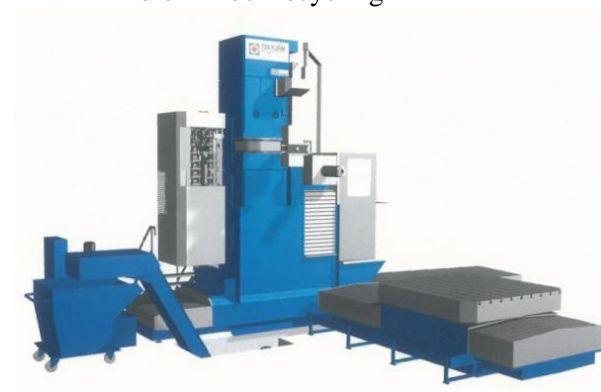


Figure 2 Machine tool

Results of the LCA study will be used for eco-design of machine tools to be more environmental friendly. Specific focus is on saving energy.

### 3. LCA IN THE INDUSTRIAL FRAMEWORK

Direct use of LCA in Czech industry is usually rare but industry frequently applies some product-oriented ISO 14000 standards that use LCA as a basic method. The main, important standards for industry are:

- Environmental product declaration – **EPD** – ISO 14025
- Eco-efficiency – **EE** – ISO 14045
- Carbon Footprint – **CFP** – ISO/TS 14067 – not yet published
- Ecodesign – ISO 14006

The role of each standard is helping industry to be more environmentally friendly and to create a sustainable society. Each tool has its advantages and disadvantages, which are mentioned below.

#### **Environmental Product Declaration (EPD)**

ISO 14025 Type III Environmental Declaration (EPD) presents quantified and independently verified Life Cycle Assessment data and information to enable comparisons between products fulfilling the same function. EPD is primarily a brand of marketing that enables businesses to increase their market competitiveness. Potential EPD will take full advantage of market saturation for certified products. When their number exceeds a certain threshold, the market will exhibit a preference for products with lower environmental impacts, reducing impacts on the environment throughout the production, supply and consumption cycle.

In the year 2012, the Czech national EPD operator CENDEC, was constituted. The EPD program – CENDEC came from Swedish program type III ecolabeling „The International EPD® System.” Through mutual cooperative agreement between the operator of the Swedish program (International EPD Consortium) and CENDEC’s EPD program, CENDEC has become a part of the International EPD Consortium called ENVIRONDEC.

#### **Eco-efficiency**

ISO 14045 Eco-efficiency is a management tool that allows companies to assess the environmental impact of the life cycle of a product together with its product value. It puts into context the environmental performance of a product system and the value of a product system.

The goal of Eco-efficiency is to promote reduction of environmental burdens connected with the life cycle of products with continuous customer satisfaction. This tool directly encourages businesses to think about product innovation in terms of reducing environmental burdens and

increasing the product’s useful properties.

The first eco-efficiency study in the Czech Republic was done for Carlsbad mineral water producer, Mattoni.

#### **Carbon Footprint – CFP – ISO/TS 14067**

Carbon footprint calculations are an increasingly common method of measuring global warming potential as a single impact category of product life cycle. The method is widely used by industry. Unfortunately, the draft International Standard ISO/DIS 14067 Carbon Footprint was not approved, and ISO TC 207 decided to publish it only as a technical specification (ISO/TS 14067).

#### **Eco-design – ISO 14006**

ISO 14006 is a useful tool for eco-design of products. Eco-design can be understood as a process integrated within the design and development phase that aims to reduce environmental impacts and continually improve the environmental performance of the products, throughout their life cycle from raw material extraction to end of life. Products developed with eco-design always save money but not necessarily in a direct way (manufacturing costs) for the company who develops and produces the product. The winner might be the customer (less costs of ownership) and/or the society (less external costs). Of course, those two factors can be used by the company for green marketing and thus generate indirect benefits (better image, more sales, etc).

### 4. REFERENCES

- [1] Col.: Eco-efficiency Indicator Handbook for Products, Japan Environmental Management Association for Industry (JEMAI), 2004
- [2] ISO 14040 Environmental management – Life Cycle Assessment– Principles and Framework, idt ISO 14040:2006
- [3] ISO 14044 Environmental management – Life Cycle Assessment– Requirements and guidelines, idt ISO 14044:2006
- [4] ISO 14025 Environmental labels and declarations – Type III environmental declarations – Principles and procedures, idt ISO 14025:2006
- [5] ISO 14045 Environmental management – Eco-efficiency assessment of product systems – Principles, requirements and guidelines, idt ISO 14045:2012
- [6] ISO 14006 Environmental management systems – Guidelines for incorporating ecodesign, idt ISO 14006:2011
- [7] Tichá, M, Černík, B. 2011. Posouzení environmentálních dopadů přírodní minerální vody Mattoni, Praha, 2011, pp. 34
- [8] Tichá, M. 2011. Studie posouzení životního cyklu cementu, VÚM Praha, 2011, pp. 65

**Author: Ing. Marie Tichá**, MT Konzult, Červený vrch 264/18, 40502 Děčín IV;  
E-mail: [marie.ticha@iol.cz](mailto:marie.ticha@iol.cz)

Klos, Z., Koper, K.

**APPLICATION OF LIFE CYCLE ASSESSMENT FOR  
THE CHOICE OF MATERIALS IN THE ECODESIGN PROCESS**

**Abstract:** In this paper, the use of Life Cycle Assessment (LCA) in the design stage of technical objects is presented. The environmental analysis is conducted on the wrapping machine, with the special interest given to its gear transmission. Using LCA, environmental profiles and environmental indices for different constructions of gear wheels are produced and on this basis, an optimal combination of materials for elements of transmission gear: shaft, gear wheels and body is found. The results of simulation give many interesting observations, important for both machine designer and manufacturer.

**Key words:** ecodesign, eco-decisions, LCA, material, food processing machines, energy, materials

**1. INTRODUCTION**

Until recently, an engineer's main task was to find solutions for practical problems including conditions (limitations) of mainly material, technological and economical nature. Ecological aspects need to be included as well in any design algorithm to provide low environmental impact profile of any technical object at earliest stages of its life cycle [3]. Although a lot of product environmental impact assessment and Design for Environment (DfE) tools already exist, environmental aspects are unfortunately rarely routinely integrated into product development process in the industry [5]. Ecodesigning is a process of designing products and product systems in order to minimize environmental impacts over the total product life cycle [10]. Most environmental impacts are "locked in" at the design stage, which is when key decisions are made on materials, manufacturing methods and how the product will be used and operated. Addressing environmental impacts at the design stage will produce solutions that are likely to be environmentally positive and cost effective [1]. The syllable "eco" refers to both economy and ecology [7]. This introduces additional dimension to traditional design. Still, important part is played by such aspects as functionality, safety, ergonomics, endurance, quality and costs. The additional criterion is a project estimation taking into account its environment influence [6].

Although it is not the only parameter to be considered in ecodesign, material selection obviously plays an important role in the developing the environment-friendly products. The main factors upon which the designers rely when considering materials choice are: the relationship between materials specifications and

technical, economic and environmental performance of the product, the practice of industrial design embedded in the product and its functionality [2].

**2. OBJECT OF ANALYSIS**

The machine considered in this research is a wrapping machine dispensing pasty products into cubes, including butter, lard, cottage cheese, minced meat, ice cream or baker's yeast. Basic technical information on the machine are presented in Table 1.

Output	Up to 90 pcs/min
Butter, lard, cottage cheese and ice cream cube size - 250g cube - 125g cube	100 x 75 x 35 mm 75 x 50 x 35 mm
Margarine cube size - 500g cube	120 x 83 x 54 mm
Overall dimensions	2800 x 2800 x 1900 mm
Bulk weight	2500 kg

Table 1. Basic characteristics of the exemplary machine

In the design process, the designer makes many decisions on which durability, economical and environmental costs of the designed object are decided. A design of a given object needs to be characterized first of all with a capability to meet basic needs to produce it in a possibly optimal way with no redundancy. It is not only connected with economical savings, but also with increased environmental friendliness of an object [4].

In the recent years, a tendency towards low environmental profile of a machine expressed by its future users can be observed. The industry tries to include this requirement right from the

beginning of the conception process, finding and neutralizing possible areas where the environmental impact could prove to be highest, for example by using:

- appropriate selection of materials needed to manufacture given machine part,
- choice of adequate technological processes, providing lower energy consumption and in effect, minimizing the formation of toxic chemicals etc.

That is why not only the whole concept of the designed object is important, but also the concept of individual parts, mechanisms and nodes. Those, after passing through applicable environmental procedures contribute to the machine as a whole, becoming more environmentally friendly.

In the presented example, various decisions need to be made concerning different elements of the transmission, some of those are listed below:

- 1) Transmission type: choice between belt drive, chain transmission and gear transmission. Environmental consequences are connected with vibration levels, noise emission, danger of lubricant spill, energy consumption. Gearing transmission was chosen, in spite of worst environmental performance (large dimensions, need to lubricate, precise machining of elements). This is due to some advantages that other types of drives do not possess, like high precision, high efficiency (~99%) and known reliability and durability.
- 2) Gearwheel type: choice between homogenous and modular wheel. Environmental consequences are connected with energy consumption during the machining processes and noise levels during wheel operation. Homogenous wheel was chosen because of its better mechanical characteristics and endurance. However, some aspects need to be taken into account, like more complicated disposal (presence of minerals and basic elements in cast alloys).
- 3) Gearwheel material: choice between steel, cast steel and polyamide. Although polyamide does not corrode, it is not resistant to high temperatures (melts at 180-250 °C). As many plastics, it originates from petroleum, and petrochemical processes tend to produce very high environmental impacts. When it comes to damping vibrations that occur in operating transmission, cast steel and polyamide are known to work like that and steel only serves as propagator of vibrations.
- 4) Body type: choice between homogenous or compound. The decision is based on responsibility of designed transmission: if it is crucial to the machine operation, cast steel

homogenous body should be used. In other cases, compound body made of easily accessible and cheaper materials is an optimal solution. It also creates lower environmental loads.

- 5) Body material: choice between cast steel and aluminum alloy. In this case, various factors need to be taken into account by the designer to provide high durability of the construction, low price and environmental impact. These factors, among others, are: mechanical characteristics of the material, its cost, availability, ease of treatment and influence on human and environment health.

### 3. METHOD OF ANALYSIS

There are many methods that support the pro-environmental design or designing of an object or a process. A few can be named, for example EIA (environmental impact assessment), SFA (substance flow assessment) or TA (technology assessment). Among those the Life Cycle Assessment (LCA) can be best, focused on a single object, following it through its whole life cycle, from the resources gathering up to disposal, so called cradle-to-grave approach. LCA's inherent feature to calculate and compare environmental indicators that can be put into measurable values is especially convenient in relation to the stated characterization of an object through the materials its elements consist of.

### 4. RESULTS

The structure of the following chapter reflects subsequent phases of Life Cycle Assessment procedure as stated above, in relation to the exemplary object.

#### 4.1 Goal and scope definition

In the presented application of LCA, only the gear transmission with simple gear wheels was analyzed. The reason for choosing this subsystem is its universality and widespread use in food processing machines. As it was presented above, first and basic problem a designer comes across is the gearwheel itself. The decision problem at his stage is the choice of its type and material it is made of. Chosen solution causes consequences on the next links of the kinematic chain in the considered transmission. It is not only changes in dimension and mass of elements, but also specific, measurable environmental impacts.

#### 4.2 Inventory analysis

In this phase of analysis, very important from



the methodological point of view, gathering of available data concerning transmission is performed. Elements on which the data are gathered include: a pair of gearwheels, two shafts on which the wheels are set and the body in which the shafts are installed. Modifications including 12 different materials used for these elements will be taken into account in the LCA. This way, a large number of possible combinations will be available to choose from in the design process.

To allow a comparison of environmental impacts generated by different versions of the transmission, its elements were created from different construction materials from the same group of stainless and acid-proof steel and cast steel: 1H18N9T, 3H13, 3H17M, 2H13, 2H17N2, 1H13, 00H18N9, H17, 00H17N14M2, 0H13J and GX12Cr14, GX5CrNi19.

Achieved results are presented in relation to the environmental point unit (Pt) and its  $10^{-3}$  aliquot (mPt).

No	Impact category	Unit	Most favorable solution 1H13/3H13/3H13	Typical solution 2H17N2/2H17N2/1H18N9T	Least favorable solution 00H17N14M2/00H17N14M2/1H18N9T
1	Climate change	Pt	0.00761	0.0156	0.0203
2	Ozone layer depletion	Pt	5.553E-05	7.11E-05	5.91E-05
3	Soil acidification	Pt	0.0241	0.23	0.334
4	Eutrophication	Pt	0.00267	0.00392	0.00491
5	Heavy metals	Pt	0.0412	0.0416	0.0423
6	Carcinogens	Pt	0.00887	0.00773	0.00956
7	Winter smog	Pt	0.0108	0.134	0.197
8	Summer smog	Pt	0.00118	0.00143	0.00181
Eco-Indicator		Pt	0.0966	0.434	0.610

Table 2 Comparison of chosen transmissions models environmental profiles

### 4.3 Impact assessment

Achieved LCA results allow for multi-aspect comparison of gearwheels in respect of generated environmental impacts and in turn, formulating the following conclusions:

- 1) Values of environmental indicators for each of proposed material solutions indicate that the use of 1H13 steel results in the lowest environmental impact (17.1 mPt), the second lowest is coming from the 2H13 steel (19.9 mPt) and GX12Cr14 cast steel (20.0 mPt).
- 2) Detailed analysis of the assessed gearwheels environmental profiles identifies as dominant the result of their use.

Achieved LCA results for the most and least favorable solution of cooperation between shaft, body and gearwheels give the following

conclusions:

- 1) Total environmental impact of transmission using 3H13 steel shaft and body (most favorable solution from the environmental point of view) is 0.06236 Pt. Small differentiation between impact values can be observed in case of the shaft and the body while using different gearwheels – it is 0.00596 Pt and 0.0564 Pt respectively
- 2) Total environmental impact of transmission using 00H17N14M2 shaft and 1H18N9T body (the least favorable solution in means of environmental impact) is 0.4748 Pt.
- 3) Among the environmental impacts generated by a transmission composed of 3H13 shaft and body (most favorable solution in means of environmental impact), heavy metals creation is the category that burdens the natural environment the most.
- 4) Most of the environmental burdens when using 00H17N14M2 shaft (least favorable solution

in means of environmental impact) are connected with soil acidification due to the emission of sulfur compounds, nitric oxides and ammonia in the life cycle.

- 5) In case of using 1H18N9T body in the transmission (least favorable solution) impact levels are high in soil acidification and winter smog categories, with other categories having only slight importance.

### 4.4 Interpretation of results

After the ecobalance analysis of transmission elements and versions, environmental impacts for proposed combinations can be presented. This includes the most and the least favorable in terms of environmental impacts as well as a typical one used in the food processing machines. Criteria for choosing three specifications were based on results of previous LCA analyses of chosen variants, and those three are:

- 1) 1st transmission – 00H17N14M2 gearwheels and shafts, 1H18N9T body (the least favorable solution in means of environmental impact)
- 2) 2nd transmission – 2H17N2 gearwheels and shafts, 1H18N9T body (typical)
- 3) 3rd transmission – 1H13 gearwheels, 3H13 shafts and body (the most favorable solution in means of environmental impact)

The aggregated LCA results for the chosen variants are presented in Table 2.

Achieved results allow for multi-aspect comparison of three transmission variants being under consideration and in turn, formulation of conclusions:

- 1) Environmental indicator values for each proposed material solution of a transmission show that using 1H13 steel for gearwheels and 3H13 steel for shafts and body results in the lowest environmental burden (96.6 mPt).
- 2) Detailed analysis of proposed solutions environmental profiles identifies the destruction of the ecosystem due to emissions of sulfur compounds, nitric oxides and ammonia as the dominant negative aspect of their application in the manufacturing as well as other life cycle phases.

## 5. CONCLUSIONS

Undertaken analysis shows that implementation of environmental aspects in the design process – ecodesign – can substantially reduce the environmental impacts of any technical object. This was presented on the case of a transmission system installed in a food processing machine, but it is also valid for any other element, subsystem or a system of the object.

In the analyzed case, the manufacturing of transmission bodies has the greatest share in negative environmental implications of the life cycle of a transmission system. It also shows that the levels of environmental impact may vary greatly according to the type of material used, reaching up to 300% in the exemplary case (e.g. comparing 1H13 to 1H18N9T steel). Among the most important factors influencing the environmental impact of materials, two can be distinguished: the selection of materials and intake of energy for the manufacturing processes of machine elements.

Identification of environmental impact sources in relation to every element, subsystem and system of a machine should lead to undertaking actions aimed at improvement of current situation. This relies on the increase of interest of designers, constructors and technologists to include

ecobalancing methodology in their work.

## 7. REFERENCES

- [1] Design Institute of Australia (2004), EcoDesign Innovation, Professional Practice Guidelines DRAFT 29.03.04
- [2] Field III F. R., Clark J. P., and Ashby M. F. (2001), Market Drives for Materials and Process Development in the 21st Century, MRS Bulletin, September, pp. 716-725.
- [3] Kłós Z., Kurczewski P., Kasprzak J., (2005), Środowiskowe charakteryzowanie maszyn i urządzeń (eng. Environmental characterization of machines and appliances), Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań
- [4] Kurczewski A., Lewandowska A. (2008), Zasady projektowania środowiskowego obiektów technicznych (eng. Principles of ecodesign for technical objects), Wydawnictwo KMB Druk, Poznań
- [5] Mathieux F., Brissaud D., Zwolinski P. (2007), Product ecodesign and materials: current status and future prospects, Proceedings of the 1st International seminar on Society & Materials, SAM1, Seville, 6-7 March 2007
- [6] Nowosielski R., Spilka M., Kania A. (2007), Methodology and tools for ecodesign, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Vol. 23, Issue 1, pp. 91-94
- [7] Schischke, K., Larsen, B., Berner, C., Müller, J. and Poulsen T.S. (2005), Teaching Material on Environmentally Benign Product Design. Awareness Raising Campaign for Electrical & Electronics SMEs
- [8] ISO/TR 14062:2002: Environmental management - Integrating environmental aspects into product design and development

**Authors: Prof. Dr. Zbigniew Kłós, M.Sc. Krzysztof Koper**, Poznan University of Technology, Faculty of Machines and Transport, Institute of Machines and Vehicles, Piotrowo 3, 60-965 Poznan, Poland, Phone.: +48 61 665 2231, Fax: +48 61 665 2736

E-mail: zbigniew.klos@put.poznan.pl  
krzysztof.koper@put.poznan.pl

Kosec, B., Nagode, A., Kosec, G., Hribar, A., Gojić, M., Vidic, E., Soković, M., Karpe, B.

## SLOVENIAN STEEL PRODUCERS AND LIFE CYCLE ANALYSIS

**Abstract:** Today global steel producers give increased emphasis on protecting the environment and deploy into production and supporting the activities of the so-called concept of sustainable development, which is reflected particularly in the implementation of environmental management systems.

In the frame of the proposed work is discussed life cycle assessment (LCA) method – in the praxis the most used and established method for detecting the effects of the product on the environment, and analyzed its potential application for the Slovenian steel producers.

**Key words:** steel producer, LCA, product, steel, environment

## 1. INTRODUCTION

Steel touches every aspect of our lives. No other material has the same unique combination of strength, formability and versatility.

Steel is a perfect and everlasting material, unlimited in its practicality and possibility for upgrading. It is the only material which can be recycled to one hundred per cent. Due to its versatile applicability it is a reliable partner in various fields, such as construction, mechanical engineering, automotive industry, ship-building, production of pipes, home appliances and so on. The variety of advantages of steel products range from technical, such as material strength and high production technology, economical as steel ensures quick and easy construction, fast assembly and fast installation, to advantages as regards safety as it enables low weight and anti-seismic construction. Due to its aesthetic advantages it is also often used for thin and light construction, and is cherished for its simplicity. The possibility of recycling steel to 100% also presents a significant environmental advantage.

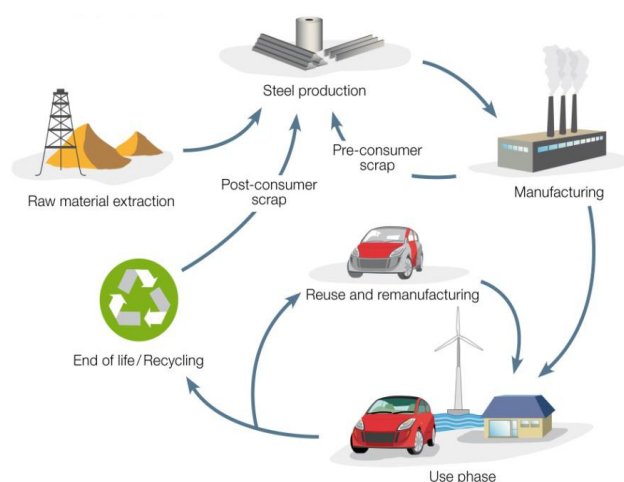


Fig. 1. The life cycle of steel.

The amount of energy required to produce a 1 tonne of steel has been reduced by 50% in the last 30 years.

All steel created as long as 150 years ago can be recycled today and used in new products and applications.

By sector, global steel recovery rates for recycling are estimated at 85% for construction, 85% for automotive, 90% for machinery and 50% for electrical and domestic appliances. Leading to a global weighted average of over 70%. Nowadays, 97% of steel by products can be reused.

In the 1970s and 1980s, modern steel plants needed an average of 144 kg of raw materials to produce 100 kg of steel. With investments in research, technology improvements and good planning, the steel industry today uses only 115 kg of inputs to make 100 kg of steel – a 21% reduction.

Table 1. World steel production for the period 1970-2012

Year	World steel production (Mt)
1970	595
1975	644
1980	717
1985	719
1990	770
1995	752
2000	849
2005	1144
2010	1414
2011	1527
2012	1510

Steel is a key driver of the world's economy. World crude steel production: From 28.3 megatonnes (Mt) in 1900 to 851 Mt in 2001 to 1,527 Mt in 2011. The World production of steel

in year 2012 was 1510 Mt, in EU 27 169.4 Mt (production stagnated), and in China 708.8 Mt. For example: average Slovenian steel production in last 10 years is approximately 640.000 tons per year.

World steel industry directly employs 2 million people worldwide, with a further 2 million contractors and 4 million in supporting industries. As key product supplier to industries such as automotive, construction, transport, power and machine goods, steel industry has employment multiplier of 25:1. Steel industry is at the source of employment for more than 50 million people. World average steel use per capita has steadily increased from 150 kg in 2001 to 220 kg in 2010. Today global steel producers give increased emphasis on protecting the environment and deploy into production and supporting the activities of the so-called concept of sustainable development, which is reflected particularly in the implementation of environmental management systems.

Under green economy steel industry has to be sustainable on three levels:

- Financially sustainable,
- Environmentally sustainable, and
- Socially sustainable.

The most used and established method for detecting the effects of the product on the environment is a method of life cycle assessment (LCA), which analyzes the effects of the product on the environment in all its life stages (design, materials selection, manufacture, use, and ultimately its removal), and is an important tool when we deciding on choosing and optimizing the technology and raw materials.

## 2. SLOVENIAN STEEL PRODUCTION

The biggest owner of the Slovenian Steel Group (SIJ) and at the same time of the Slovenian steel industry is Russian company KOKS (which is majority owned by the Zubitskiy family). On May 15<sup>th</sup>.2013, the parent company SIJ had the ownership presented in Table 2.

Table 2. Shareholders

Shareholders	No.of shares	% of ownership
OAOKOKS	718.351	71.2239
Republic of Slovenia	248.655	25.0001
D.P.R. d.d.	11.468	1,1530
Others	16.142	1,6230

The SIJ (Slovenian Steel Group) is one of the largest business groups in Slovenia according to both income and the number of employees, and such is one of the key elements of Slovenian economic development. The biggest steel producer (steelwork) in this group is ACRONI (see Figure 2).

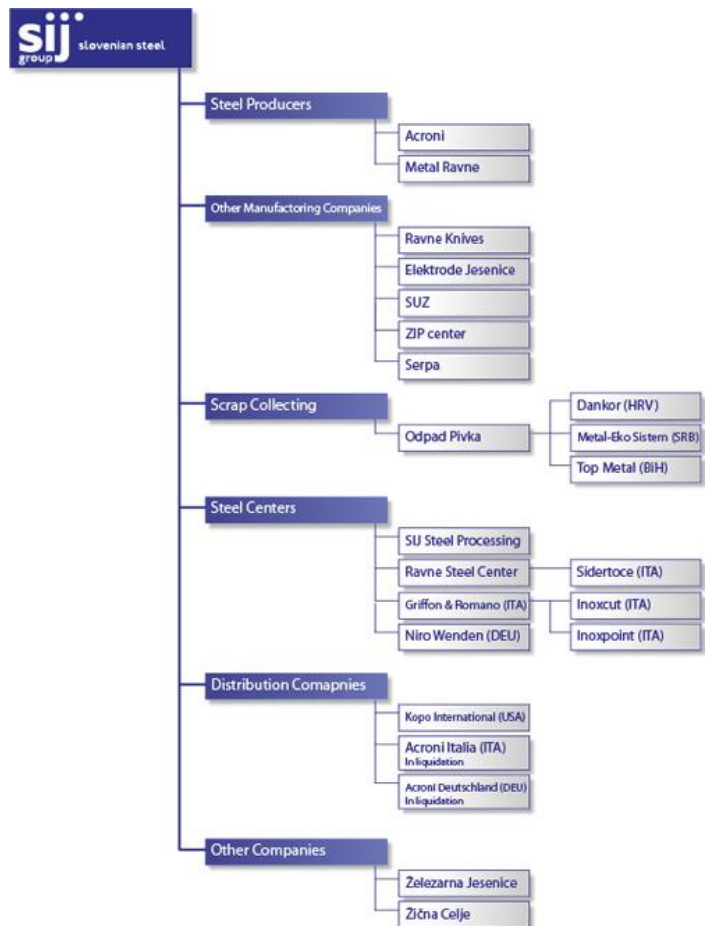


Fig. 2. SIJ organisation chart.

Vision and Strategy: SIJ will continue orientation towards constant improvement of the technology, production processes and logistics, and they will also intensively build our their sales network to maintain and increase our market share in the EU and worldwide.

### 2.1 Production

The production range of Slovenian Steel Group (and ACRONI), comprises products of a flat and long steel program and forgings made of high quality steel in an electric arc furnace and vacuum metallurgy processes with a high processing rate. The steels grades produced can be divided into 5 basic groups:

- Stainless steel,
- Tool and high-speed steel,

- Electrical sheets,
- Structural steel, and
- Other special steel.

### 3. ACRONI

Acroni is a niche producer of flat-rolled stainless and special steels which are produced as quarto heavy plates and hot and cold rolled coils.

Annual production of ACRONI in year 2012 was 450.000 tonnes.

Acroni exports more than 80% of its products, and it is the biggest supplier of stainless steel quarto plates in Europe.



Fig. 3. ACRONI production: from steel scrap to final products

#### 3.1 ACRONI services

- Chemistry

Sector of Chemistry operates within the ACRONI and is responsible for(to) the quality of the field of chemical analysis. It includes a workshop laboratory preparation of samples, the chemical laboratory and a laboratory for the monitoring of steel production in the steel plant. In the field of environmental protection to monitor the operation of industrial waste water treatment plants, wastewater monitoring is performed and produced estimates of the waste to the needs of businesses, as well as for external customers.

- Technical control

The laboratory is competent to carry out the mechanical and technological tests in accordance

with the applicable standards SIST, EN, DIN and ISO. Mechanical tests, in most cases supplemented by chemical and metallographical investigation, which knowledge of the properties of metallic materials rounded off.

- Research and Development

The tradition of steel producing in ACRONI presents support for our activities but its also a great obligation for the future development. The inherited knowledge and experiences we have enriched with new knowledge and efforts are promise that we will continue our successful work.

ACRONI's goals:

- to exercise customer demands
- constant development of new products and technologies
- putting research achievements into practice
- innovations as a part of business strategy.

#### 3.2 ACRONI and environment

For centuries, Acroni has been manufacturing high-quality steels that have been successfully selling on the most demanding markets. Gradually reduced environmental impacts and protection of environment has become one of the priorities of company's strategy. ACRONI's environmental awareness constantly grows, what can be proven with international standards ISO 14001, which gives the requirements for environmental management systems, confirms its global relevance for organizations wishing to operate in an environmentally sustainable manner, and OHSAS 18001, an international occupational health and safety management system specification. They introduce environmentally friendly technological processes that have the least impact on the environment. Equal attention is devoted to the management of energy sources. In ACRONI they constantly monitor emissions of wastes, gasses and waste waters.

### 4. LIFE CYCLE ANALYSIS

What is LCA? Life cycle assessment (LCA) involves the evaluation of some aspects - often the environmental aspects - of a product system through all stages of its life cycle. Sometimes also called "life cycle analysis", "life cycle approach", "cradle to grave analysis" or "Ecobalance", it represents a rapidly emerging family of tools and techniques designed to help in environmental management and, longer term, in sustainable development.

What is a product's life cycle? Simply stated, the life cycle of a product embraces all of the

activities that go into making, transporting, using and disposing of that product. The typical life cycle consists of a series of stages running from extraction of raw materials, through design and formulation, processing, manufacturing, packaging, distribution, use, reuse, recycling and, ultimately, waste disposal.

Environmental-energetic analysis of the process which is the base for Life Cycle Assessment (LCA) is the same for the bank and steelwork (Figure 4).



Fig. 4. Environmental-energetic analysis of the process. The same for the bank and steelwork.

In the year 2011 the steel producer ACRONI was invited to cooperate in the project of life cycle assessment (LCA) for the two groups of steel grades 304 and 316. For the project has been used the standard software for LCA analysis GaBi. The aim of the project was to show that steel producing industry knows how important is the synergy between steel producer and society.

Rational handling and manipulation with materials and resources considering two main principles:

- reduction of consumption of natural and unrenueable resources, and
- reduction of pressure on environment, when materials and products become unapplied and transformed into a waste.

Advantage of a steel producers (steelworks) is in the fact that its products are 100 % recyclable at the end of their life cycle.

## 5. CONCLUSIONS

Review of the World and Slovenian steel production, and the state in the biggest steel producer (steelwork) in Slovenia is presented.

In the frame of our study is discussed life cycle assessment (LCA) method in the praxis the most used and established method for detecting the effects of the product on the environment.

We analyzed potential application of LCA for the Slovenian steel producers, especially the case of ACRONI the biggest steel producer in Slovenia. Heavy plates of two typical steel grades from

ACRONI production program were analysed during the pilot project using standard LCA software package GaBi.

## 6. REFERENCES

- [1] Vidic, E.: Life Cycle Assessment, *SIJ*, 4 (2013) 4, 31 – 32.
- [2] Kosec, B., Senčič, S., Soković, M., Karpe, B.: Foundry waste management, *International Journal for Quality Research*, 2 (2008) 2, 129-133.
- [3] Worldsteel Organisation ([www.worldsteel.org](http://www.worldsteel.org))
- [4] ACRONI d.o.o. ([www.acroni.si](http://www.acroni.si))
- [5] Agarski, B., Budak, I., Kosec, B., Hodolič, J.: *An approach to multi-criteria environmental evaluation with multiple weight assignment*, *Environmental Modeling & Assessment*, 17 (2012) 3, 255-266.
- [6] Hodolič, J., Budak, I., Vukelić, Đ., Hadžistević, M.: *Less Formal Tools for Environmental Management*, University of Novi Sad, FTN, Novi Sad, 2012.
- [7] Milanković, D., Milanović, B., Agarski, B., Crnobrnja, B., Ilić, M., Kosec, B., Budak, I.: *Life cycle assessment of an intermodal steel building unit in Serbia*, *Journal of Production Engineering*, 15 (2012) 2, 99-102.

¶ (11 pt)

**Authors: Prof. Dr. Borut Kosec, Assist. Prof. Dr. Aleš Nagode, Alenka Hribar, Dr. Blaž Karpe**, University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenia, Phone.: +386 1 2000410, Fax: +386 1 4771214.

**Assist. Prof. Dr. Gorazd Kosec, Erika Vidic, ACRONI d.o.o.**, c. Borisa Kidriča 44, 4290 Jesenice, Slovenia, Phone.: +386 4 5841016, Fax: +386 4 5841003.

**Prof. Dr. Mirko Gojić**, University of Zagreb, Faculty of Metallurgy, Aleja narodnih heroja 3, 44103 Sisak, Croatia, Phone.: +385 43 533378, Fax: +385 43 533379.

**Prof. Dr. Mirko Soković**, University of Ljubljana, Faculty of Mechanical Engineering, Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana, Slovenia, Phone.: +386 1 477114, Fax: +386 1 4771218.

E-mail: [borut.kosec@omm.ntf.uni-lj.si](mailto:borut.kosec@omm.ntf.uni-lj.si)  
[ales.nagode@omm.ntf.uni-lj.si](mailto:ales.nagode@omm.ntf.uni-lj.si)  
[alenka.hribar@omm.ntf.uni-lj.si](mailto:alenka.hribar@omm.ntf.uni-lj.si)  
[blaz.karpe@omm.ntf.uni-lj.si](mailto:blaz.karpe@omm.ntf.uni-lj.si)  
[gorazd.kosec@acroni.si](mailto:gorazd.kosec@acroni.si)  
[erika.vidic@acroni.si](mailto:erika.vidic@acroni.si)  
[mgojic@simet.hr](mailto:mgojic@simet.hr)  
[mirko.sokovic@fs.uni-lj.si](mailto:mirko.sokovic@fs.uni-lj.si)

Kiss, F.

**INFLUENCE OF INVENTORY MODELLING CHOICES ON THE LCA RESULTS –  
CASE STUDY WITH BIODIESEL**

**Abstract:** *The aim of this study is to demonstrate the extent to which the choice between alternative LCI modelling approaches can influence the results of biodiesel in terms of its GHG intensity. The GHG intensity of biodiesel is evaluated by performing number of LCI analysis each representing one of the possible inventory modelling choices commonly used in the previous LCAs. The results of LCI modelling scenarios are then compared and analysed. The results show a large difference in GHG intensity of biodiesel (1.5-3.8 kg CO<sub>2eq</sub>/kg of fuel ) with a high sensitivity to the following factors: the method used to allocate the impacts between the co-products, the assumptions made regarding land use modelling, including high uncertainty associated with N<sub>2</sub>O and other gaseous emissions from cultivated soil.*

**Key words:** *biodiesel, LCI results, variability*

**1. INTRODUCTION**

Main arguments for the production and use of biofuels are their potential to reduce the depletion of fossil resources and the global warming impacts of transportation fuels. However, a recent review of European Life Cycle Assessment (LCA) studies of biodiesel produced from rapeseed oil (RME) has observed a high variability of results, particularly in terms of greenhouse gas (GHG) intensity of biodiesel, with results ranging from 0.5 to 6.2 kg CO<sub>2eq</sub>/kg of fuel [1]. The widely varying and sometimes contradictory result of biodiesel's LCA raised concerns regarding the environmental benefits of biodiesel.

According to Whitaker et al. [2] the variability of results can be just partially explained by variability in parameters due to different production technologies of biodiesel and local conditions. They have defined three distinct sources of variation in the LCA results of biofuels: *i)* 'real' variability in parameters due to different production technologies and local conditions; *ii)* 'methodological' variability due to different ways to calculate the Life Cycle Inventory (LCI) results; and *iii)* 'uncertainty' due to parameters rarely included and poorly quantified.

In previous LCA studies of biodiesel significant differences exist regarding the definition of system boundaries, function and functional unit, reference systems and allocation methods [1]. The aim of this research is to demonstrate the extent to which the choice between various LCI modelling approaches can influence LCA results of biodiesel produced from rapeseed oil in terms of its impact on global warming.

**2. METHODS AND MATERIAL**

The impact of biodiesel produced from rapeseed oil on global warming (in terms of kg CO<sub>2eq</sub>) has been evaluated by performing number of LCI analysis each representing one of the possible inventory modelling choices.

In total, 9 different LCI modelling scenarios have been developed (Tab. 1). The first scenario (var. 0) represents the control scenario (chapter 2.1). Other LCI modelling scenarios (var. 1–8) are defined in a way to diverge from the control scenario in only one variable (chapter 2.2). The extent to which specific LCI modelling approach may influence the LCA results are then calculated by comparing the results of different LCI modelling scenarios to the result of the control scenario.

**2.1 LCI of biodiesel (control scenario)**

The production chain (PC) of biodiesel consists of rapeseed cultivation, grain drying, pressing and solvent extraction of rapeseed oil, refining the crude rapeseed oil, transesterification of rapeseed oil into biodiesel, and finally, distribution of biodiesel to final consumers. The main product flow normalized in terms of the production of 1,000 kg of biodiesel is presented in Fig. 1.

In the control scenario the LCI of biodiesel includes information on all of the relevant environmental inputs and outputs associated with the production chain of biodiesel, i.e. material and energy requirements, as well as emissions and wastes. A detailed description of material and energy flows associated with the PC of biodiesel, as well as a detailed description of the production technologies (rapeseed production and grain

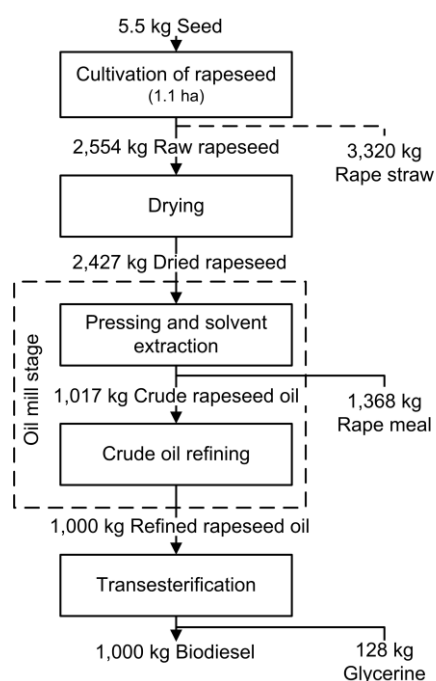


Fig. 1. Main material flows related to the production of 1,000 kg biodiesel [3]

drying, oil extraction and refining, transesterification) is available in Serbian [3] while a less detailed description is also available in English [4, 5]. Data on GHG emissions in the life cycle of input flows associated with the production chain of biodiesel were mainly taken from the ecoinvent database [6] which is considered to be the most comprehensive LCI database in Europe. The ecoinvent database is integrated in the SimaPro 7 LCA software which was used for the calculations of LCI and LCA results.

In the control scenario the LCI includes all relevant processes including those omitted by some previous LCA studies like *i*) GHG emissions associated with the production, maintenance and demolition of buildings, machinery and other infrastructure used in the PC of biodiesel and *ii*) N<sub>2</sub>O emissions (a greenhouse gas) released during the nitrification of ammonium from the nitrogenous fertilizer used in the rapeseed production phase. The quantity of N<sub>2</sub>O released during the nitrification process was estimated at 4.4 kg N<sub>2</sub>O/ha/yr using the BioGrace v. 4c software [7] which is based on the IPCC methodology [8].

Rapeseed production, oil extraction and transesterification result in the production of three important by-products: rapeseed straw, rapeseed meal and crude glycerine, respectively (Fig. 1). In the control scenario energy allocation is used to allocate the material and energy flows to rapeseed meal and glycerine, as recommended by the

European Parliament and the Council (Directive 2009/28/EC). It is assumed that rapeseed straw is not a co-product; therefore, material and energy flows of the rapeseed production phase are not allocated to straw in the control scenario.

In the control scenario carbon and other GHG emissions resulting from land use change were not taken into account. This is in accordance with the common practice in biofuel's LCI modelling [1].

## 2.2 Description of LCI modelling scenarios

In addition to the control scenario 8 other LCI modelling scenarios have been developed. These scenarios include various approaches to co-product allocation, system boundary definitions and land use change modelling.

Variants 1-5 differ from the control variant (var. 0) in a way they address the problem of multifunctional processes (i.e. processes which produce more than one product). In order to partition the input and output flows between the co-products mass and economic allocations were used in variants 1 and 2, respectively. In var. 3 no allocation is applied which means that all input and output flows of the biodiesel's product system are assigned solely to biodiesel. In var. 4 substitution method has been used which means that the biodiesel system is expanded to include alternative functions for by-products (i.e. rapeseed meal and glycerine), which are then regarded as credits to the chain. In this study it is assumed that rapeseed meal is used as animal feed instead of soy meal, whereas glycerine is displacing light fuel oil in industrial furnaces. Thus, the environmental impacts of soy meal and light fuel oil have been subtracted from the environmental impact of the biodiesel's production chain. In var. 5 it is assumed that rapeseed straw is a valuable co-product of rapeseed grain production, thus environmental burdens of the agricultural stage are partially allocated to straw based on its energy content. The concept of allocation and the allocation procedure applied in this study is explained in more details in Kiss and Boskovic [9].

In many LCA studies of biodiesel environmental flows associated with the construction, maintenance and demolition of buildings and equipments used in the process chain are not included. The error arising from the exclusion of these impacts can be seen by comparing the results of variants 6 and 0.

Some LCA studies of biodiesel did not include the global warming impacts of N<sub>2</sub>O released from soils to the atmosphere during nitrification of ammonium from ammonium-producing fertilizers, thus underestimating the GHG intensity of



Table 1. Description of the 9 different approaches to LCI modelling of biodiesel

Alternative approaches to LCI modelling:		Description of the variants:								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
Allocation method	Energy content	•					•	•	•	•
	Mass		•							
	Revenue			•						
	No allocation				•					
	Substitution					•				
Rapeseed straw	Not a co-product (no allocation)	•	•	•	•	•		•	•	•
	Fully valorised (co-product)						•			
Comprehensiveness	Infrastructure included	•	•	•	•	•	•		•	•
	Field N emissions included	•	•	•	•	•	•	•		•
Agricultural reference system	Not taken into account	•	•	•	•	•	•	•	•	
	Cropland (LUC)									•

biodiesel. The effect of N<sub>2</sub>O emissions from soil on the GHG intensity of biodiesel is measured by the difference in the results of variants 7 and 0.

The production of rapeseed for biodiesel requires land that was previously used, and would otherwise be used, for a different purpose. This means that, besides a direct land use change (dLUC) which can have an influence on the GHG balance, there may also be further impact on GHG balance if the displacement of the previous land use leads to land use change elsewhere [10]. Therefore, both direct and indirect land use change (iLUC) must be considered. Impacts arising from land use change are generally not included in previous LCA studies of biodiesel [1]. In variant 8 it is assumed that rapeseed is grown on a cultivated land, therefore dLUC effects are negligible and are not accounted for. However, the iLUC effects arising from the assumption that pristine land are cleared to replace the food crops that were diverted elsewhere to biofuel's production. Because natural lands, such as rainforests and grasslands, store carbon in their soil and biomass as plants grow each year, clearance of wilderness for new farms translates to a net increase in carbon emissions. The increase in carbon emissions due to iLUC was assumed to be 55 g CO<sub>2</sub> eq/MJ of rapeseed biodiesel (ca. 2040 kg CO<sub>2</sub> eq/ha rapeseed) as suggested by the proposal of the European Parliament and of the Council

(COM(2012) 595 final). The extent to which the inclusion of iLUC effects into the LCI modelling of biodiesel will influence the results of LCA are demonstrated by the difference between the results of variants 8 and 0. The main modelling assumptions applied in various LCI modelling scenarios are summarized in Tab. 1.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

Depending on the choice between various LCI modelling approaches the GHG intensity of biodiesel can vary within a significant range of 1.5 to 3.8 kg CO<sub>2</sub> eq/kg of fuel (Fig. 2).

The results indicate a strong influence of the choice of allocation method, with net GHG emissions ranging from 1.5 kg CO<sub>2</sub> eq/kg (var. 1; i.e. mass allocation) to 3.2 kg CO<sub>2</sub> eq/kg (var. 4; i.e. substitution with rapeseed meal used as animal feed and glycerine used as fuel).

The results confirm that inclusion of soil carbon emissions due to LUC impacts of biodiesel would significantly increase (ca. 50%) the GHG intensity of biodiesel. Previous LCA studies of biodiesel that have not considered the global warming impacts of nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) released from soils during nitrification of ammonium from the ammonium-producing fertilizers have significantly underestimated the GHG intensity of biodiesel (ca. 30%). On the other hand, the

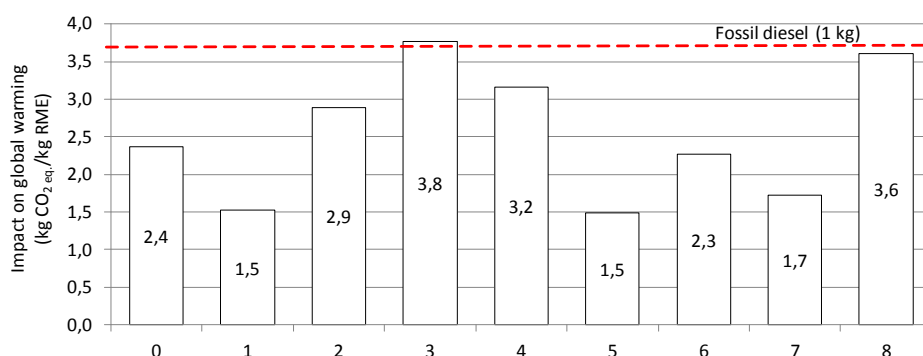


Fig. 2. The GHG intensity of biodiesel depending on the LCI modelling approach

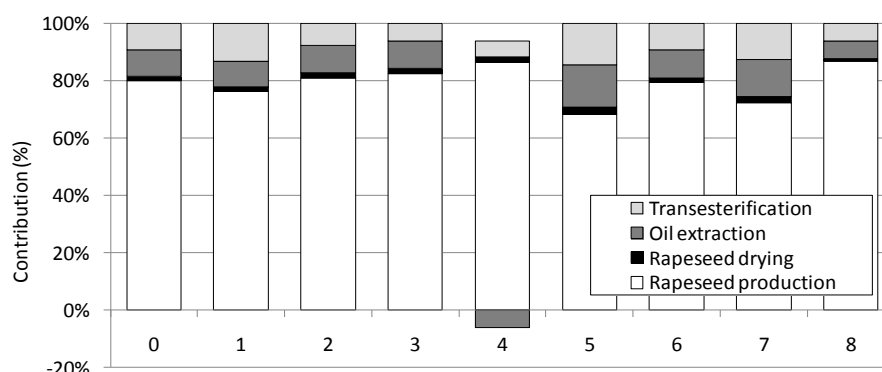


Fig. 3. Contributions of life cycle phases to total impacts depending on the LCI modelling approach

exclusion of GHG emissions associated with the production, maintenance and demolition of buildings and equipments used in the production chain of biodiesel would not significantly alter the LCA results.

Apart from the overall magnitude of GHG emissions the inventory modelling approach would also influence the relative importance of by-products and life cycle phases (Fig. 2 and 3).

#### 4. CONCLUSIONS

Based on observations from chapter 3 the following conclusions can be made:

- Lack of unambiguous guideline for biofuels LCA introduces confusion and suspicion in the reliability of the results of the assessment.
- ISO 14040 and ISO 14044 standards allow the use of several methods to address the same methodological issue and mix different principles of LCI modelling (attributorial and consequential).
- Transparency in description of the modelling assumptions is imperative.

#### 5. REFERENCES

- [1] Malca, J., Freire, F.: *Life-cycle studies of biodiesel in Europe: A review addressing the variability of results and modeling issues*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 15, p.p. 338–351, 2011.
- [2] Whitaker, J., Ludley, K., Rowe, R., Taylor, G., Howard, D.: *Sources of variability in greenhouse gas and energy balances for biofuel production: a systematic review*, GCB Bioenergy 2, p.p. 99–112, 2010.
- [3] Kiš, F.: *Economic assessment of environmental impacts associated with the usage of biodiesel*. PhD thesis. Faculty of Agriculture, University of Novi Sad, Novi Sad, 2011.
- [4] Kiss, F., Petković, Đ., Radaković, D.: *Environmental external costs associated with airborne pollution resulted from the production chain of biodiesel in Serbia*. Book of Proc.: 4th IEEE International Symposium on Exploitation of Renewable Energy Sources - EXPRES, Subotica, Serbia, p.p. 71-76, 2012.
- [5] Kiss, F., Bošković, G.: *Life cycle energy requirements of biodiesel produced from rapeseed oil in Serbia*. Journal on Processing and Energy in Agriculture, Vol. 16, No. 1, p.p. 28-33, 2012.
- [6] ecoinvent v2.2 database, Swiss Centre for Life Cycle Inventories St-Gallen, Switzerland
- [7] Neeft, J.: *Align biofuel GHG emission calculations in Europe (BioGrace)*. Project funded by the Intelligent Energy Europe Programme, Contract number: IEE/09/736/SI2.558249, 2012.
- [8] Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. (eds): *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, IGES, Japan. 2006.
- [9] Kiss, F., Bošković, G.: *Influence of the Chosen Allocation Method on the Life Cycle Assessment Results of Biodiesel*. Book of Proc.: 3<sup>rd</sup> International Congress “Engineering, Environment and Materials in Processing Industry”, Jahorina, Bosnia and Herzegovina, p.p. 298-309, 2013.
- [10] Hamelinck, C., Koop, K., Croezen, H., Koper, M., Kampman, B., Bergsma, G.: *Technical specification: greenhouse gas calculator for biofuel*, Version 2.1b, SenterNovem, Ecofys 2008.

**Author: Dr. Ferenc E. Kiss, research assistant,** University of Novi Sad, Faculty of Technology, Bul. cara Lazara 1, 21000 Novi Sad, Serbia, Phone.: +381 21 485 3641. E-mail: ferenc1980@gmail.com

Kočí, V.

## TWO EXAMPLES OF LCA IN CONSTRUCTION INDUSTRY

**Abstract:** This research paper presents shortly results of LCA study focused on selected producers of construction industry materials. Following materials were assessed: portland cement produced in Holcim, a.s. and floor covering produced by Fatra, a.s. Both companies operate in Czech Republic. The paper shows how selection of supply chain can influence final environmental impacts of products.

**Key words:** LCA, construction industry, environmental impacts

## 1. INTRODUCTION

Environmental impacts of materials used in construction industry are currently subject of environmental impacts evaluation. Increasing interest in buildings having higher environmental standard leads, beside of lower energy consumption, to need of construction materials having lower environmental impacts. These impacts are more and more often assessed using whole life cycle approach. Higher environmental standard of construction material offers to investors a possibility to communicate such information to consumers, which are being more sensitive to environmental issues. In this context the environmental based information increase competitiveness of production.

The LCA method can be used in construction industry management for the purpose of environmental assessment of alternative projects and/or the identification of the main areas for potential improvements on specific concepts of insulation, material selection and many more including the specific technologies involved. The LCA results could be useful towards the end of proposing suggestions for the decision-making process. LCA within construction industry is mainly focused upon: the identification of environmentally important processes in the project, construction, use and demolition; the identification of important environmental burdens within these processes; the definition of the proposed improvement end points on local optimization (the displacement of environmental burdens to other locations); whether these are environmentally preferable for the entire building life cycle system; and upon the assessment of environmental impacts of the waste management alternatives throughout their entire life-cycle.

## 2. METHODS

The aim of this study was to evaluate life cycle impact category results for different producers of construction materials and to demonstrate differences between influence of supply chain to final environmental impacts. One assessed product is portland cement produced by Holcim, a.s.. Second assessed product is floor covering made from PVC produced by Fatra, a.s. Both companies operate in Czech Republic. The functional unit chosen was the portland cement was 1 t of produced material. Functional unit of PVC based floor covering was 1 m<sup>2</sup>. The choice of a system for the life-cycle approach essentially depends on the required depth of the enquiry. If necessary, not only the operating process, but also all pre- and post-processing involved in the preparation of the materials, in the manufacture of the components, building construction, demolition, and disposal of the plant and equipment, as well as transport, can be taken into account [1].

Generally, life cycle assessment can be defined as a method that studies the environmental aspects and potential impacts of a product or system from raw material extraction through production, use and disposal. The general categories of environmental impacts to be considered include resources consumption, human health and ecological consequences. The result of the LCA is an environmental profile that expresses the performance of the total system life cycle and single life cycle stages. It has become a recognised tool in decision-making within industry and public administration. As a consequence, several international, national, industry branch and company specific LCA databases are established to provide data efficiently. Data on waste treatment processes and remediation and/or attenuation still tend to be missing or are of low quality [2].

The names of the ISO publications more or less

reflect the main phases of LCA recommended in ISO guidelines [3, 4]. The phases are following: goal and scope definition, where the goal and scope of the study are defined; inventory analysis, which involves compilation and quantification of inputs and outputs, for a given life cycle system; impact assessment, which aims at understanding and evaluating the magnitude and significance of the potential environmental impact of a life cycle system and interpretation, in which the findings of either the inventory analysis or the impact assessment, or both, are combined consistent with the goal and scope in order to reach conclusions and recommendations [2].

The goal and scope definition deals with the exact specification of the question to be addressed with the LCA. Such specifications are important for making the right choices and selecting the appropriate data in the subsequent phases of the LCA. For instance, knowing the geographical area of the use? Process steers the selection of the appropriate electricity production details. An important aspect of the goal definition is the definition of the functional unit, and the selection of the product and/or technological alternatives that are taken into consideration. In other words, it is the functional equivalency that forms the basis of the comparison. A formal expression of this functional equivalency is by means of the functional unit, which is supposed to reflect the function that the products fulfill. Also in the (rare) situation of a non-comparative LCA, a functional unit must be chosen to fix the calculations. Basically, the choice of functional unit in this case is arbitrary [5]. In the case of remediation the function can be expressed as an amount of contaminants removed from defined amount of contaminated soil. The scope definition is concerned with a priori restrictions of the width of the study, which means system boundaries, time scope, and principles of allocation of environmental burdens of side-products and/or shared processes. The goal and scope definition may also provide a set-up for the procedural management of the LCA.

The inventory analysis is the most technical phase of an LCA, and is at the core of the modeling step. It is the phase in which the life cycle aspect is most clearly visible, because the focus is on defining the product system, i.e. the set of processes that constitute the product's life cycle. Every individual process of the product system is calculated in the relation to chosen functional unit and its inputs and outputs are evaluated. A final element of the inventory analysis is the aggregation of identical releases across processes within the life cycle. The emissions of (for

example) CO<sub>2</sub> during manufacture, use and disposal are added to yield one cradle-to-grave summa of emission of CO<sub>2</sub>. This applies to all other pollutant emissions and to the resources as well. The final result of the inventory analysis is the inventory table: a long list with the quantities of the various pollutants and resources that are emitted or extracted along the entire life cycle [5]. The life cycle impact assessment (LCIA) is centered on the concept of impact categories. These are classes of identical or similar effects that can be viewed as the result of particular pollutant emissions or resource extractions. Frequently used impact categories are: climate change and/or global warming, ozone layer depletion, human toxicity, ecotoxicity, acidification, eutrophication, photochemical ozone formation and depletion of abiotic resources. Contribution of every pollutant to selected impact category is determined by specific models. These so-called characterization models may be very complex, non-linear, dynamic models. As a matter of fact, the models themselves are not used in impact assessment. Rather, simple factors are derived from such models, the characterization factors. Each substance contributing to an impact category has its own characterization factor, expressing its relative importance to the impact category, compared to all the other substances contributing to the same impact category. An optional next step is normalization, a step in which the results from the characterization are related to the total extent of the environmental problem. Typically, the world's annual emissions and extractions are used to calculate this total extent for every impact category, and the product's category indicator results are divided by these totals. The result is a fractional share of the product in the total extent of the environmental problems. Principal reasons for carrying out a normalization step are for error checking and for adding significance to the results, for instance by removing the differences in units between the scores on the different impact categories [5].

The interpretation phase has been included in the LCA process to give a systematic place to analysis and discussions of the previous results. Although the interpretation phase is remarkably open, some key elements show up in most case studies. These are: the decomposition of the results among the contributing processes or substances using so called structuralization tables; the performance of sensitivity and uncertainty analyses; a discussion of the reliability of the results in relation to the completeness and quality of the input data; a final conclusion and/or recommendation, also taking aspects of feasibility into account. An important

aspect of LCA is of course a transparent and comprehensive reporting, of input data and choices, of results, and of conclusions drawn [5]. It is beneficial to perform the LCA in at least two iterative steps. First, key issue identification should be carried out. A rather broad system should be defined and rough data can be used. Dependent on the outcome of a sensitivity and uncertainty assessment, a more detailed study should be performed with revised system boundaries and focus on high quality data going through all the phases again this time with specific focus on the points identified during the first iteration [2]. Finally, the LCA results may serve as useful input for various decision-making processes. Life cycle assessment in a remediation management systems can be specifically targeted towards: identification of the most environmentally significant processes during the remediation process; identification of the most significant environmental burdens during a contaminated soil management scenario; identification whether improvement proposals result in local optimization (shift of environmental burdens to other sites), or if they are environmentally better for the whole contaminated soil management system. Using LCA an assessment of several scenarios can be used to compare the performance of alternative systems or

with defined criteria.

The reference documents for LCA study are General Programme Instructions [6] and Product Category Rules for CPC Division (not available): Construction Products and CPC Division 54: Construction Services [7]. Product Category Rules (PCR) are specified for specified information modules “cradle-to-gate”, so called core modules. The structure and aggregation level of the core modules is defined by the United Nation Statistics Division - Classification Registry CPC codes (<http://unstats.un.org>).

System boundaries of this study are cradle to gate. Based on EN 15804 The International EPD® System has adopted an LCA calculations procedure which is separated into different life cycle stages, so called modules A1, A2 and A3:

- Module A1: Upstream processes including energy production (A1e)
- Module A2: Transport of inputs to producer
- Module A3: Core processes including infrastructure and waste processing

Schematic description of system boundaries consisting of up-steam module processes, core processes and down-stream processes is shown on following figure.

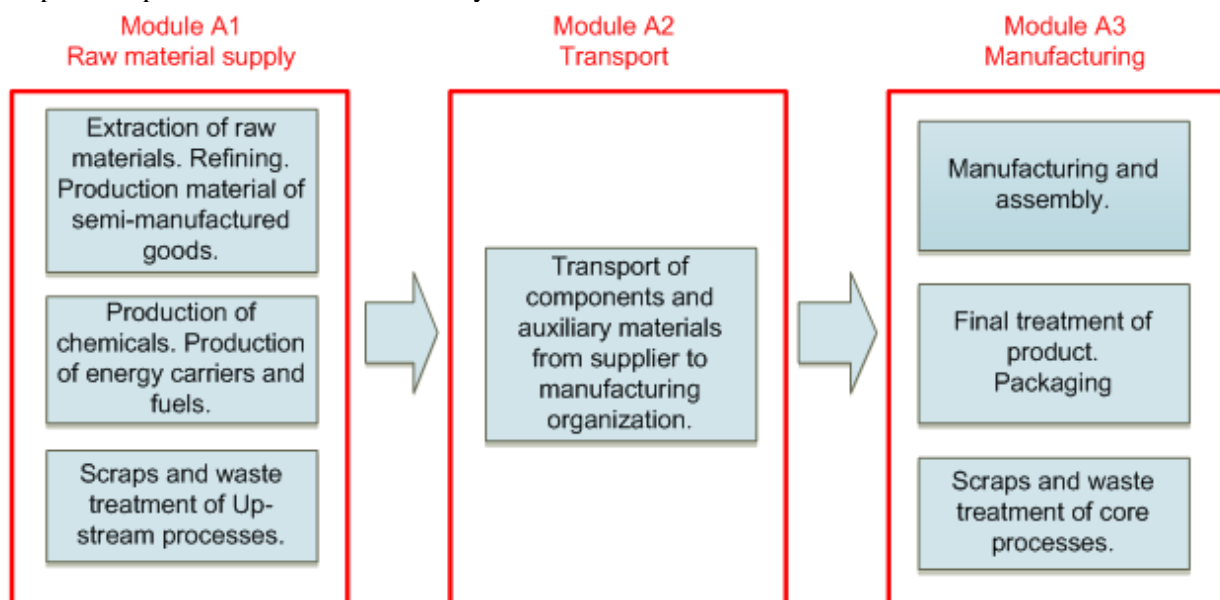


Fig. 1 System boundaries

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

Following tables illustrate contribution of technology steps on results of impact category indicators.

In the table used abbreviations have following meanings: Abiotic Depletion (ADP elements) [kg

Sb-Equiv.]; Abiotic Depletion (ADP fossil) [MJ]; Acidification Potential (AP) [kg SO<sub>2</sub>-Equiv.]; Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate-Equiv.]; Freshwater Aquatic Ecotoxicity Pot. (FAETP inf.) [kg DCB-Equiv.]; Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO<sub>2</sub>-Equiv.]; Human Toxicity Potential (HTP inf.) [kg DCB-

Equiv.]; Marine Aquatic Ecotoxicity Pot. (MAETP inf.) [kg DCB-Equiv.]; Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]; Photochem. Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene-Equiv.]; Terrestrial Ecotoxicity Potential (TETP inf.) [kg DCB-Equiv.].

In the table mentioned values below zero results from avoided environmental impacts as are beneficial from energy recovery during waste management.

Kg*ekv.	A1	A1e	A2	A3
ADP elem.	4,94E-04	1,64E-06	1,27E-07	-9,50E-9
ADP fos.	1,39E+03	1,12E+03	4,46E+01	-3,23E-1
AP	3,73E-02	7,93E-01	9,31E-03	1,56E+00
EP	3,32E-03	3,47E-02	1,97E-03	1,97E-01
FAETP	2,00E-01	1,41E-01	7,65E-03	1,40E+02
GWP	1,61E+01	1,12E+02	1,38E+00	7,93E+02
HTP	4,12E+00	3,98E+00	7,88E-02	1,07E+04
MAETP	1,25E+03	5,64E+03	2,71E+01	8,07E+05
ODP	9,73E-08	3,23E-09	1,20E-09	-2,78E-9
POCP	5,29E-03	4,44E-02	3,96E-5	1,00E-01
TETP	2,37E-02	9,38E-02	2,33E-02	3,26E+03

Table 1. Holcim Cement potential impacts

Following figure 1 illustrate results and relative contributions of technology modules to final results.

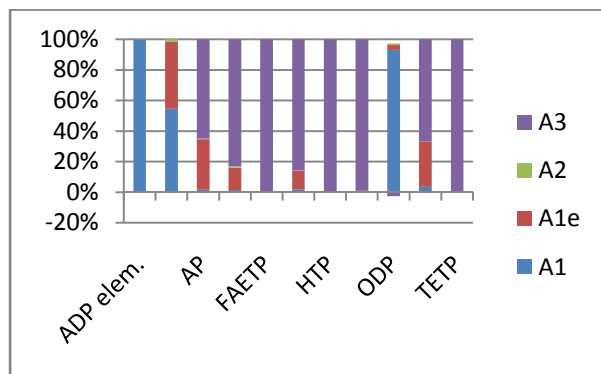


Fig. 2 Holcim: Relative contributions of technology modules to impact category results

As it is shown in table 1 and in figure 1, the main environmental impact of cement production results in main technology process, on site. The emissions from clinker burning produce main proportion of environmental impacts. This is mainly due to co-burning of dangerous wastes containing toxic metals.

Portland cement is one of primary materials used during basis phase of building construction. PVC

based floor covering is contrary to the cement one of materials used during finalization of construction. Following table summarize environmental impacts of Fatra, a.s, heterogeneous floor covering.

Kg*ekv.	A1	A2	A3
ADP elem.	2,33E-05	1,36E-09	-1,28E-07
ADP fos.	6,05E+01	4,76E-01	-3,77E+00
AP	4,82E-02	1,27E-04	-7,77E-04
EP	4,26E-03	2,67E-05	5,15E-05
FAETP	1,43E-02	8,15E-05	5,67E-04
GWP	6,09E+00	3,44E-02	1,75E-01
HTP	1,24E-01	1,36E-03	-2,11E-03
MAETP	1,30E+02	2,94E-01	6,80E+00
ODP	1,28E-08	1,27E-11	7,77E-10
POCP	1,15E-02	1,50E-05	-4,62E-05
TETP	1,78E-03	2,47E-04	2,03E-05

Table 2. Fatra PVC floor covering

Relative contribution of technology modules to final results of potential environmental impact is shown in following graph 2.

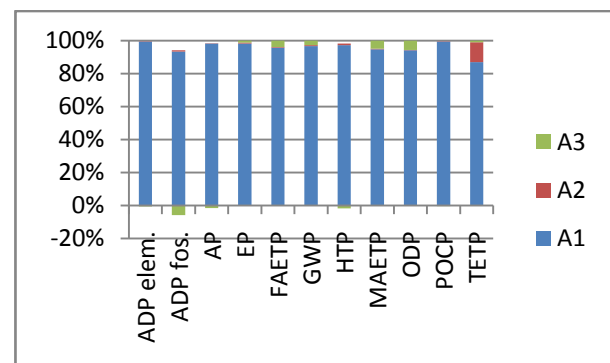


Fig. 3 Fatra: Relative contributions of technology modules to impact category results

#### 4. CONCLUSION

LCA can serve as a tool for evaluation of possible ways how to increase environmental impacts of construction materials. Two examples of construction were assessed and there was shown, that different products can be differently environmentally intensive: Portland cement during production phase and PVC based floor covering during upstream phase. Main environmental impacts of cement production are associated with emissions containing toxic metals. Contrary to Portland cement production is PVC based product environmentally intensive during upstream process, especially in PVC granulate and phthalate

production. Electricity consumed during manufactory phase represents cca. 10% of environmental impacts (depends on selected impact category). Such a result can be useful for producer in determination effective ways for further development of production taking into account environmental aspects.

## ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the National Research Programme II provided by Ministry of Education, Youth and Sports, grant No. 2B06121.

## 5. REFERENCES

- [1] Wittmaier, M., S. Langer, and B. Sawilla, Possibilities and limitations of life cycle assessment (LCA) in the development of waste utilization systems - Applied examples for a region in Northern Germany. *Waste Management*, 2009. 29(5): p. 1732-1738.
- [2] Bjarnadóttir, H.J., et al., Guidelines for the use of LCA in the waste management sector. *NORDTEST*, 2002.
- [3] ISO14040, International Standard (ISO): Environmental management - Life cycle assessment: Principles and framework. ISO 14040, 2006.
- [4] ISO14044, International Standard (ISO): Environmental management - Life cycle assessment: Requirements and Guidelines. ISO 14044, 2006.
- [5] Heijungs, R., G. Huppes, and J.B. Guinee, Life cycle assessment and sustainability analysis of products, materials and technologies. Toward a scientific framework for sustainability life cycle analysis. *Polymer Degradation and Stability*, 2010. 95(3): p. 422-428.
- [6] IEC, General Programme Instructions for environmental product declarations, EPD. 2008: p. 44.
- [7] IEC, Product Category Rules: CPC Division (not available): Construction Products and CPC Division 54: Construction Services. *Product Category Rules*, 2012: p. 35.

**Author: doc.Ing. Vladimír Kočí, PhD**, Institute of Chemical Technology Prague, Technická 5, 166 28 Prague 6, Czech Republic, Phone + Fax: +420 220444171.  
E-mail: vlad.koci@vscht.cz

## ENVIRONMENTAL DECLARATION OF PRODUCTS IN CZECH REPUBLIC

**Abstract:** This review paper presents current activities dealing with environmental product declaration in Czech Republic. Type III environmental declaration are frequently used in construction industry and especially for export to some western European countries it is needed as communication tool in B2B contact. Center for Environmental Declaration as a Czech EPD programme operator was established.

**Key words:** LCA, EPD, environmental declaration, ISO 14025

## 1. EPD

Environmental declaration of products is a modern tool for communication of possible environmental impacts of products. Such a document belongs to activities dealing with extended responsibility in product life cycle chain. Type III environmental declaration is based on international standard ISO 14025 [1]. The EPD abbreviation is often used for this type of environmental declaration. Data for EPD are based on life cycle analysis conducted in relation to international standards ISO 14040 and ISO 14044 [2, 3].

There exist several national operators managing system of EPD, for example in France, Germany, Portugal. Some of other operators act internationally, for example Swedish IEPD consortium. Increasing need for Czech national operator resulted in establishing of Center for Environmental Declaration.

## 2. CENDEC

Center for Environmental Declaration is newly established non-for profit and non-governmental organization with a mission to support industrial producers in obtaining environmental declaration of products. Center for Environmental Declaration with abbreviation CENDEC is organization of LCA and EPD experts, and associated members consists group of certification bodies and industrial partners. CENDEC started to operate in 2012 and first EPDs are registered in 2013.

With the respect to international business CENDEC do not plan to make new parallel rules of obtaining EPD, rather it prefer to cooperate with other EPD operators and support efforts on unification of product category rules – PCR. CENDEC made agreement with Swedish International EPD® system to cooperate and to use common system of PCR and common data

basis of registered EPDs. CENDEC can help to other countries and organizations to cooperate on EPD system. Webpages of CENDEC are [www.cendec.cz](http://www.cendec.cz)



Fig. 1 CENDEC logo

## ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the National Research Programme II provided by Ministry of Education, Youth and Sports, grant No. 2B06121.

## 5. REFERENCES

- [1] ISO 14025, Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations - Principles and procedures, 2006, CEN.
- [2] ISO 14040, International Standard (ISO): Environmental management - Life cycle assessment: Principles and framework. ISO 14040, 2006.
- [3] ISO 14044, International Standard (ISO): Environmental management - Life cycle assessment: Requirements and Guidelines. ISO 14044, 2006.

**Author:** doc.Ing. Vladimír Kočí, PhD, Institute of Chemical Technology Prague, Technická 5, 166 28 Prague 6, Czech Republic, Phone + Fax: +420 220444171.

E-mail: [vlad.koci@vscht.cz](mailto:vlad.koci@vscht.cz)



**Vlčej, J., Košíková, A., Tomeková, B.****LCA MODEL APPLICATION IN SLOVAK REPUBLIC**

*Abstract: We focused on the delineation and find potential areas for possible application-specific LCA methods in the Slovak Republic into practice. Based on the analysis of available data and our own mapping LCA in practice, we devote potentially the most interesting areas for the use of LCA in Slovakia and the next part we made a SWOT analysis, where we focused on the potential opportunities and threats negative LCA application. The most common application area, however, is the management company, where the data obtained from LCA used efficiently, spending the funds allocated to environmental protection and strategic selection of areas in which to invest and where to develop production*

**Key words:** impact category, ecodesign, ecolabelling, LCA.

**1. INTRODUCTION**

LCA method is regarded as a universal method that is usable for any organization, regardless of its nature and business, in terms of an objective assessment of the product life cycle. LCA method nowadays is experiencing a methodological expansion, this world-recognized, standardized scientific method is widely applied as in scientific research and educational, as well as innovative and practical processes. Many European colleges and universities this method include in their curricula. The LCA method has a great future, therefore, is rightly regarded as one of the most important tools to achieve sustainable development and a major tool for the newly forming an integrated product policy. For this purpose, further efforts are still evolving, especially down the other categories of impact and sets the parameters required for calculation of negative impacts. They state, unify and enhance the application procedures. Solve the problems of collecting and processing vast amounts of data. It can be assumed that the development of LCA method will be refined and cheaper its database and appropriate software, so the overall efficiency of the application of the method will rapidly increase. Probably in the near future will be available free of charge average LCA results for some materials.

**2. CHARACTERISTICS OF ISSUES**

LCA assesses not only the potential and actual impacts. Therefore does not provide any information regarding the consequences of non-

compliance or environmental risks. LCA results of two studies on the same subject can vary according to the objectives, data quality, methods used for impact assessment. This is also the reason why ISO insists on transparency of LCA studies. Problematic is also assessing the LCA studies, when it comes to classified data, which may create room for manipulation. In addition to these restrictions appear LCA methods and other problems. Many of those that appeared in the assessment and comparison systems were caused by misunderstandings between the system and the product. Although it is primarily focused on industry products, this product system that is important in this type of analysis. Often criticized element of LCA is subjective choice, which can cause many problems. This concerns for example the status of system boundaries, data source selection, allocation rules, traffic scenarios and scenarios relating to waste management and forecasting consumer behavior. Many of these elements is usually based on rough estimates and do not have the lot in common with the real world. For example, the supply system can change very quickly and use the product also has many variations, which may be significantly distant behavior recommended in the product manual. Many of the data system changes (such as changing supply chain) and require frequent updating LCA studies. Certain data may show seasonal differences, which means that any product can be superior to another for a certain period, and vice versa.[4]

Strengths	Opportunities
Extensive information tool with a large portfolio managers use for Slovak	Ecolabelling of type III. is currently the most widely used type of LCA in Europe
Great potential in the market due to the large number of foreign companies that will gradually require analysis LCA from Slovak suppliers	Allows you to investigate the causes of negative impacts on the environment in Slovakia
Tool in the future sustainable development	Can provoke discussion about improving the environment and waste management in Slovakia
Allows you to choose the best technology upgrade for Slovak managers	Potential marketing tool for the advancement of Slovak products on the market
Not only software but also information tool	
Weaknesses	Threats
Weak support from government authorities in Slovakia	The results can affect
Lack of motivation economic incentives for potential users of LCA in SR	Loss of possibilities systematically and effectively monitor the environmental impacts of SR
Insufficient elaboration of the scientific and academic level	Application of LCA in the surrounding region except Slovakia
Poor awareness Slovak managers of LCA tools and EMS	Reluctance to invest financial resources to purchase software for LCA analysis
It required considerable training users of LCA	

Table 1. SWOT analysis of LCA applications in the Slovak Republic

### 3 THE LEVEL OF IMPLEMENTATION OF THE LCA METHOD IN THE SLOVAK REPUBLIC

In terms of the level of implementation of the LCA method in the Slovak Republic have developed a number of projects, but there has been the development of specific LCA methods into practice. Principles LCA method, which is based approach 'life cycle thinking', was in the Slovak Republic said in the waste management until 2005, a new program in 2010, but the mention of this approach is missing. It follows that the LCA method although it is one of the most dynamic voluntary instruments and the principles of

environmental management systems for attaining sustainable development is currently not among the priorities for development in the field of waste management in the Slovak Republic. The primary goal and mission of this work is to contribute to the improvement of the negative state and show companies and public authorities that LCA is very important for optimal parallel economic development and environmental protection. The Government is currently not included in its strategic priorities in the environmental LCA method more concrete. Argumentative justification for government authorities to this situation is the current economic crisis and the resulting low level of the amount of funds in the state budget affected by reduced levels of selected amount of cash receipts from taxes and the resulting inability to use free up financial resources for the development of informal voluntary environmental management tools such as LCA. On campus arose several research projects at universities in Kosice, Zvolen, Bratislava and currently also on the UCE in Skalici. At present, the scientific field in the acute lack of information about LCA, individual models for specific problems with LCA. The most serious deficiency constitutes lack of good data on inputs to production processes, quality data on outputs (emissions, waste) is low. Another and very important deficiency in SR for the production LCA analysis is the lack of quality software necessary for the implementation of LCA analyzes. Downside price objective is broadcast procuring this kind of software which most Slovak universities and colleges can not afford to fund from its own resources. Important effort in applying LCA developed Slovak Environmental Agency, which developed methodology of direct application of environmental management tools, including the LCA for the Ministry of Environment. This strategic plan has not been directly supported by state agencies in Slovakia, in what can be considered one of the major causes of poor application of LCA to SR practice. Negative factor hampering straightforward LCA method development in Slovakia is the lack of a strategic and systematic promotion of science and innovation research. Directly linked to the indifference of senior management of companies use LCA. Deeper and better legislative amendment issues LCA methods could be achieved by increasing competition between firms in Slovakia, where each individual company had to develop and market the product with the lowest environmental impacts, otherwise it would lose its influence and build it on the market. In this example we can see the difference degree of

implementation of the LCA method in Slovakia and other Central European countries, compared to developed countries of Western Europe. A partial explanation of the reason for a closer examination of this issue is the difference in consumer culture, people and company managers compared countries directly associated with improved standards of living in developed countries where there is a wider opportunity to invest in environmental protection. In developed countries it is common for a client or business manager selects the product is not the lowest price, but is willing to pay a higher price just to chose a product with lower environmental impacts than other products and therefore invests in long-term maintenance and design improving the environment in less developed countries, such as Slovakia, the majority of customers-consumers can not be selected as the main criterion for the product with the lowest environmental impacts. It is also influenced by the lower standard of living of citizens and the economic performance in Slovakia compared to more developed countries of Western Europe, but also the level of environmental awareness in respect of the individual citizen to protect the environment. As an initial solution may appear introduction of LCA methods in business and product policy business, more precise and integration of LCA methodology for the implementation of the national education and industrial sectors in Slovakia and the associated raising awareness of sustainable development, production and environmental protection. Should occur consulting centers, which would provide a systematic educational process that would improve awareness of current Slovak consumers, candidates and the primary managers of large companies who could directly benefit from LCA and other environmental management tools.

#### **4POTENTIALLY THE USE OF LCA IN SR**

In this paper we would like to globally evaluate the data processed on the basis of the data within the entire job and describe the main contribution. The primary objective of the study was to outline a potential model for improving the use and application of LCA methods in the Slovak Republic. Based on research themes treated LCA method we evaluated within the said application model LCA potentially interesting areas of application and how to improve the implementation of LCA in SR. On the chart we can see from subjective choice contractor labor percentage distribution of the most interesting fields of application of LCA in Slovakia.

According to this view as potentially the most interesting field of application of LCA method in Slovakia seems Ecolabeling type 3, or Environmental Product Declaration EPD often referred to as. This type is between scientists and applicators LCA most currently used tool for the use of LCA in developed countries and is the future assumption that this tzp LCA will require its subsidiary companies large foreign companies operating in Slovakia (eg Volkswagen, INA) Another potentially the most effective area use of LCA methods by subjective selection and analysis of the state of the market appears to eco-design, which is inherently a focal point of use focuses on designing products with the lowest environmental impacts, which helps different groups of engineers and designers to innovate and streamline business product policy, but mainly to streamline the cost of manufacture of the product. This implies not only environmental but also economic optimization. In the public sector can contribute to more efficient method of environmental impact by state enterprises and a final optimization of the cost saving of expenditure from the state budget. Potentially the most modern and the most exciting future application of the method appears to LCC. It is a tool derived from LCA, which is in contrast to LCA method only focuses on the analysis of potential environmental impacts, but also to quantify the financial value of the potential impacts on the environment. Strong downside of this method is derived while developed methodology valuation negative impacts on the environment. Therefore, LCC currently only theoretical frameworks potential applications though poorly used in practice, thus its current research nature, but may play an important role in the future of environmental policy.

Figure 2 shows the model of LCA application in the Slovak Republic. Based on the continuity outlined in this chart can be inferred important areas and organs, which can contribute to optimizing the application of LCA. Potentially the most important authorities in the application of LCA is the Ministry of Environment of the Slovak Republic, which can issue various legislative decrees or tax bonuses contribute to motivating a deeper and more practical reveal LCA for company management. In addition, in collaboration with academia may issue a range of publications and manuals to deeper understanding of the current use of LCA in practice. Another important application of body and a deeper awareness in the implementation of LCA plays SEA, which has so far done the most business in the incorporation of informal voluntary environmental management tools in place in Slovakia. In doing so, however,

not for the goal of direct application of LCA in practice thus collaboration with the private and public sectors, where the outbreak is the largest space utilization and application of LCA. An interesting area of improving the application of LCA in Slovakia may be international cooperation and exchange relevant experiences related to the implementation of LCA within the CASE-LCA network.

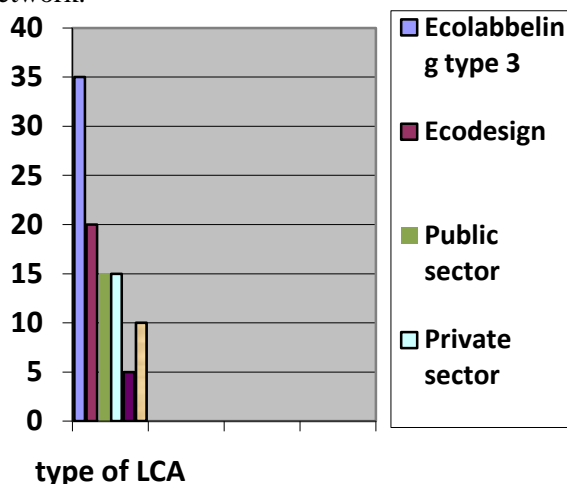


Figure 1. Potential percentage of the application areas of LCA in SR

#### Areas and authorities of applications LCA

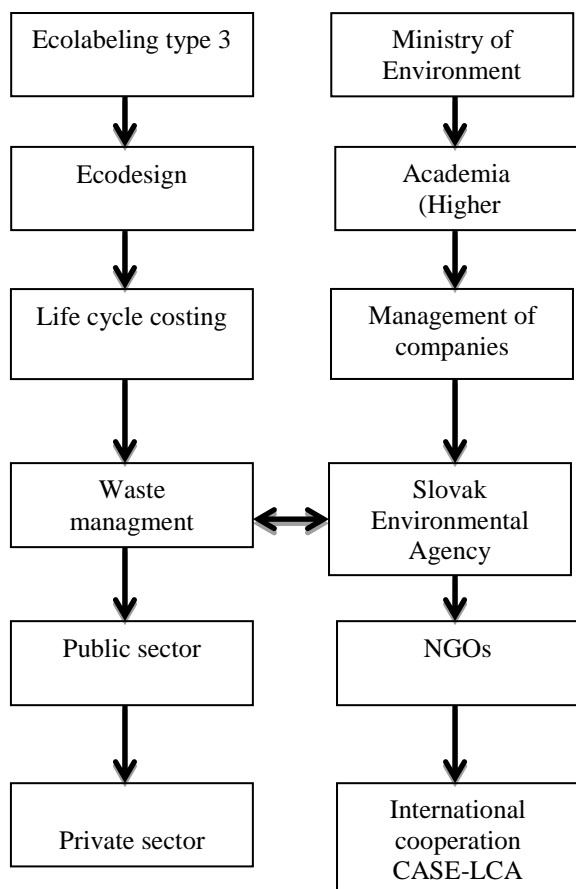


Figure 2. Model LCA applications in SR

## 5. CONCLUSION

The most common application area, however, is the management company, where the data obtained from LCA used efficiently, spending the funds allocated to environmental protection and strategic selection of areas in which to invest and where to develop production. Producers of raw materials (eg chemical or metallurgical industries) often use LCA analysis method allows for comparison of various recycling their products, poss. in addressing waste management concept. Manufacturers and subcontractors semi-LCA analysis can be used in promoting its products. OEMs can use LCA analysis for the development and production of their products and thus reduce negative impacts on the environment through the use of appropriate structures and appropriate materials.

## REFERENCES

- [1]Teplická, K., Hodnotenie kvality výrobku prostredníctvom hodnotenia jeho životného cyklu, Košice
- [2]Kočí V., Metoda posudzování životního cyklu a chemický průmysl, Chemické listy 2010
- [3]Kočí V., Čistení odpadních vod, sanace kontaminovaných púd z pohledu metody LCA
- [4]Tichá M., Možnosti a obmedzení metody LCA, Odpadové fórum 2009
- [5]Stano Š., Life cycle assessment – Hodnotenie životného cyklu 1.časť, Posterus, Bratislava: 2011
- [6]Stano Š., Life cycle assessment – Hodnotenie životného cyklu 2.časť, Posterus, Bratislava: 2011
- [7]Stajanča M., Analýza životného cyklu ako nástroj hodnotenia enviromentálnych vplyvov stavebných výrobkov, Juniorstav 2011

**Authors: Mgr. Jozef Vlčej, Ing. Alžbeta Košíková, Ing. Barbora Tomeková.,** University of Central Europe in Skalica, Department of Ecology and Environmental Sciences, Kráľovská 386/11, 909 01 Skalica, Slovak republic.  
 E-mail: j.vlcej@sevs.sk,  
 a.kosikova@sevs.sk  
 b.tomekova@sevs.sk

Crnobrnja, B., Budak, I., Ostojić, R.

**TYPE I ENVIRONMENTAL LABELLING - DEVELOPMENT OF SERBIAN  
ECO-LABELLING PROGRAMME**

**Abstract:** *Type I eco-labelling program generally involves three basic steps: selection of product categories, development of criteria and certification and licensing. Critical aspects of this type of eco labelling could be analyzed within this three phases. Successful official schemes like the Nordic “Swan” and the EU “Flower” explicitly demand that the award of the label is based on the life cycle approach. The paper presents examples of the application of life cycle assessment (LCA) in development of criteria for the award an eco-label to products/services in developed programs. Serbian program for type I eco-labelling is also presented, its structure and directions and recommendation for further development.*

**Key words:** *Eco-labelling, Type I, Life cycle assessment*

**1. INTRODUCTION**

ISO has identified three broad types of voluntary labels: **Type I** (third party program that awards a license that authorizes the use of eco-labels on products), **Type II** (environmental self-declaration claims) and **Type III** (programs that provide quantified environmental data of a product) [1, 2].

ISO 14024<sup>1</sup> defines Type I eco-labels. This standard is referring on programs of eco-labelling that awards to those products which satisfied complex previously defined conditions [3, 4].

The following paper presents the critical aspects of Type I eco-labelling. Examples are given on how the Nordic and EU programs apply life cycle assessment in defining the criteria for awarding the eco-label. It is shown the situation in Serbia in this area, as well as links between this and the EU eco-labelling program.

**2. CRITICAL ASPECTS OF TYPE I ECO-LABELLING**

Type I eco-labelling program generally involves basic phases [5]:

1. selection of product categories,
2. development of criteria and
3. certification and licensing.

Those phases can be considered as the critical of this type of eco-labelling. With the growing awareness related to importance of life cycle consideration, within analysis of criteria development special emphases was focused on

Life Cycle Assessment application in eco-labelling programs.

**2.1 Product category selection**

Process of selection of product category is a deciding factor for the success of an eco-labelling scheme because it has a major impact on the eligibility of specific products. Although, most programs have some guiding principles to assist in selection, the numbers of factors and prioritization methods vary significantly from one to another. Apart from the EU Flower and Japan Eco Mark, most schemes have not established comprehensive methodologies and procedures for the prioritization of product categories [5].

In order to select the product groups that are most suitable for eco-labelling, the Nordic Swan scheme investigates their relevance, potential and how they can be controlled (“RPS-analyses”):

- Relevance is assessed on the basis of the environmental problems caused by the product group and the scope of such problems.
- Potential is judged by looking at the possible environmental gain within the product group.
- Steerability is a measure of the degree to which eco-labelling can affect the activity, the problem or the requirement [6].

The EU eco-label currently covers 26 products/services. Tissue paper and all-purpose cleaners each equate to around 10% of EU eco-label products, while indoor paints and varnishes make up nearly 14%. The largest product group is hard floor coverings, which total more than 33% of EU eco-label products [9].

<sup>1</sup> International standard ISO 14024 prepared by Technical Committee ISO/TC 207, Managing Environmental protection, Subcommittee SC 3, Environmental labelling.

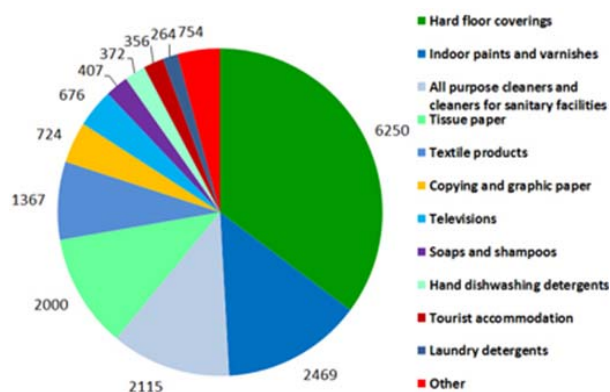


Figure 1: Number of EU eco-labelled products per product group category (January 2012) [9]

## 2.2 Criteria definition

Selection of methods for defining the criteria for the product group is a difficult task. Any program that uses life cycle assessment, works in different ways. Any program is not managed by an extensive evaluation of the life cycle, so each is faced with challenges that every selected criterion is based on a limited number of properties. In this regard it is necessary to compare and give evaluations for different types of impacts [7].

Development of criteria based on life cycle assessment for developing countries is an extremely difficult task. Specifically, in addition to the complexity and extensiveness of these methods, lack of information is the most common obstacle to scientific research. Accordingly, the results will not give a real, but an approximate picture of the impact of the analyzed parameters on the environment. Therefore, eco-labelling programs, in defining the criteria for the product group should focus on a few key features, such as recycled content, low toxicity, pollution reduction, energy efficiency, recyclability, and thus to evaluate the characteristics of the industry in the selected area.

### 2.2.1 Life cycle assessment in criteria definition

The nature of criteria for private labelling schemes is often obscure, while official schemes like the Nordic “Swan”, the EU “Flower”, German “Blue angel”, Japanese Eco-Mark, and the Canadian Environmental Choice Program explicitly demand that the award of the label is based on the life cycle approach.

### Developing and adopting the Swan criteria

The life cycle concept is one of the cornerstones of Swan criteria development process. In process of developing criteria for a new Swan product group, consideration is taken of the product's impact on the environment throughout its life cycle, from raw material to

disposal. Nordic Swan stipulates requirements on energy and resource consumption, factory emissions into the air, water and land, and the content of environmentally harmful substances in the product. The criteria are developed on the basis of the information available on the various phases of the life cycle. The availability of detailed information determines how precise an evaluation can be. A comprehensive life cycle investigation is time-consuming and costly and a qualitative assessment will often be sufficient [6].

### Developing and adopting EU Eco-label Criteria

EU Ecolabel criteria shall be determined on a scientific basis considering the whole life cycle of products. In determining such criteria, the following shall be considered:

- The most significant environmental impacts, in particular the impact on climate change, nature and biodiversity, energy and resource consumption, generation of waste, emissions to all environmental media, pollution through physical effects and use and release of hazardous substances;
- The substitution of hazardous substances by safer substances;
- The potential to reduce environmental impacts due to durability and reusability of products;
- The net environmental balance between the environmental benefits and burdens, including health and safety aspects, at the various life stages of the products;
- Social and ethical aspects;
- Criteria established for other environmental labels, particularly officially recognized, nationally or regionally, EN ISO 14024 type I environmental labels, where they exist for that product group so as to enhance synergies;
- As far as possible the principle of reducing animal testing [8].

## 2.3 Certification and licensing

When the specific criteria defined, which the product/service needs to fulfil, the third and final phase of certification and issuance of the license to use the eco-label can be conducted.

The EU eco-label was launched in 1992. By the end of 2011, more than 1300 licenses had been awarded (Fig. 2), and today, the EU eco-label can be found on more than 17000 products [9].

The EU eco-label has been awarded to the largest number of products in Italy, France and the UK. Italy has issued more than 50% of the total number of eco-label awards, while France and UK total 22% and 9% respectively (Fig. 3) [9].

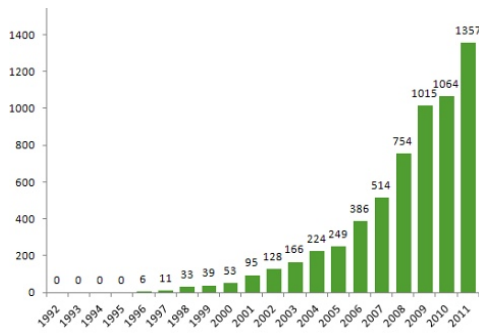


Figure 2: Total number of licenses issued from 1992 to 2011[9]

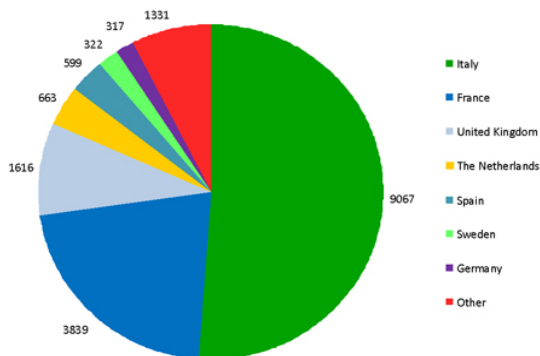


Figure 3: Number of EU eco-label awards per country (January 2012) [9]

## 2. ECO-LABELLING PROGRAM IN REPUBLIC OF SERBIA

The eco-labelling program in Serbia is young. First efforts about this topic in Serbia are done by bringing up the Environmental Law of Serbian Republic Government, in which paragraphs 53 and 54 are predicted to fortify in other words awards and subtraction eco-label [10].

Labels fortified for products intended to universal consuming, process and service, except products for food, drinks and pharmaceutical products. The Ministry of Energy, Development and Environmental Protection gives the right for using an eco-label [10].

In March, 2009, was presented and officially published "Rules on detailed conditions and procedure for obtaining the rights to the use of eco-label, elements, form and manner of use of eco-label for products, processes and services", which is fulfilled preconditions for the application [10].



Figure 4: Serbian eco-label

The right to use eco-label shall be acquired if it fulfils at least one of the following conditions [11]:

- to reduce consumption of energy resources;
- to reduce emissions of harmful and hazardous substances into the environment;
- to reduce waste generation;
- to reduce consumption of natural resources;
- the use of secondary raw materials;
- to use recycled or partially recycled materials;
- to reduce the emission of noise and vibration;
- to reduce the emission of radiation into the environment;
- that the products after the use are easily decomposed or disassembled;
- that the products can be reused;
- that the products can be recycled;
- that products have small impact on the environment among other current products on market.

Eco-label cannot be assigned to substances and preparations which are classified as very toxic, toxic, dangerous to the environment, carcinogenic, toxic for reproduction or mutagenic in accordance with the regulations governing the classification of chemicals. Exceptionally, the eco-label can be assigned to products containing hazardous materials, if the concentrations of hazardous substances are within the permissible values according to regulations [11].

For the assessment of eligibility for the grant of the use of eco-label the Minister of Environment set up the Commission to determine eligibility for the grant of the use of eco-label [10]. The Commission is composed of five members; one is representative of the Ministry, one representative of the ministry in charge of standardization, one representative of the Serbian Chamber of Commerce responsible for the field of industry, one consumer representative and one expert from the list of experts established for each product group separately [11].

Selection of product categories, as one of the critical phases, has been solved through linkage to other prominent schemes, primarily with EU. Such an approach for product categories selection enables definition of criteria on the bases of criteria from the chosen program for the specific product category.

Having on mind needed administrative and financial efforts for development of product categories and related evaluation criteria, such an approach could be considered as a good choice for

the early stage of program functioning.

Till now, within the Serbian eco-labelling program total of 8 products have been awarded with the eco-label. There have been several unsuccessful attempts to obtain the eco-label. Reasons for refusing requests for the award of eco-label varied from inadequate products to inability to meet given criteria or incomplete compliance with the legislation of the Republic of Serbia [12].

Considering a marketing support and the budget of the program, this number of awarded licenses could be taken as a success at this moment.

### 3. CONCLUSIONS

Type I eco-labelling has been developing for more than 35 years. By overcoming a different barriers and obstacles during this period of development, this eco instrument has outgrow in one of the most credible among less formal tools for environmental protection on the global level. However, it is still developing and some of critical issues, such as product category selection, criteria definition and certification and licensing, related to further development were discussed in more detail in this paper.

Special focus here was on Serbian eco-labelling program. Interest in Serbian eco-label certainly exists. However, eco-labelling program in Serbia is young and still under development. For further development of Serbian eco-label, along with continuing information of companies and public in general, it is necessary to build a network of experts and to improve/develop laboratories in Serbia in order to be able to evaluate parameters according to the requested criteria. This would allow the Ministry of Energy, Development and Environmental Protection, as the institution in charge for management of the national eco-labelling program, to have clear and quantified evidence of compliance with requirements [12].

### REFERENCES

- [1] Crnobrnja, B., Budak, I., Ilić, M., Hodolič, J., *Environmental labelling of products with type I labels*, Materials and Geoenvironment, 2009, Vol. 56, No. 3, pp.346- 355, ISSN 1408-7073.
- [2] Leire C., Thidell A., *Product-related environmental information to guide consumer purchases - a review and analysis of research on perceptions, understanding and use among Nordic consumers*, Journal of Cleaner Production 13 (2005) 1061-1070
- [3] [www.gen.gr.jp](http://www.gen.gr.jp)
- [4] SRPS EN ISO 14024:2008.
- [5] Nam Thai, V., Morioka T., Tokai A., Yamamoto Y., Matsui T., *Selection of product categories for a national eco-labelling scheme in developing countries: a case study of Vietnamese manufacturing sub-sectors*, Journal of Cleaner Production 18 (2010) 1446-1457
- [6] <http://www.nordic-ecolabel.org/>
- [7] Bratt C., Hallstedt S., Robèrt K., Broman G., Oldmark J., *Assessment of eco-labelling criteria development from a strategic sustainability perspective*, Journal of Cleaner Production 19 (2011)
- [8] Regulation (EC) No 66/2010 of the European Parliament and of the Council of 25 November 2009 on the EU Ecolabel
- [9] <http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/facts-and-figures.html>
- [10] Crnobrnja, B., Budak, I., Ilić, M., Hodolič, J., Kosec, B., *Environmental labelling - Analysis of type I eco labels according to ISO 14024:2003*, 4th National conference on quality of life - the quality of the Festival 2009, Kragujevac: Faculty of Mechanical Engineering, 2009, pp. 3.
- [11] Rules on detailed conditions and procedure for obtaining the rights to the use of eco-label, elements, form and manner of use of eco-label for products, processes and services, Official journal of Republic of Serbia, no. 3/2009
- [12] <http://www.merz.gov.rs>

### Acknowledgements

A part of result presented in this paper is obtained in the framework of the International cooperation "The platform for building the network of LCA centers and R&D institutes from Central and Southeastern Europe", TR 114-451-3774/2011-01, supported by the Provincial Secretariat for Science and Technological Development of AP Vojvodina, Republic of Serbia.

**Authors: M.Sc. Branislava Crnobrnja, Doc. dr Igor Budak**, University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovića 6, Novi Sad, Phone: +381 21 485 24 76  
E-mail: [brankacr@uns.ac.rs](mailto:brankacr@uns.ac.rs)  
[budaki@uns.ac.rs](mailto:budaki@uns.ac.rs)

**Rade Ostojić**, The Ministry of Energy, Development and Environmental Protection of Republic of Serbia, Omladinskih brigada 1, 11000 Beograd  
E-mail: [rade.ostojic@merz.gov.rs](mailto:rade.ostojic@merz.gov.rs)



Marković, V., Vukelić, Đ., Agarski, B., Milanković, D., Milanović, B.

**REVIEW OF METHODOLOGIES FOR SUPPORTING LIFE CYCLE ASSESSMENT  
- ECODESIGN AND LIFE CYCLE COSTING -**

**Abstract:** The main objective of this study was to present methodologies that take into account environmental performances of product process and that can be successfully brought together to achieve that task. Three methodologies were presented: Life Cycle Assessment methodology (widely recognized as LCA methodology), Ecodesign methodology (also known as Design for Environment or Design for Sustainability methodology) and Life Cycle Costing methodology. It presents the basic stages of conducting these methodologies, as well as some conclusions of their combined use.

**Key words:** sustainability, methodology, Life Cycle Assessment (LCA), Ecodesign, Design for Environment, Life Cycle Costing (LCC)

**1 INTRODUCTION**

There is significant amount of work done in modern society considering increase of resource efficiency and improvement of environmental performances of products and services, all due to the latest needs for sustainable development. It is ever growing need for methods that approach these questions considering all life cycle phases that they went through, in terms of calculation of all inputs and outputs that could have impact on human health and environment. With those calculations, experts could then assess sources of potential threats and find out solutions for improving environmental performances of practically any product. Tool that has that kind of potential, and has proven itself as valid methodology for such assessments, is Life Cycle Assessment methodology, but it's best potential is recognized only in combination with other related methodologies as, for example, are Ecodesign methodology and Life Cycle Costing methodology. This paper will show briefly what they are, what principles drives them and what are the key points that connects them and can enhance effects of results gained from them.

**2 LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)**

Life Cycle Assessment is a tool that takes whole life cycle of product or service into consideration. It is commonly referred to as a “Cradle-to-grave” methodology since it can take whole life cycle of a product into consideration (extraction of materials, transport, manufacture, production, use and the end of products life), but it can also be done for only some parts of products life cycle when it is known as ‘simplified’. LCA has been rapidly

incorporated into higher strategic levels where it includes decision- and policy-making at the firm or corporate levels. Life Cycle Assessment is currently used for assessing a wide range of products and activities, from ecolabeling to product design as well as energy systems, food production and transportation alternatives, all under ISO/14040 series of standards.

LCA is systematic methodology that has four phases:

1. Goal definition and scoping
2. Inventory analysis
3. Life cycle impact assessment
4. Interpretation of results

These four phases are presented on Figure 1.

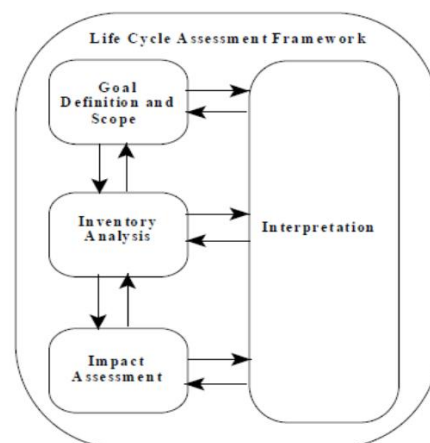


Figure 1. LCA phases

Advantages are that LCA helps decision makers to chose products and processes which results in least negative impact on environment, and also to identify transfers of environmental impacts from one media to another (e.g., eliminating air emissions by creating a wastewater effluent instead) and/or from one life cycle stage to

another. On the other hand, performing an LCA can be resource and time intensive, depending upon how thorough an LCA the user wishes to conduct. What is very important is to weigh the availability of data, the time necessary to conduct the study, and also the financial resources that are required which will meet the projected benefits of the LCA.

### **2.1 Goal definition and scoping**

Goal definition and scoping of the LCA is the phase that defines the purpose and method of involving the life cycle impact on the environment in decision-making processes. International organization for standardization developed standard ISO/14040 that covers this phase of LCA. At this stage, the following details must be specified: the type of information that is required to add value to decision-making process, how the results should be accurate to add value and how they should be interpreted and presented to be understandable and usable. Defining the goal and scope will determine necessary time and resources to carry out the study, it will lead process for the sake of securing obtain the most reasonable results, and every decision that is made at this stage will affect both how the study will be conducted and the relevance of the obtained data.

### **2.2 Inventory analysis (LCI)**

Life Cycle Inventory analysis (LCI) is the process of quantifying all relevant inputs and outputs of the products system. Analysis of the life cycle inventory can be used in various ways. For example, it can assist organizations when comparing products and processes, also with considering factors related to the environment impact when company selects materials for their product, and can also be used in the design of a state government policy. Data from LCI phase is used as input data for next phase.

### **2.3 Life Cycle Impact Assessment (LCIA)**

Life cycle impact assessment, as the third and most important phase of LCA deals with the evaluation of potential impacts on human health and the environment from resource consumption and emissions identified during the LCI phase. It tries to establish a link between the product and the process and their potential impact on the environment. Key steps of a life cycle impact assessment phase are selection and definition of impact categories, classification, characterization, normalization, grouping, weighting and at the end evaluating and reporting LCIA results.

### **2.4 Interpretation phase**

The interpretation of life cycle is a systematic technique for the identification, quantification, verification and evaluation of the LCI and LCIA results, and it is a technique that effectively connects them. It is also the final stage of the entire LCA analysis. Interpretation of results is not an easy process because of all the assumptions, estimations and decisions based on subjective opinion, so it is not easy to compare results and even to choose which alternative is better. Therefore, it is advisable that in order to more easily choose alternatives, analysts use various other parameters (such as technical performance, cost, political and social acceptability, etc.).

What is considered to be a lack of LCA is that it is time and resource intensive, and that it is somewhat complicate to conduct, but benefits that it gives are many, and their usability is best shown in combination with some other methodologies.

## **3 ECODESIGN**

Ecodesign is a field of research that has developed over the past few decades and it represents a new approach in designing a product with the integration of environmental aspects in the construction, design and development phase of a product. It depends on the identification of environmental aspects associated with the product and it includes these aspects into product design in the early stages of product development. Ecodesign aims to improve the environmental performances of the product and it can be viewed as a way to develop products according to concept of sustainable development. In Ecodesign, environmental aspects get same value and status as functionality, durability, price, time of sale, the aesthetics, ergonomics and quality. This international concept is developed by the World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) on Rio summit, and it is culmination of holistic, conscious and proactive approach to environmental problems. Standard ISO/14062 describes the concept and the current practice of integrating environmental aspects into product design and development, and in this way Ecodesign can be applied in all sectors regardless of whether we talk about the products or services, from furniture production, packaging, transport, tourism, energy production, automotive industry, etc.

The goal of Ecodesign is to obtain the products that are suitable for the environment by applying Ecodesign methods and tools through whole life cycle in designing and developing new products or improving products that already exists. 'Eco' in

'Ecodesign' stands for both – ecology and economy. The importance of thinking about economic and environmentally sound and acceptable product design is reflected in that that it is considered responsible for some 85% of the costs, and that it can be held responsible for most, if not all, of the impacts of products on environment. One option that is widely used in the literature is the use of four level model (known as 4R model) with which those environment benefits are achieved, using the categories Repair, Refine, Redesign and Rethink (see Figure 2.).

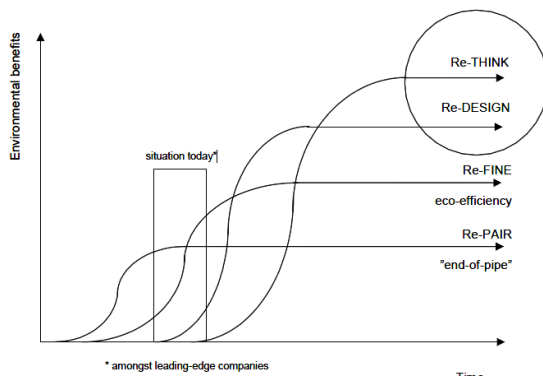


Figure 2. A four-step model of approaches to environmental improvements in product development (Charter and Chick, 1997).

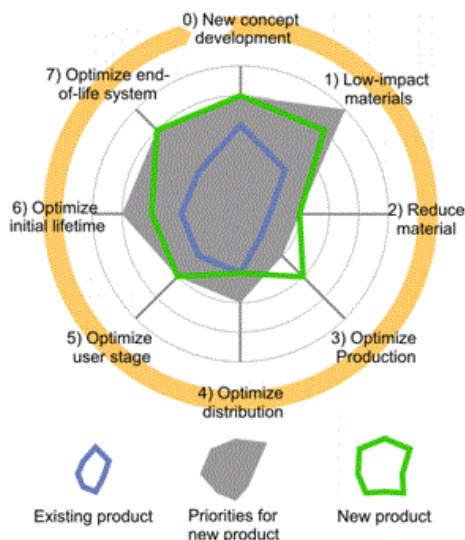


Figure 3. Ecodesign Strategies Wheel

Ecodesign is characterized by two aspects – the time aspect (product life cycle that includes all phases of the product) and the aspect of environmental impact, and can be viewed from the perspective of manufacturers, users (consumers) and the whole society. Ecodesign strategies for minimizing the environment impact are selected with the help of a tool called Ecodesign Strategies Wheel, often called also as a Lifecycle Design

Strategies wheel (LiDS wheel). It consists of 33 principles of life cycle analysis, which are grouped into 8 strategies. They demand respecting of certain rules, concepts and principles in order to achieve the desired level of products quality and to achieve levels that meet the economic and environmental needs. It is shown on Figure 3. how results of putting the most perspective of Ecodesign strategies looks like in Ecodesign wheel. Using it, procedures of product analysis can be done in three steps:

1. Defining idea of product, concept of product or existing product that will be analyzed
2. Systematic evaluation of the product by every strategy from strategic wheel
3. Consideration of options for improving every dimension of strategic circle, and especially those in whom it was estimated that the existing design has bad reviews, and where there is a significant impact on the environment.

Process of Ecodesign should be done in every company in a specific way for that company, and depending on how large is company Ecodesign could be done by a single person or, in larger companies, by a large multidisciplinary team.

#### 4 LIFE CYCLE COSTING (LCC)

This method entails data collection and calculations of all costs associated within the life cycle of a product that are directly covered by one, or more, of the actors involved in the products life cycle, including external costs that are anticipated to be internalized in the decision-relevant future. It belongs to the group of sustainability tools that focus on flows in connection with production and consumption of goods and services. They focus on evaluating different flows in relation to various products or services instead of for example regions or nations. A robust LCC framework would be able to link life cycle analysis studies to the monetary cost systems used by business decision-makers. Therefore, LCC is often seen alongside LCA. There exist three different types of LCC - conventional LCC, environmental LCC and societal LCC.

The most common discussed and debated issues in environmental LCC are the following:

- a) What costs should be included in an environmental LCC?
- b) Whose costs are accounted for? Does the LCC assess the costs of the user/consumer, of the producer, or of the society?
- c) Which life time should be considered?

d) Which discount rate should be used?

LCC makes it possible to take into consideration future costs at an early stage and relate them to the initial costs. In this way greater emphasis can be put to long term thinking and costs for maintenance and reparation will be given other proportions.

Environmental LCC has the potential to support the trade-off between environmental and overall affordability targets by including all monetary flows along the product life cycle. In general, the environmental LCC aims at comparing life cycle costs of alternatives, detecting direct and hidden cost drivers, recording the improvements made by a firm in regards to a given product, estimating improvements of planned product changes, including process changes within a life cycle, or innovations, and identifying win-win situations and trade-offs in the life cycle of a product, once it is combined with LCA.

## 5 CONCLUSIONS

As we have seen, the Ecodesign methodology is made of inclusion of criteria in product development and it brings a change in how we perceive these products. For the sake of better solutions it should be combined with LCA method to cover all relevant aspects of the design of the product that would meet principles of sustainable development.

The LCA and LCC if used together amplify the spectra of sustainability evaluation and contribute to increasing the validity of these. When carried out in an integrated manner and from a systems perspective, these two methods have a high potential for moving towards sustainable development. Since LCC adds economic information to the LCA, it may broaden the audience of the LCA. Combining LCC and LCA also facilitates eco-efficiency assessments which can make understanding easier and further extend target audience for the use and interpretation of LCA.

## 6 ACKNOWLEDGMENT

A part of result presented in this paper is obtained in the framework of the project “Continuous quality improvement of products and processes throughout the entire life cycle”, TR 114-451-1924/2011-02, supported by the Provincial Secretariat for Science and Technological Development of AP Vojvodina, Republic of Serbia.

## 7 LITERATURE

- [1] Nowosielski R, Spilka Monica, Kania A.: *Methodology and tools of ecodesign*. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 23(1): 91-94, 2007.
- [2] Ny H.: *Strategic Life-Cycle Modeling and Simulation for Sustainable Product Innovation*. Doctoral diss, Department of Mechanical Engineering, School of Engineering, Blekinge Institute of Technology, Sweden, 2009.
- [3] Ölundh Gunilla.: *Modernising Ecodesign-Ecodesign for innovative solutions*. Doctoral thesis, Department of Machine Design, Royal Institute of Technology, Stockholm, 2006.
- [4] Plouffea Sylvain, Lanoieb P, Bernemanc Corinne, Vernie F.Marie.: *Economic benefits tied to ecodesign*. Journal of Cleaner Production 19(6-7): 573-579, 2011.
- [5] Lewandowska Anna, Kurczewski P.: *ISO 14062 in theory and practice—ecodesign procedure. Part 1: structure and theory*. The International Journal of Life Cycle Assessment 15(8): 769-776, 2010.
- [6] Lewandowska Anna, Kurczewski P.: *ISO 14062 in theory and practice—ecodesign procedure. Part 2: practical application*. The International Journal of Life Cycle Assessment 15(8): 777-784, 2010.
- [7] Lindahl M.: *Engineering designers experience of design for environment methods and tools - Requirement definitions from an interview study*. Journal of Cleaner Production 14: 487-496, 2006.
- [8] Donnelly Kathleen, Beckett-Furnell Zoe, Traeger S, Okrasinski T, Holman Susan: *Eco-design implemented through a product-based environmental management system*. Journal of Cleaner Production 14(15-16): 1357-1367, 2006.
- [9] Rebitzer G, Seuring S.: *Methodology and Application of Life Cycle Costing*. International Journal of LCA 8(2): 110-111, 2003.

**Authors: BSc Vladimir Marković, Assis. prof. Đorđe Vukelić, Assist. Mr. Boris Agarski, MSc Darko Milanković, MSc Branislav Milanović,** University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia,

E-mail: [mrakija@gmail.com](mailto:mrakija@gmail.com);  
[vukelic@uns.ac.rs](mailto:vukelic@uns.ac.rs);  
[agarski@uns.ac.rs](mailto:agarski@uns.ac.rs);  
[dakamns@uns.ac.rs](mailto:dakamns@uns.ac.rs);  
[bane\\_m@uns.ac.rs](mailto:bane_m@uns.ac.rs);

Ivandić, Ž., Kozak, D., Baškarić, T., Damjanović, D.

ENVIRONMENT-BASED APPROACH TO THE CONCEPTUAL DESIGN AND  
EVALUATION OF DESIGN PARAMETERS

**Abstract:** The paper presents environment-based approach to the conceptual design and decision making of design parameters. The decision making model in the design process an approach for establishing effective mapping and transformation process between product properties and domain requirements from environment. Decision making model of product properties as such as requirements of environment (RE) was showed in the general evaluation process in the conceptual phase. Mathematical terminology and mathematical tools have been used for presentation of decision making model with respect to the impact on the environment as one model evaluation strategy parameters of eco-design products.

**Key words:** product development, conceptual design, decision making, eco-design

1. INTRODUCTION

Design process includes all phases of design task, from initial idea of possible design solution to final solution using needed analysis and synthesis procedures. Design solution presents generated answer of the design process on given design task inside some technical system. In this process transformation, from idea to principally variant solution, interaction between technical system and environment characteristics and the effect of parameters of the product on the environment.

Technical system is defined with exterior and interior properties, which are determining the complexity of the influence on the design solution [1,2,3,4]. Interior properties are determining the domain of principled variant solutions, which are managed by designer. External properties present the domain of environment and they are in interaction with interior properties of product.

2. BASIC PROPERTIES OF DESIGN PROCESS

Axiomatic design is presented by three domains, which take completely the part in the flow of the design process. Design process in axiomatic design is usually presented by transformation of customer requirements (CRs) to functionality domain requirements (FRs), domain of physical requirements (DPs) and process variables domain (PVs), as is schematically depicted in Fig. 1 [4].

Axiomatic design enables mathematical

formalism of design process. Applying set theory, mathematical logic and statement algebra the conceptual model in this work shows interactions between relations in conceptual system for generating principal variants of solution defined by the contractual task.

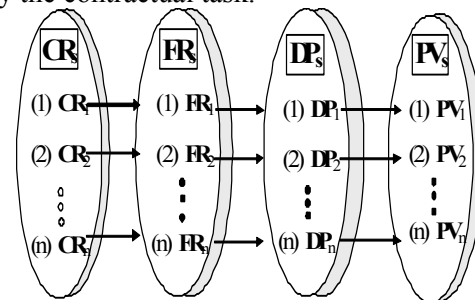


Fig. 1 Design process according to axiomatic theory [4]

Mathematical notion of setting transformation in short form is suitable for describing the relations between variables within conceptual model. Let's define design process as a set  $U$  (universal set), and its elements as sub sets, and as such let them represent working steps of design process as axiomatic approach[5].

By defining the predicate  $P$  with elements from  $U$  universally concenter all elements that have property  $P$  then we can write:

$$U = \{u | P(u)\} \tag{1}$$

According to that, predicate  $P$  is axiomatic defined

$$\text{as: } \langle u \mapsto \text{working steps of design process} \rangle \tag{2}$$

### 3. THE PROCEDURE TO DEFINE WEIGHT CRITERION IN EVALUATION CONCEPTUAL DESIGN

In conceptual phase of design processes a large number of variant solutions. Variant solutions can be shown as the final set of objects in matrix form:

$$[\mathbf{V}]_r = \mathbf{V} \quad (3)$$

All variant solutions cannot be included in design elaboration but must be evaluated according to the range of meeting the set criteria of impact to the environment. The set of criteria can be able as show matrix vector:

$$[\mathbf{C}]_k = \tilde{\mathbf{C}} \quad (4)$$

The evaluation model includes complete analysis of all alternatives assessing any particular solution according to the same criteria of impact to the environment. This overall assessment should enable us to choose the best quality solution with the highest total grade value as such as variant solutions  $V_x$  of product with the **minimum impact factor** on the environment. The multiattribute decision analysis demands clear and argued mathematical procedure for criteria selection and grades assignment. Interactive model between variant solutions and criteria set may be presented as in Fig. 2.

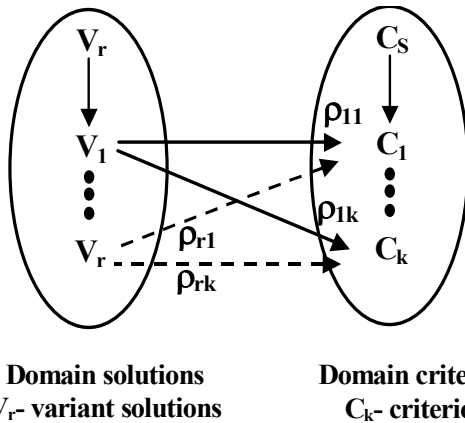


Fig.2 The model of identification variant solutions with criteria of impact environment

Each principally variant solution  $V_1, \dots, V_r$  has own relations  $\rho$  with each criteria of impact environment  $C_1, \dots, C_k$  from design properties set:

$$\begin{bmatrix} V_1 \rho_{11} C_1 & V_1 \rho_{12} C_2 & \cdot & V_1 \rho_{1k} C_k \\ V_2 \rho_{21} C_1 & V_2 \rho_{22} C_2 & \cdot & V_2 \rho_{2k} C_k \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ V_r \rho_{r1} C_1 & V_r \rho_{r2} C_2 & \cdot & V_r \rho_{rk} C_k \end{bmatrix} \quad (5)$$

The mapping  $\varphi_{\rho_{rk}} \rightarrow \varphi_{rk}(\rho_{rk})$  enables us to write equation (5) in a matrix form:

$$\mathbf{C} = \mathbf{V}^{-1} \mathbf{R} \quad (6)$$

$$[\mathbf{R}] = \begin{Bmatrix} \rho_{11} & \rho_{12} & \cdot & \rho_{1k} \\ \rho_{21} & \rho_{22} & \cdot & \rho_{2k} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \rho_{r1} & \rho_{r2} & \cdot & \rho_{rk} \end{Bmatrix} \quad (7)$$

Where relation matrix  $\mathbf{R}$  given by (7). The matrix  $\mathbf{R}$  represents matrix of weight  $\mathbf{W}$  as the degree of influence of product features on the environment in a real process. The matrix  $\mathbf{W}$  may be the result of an evaluation of all concerned production and social features in the analysis of the impact of any product on the environment.

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} w_{11} & \cdot & w_{1k} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ w_{r1} & \cdot & w_{rk} \end{bmatrix} \quad (8)$$

If we define set of the expert evaluators team  $E_1, E_2, \dots, E_n$  have special and global knowledge about development product and it's environmental impact. Evaluator is the person who appreciates decision-making about numerical value of the weight factors.

Space of evaluators defines space of appreciated weighted factors of all criteria for any variant as:

$$o_{xyz}, x = 1, \dots, n; y = 1, \dots, r; z = 1, \dots, k \quad (9)$$

The appreciations of n evaluator for r variant  $V_r$  in toward criterion  $C_k$  like:

$$Q_{rk}(o_{x1k}) = f(o_{1rk}, o_{2rk}, \dots, o_{nrk}; n) \quad (10)$$

Congruently those equations matrix of appreciation weight can be shown as:

$$Q_{rk}^w(o_{nrk}^w) = \begin{bmatrix} Q_{11}^w & \cdot & Q_{1k}^w \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ Q_{r1}^w & \cdot & Q_{rk}^w \end{bmatrix} \quad (11)$$

The relation between norm of appreciation weight factors defined as  $f_1, \dots, f_n$  and frequency appreciation factors marked as  $p_1, \dots, p_n$  is given by form (12):

$$Q_{rk}^N(o_{nrk}(f_i)) = \begin{bmatrix} Q_{11}^N(o_{n11}(f_n)) & \cdot & Q_{1k}^N(o_{n1k}(f_n)) \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ Q_{r1}^N(o_{nr1}(f_n)) & \cdot & Q_{rk}^N(o_{nrk}(f_n)) \end{bmatrix}$$

If estimated last show in form equation (12) and (8) that is:

$$\begin{bmatrix} w_{11} & \cdot & w_{1k} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ w_{r1} & \cdot & w_{rk} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n f_i \cdot o_{i11} & \cdot & \sum_{i=1}^n f_i \cdot o_{i1k} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \sum_{i=1}^n f_i \cdot o_{ir1} & \cdot & \sum_{i=1}^n f_i \cdot o_{irk} \end{bmatrix} \quad (13)$$

The global form of the appreciation of  $n$  evaluators by decision making of weight factors for all criterions  $k$  and any  $r$  variants is given by:

$$Q_{rk}^N[o_n(f_i)]_r^k = \mathbf{W}[w]_r^k \quad (14)$$

The form of equation (14) is presents a combinatorial possibility assessing the performance of products still under design and those variants whose choice negative environmental impact is the minimum.

## 10. FINAL REMARKS

In this work mathematical formalisms of the goodness of some variant solution toward given criteria in the conceptual phase of product development and its impact factor on the environment. New approach to conceptual design and decision-making model presented here includes all complexity of product development as the technical system and its impact on the environment. Proposed model assures clearly defined procedure for grades assignment, with the aim to rank all variant solutions. Highest value of the grade obtained by evaluation procedure means the best solution for environment.

## 11. REFERENCES

- [1] Hubka, V.: Theorie der Konstruktionsprozesse, Springer Verlag, Berlin, 1976.
- [2] Hubka, V., Eder W.E.: Theory of technical systems, Springer Verlag, Berlin, 1988.

[3] Duhovnik, J., Tavčar, J.: Elektronsko poslovanje in tehnični informacijski sistemi, Ljubljana, 2000.

[4] Suh, N.P.: The Principles of Design, Oxford University Press, 1990.

[5] Ivandić, Željko; Ergić, Todor; Kokanović, Mato.: Conceptual Model and Evaluation of Design Characteristics in Product Development. // Strojarstvo. 51 (2009), 4; 281-291. ¶

### Authors:

**prof. dr.sc. Željko Ivandić**

**prof.dr.sc. Dražan Kozak**

**Tomislav Bašakrić, mag.ing.mech,**

**Darko Damjanović, mag.ing.mech**

University J. J. Strossmayer of Osijek,  
Mechanical Engineering Faculty of Slavonski  
Brod, Trg I. Brlić Mažuranić 2, 35000 Slavonski  
Brod, Croatia

Phone: +385 35 446 188, Fax: +385 35 446-446.

E-mail: [zivandic@sfsb.hr](mailto:zivandic@sfsb.hr)

[dkozak@sfsb.hr](mailto:dkozak@sfsb.hr)

[tbaskaric@gmail.com](mailto:tbaskaric@gmail.com)

[ddamjanovic@gmail.com](mailto:ddamjanovic@gmail.com)

This page was intentionally left blank



Budak, I., Szita Toth, K., Milanković, D., Milanović, B., Kiss, F., Hodolic, J.

## NOMINATION OF NOVI SAD FOR SETAC EUROPE 20<sup>th</sup> LCA CASE STUDY SYMPOSIUM 2014

**Abstract:** *Life Cycle Assessment, as we know it today, was developed under a patronage of Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC). LCA Advisory Group is a part of SETAC established for the purposes of LCA development. One of the core tasks of the LCA Advisory Group is planning and organising LCA sessions at the annual meetings and conferences, such as the LCA Case Studies Symposium. SETAC Case Study Symposium is an international event that acts as a platform for knowledge and experience exchange between industry and academia. It is a pleasure and honor to announce the nomination of Novi Sad as a host for 20th SETAC Europe LCA Case Studies Symposium. Organisation of such event in the region would be of great importance for more intensive application of LCA within the industry.*

**Key words:** *Novi Sad, SETAC, Life Cycle Assessment*

### 1. INTRODUCTION

To a certain degree, Life Cycle Assessment, as we know it today, was developed under a patronage of *Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC)*, a not-for-profit, global professional organization with 6,000 individual members and institutions from academia, business and government. Since 1979, the Society has provided a forum where scientists, managers and other professionals exchange information and ideas on the study, analysis and solution of environmental problems, the management and regulation of natural resources, research and development, and environmental education [1].

SETAC's founding principles include [1]:

- Multidisciplinary approaches to solving environmental problems;
- Tripartite balance among academia, business and government;
- Science-based objectivity;
- SETAC Case Study Symposium is an international event and acts as a platform for knowledge and experience exchange between industry and academia.

LCA Advisory Group is a part of SETAC established for the purposes of LCA development. The mission of the LCA Advisory Group in Europe is to advance the science, practice, and application of LCAs to reduce the resource consumption and environmental burdens associated with products, packaging, processes, or activities. The organisation serves as the focal point in Europe of a broad-based forum for the identification, resolution, and communication of issues regarding LCAs, and it facilitates,

coordinates, and provides guidance for the development and implementation of LCAs in close cooperation with the North America LCA Advisory Group [1].

Core tasks of the LCA Advisory Group include planning and organising LCA sessions at the annual meetings and conferences, such as the LCA Case Studies Symposium; coordination of topical working groups; preparation and global integration of SETAC LCA publications; and promotion of the SETAC-UNEP Life-cycle Initiative [1].

### 2. HISTORY OF LCA EUROPE CASE STUDY SYMPOSIUMS

The report on the Smugglers Notch (Vermont) workshop, August 1990, is the first document in which the name and a general structure of the LCA method, still valid today, were presented. Only one month after this workshop, a European workshop took place in Leuven, in which a similar aim was followed: to bring together the groups working on life-cycle based assessment methods. This has developed into organizing the annual meetings of LCA community through various conferences and symposiums. The case study symposium is an international event and acts as a platform for knowledge and experience exchange between industry and academia. LCA is a tool in rapid development - both in terms of its methodology and its application. Therefore cooperation between practitioners and academia is essential to ensure that tools are being developed to match the needs of industry.

Tab. 1. Chronology of LCA EUROPE CASE STUDY Symposiums

19 <sup>th</sup> Rome, Italy, 2013
18 <sup>th</sup> Copenhagen, Denmark, 2012
17 <sup>th</sup> Budapest, Hungary, 2011
16 <sup>th</sup> Poznan, Poland, 2010
15 <sup>th</sup> Paris, France, 2009
14 <sup>th</sup> Gothenburg, Sweden, 2007
13 <sup>th</sup> Stuttgart, Germany, 2006
12 <sup>th</sup> Bologna, Italy, 2005
11 <sup>th</sup> Lausanne, Switzerland, 2003
10 <sup>th</sup> Barcelona, Spain, 2002
9 <sup>th</sup> Noordwijkerhout, Netherlands, 2001
8 <sup>th</sup> Brussels, Belgium, 2000
7 <sup>th</sup> Brussels, Belgium, 1999
6 <sup>th</sup> Brussels, Belgium, 1998
5 <sup>th</sup> Brussels, Belgium, 1997
4 <sup>th</sup> Brussels, Belgium, 1994

### 3. NOMINATION OF NOVI SAD FOR ORGANISING LCA EUROPE CASE STUDY SYMPOSIUM IN 2014

#### 3.1 LCA at the University of Novi Sad - Faculty of Technical Sciences

LCA has been present at the University of Novi Sad for more than 10 years, since the foundation of the Department of Environmental Engineering at the Faculty of Technical Sciences. Initially LCA was included only as a teaching topic within a teaching course, while today LCA has been studied in several courses at undergraduate and master levels of environmental engineering and production engineering study programs. Meanwhile, the Faculty of Technical Sciences has become a licensed user of LCA software (SimaPro, GaBi, Eco-Invent) which are actively used in teaching activities. The result is a growing number of diploma and master thesis in the field of LCA, eco-labelling and eco-design. In the last two years, special attention is paid to LCA in the doctoral studies of environmental engineering and mechanical engineering, and currently the implementation of five dissertations related to LCA is in progress.

In the last three years, LCA has been very present in the scientific and research activities at the University of Novi Sad, primarily at the Faculty of Technical Sciences but also at the Faculty of Technology. These activities include research projects at national and international levels, as well as scientific and technical articles published in scientific journals and presented at scientific

symposia.

The practical application of LCA in Serbia is still at a low level. LCA team from the Faculty of Technical Sciences has invested great efforts in last four years, through specialized courses for experts from industry and governmental institutions, to increase their level of knowledge in the field of LCA and to encourage them for active application of LCA by educating about the need and benefits of the application of LCA. Some results have been achieved and we expect more intense development in this field in the near future.

At the University of Novi Sad, as mentioned before, LCA is in addition to the Faculty of Technical Sciences, very present at the Faculty of Technology. In Serbia, LCA has been included in teaching and research activities at the University of Belgrade (Faculty of Organizational Sciences) as well as at the University of Kragujevac (Faculty of Engineering Sciences).

#### 3.2 Networking activities

In September 2011, LCA team from the Faculty of Technical Sciences, similar to some other regions, initiated the establishment of LCA Network of Central and Eastern Europe - CASE LCA ([www.caselca.org](http://www.caselca.org)). The Network founders, beside the University of Novi Sad (Faculty of Technical Sciences) are: Poznan University of Technology (Faculty of Machines and Transportation) from Poland, University of Miskolc (Faculty of Economics) from Hungary, University of J. E. Purkyně in Ústí nad Labem (Faculty of Environment) from Czech Republic, University of Ljubljana (Faculty of Natural Sciences and Engineering) from Slovenia, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek (Mechanical Engineering Faculty) from Croatia and University of Central Europe in Skalica from Slovakia. The main objectives of CASE LCA network include: promoting the application of LCA, education in the field of LCA, and the exchange of experiences and know-how between the partners in the network. This year on 14th of June in Novi Sad will be held the second annual meeting of the network partners.

#### 3.3 Motivation for the application

Motives for organizing CASE STUDY LCA Symposium 2014 in Novi Sad are based on the following:

- Application of LCA in Serbia and the region (CASE LCA Network countries, countries of the former Yugoslavia, and probably Romania

and Bulgaria) underwent primary stage of development and needs encouragement through connection and cooperation with eminent centers and experienced researchers in the field of LCA.

- Researchers and experts in the field of LCA in the region need to be more actively involved in the work of SETAC as an umbrella organization for the development of LCA.
- Serbia and other countries of the region, where LCA researchers are predominantly located at universities, in the future should do more to promote the practical application of LCA, i.e. to present the benefits it brings to industry organizations.
- Additional development of LCA in the region and intensive practical application of LCA would contribute to the general development of LCA by including processes and flows in relation to products and production systems of the region in international LCA databases.

#### **4. PROPOSAL OF THE THEME, TOPICS AND SCOPE OF LCA EUROPE CASE STUDY SYMPOSIUM IN NOVI SAD 2014**

The proposed main theme of the symposium is:

*Application of LCA to promote eco-innovation and sustainability*

Topics, which are proposed for Symposium 2014 in Novi Sad, included:

- Addressing complexity, uncertainty and variability in LCI and LCIA;
- Environmental Footprints;
- Teaching and education in sustainability;
- LCA, Eco-design and Eco-labeling to promote eco-innovation;
- LCA Databases and data networks: development and application of regional-specific LCI databases;
- Developments in LCA method: increasing the reliability, simplicity and applicability
- LCA and SMEs: main motivations and advantages of using LCA;
- LCA and energy: exergy, efficiency, renewables (biomass, wind, geothermal, solar etc.), etc.
- LCA in different industrial sectors: IT, metal and plastic processing industries, agriculture and food industries, civil engineering (including floorings), etc.;
- LCA and urban metabolism: transportation, landfills and waste management, wastewaters etc.
- Broadening the scope of sustainability assessment: Social Life Cycle Assessment and

Environmental Life Cycle Costing;

- Special session: LCA networking: improving cooperation for eco-innovation.

Following text contains proposal related to the scope of the symposium:

The main objective of the symposium is to discuss how LCA can contribute to innovation and enhance the design of new and/or redesign of existing products and services, on the bases of eco-design principles, which will contribute to sustainable development through improved environmental performances. In this context, will be analyzed possibilities for improving the application of LCA in SMEs by identifying barriers and potential benefits. Significant attention will be devoted to the practical application of LCA in various industrial and energy sectors, with emphasis on special and simplified methodological approaches, as well as on the situation and problems regarding LCA databases including the regional specificity.

Within the symposium, special attention is to be given to the application of LCA in urban, i.e. city areas, with emphasis on the promotion of eco-innovation at the level of communal activities.

As the communication of results is one of the key aspects of LCA, the symposium will include topics such as the use of LCA results for the marketing purposes (e.g. eco-labelling), the importance of continuous education of consumers in the field of LCA, as well as the social aspects.

A special section will be dedicated to the benefits that LCA networking can contribute to eco-innovation.

#### **5. ORGANIZATIONAL POTENTIALS OF NOVI SAD**

Novi Sad is the administrative, economic, cultural, scientific and touristic centre of the Autonomous Province of Vojvodina and the second largest city in Serbia. The city was founded in 1694 and it is located in the southern part of Pannonia Plain, on the border of the Bačka and Srem regions, on the banks of the Danube River and Danube-Tisa-Danube Canal, facing the northern slopes of Fruška Gora Mountain. Fig. 1 presents a cover page of the leaflet draft with images of two cultural symbols of Novi Sad - Central Square and the Petrovaradin fortress.

Members of the LCA team from Novi Sad have extensive experience in organizing international scientific conferences. In the last 5 years we have organized more than ten meetings and conferences, of which about half with over 100 participants.



Fig. 1 Leaflet of the Symposium

Regarding the space in which to organize symposium, there are two options. The first is the Master Center within the city fair and the other option is at the Faculty of Technical Sciences. The first option is more representative (Fig. 2) with a hotel within the Center, but it is also more expensive (large hall with 350 seats and the small hall with 100 seats). The second option would probably be free, but less representative (Fig. 2).



Fig. 2. Master Center with large and small halls



Fig. 3. Faculty of Technical Sciences and the ceremonial hall

Travel connections with Novi Sad are pretty good. Belgrade Airport is around 80 km from Novi Sad with organized transfer to Novi Sad. The highway from the north (Hungary, Austria, Slovakia...) to south (Macedonia, Greece, Bulgaria, Turkey...) passes through Novi Sad, while the highway from the west (Croatia, Slovenia, Austria, Italy etc.) passes about 40 km near Novi Sad.

## 6. CONCLUSION

SETAC Europe LCA Case Studies Symposium is a one of the most representative conferences in the field of LCA and related subjects.

It was a pleasure and honor to announce the nomination of Novi Sad as a host for 20th SETAC Europe LCA Case Studies Symposium that will be organised in 2014. CASE LCA network is one of the most important bases for positive decision regarding nomination of the Steering Committee of SETAC EUROPE LCA Advisory Board. So, the support of network partners will be crucial in organising the symposium. On the other side, organisation of such event in the region would be of great importance for more intensive application of LCA within the industry.

## ACKNOWLEDGEMENT

A part of result presented in this paper is obtained in the framework of the International cooperation "The platform for building the network of LCA centers and R&D institutes from Central and Southeastern Europe", TR 114-451-3774/2011-01, supported by the Provincial Secretariat for Science and Technological Development of AP Vojvodina, Republic of Serbia.

## 5. REFERENCES

- [1]-----: <http://www.setac.org/>
- [2]-----: <http://www.caselca.org/>
- [3]-----: <http://lcarome.setac.eu/>
- [4]-----: <http://lcacopenhagen.setac.eu/>
- [5]-----: <http://lcabudapest.setac.eu/>
- [6]-----: <http://lcapoznan.setac.eu/>

**Authors: Assist. Prof. Dr. Igor Budak; M.Sc. Darko Milanković, M.Sc. Branislav Milanović, Prof. Dr Janko Hodolic;** University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Institute for Production Engineering, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Phone.: +381 21 485 2306, Fax: +381 21 454-495.

E-mail: [budaki@uns.ac.rs](mailto:budaki@uns.ac.rs)  
[dakam@uns.ac.rs](mailto:dakam@uns.ac.rs)  
[bane\\_m@uns.ac.rs](mailto:bane_m@uns.ac.rs)  
[hodolic@uns.ac.rs](mailto:hodolic@uns.ac.rs)

**Prof. Dr Klara Szita Toth** University of Miskolc, Faculty of Economics, Hungary 3515 Miskolc-Egyetemváros, Phone.: +3646 565 111, Fax: +36 46 563 402.

E-mail: [regszita@uni-miskolc.hu](mailto:regszita@uni-miskolc.hu)

**Dr. Ferenc E. Kiss, research assistant,** University of Novi Sad, Faculty of Technology, Bul. cara Lazara 1, 21000 Novi Sad, Serbia, Phone.: +381 21 485 3641.

E-mail: [ferenc1980@gmail.com](mailto:ferenc1980@gmail.com)