



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

---



# **ETIKUM 2016**

## **PROCEEDINGS**

---

Novi Sad, 23-25 June 2016

PROCEEDINGS OF THE SCIENTIFIC CONFERENCE WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION  
**ETIKUM 2016**  
**Novi Sad 2016**

---

*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*

---

*CIP classification:*

CIP - Каталогизacija у публикацији  
Библиотека Матице српске, Нови Сад

621:658.562(082)  
502.175(082)

**INTERNATIONAL Scientific Conference ETIKUM (10 ; 2016 ; Novi Sad)**

Proceedings [Elektronski izvor] / [Scientific Conference with International Participation]  
ETIKUM 2016, Novi Sad, 23-25 June 2016. - Novi Sad : Faculty of Technical Sciences,  
Department of Production Engineering, 2016 (Novi Sad : FTN, Graphic Centre GRID)

Način dostupa (URL): <http://www.dpm.ftn.uns.ac.rs/index.php/etikum> . - Radovi na srp. i engl.  
jeziku. - Prema predgovoru, ovo je 10. konferencija. - Tekst štampan dvostubačno. - Tiraž 200. -  
Foreword = Predgovor: str. [5-6]. - Bibliografija uz svaki rad.

ISBN 978-86-7892-826-0

a) Производно машинство - Контрола квалитета - Зборници b) Животна средина -  
Контрола квалитета - Зборници  
COBISS.SR-ID 306237703

*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.*

---

**ETIKUM 2016**

**SCIENTIFIC CONFERENCE WITH INTERNATIONAL  
PARTICIPATION  
NOVI SAD, SERBIA, JUNE 23-25, 2016**

**CONFERENCE ORGANIZER**

---

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

**PROGRAMME COMMITTEE**

---

*Aco Antic, FTN Novi Sad  
Ales Nagode, FS Ljubljana  
Bojan Acko, UNI Maribor  
Boris Agarski, FTN Novi Sad  
Borut Kosec, FS Ljubljana  
Branka Nakomcic-Smargdakis, FTN Novi Sad  
Branka Trifkovic, SF, Belgrade  
Branko Skoric, FTN Novi Sad  
Danimir Jevremovic, SF Pancevo  
Dejan Ubavin, FTN Novi Sad  
Dominic Eggbeer, Metropolitan University Cardiff  
Dragisa Vilotic, FTN Novi Sad  
Drazan Kozak, SF Slavonski Brod  
Dubravka Markovic, MF Novi Sad  
Djordje Vukelic, FTN Novi Sad  
Ferenc Kiss, TF Novi Sad  
Goran Simunovic, SF Slavonski Brod  
Goran Stojanovic, FTN Novi Sad  
Goran Vujic, FTN Novi Sad  
Igor Budak, FTN Novi Sad  
Igor Drstvensek, UNI Maribor  
Ilija Cosic, FTN Novi Sad  
Ivan Kuric, UNI Zilina  
Jozef Zivcak, TU Kosice  
Juraj Sebo, TU Kosice  
Klara Szita Toth, EF Miskolc  
Marian Borzan, TU Cluj-Napoca*

*Milovan Lazarevic, FTN Novi Sad  
Miladin Stefanovic, FIN Kragujevac  
Milan Kljajin, SF Slavonski brod  
Milan Martinov, FTN Novi Sad  
Miodrag Hadzistevic, FTN Novi Sad, president  
Mirko Sokovic, FS Ljubljana  
Miroslav Badida, TU Kosice  
Miroslav Trajanovic, MF Nis  
Mladen Sercer, FSB Zagreb  
Nenad Simeunovic, FTN Novi Sad  
Nikola Jorgovanovic, FTN Novi Sad  
Nusret Imamovic, MF Zenica  
Petar Petrovic, MF Belgrade  
Robert Cep, TU Ostrava  
Robert Williams, Metropolitan University Cardiff  
Sinisa Mirkovic, MF Novi Sad  
Slavko Arsovski, MF Kragujevac  
Stanislaw Legutko, UNI Poznan  
Sefket Goletic, MF Zenica  
Tatjana Puskar, MF Novi Sad  
Viktor Till, MF Novi Sad  
Vladimir Koci, VSCHT Prag  
Zbigniew Klos, UNI Poznan  
Zdravko Krivokapic, MF Podgorica  
Zeljko Ivandic, SF Slavonski Brod  
Zivana Jakovljevic, MF Belgrade*

**ORGANIZING COMMITTEE**

---

*Boris Agarski, chairman  
Branko Strbac  
Djordje Vukelic  
Dusica Savic  
Igor Budak  
Ivan Sovilj Nikic*

*Mario Sokac, secretary  
Milana Ilic Micunovic  
Miodrag Hadzistevic  
Vesna Medic  
Zeljko Santosi  
Zorana Lanc*

**ETIKUM 2016**

**SCIENTIFIC CONFERENCE WITH INTERNATIONAL  
PARTICIPATION  
NOVI SAD, SERBIA, JUNE 23-25, 2016**

## **ACKNOWLEDGEMENT**

Organisation of International Scientific Conference ETIKUM 2016 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**



## **Predgovor**

*Naučno stručna konferencija sa međunarodnim učešćem ETIKUM 2016 se održava deseti put i može se reći da je već postala tradicionalna. U vreme 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 obuhvata Katedra za metrologiju, kvalitet, pribore, alate i ekološko inženjerske aspekte. Pored toga, zahvaljujući razvoju interdisciplinarne saradnje, konferencija je i ove godine obuhvatila i srodne naučno stručne oblasti, u okviru kojih članovi Katedre realizuju naučno-istraživačke i stručne projekte.*

*Ova godine je prva godina u kojoj je uvedena nagrada za najbolji rad u znak sećanja na Prof. dr Janka Hodoliča. Programski odbor ETIKUM konferencije nagradio je najbolji rad mladog istraživača ETIKUM konferencije sa Prof. dr Janko Hodolič nagradom.*

*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. Merenje u kulturnom nasleđu*

*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 okviru druge tematske oblasti su ove godine - pored rezultata 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“ - rezultate svojih aktivnosti u oblasti biomedicinskog inženjerstva predstavili istraživači sa drugih departmana FTN-a.*

*Treća tematska oblast je i ove godine privukla veći broj istraživača iz različitih oblasti zaštite životne i radne sredine. Značajan doprinos dali rezultati ostvareni u okviru multilateralnog projekta “The platform for building the network of LCA centers and R&D institutes from Central and Southeastern Europe”, kao i projekta od značaja za nauku i tehnološki razvoj AP Vojvodine "Kontinualno unapređenje kvaliteta proizvoda i procesa tokom celokupnog životnog ciklusa".*

*Četvrta tematska oblast je fokusirana na predstavljanju rezultata istraživanja primene 3D tehnologija i metoda 3D digitalizacije u oblasti kulturnog nasleđa u cilju očuvanja kulturnih i istorijskih znamenitosti.*

*Na konferenciji ETIKUM 2016 je prezentovano ukupno 45 naučnih i stručnih radova, dok je u radu konferencije učestvovalo preko 80 predavača i slušalaca iz akademskih institucija i privrede 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 predstavljati značajan informativno-edukativni i naučno-stručni događaj na ovim geografskim prostorima.*

## **Foreword**

*International Scientific-Expert Conference ETIKUM 2016 will be held for the tenth 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.*

*This year was the first year where in memoriam of Prof. dr Janko Hodolic award for the best paper was introduced. The best paper of the young scientist from ETIKUM 2016 conference was rewarded with the Prof dr Janko Hodolic award on behalf of the ETIKUM conference programme committee.*

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

- 1. Metrology and quality control in the production engineering;*
- 2. Metrology and quality control in the biomedical engineering;*
- 3. Metrology and quality in the field of environmental protection and*
- 4. Measurement in the field of cultural heritage.*

*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.*

*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". In addition, this year this section is enriched with submissions of researchers from other Faculty's departments dealing with biomedical engineering.*

*The third thematic area this year attracted a large number of researchers from various areas of environmental protection. A significant contribution was given by results achieved in the framework of the multilateral project "The platform for building the network of LCA centers and R&D institutes from Central and Southeastern Europe", as well as by 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 focused on presenting the research results related to application of 3D technologies and 3D digitization methods in the field of cultural heritage for the purpose of preserving the cultural and historical artefacts.*

*At ETIKUM 2016 conference 45 scientific-expert papers were presented, while the conference was attended by over 80 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.*

---

## *In memoriam prof. dr Janko Hodolič*

*Prof. dr Janko Hodolič* je rođen 09. avgusta 1950. godine u mestu Pivnice, Republika Srbija. Diplomirao na Mašinskom fakultetu u Novom Sadu, a magistrirao i doktorirao na Fakultetu tehničkih nauka takode u Novom Sadu. Po završetku studija je izabran u zvanje asistenta u naučnom radu za oblast Mašine alatke, a kasnije za asistenta na predmetu Automatsko upravljanje mašinama na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. U zvanje docenta je izabran 21.06.1989. godine, za užu naučnu oblast Mašine alatke, fleksibilni tehnološki sistemi i automatizacija postupaka projektovanja, na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Za istu užu naučnu oblast i predmete Fleksibilni tehnološki sistemi i Mašine alatke, je 27.06.1994. godine izabran i u zvanje vanrednog profesora. U zvanje redovnog profesora izabran je 06.06.1997. godine za užu naučnu oblast Metrologija i pribori za predmete Merenje i kontrola i Pribori.

Njegova naučno-instraživačka aktivnost pretežno je orijentisana na primenu računara u raznim inženjerskim aktivnostima (FTS, CAD, CAM, CAQ). Od 2000. godine se intezivno bavio aspektima merenja i kvaliteta u području inženjerstva zaštite životne sredine, a od 2008. godine i u oblasti biomedicinskog inženjerstva.

Za veliki doprinos naučnom razvoju 2006. godine je promovisan u počasnog doktor nauka na Tehničkom Univerzitetu u Košicama (Dr.h.c.). U istom periodu je biran za gostujućeg profesora na Slovačkom tehničkom univerzitetu u Bratislavi i na Srednjeevropskoj visokoj školi u Skalici u Slovačkoj.

Izvodio je predavanja na većem broju predmeta, između kojih treba istaći: Mašine alatke, Automatizovano upravljanje mašinama alatkama, FTS, Pribori, Projektovanje pribora i merne mašine, Merenje i kvalitet, Računarom integrisana proizvodnja - CIM, Informacione tehnologije u oblikovanju plastike, Ekološke tehnologije i sistemi, Ekodizajn, Merenje i kontrola zagađenja i Mašinstvo u inženjerstvu zaštite okoline. Većinu pomenutih predmeta je, sa najbližim saradnicima, koncipirao i razvio.

Objavio je preko 450 naučnih radova kao autor i koautor, od kojih je oko polovine publikovano na međunarodnom nivou, u monografijama, časopisima i na konferencijama. Recenzirao je brojne udžbenike i veliki broj naučnih radova iz njegove uže naučne oblasti.

Učestvovao je u realizaciji preko 50 naučno-istraživačkih nacionalnih i međunarodnih projekata, uključujući projekte tehnološkog razvoja



R. Srbije, projekte od značaja za tehnološki razvoj AP Vojvodine, CEEPUS, TEMPUS, bilateralne, multilateralne itd. Na više od 20 projekata je bio rukovodilac ili koordinator.

Kao mentor i član komisija učestvovao je u komisijama za odbranu velikog broja diplomskih i master radova, magistarskih teza i doktorskih disertacija na univerzitetima u Srbiji, Sloveniji i Slovačkoj. Na istim univerzitetima je učestvovao i u većem broju komisija za izbore u saradnička i nastavnička zvanja.

Još kao student je pokazivao afinitet ka društvenom angažovanju. Bio je predsednik komisije za međunarodnu saradnju Saveza studenata Mašinskog fakulteta i potpredsednik Saveza studenata. Nakon zaposlenja obavljao je dužnosti predsednika saveta OOUR-a, direktora Instituta za proizvodno mašinstvo, prodekana za finansije i prodekana za nauku i međunarodnu saradnju Fakulteta tehničkih nauka. Bio je i rukovodilac studijskog programa Environ-mentalni menadžment na doktorskim studijama na Srednjeevropskoj visokoj školi u Skalici u Slovačkoj gde je obavljao i funkciju prorektora za naučnoistraživački rad. Na Slovačkom tehničkom univerzitetu u Bratislavi je biran za člana Naučno nastavnog veća.

Bio je član više domaćih i stranih stručno naučnih asocijacija (JUSK, DAAAM, SETAC itd.), uređivačkih odbora domaćih i stranih časopisa, kao i organizacionih, programskih i naučnih odbora nacionalnih i međunarodnih konferencija. Osnivač je naučne konferencije ETIKUM i CASE LCA mreže naučnih LCA centara Centralne i jugoistočne Evrope. Dobitnik je povelje i plakete "Prof. dr Pavle Stanković" za izuzetan doprinos razvoju oblasti proizvodnog mašinstva.

---

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

<b>Ivanic, I., Kozuh, S., Bizjak, M., Kosec, B., Holjevac Grguric, T., Gojic, M.:</b> INFLUENCE OF ANNEALING AT 900 °C ON MICROSTRUCTURE OF Cu-Al-Mn SHAPE MEMORY RIBBONS.....	1
<b>Tanasić, Z., Janjić, G., Kosec, B.:</b> MJERENJE PERFORMANSI PROCESA POSLOVNOG SISTEMA .....	5
<b>Šimunović, G., Svalina, I., Havrlišan, S., Šimunović, K., Šarić, T., Lujić, R., Vukelić, Đ.:</b> ADAPTIVNI NEURO-FAZI SISTEM ZA PROCENU BRZINE POLIRANJA ŠAVNIH CEVI.....	9
<b>Mijatović, M., Brzaković, Lj., Kostić, N.:</b> EKOLOŠKO ENERGETSKI ASPEKTI IZBORA ELEKTROMOTORNIH POGONA .....	13
<b>Santoši, Ž., Šokac, M., Budak, I., Ralević, N., Dramićanin, M.:</b> PRIMENA FAZI LOGIKE KAO ALATA ZA POBOLJŠANJE KVALITETA FOTOGRAFIJA KOD 3D DIGITALIZACIJE FOKUSIRANJEM-DEFOKUSIRANJEM.....	17
<b>Baloš, S., Šidjanin, L., Dramićanin, M., Janjatović, P., Labus Zlatanović, D., Rajnović, D.:</b> UTICAJ TUNELA NA OSOBINE ZAVARENOG SPOJA LEGURE AL 5052 H38 .....	21
<b>Janjatović, P., Baloš, S., Radisavljević I., Rajnović, D., Dramićanin, M., Labus Zlatanović, D., Erić-Cekić O.:</b> BALISTIČKE KARAKTERISTIKE PERFORIRANIH PLOČA OD ADI MATERIJALA.....	25
<b>Antić, A., Milošević, M., Lukić, D., Ungureanu, N.:</b> IDENTIFIKACIJA ZAVISNOSTI SEGMENTACIJE STRUGOTINE I SIGNALA VIBRACIJA PRI ODABIRU PARAMETARA ZA NADZOR HABANJA ALATA. 29	
<b>Đurđev, M., Milošević, M., Lukić, D., Vukman, J., Borojević, S.:</b> PRIMENA GENETSKIH ALGORITAMA U OPTIMIZACIJI TEHNOLOŠKIH PROCESA IZRADE PROIZVODA .....	33
<b>Sovilj-Nikic, I., Sovilj, B., Kovac, P., Sovilj-Nikic, S. Varga, G.:</b> IDENTIFICATION OF WEAR OF REAL HOB MILLING TOOLS .....	37
<b>Skakun, P., Plančak, M., Milutinović, M.:</b> PRIMENA RELAKSIRAJUĆH OTVORA U PROCESU HLADNOG ISTISKIVANJA.....	41
<b>Štrbac, B., Župunski, Lj., Radlovački, V., Ačko, B., Spasić – Jokić, V., Hadžistević, M.:</b> PROCENA MERNE NESIGURNOSTI PRI MERENJU RAVNOSTI NA KMM PRIMENOM MONTE KARLO SIMULACIJE .....	45
<b>Lanc, Z., Zeljković, M., Živković, A., Štrbac, B., Hadžistević, M.:</b> SISTEMATIZACIJA TOPLOTNIH IZVORA KOD MAŠINA ALATKI SA ASPEKTA ZAŠTITE RUKOVAOCA OD TOPLOTNIH OPASNOSTI .....	49
<b>Matin, I., Hadžistević, M., Vukelić, Đ., Medić, V., Brajlilih, T., Drstvenšek, I., Golebski, R.:</b> PRIMENA NUMERIČKE SIMULACIJE INJEKCIONOG PRESOVANJA ZA PROIZVODNJU MEDICINSKE OPREME..	53

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

<b>Brajlih, T., Irgolic, T., Kostevsek, U., Matin, I., Hadzistevic, M., Balic, J., Drstvenssek, I.:</b> ACCURACY INSPECTION OF CRANIAL IMPLANTS USING CT IMAGING AND CAQ SOFTWARE.....	57
<b>Trifković, B., Todorović, A., Puškar, T., Špadijer-Gostović, A., Miletić, V., Bogojević, J.:</b> RAZLIKE U OSNOVNIM NUMERIČKIM PARAMETRIMA BOJE ZUBA I NADOKNADA IZRAĐENIH OD LITIJUM DISILIKATNE STAKLO KERAMIKE .....	61
<b>Puškar, T., Vasiljević, D., Šokac, M., Radovanović, M. Pivaš, B., Kojić, S., Mirković, S.:</b> ANALIZA MOGUĆNOSTI ZA UNAPREĐENJE I RAZVOJ SAVREMENIH DIJAGNOSTIČKIH METODA ZA DETEKCIJU OKLUZALNIH OPTEREĆENJA .....	65
<b>Puškar, S., Milovančev, A., Vulin, A., Budak, I., Šokac, M.:</b> PRIMENA TEHNOLOGIJE MULTIDETEKTORSKOG SKENERA ZA SNIMANJE KORONARNIH KRVNIH SUDOVA .....	69
<b>Vicko, K., Puškar, T., Trifković, B.:</b> PRIMENA ATOMSKOG MIKROSKOPA U STOMATOLOŠKIM ISTRAŽIVANJIMA .....	73
<b>Potran, M., Milovančev, M., Puškar, T.:</b> PRIMENA SAVREMENIH INTRAORALNIH RADIOGRAFSKIH TEHNIKA U STOMATOLOGIJI .....	77
<b>Vuletić, J., Puškar, T.:</b> ADITIVNE TEHNOLOGIJE U STOMATOLOGIJI .....	81
<b>Đurović-Koprivica, D., Budak, I., Puškar, T., Milekić, B., Jeremić-Knežević, M.:</b> IZBOR METODE PRENOŠENJA POZICIJE DENTALNIH IMPLANATA NA DEFINITIVAN RADNI MODEL SA ASPEKTA TAČNOSTI.....	85
<b>Jeremić Knežević, M., Marković, D., Semnic, R., Puškar, T., Knežević, A., Đurović Koprivica, D.:</b> PRIMENA MAGNETNE REZONANCE U DIJAGNOSTICI POREMEĆAJA TEMPOROMANDIBULARNOG ZGLOBA..	89
<b>Spasić, A., Lainović, T., Bogdanović, M., Blažić, L., Šokac, M., Till, V.:</b> GUSTINA I ARHITEKTONIKA TRABEKULARNE KOSTI MANDIBULE – MSCT STUDIJA .....	93
<b>Skoric, B., Schrittwieser, R.:</b> NANOMATERIALS IN MEDICAL APPLICATIONS .....	97
<b>Milutinović, M., Lendel, R., Potran, M., Vilotić, D., Skakun, P., Santoši, Ž.:</b> RAZVOJ NOVOG POSTUPKA IZRADE METALNE BAZE TOTALNE ZUBNE PROTEZE.....	101
<b>Movrin, D., Tabaković, S., Plančak, M., Hadzistević, M.:</b> PRIMENA VEZIVNE 3D ŠTAMPE PRI REKONSTRUKCIJI BLOWOUT PRELOMA PODA ORBITA.....	105
<b>Vasiljevic D., Kojic S., Medic D., Pivas B., Tadic A., Mirkovic S., Radovanovic M.:</b> COST-EFFECTIVE INTERDIGITATED CAPACITIVE SENSOR FOR MEASUREMENT OF STAPHYLOCOCCUS AUREUS CONCENTRATION IN SALINE .....	109

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

<b>Cansu Ertem, F., Wang, L., Mattsson, M.:</b> ANALYZING THE IMPACTS OF INOCULUMS TO SUBSTRATE RATIO AND PRETREATMENT METHODS ON THE ANAEROBIC BIOGAS PRODUCTION FROM SUGAR BEETS .....	113
<b>Goletić, Š., Imamović, N.:</b> ANALIZA KVALITETA TEHNOLOŠKIH OTPADNIH VODA IZ PROCESA PROIZVODNJE I PRERADE MLIJEKA .....	117
<b>Klos, Z., Koper, K.:</b> ENVIRONMENTAL AND QUALITY ISSUES IN INNOVATING THE ENGINEERS' EDUCATION .....	121
<b>Muránsky, J.:</b> MECHANICAL ENGINEERING AND THE COP 21 CLIMATE SUMMIT.....	125
<b>Chandran, A., Stojanovic, G.:</b> SYNTHESIS OF NANO MATERIALS FOR SENSORS APPLICATION IN ENVIRONMENTAL MONITORING .....	129
<b>Krivokapić, Lj., Ilić, N., Milojković, J., Milutinović, S.:</b> PROCENA DELA FARMACEUTSKOG OTPADA U REPUBLICI SRBIJI .....	133

<b>Nakomčić-Smaragdakis, B., Čepić, Z.:</b> ENERGETSKI POTENCIJAL I ZNAČAJ KORIŠĆENJA BIOMASE IZ ŠUMARSTVA, VOĆARSKE I VINOGRADARSKE PROIZVODNJE U AP VOJVODINI.....	137
<b>Adamović, S., Prica, M., Velimirović, M., Pavlović, Ž., Tričković, J., Maletić, S.:</b> SOLIDIFIKACIONO/STABILIZACIONI TRETMAN OTPADNIH PROCESNIH OFSET BOJA .....	141
<b>Kragulj Isakovski, M., Tričković, J., Prica, M., Molnar Jazić, J., Maletić, S., Velimirović, M., Dalmacija, B.:</b> ISPITIVANJE MEHANIZMA DESORPCIJE TRIHLORBENZENA NA SEDIMENTU DUNAVA.....	145
<b>Novaković, M., Mihajlović, I., Đogo, M., Bežanović, V., Vojinović Miloradov, M.:</b> SEPARACIJA ANTIIFLAMATORNOG LEKA – NAPROKSENA IZ VODENOG RASTVORA PRIMENOM AKTIVNOG UGLJA.....	149
<b>Obrovski, B., Mihajlović, I., Bajić, J., Vojinović Miloradov, M., Batinić, B., Živanov, M.:</b> ODREĐIVANJE KLJUČNIH FIZIČKO-HEMIJSKIH PARAMETARA „LOW-COST“ UREĐAJEM NA BAZI OPTIČKIH VLAKANA.....	153
<b>Šunjević, M., Vojinović-Miloradov, M., Reba, D., Zeković, M., Konstantinović, D., Obrovski, B.:</b> MODEL ODRŽIVOG RAZVOJA ZA VOJVODINU .....	157
<b>Agarski, B., Budak, I., Ilic Micunovic, M., Imamovic, N., Kosec, B., Vukelic, D., Kljajin, M.:</b> INTERNAL NORMALIZATION IN LIFE CYCLE ASSESSMENT USING THE MULTI-CRITERIA ANALYSIS APPROACH .....	161
<b>Savić, D., Hadžistević, M.:</b> PREGLED I ISPITIVANJE USLOVA RADNE OKOLINE I OPREME ZA RAD U STOLARSKOJ RADIONICI “ZAMSTOL” SENTA.....	165

<b>SESSION 4: MEASUREMENT IN THE FIELD OF CULTURAL HERITAGE</b>
---

<b>Karpe, B., Krivec, M., Nagode, A., Sirok, K., Gojic, M., Kern, K., Ivanic, I., Sokovic, M., Bizjak, M., Kosec, B.:</b> RESTORATION AND CONSERVATION OF I. WORLD WAR RIFLES .....	169
<b>Stojaković, V., Obradović, R., Santoši, Ž.:</b> MODEL ZA KREIRANJE PLANA SNIMANJA ZA FOTOGRAFIJSKO MERENJE SFM PRISTUPOM.....	173
<b>Santoši, Ž., Korolija-Crkvenjakov, D., Stojaković, V., Obradović, R., Budak, I.:</b> MODEL SISTEMA ZA IZBOR METODE 3D DIGITALIZACIJE KOD NEPOKRETNOG KULTURNOG NASLEĐA .....	177

SCIENTIFIC CONFERENCE WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION  
ETIKUM 2016

PROCEEDINGS

**Session 1:**  
**METROLOGY AND QUALITY CONTROL IN THE**  
**PRODUCTION ENGINEERING**

Novi Sad, 23 – 25 June 2016.





**Ivanic, I., Kozuh, S., Bizjak, M., Kosec, B., Holjevac Grguric, T., Gojic, M.**

**INFLUENCE OF ANNEALING AT 900 °C ON MICROSTRUCTURE OF Cu-Al-Mn  
SHAPE MEMORY RIBBONS**

***Abstract:** The Cu-8.96%Al-7.08%Mn (wt.%) shape memory ribbons was casted by free jet melt spinner technique. Shape memory properties can be greatly enhanced by controlling microstructural factors such as grain size by thermomechanical treatments. In the present paper the results of the microstructural investigation in ribbons before and after heat treatment (900 °C/30'/WQ) was presented. Microstructural analysis was performed by optical microscopy (OM), scanning electron microscopy (SEM) along with EDS analysis and DSC technique. It was found a two-phase (martensite+ $\alpha$ ) structure in ribbons in as-cast state. Also, the martensite microstructure with sporadically  $\alpha$  phase particles was observed in heat treated state alloy.*

***Keywords:** shape memory alloy, CuAlMn, microstructure, martensite, heat treatment*

## **1. INTRODUCTION**

Cu-based shape memory alloys (SMAs), including Cu-Al-Ni and Cu-Al-Zn, shows good shape memory properties, higher range of transformation temperatures, high electrical and thermal conductivity, easier production and processing and low cost comparing to NiTi SMA. However, these Cu-based shape memory alloys are too brittle to be sufficiently cold-worked, which is attributed to their high degree of order, high elastic anisotropy and coarse grain structure [1-6].

Shape memory properties in Cu-based SMA appear due to the martensitic transformation which is a diffusionless phase transition in the solid state. The thermoelastic martensitic transformations are responsible for the shape change from martensite to the austenite phase or from austenite to martensite phase in the shape memory alloys. Whole austenite to martensite transformation cycle can be described with four characteristic temperatures:  $M_s$  – martensite start temperature,  $M_f$  – martensite finish temperature,  $A_s$  – austenite start temperature and  $A_f$  – austenite finish temperature. The phase change process occurred in these materials was obtained on cooling and heating, and in this respect, can be concluded that the shape memory effect is linked from an ordered austenite phase ( $\beta$ -phase) to the martensite phase [7].

Addition of manganese in Cu-Al – based alloys improves alloys ductility by decreasing the degree of order [3]. Cu-Al-Mn alloys show an excellent ductility and thanks to this (and other) property, makes them a potential polycrystalline alloy for

practical application.

Cu-Al-Mn shape memory alloy which contains low aluminium content shows excellent ductility due to low degree of order in the parent phase structure ( $L2_1$ ). These alloys undergo to a martensitic transformation from a high temperature  $\beta$  phase. During quenching from the  $\beta$  phase mentioned alloys undergo the following ordering reaction by a certain order:  $\beta$  ( $A2$ )  $\rightarrow$   $\beta_2$  ( $B2$ )  $\rightarrow$   $\beta_1$  ( $L2_1$ ). In the microstructure, depending of the alloys composition, three types of martensite can appear:  $\alpha'$  ( $3R$ ),  $\beta_1'$  ( $18R$ ) and  $\gamma_1'$  ( $2H$ ) [2].

The objective of this research is to follow the influence of solution annealing on microstructure and phase transformation temperatures in Cu-Al-Mn shape memory ribbons.

## **2. EXPERIMENTAL**

The Cu-Al-Mn shape memory alloy with the chemical composition of Cu-8.96%Al-7.08%Mn (wt. %) was produced by melt spinning technique, Fig. 1. The casted ribbons were obtained due to the spraying a thin melt jet trough the nozzle on the surface of the rotating water cooled cooper wheel. Dimension of the ribbons vary from the 1.5-2.5 mm in width, to 170-206  $\mu$ m in thickness, respectively. After the casting, the ribbons were subjected to solution annealing process at 900 °C in the duration of 30 minutes, following water quenching (WQ) in the room temperature water. The microstructural characterization was obtained by optical microscopy (OM), scanning electron microscopy (SEM) equipped with a device for EDS analysis.



Fig. 1. Free jet melt spinner

The samples were adequately prepared for microstructural examination by grinding (grid 1000-1200), polishing with 0.3  $\mu\text{m}$  alumina solution, and etching in solution composed of 2.5 g  $\text{FeCl}_3$ , 48 ml methanol and 10 ml HCl. The phase transformation temperatures were determined by differential scanning calorimetry (DSC) NETSCH STA Jupiter 449 F1. The DSC measurements were performed from room temperature to 560  $^\circ\text{C}$  at a heating/cooling rate of 10 K/min.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

The OM and SEM microstructural analysis of the Cu-Al-Mn samples can be observed on Figs. 2-4. The optical micrographs show two-phase microstructure into the sample in as-cast state, Fig. 2a. This is in accordance to the literature [10], where the similar alloy with chemical composition Cu-7.66Al-9.52%Mn (wt.%) showed the  $\alpha+\beta$  phase microstructure. The sample which is solution annealed at 900  $^\circ\text{C}/30'/\text{WQ}$  indicates to a partially transformation of parent phase into a martensite and residual  $\alpha+\beta$  phase, Fig.2b.

SEM micrographs, Fig. 3, confirm the microstructure observed by OM. In Fig. 3a is clearly visible two-phase microstructure in as-cast state sample. The martensite variants are noticed in the solution annealed sample (Fig. 3b), and the orientation of the martensite variants are different. It is visible a characteristic “zig-zag” morphology of the martensite plates.

Fig. 4 shows microstructure of the sample in as-cast state in which the EDS analysis was performed. The examined position (position 1 and position 2) are marked at Fig. 3, and the EDS spectrum of position 1 is given in Fig. 4b. The chemical composition of the examined positions

was given in Table 1. It can be noticed a minor difference in the chemical composition between these two phases. The main difference between these two positions is in the amount of copper and aluminium. The position 1 has 3.38 wt. % higher amount of copper, and 2.79 wt. % lower amount of aluminium than position 2. The difference in the manganese amount is less than 1 wt. %. It can be concluded that the position 1 indicates on Cu-rich  $\alpha$  phase, according to the literature [8, 9].

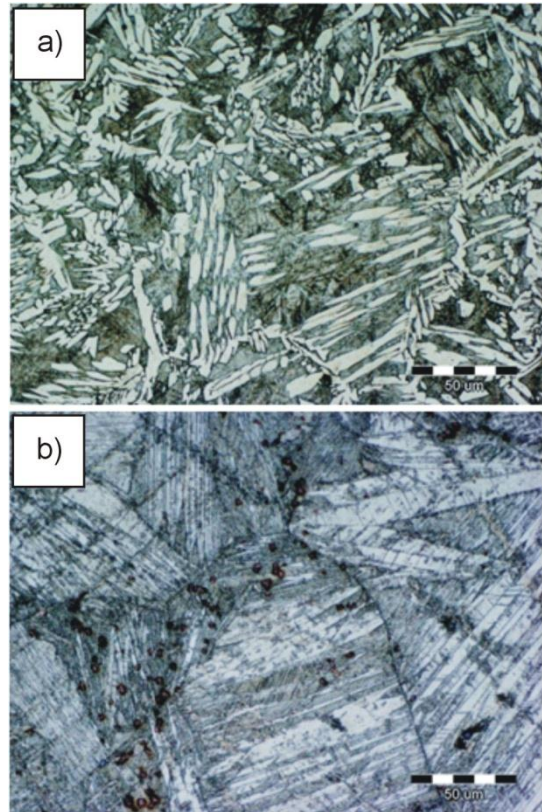
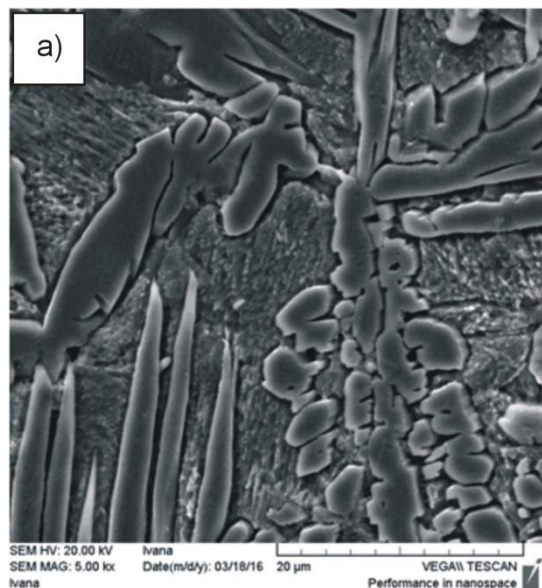


Fig. 2. Optical micrographs of Cu-Al-Mn in as-cast state (a) and in solution annealed at 900  $^\circ\text{C}/30'/\text{WQ}$  (b)





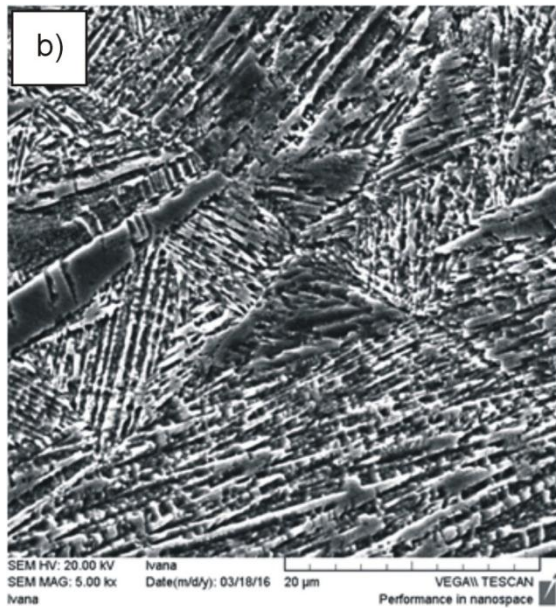


Fig. 3. SEM micrographs of Cu-Al-Mn in as-cast state (a) and in solution annealed at 900 °C/30'/WQ (b)

Fig. 5 show result of differential scanning calorimetry measurements on Cu-Al-Mn ribbons after solution annealing at 900 °C. These curves (heating and cooling) presents a phase transformation temperatures occurred in the sample. As can be seen the obtained curve has two peaks during heating and one during cooling. The beginning of the first transformation during heating was at 347.9 °C and the end at 371.8 °C. The second transformation occurred in the temperature range between 486.8 °C and 500.0 °C.

This can be explained by precipitation (above 300 °C) of equilibrium  $\alpha$  phase and with the order-disorder transition (close to 500 °C) of austenite [9]. Also, during cooling, a disorder-order transition can be noticed in the temperature range from 487.2 °C to 463.2°C. This is in accordance with our previous research in which the electrical resistance of Cu-Al-Mn alloy was measured [10].

Regarding that the experiment was performed from room temperature to 560 °C, cooling was interrupted at room temperature, so it can be assumed that the martensite transformation did not occur, since the critical temperature  $M_s$  would be located below room temperature.

As-cast state sample	Cu	Al	Mn
	wt. %		
Position 1	86.95	6.42	6.63
Position 2	83.57	9.21	7.22

Table 1. Chemical composition of the positions marked at Fig. 3a

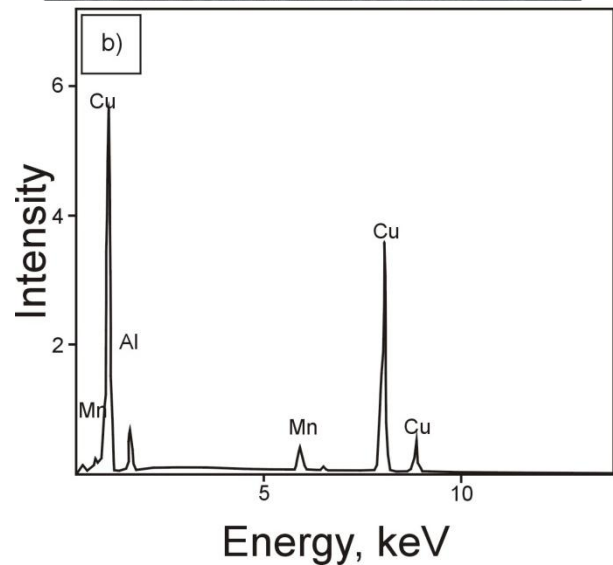
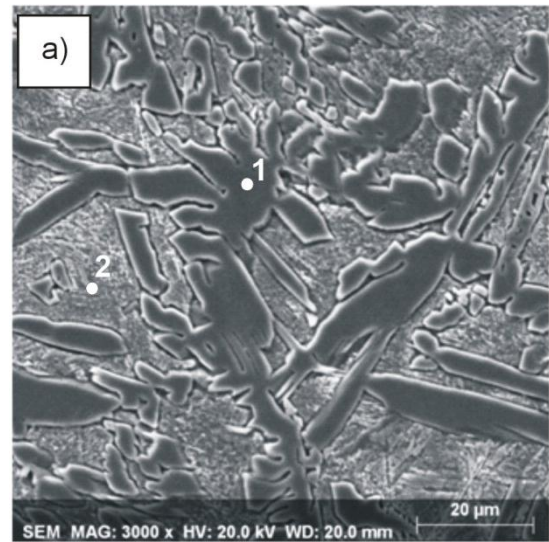


Fig. 4. SEM micrograph of Cu-Al-Mn in as-cast state (a) and EDS spectrum of position 1 marked on the Fig. 3a (b)

#### 4. CONCLUSION

Microstructure analysis of Cu-Al-Mn ribbons shows the presence of two ( $\alpha+\beta$ ) phase in the as-cast state sample and the partially martensitic microstructure in solution annealed state sample. EDS analysis shows the presence of Cu-rich phase, which presents  $\alpha$  phase. The results of DSC measurement revealed a phase transformation at higher temperatures during heating showing the dissolving Cu-rich  $\alpha$  phase (up 347.9 °C to 371.8 °C) and order-disorder transition of austenite phase (up 486.8 °C to 500.0 °C). During cooling, the transformation was interrupted at room temperature and it can be assumed that the martensite transformation did not occur.

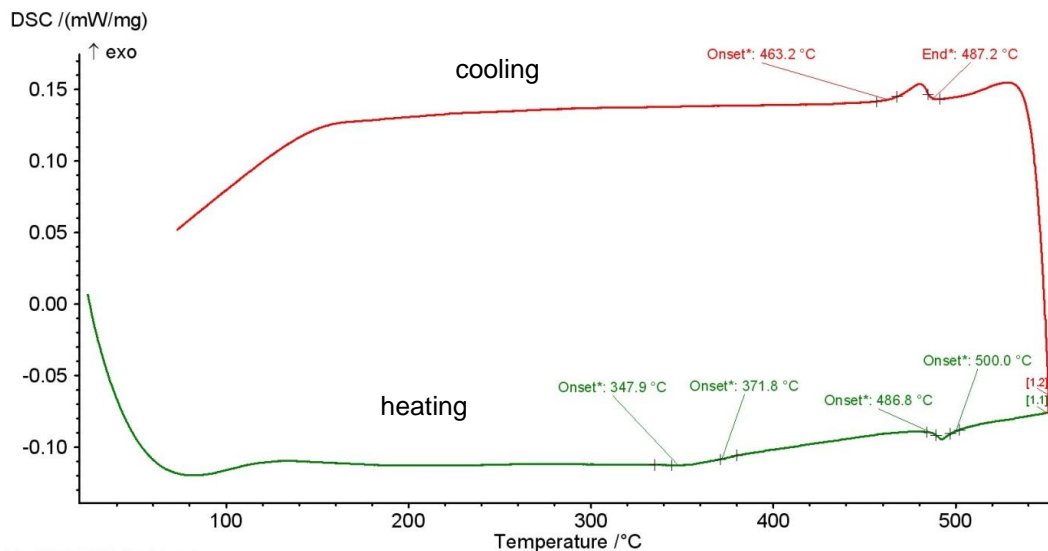


Fig. 5. DSC curve of Cu-Al-Mn ribbon after heat treatment at 900 °/30' /WQ

## 5. REFERENCES

- [1] J. Dutkiewicz, J. Morgiel, T. Czeppe, E. Cesari, Martensitic Transformation in CuAlNi and CuAlNi Melt Spun Ribbons, *Journal de Physique IV* (1997) 7, 167-172.
- [2] U.S. Mallik, V. Sampath, Effect of alloying on microstructure and shape memory characteristics of Cu-Al-Mn shape memory alloys, *Materials Science Engineering A* 481-482 (2008), 680-683.
- [3] U.S. Mallik, V. Sampath, Effect of composition and ageing on damping characteristics of Cu-Al-Mn shape memory alloys, *Materials Science Engineering A* 478 (2008), 48-55.
- [4] Y. Sutou, T. Omori, R. Kainuma, K. Ishida, Grain size dependence of pseudoelasticity in polycrystalline Cu-Al-Mn-based shape memory sheets, *Acta Materialia* 61 (2013), 3842-3850.
- [5] Y. Sutou, T. Omori, R. Kainuma, K. Ishida, Ductile Cu-Al-Mn based shape memory alloys: General properties and applications, *Materials Science and Technology* 24 (2008) 8, 896-901.
- [6] T. Omori, N. Koeda, Y. Sutou, R. Kainuma, K. Ishida, Superplasticity of Cu-Al-Mn-Ni Shape Memory Alloy, *Materials Transactions*, Vol. 48, No. 11 (2007), 2914-2918.
- [7] C. A. Canbay, Z. K. Genc, M. Sekereci, Thermal and structural characterization of Cu-Al-Mn-X (Ti, Ni) shape memory alloys, *Applied Physics A* 115 (2014) 371-377.
- [8] Y.Q. Jiao, Y.H. Wen, N. Li, J.Q. He, J. Teng, Effect of solution treatment on damping capacity and shape memory effect of a CuAlMn alloy, *J. Alloys Compd.* 491 (2010), 627-630.
- [9] S. Stanciu, L.G. Bujoreanu, R.I. Comanenci, N. Cimpoesu, I. Ionita, V.V. Moldoveanu, Particularities of phase transitions in thermomechanically processed Cu-Al-Mn shape memory alloys, *Proceedings of 8<sup>th</sup> European Symposium on Martensitic Transformations ESOMAT*, 07-11. September, Prague, 2009, 1-6.
- [10] S. Kožuh, I. Ivanić, M. Bizjak, B. Kosec, T. Holjevac Grgurić, I. Bogeljić, M. Gojić, Microstructure of Cu-Al-Mn shape memory ribbons casted by melt spinner, *Proceedings of 15th International Foundrymen Conference*, 11-13 May, Opatija, 2016, 140-150.

**Authors:** Ivana Ivanić<sup>1</sup>, Associate Prof. Stjepan Kožuh<sup>1</sup>, Full Prof. Milan Bizjak<sup>2</sup>, Full Prof. Borut Kosec<sup>2</sup>, Assistant Prof. Tamara Holjevac Grgurić<sup>1</sup>, Full Prof. Mirko Gojić<sup>1</sup>

<sup>1</sup> University of Zagreb, Faculty of Metallurgy, Aleja narodnih heroja 3, 44 103 Sisak, Croatia, Phone.: +385 44 533 379, Fax: +385 44 533 378.

E-mail: [iivanic@simet.hr](mailto:iivanic@simet.hr)  
[kozuh@simet.hr](mailto:kozuh@simet.hr)  
[tholjev@simet.hr](mailto:tholjev@simet.hr)  
[gojic@simet.hr](mailto:gojic@simet.hr)

<sup>2</sup> University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenia

E-mail: [milan.bizjak@omm.ntf.uni-lj.si](mailto:milan.bizjak@omm.ntf.uni-lj.si)  
[borut.kosec@omm.ntf.uni-lj.si](mailto:borut.kosec@omm.ntf.uni-lj.si)

## Acknowledgements

This work has been fully supported by Croatian Science Foundation under the project IP-2014-09-3405.

**NAUČNA KONFERENCIJA SA MEĐUNARODNIM  
UČEŠĆEM  
ETIKUM 2016  
NOVI SAD, SRBIJA, 23-25 JUN, 2016**

**Tanasić, Z., Janjić, G., Kosec, B.**

**MJERENJE PERFORMANSI PROCESA POSLOVNOG SISTEMA**

**Rezime:** *U poslovnom okruženju postoji jedna riječ značajnija od svih ostalih zajedno a to je promjena. Poslovni procesi i okruženje, u kojima se poslovni svijet nalazi, mijenjaju se velikom brzinom usljed globalizacije, Interneta, e-poslovanja i sl. Preduzeća koja ne prate ove promjene u poslovanju ostaju daleko iza svojih konkurenata. Za uspostavljanje realnih osnova razvoja preduzeća potrebna je neprekidna komunikacija menadžmenta kao i uključenost svih stejkholdera. Upravljanje performansama predstavlja korišćenje informacija iz mjerenja performansi da bi se postigli pozitivni efekti u poslovnom sistemu, procesima ili organizacionoj kulturi.*

**Ključne riječi:** *BSC metoda, faktori uspjeha, mjerljive performanse*

## 1. UVOD

Uspjeh organizacije zavisi od *okruženja, kulture i operativnog konteksta* i primorane su da se brzo mijenjaju i prilagođavaju. Novi način poslovanja nameće potrebu za dizajniranjem organizacije a to podrazumijeva proces stvaranja organizacije sa dimenzijama inženjerstva.

Dizajn organizacije se ne ograničava samo na tehničke aspekte jer tehnički sistemi čine najlakši dio *mozaika* za uspješnu implementaciju poslovnog sistema. U procesu dizajniranja strategija predstavlja izazovan aspekt. Organizaciona kultura je najteži dio u procesu dizajniranja jer sadrži socio elemente organizacije.

## 2. BSC METODA - performanse sistema

U poslovnom okruženju postoji jedna riječ značajnija od svih ostalih zajedno a to je *promjena*. Poslovni procesi i okolina, u kojima se poslovni svijet nalazi, mijenjaju se velikom brzinom usljed globalizacije, Interneta, e-poslovanja i sl. Preduzeća koja ne prate ove promjene u poslovanju ostaju daleko iza svojih konkurenata. Iz tog razloga, a u cilju održavanja ili unapređenja uspješnosti poslovanja kako u sadašnjosti tako i u budućnosti, trebaju se postaviti sljedeća pitanja:

- Na koji način kontrolisati i upravljati poslovanjem u današnjim uslovima?
- Koje metode i procesi i dalje funkcionišu, a koje je potrebno razvijati?
- Za uspješno poslovanje, menadžeri su za svoj cilj postavili:
- Izraditi proces poslovnog upravljanja.
- Usmjeriti rad svih svojih jedinica ka

istome krajnjem cilju – viziji!

- Pratiti ostvarenje cilja kako bi se znalo ide li se u pravcu cilja.
- Kontinuirano poboljšanje.

Za uspostavljanje realnih osnova razvoja preduzeća, tokom cijelog procesa, potrebna je neprekidna komunikacija menadžmenta kao i uključenost svih stejkholdera. Upravljanje performansama predstavlja korišćenje informacija o mjerenju performansi da bi se postigli pozitivni efekti u poslovnom sistemu, procesima ili organizacionoj kulturi.

Uspješne organizacije kreiraju sopstveni sistem upravljanja performansama i to tako što:

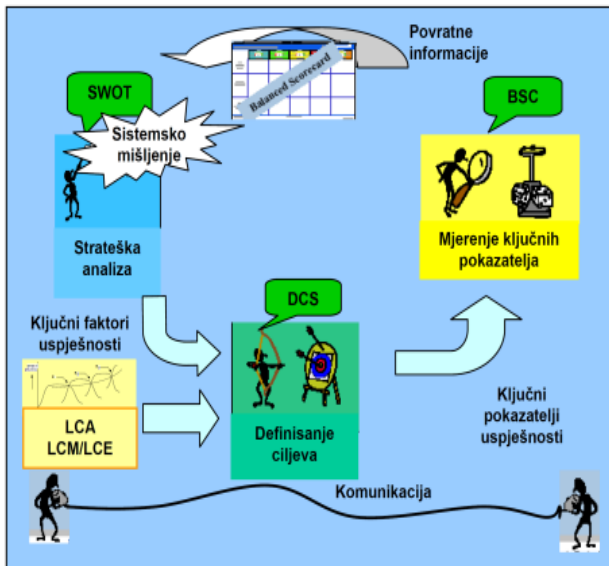
- pretvaraju vizije u jasne mjerljive ciljeve koji određuju uspjeh;
- osiguraju alat za razumijevanje, upravljanje i unapređivanje poslovnog sistema;
- transformišu tradicionalne organizacije zasnovane na inspekciji i kontroli u savremene organizacije zasnovane na fleksibilnosti i inovacijama;
- mjere kvalitet, cijenu, brzinu, motivisanost i vještinu zaposlenih;
- mijenjaju model povremenog mjerenja performansi sa modelom kontinuiranog upravljanja performansama.

Vremenom se razvilo više različitih pogleda na razvoj mjerenja i ocjenjivanja uspješnosti poslovanja a tim i više različitih metoda mjerenja uspješnosti poslovanja, a prepoznatljive su:

- *Balanced Scorecard*,
- Sistem 20 ključeva,
- Model šest sigma,
- TQM, itd.

Poslovno upravljanje u preduzeću je proces u kojem menadžment preko zaposlenih

implementira strategiju preduzeća. Proces poslovnog upravljanja dizajnira se u cilju povećanja fleksibilnosti i upravljanja preduzećem u nestabilnom poslovnom okruženju. On omogućuje da preduzeće ide u pravom smjeru, zavisno od vrste posla i dinamike okruženja. To je kontinuiran i neprekidan proces evolucije, Slika 1.



Sl. 1. Proces poslovnog upravljanja, pretvaranje vizije u mjerljive ciljeve

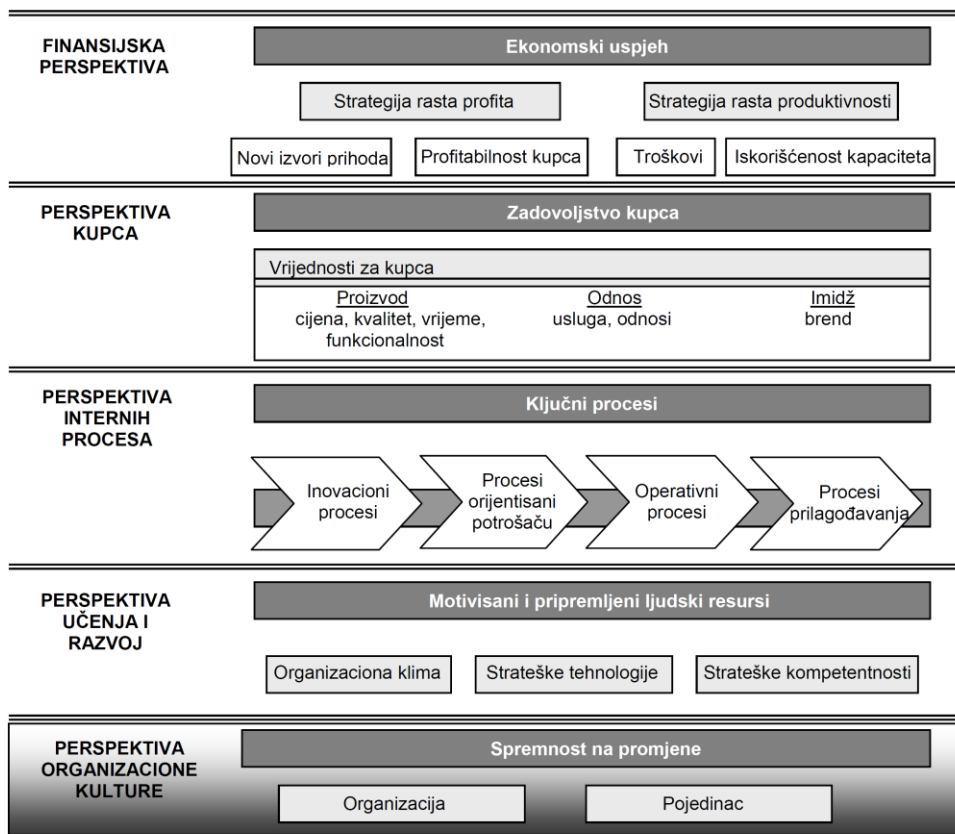
BSC metoda treba pružiti okvir za transformaciju vizije i strategije organizacije u mjerljive poslovne ciljeve, posebno u ključnim poslovnim područjima. Uspješnost poslovanja Preduzeća se mjeri iz perspektiva: kupca, internih procesa, učenja i rasta i finansijske perspektive. Da bi se ostvarila vizija preduzeća navedene četiri perspektive treba da daju odgovore na sljedeća pitanja:

- **finansijska perspektiva** → *Koji finansijski rezultati treba da se ostvare iz perspektive vlasnika i akcionara?*;
- **perspektiva kupca** → *Kako treba da nas vide kupci?*
- **perspektiva internih procesa** → *U čemu treba da smo najbolji?* i
- **perspektiva učenja i razvoja** → *Šta i kako treba inovirati i učiti?*

Na osnovu teorijskih i praktičnih istraživanja u ovom radu uvodi se peta perspektiva koja treba da odgovori na pitanje:

- **Koliko smo spremni i svjesni kao pojedinac i organizacija da prihvatimo promjene? perspektiva organizacione kulture.**

Na Slici 2 dat je prikaz BSC strateške mape sa navedenim perspektivama a na Slici 3 dijagram faktora uspjeha – mjerila u Preduzeću XY.



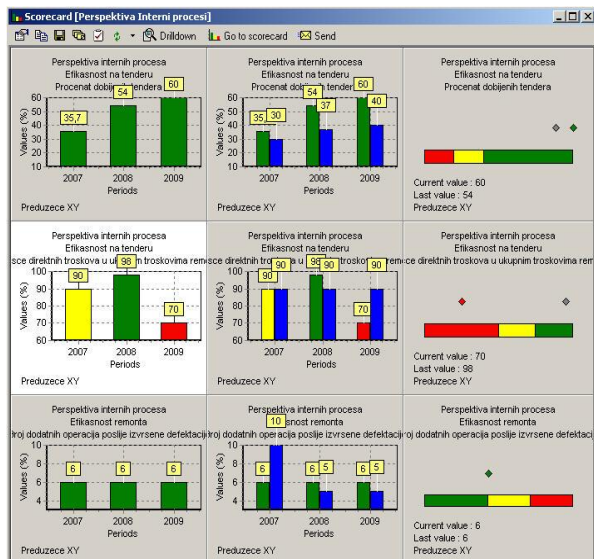
Prilagođeno prema: Kaplan, R., Norton.: *The Strategy Focused Organization*, Boston, Massachusetts, 2003.

Sl. 2. Perspektive BSC metode



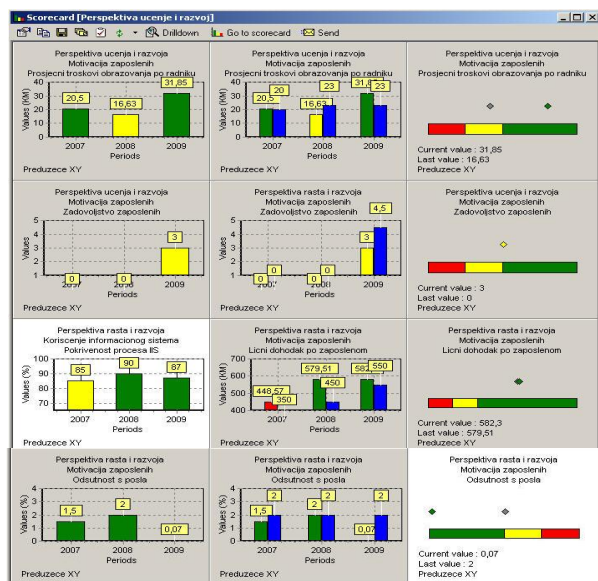


u četiri sljedeće grupe: inovacioni procesi, procesi upravljanja kupcem/potrošačem, operativni procesi i procesi vezani za društveno odgovorno poslovanje (zdravlje, bezbjednost, ekologija i društvo). Na Slici 5 prikazani su ciljevi i mjerila internih procesa u Preduzeću XY i na osnovu njih su analizirana mjerila iz operativnih procesa.



Sl. 5. Perspektiva internih procesa u Preduzeća XY

Perspektiva učenja i razvoja je neopipljiva aktiva neophodna za realizaciju strateških ciljeva. Dizajniranjem različitih vrijednosti i internih procesa zahtijevaju se i različite strateške kompetentnosti (znanja i vještine zaposlenih), tehnologije (informacioni sistemi, komunikacioni sistemi i dr.) i organizaciona klima (motivacija i autoritet zaposlenih). Prema Kaplanu i Nortonu, kroz njihova istraživanja, formulisanje pokazatelja i ciljeva mora se povezati kroz *uzročno-posljedični* odnos. Na Slici 6 prikazana su mjerila četvrtne perspektive u Preduzeću XY.



Sl. 6. Perspektiva učenja i razvoja u Preduzeća XY

## 4. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Jedini način postizanja održivog uspjeha na tržištu jeste uspostavljanje inovativne organizacije, koja je fleksibilna, koja se brzo prilagođava promjenama iz okruženja i koja brzo uči. Do takve organizacije se dolazi primjenom savremenih modela poslovanja i njegovih osnovnih principa. Ključ uspjeha se nalazi u uspostavljanju organizacione kulture u kojoj svaki zaposleni osjeća, ne dužnost, već potrebu za stalnim inoviranjem sopstvenog rada. Takvim pristupom zaposleni sebi obezbjeđuju siguran posao a preduzeću opstanak na tržištu.

Primjena savremenih metoda i odgovarajućih informacionih sistema za stratešku analizu, identifikaciju procesa i ključnih performansi u cilju mjerenja efikasnosti i efektivnosti poslovnih sistema upotpunjuje proces dizajna društvenog sistema. Ove vrijednosti utiču na formiranje organizacione kulture i stvaraju mogućnost promjene odnosa zaposlenih prema vrijednosti organizacije.

## 5. REFERENCE

- [1] Hofstede, G.: *Cultures and Organisations: Software of the Mind*, McGraw Hill, London, 1991.
- [2] Kaplan, R. S., Norton, D. P.P.: *The Balanced Scorecard - Measures that Drive performance*, Harvard Business Review - HBR January-February 1992, 71-80, 1999.
- [3] Robert, J. House, i dr.: *Culture, Leadership and Organizations: The GLOBE Study of 62 Societies*, Sage Publications, 2004.
- [4] Arsovski, S.: *Menadžment procesima*, Kragujevac, 2006.
- [5] Zorana T.: *Razvoj modela za dizajn/redizajn socio-tehničkog sistema*, (doktorska disertacija) Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet, 2011.

**Autori:** Doc. dr Zorana Tanasić, Doc. dr Goran Janjić, Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet, V. Stepe Stepanovića 71, 78 000 Banja Luka; Prof. dr Borut Kosec, Univerza v Ljubljana, Naravoslovnotehniška fakulteta, Aškerčeva cesta 12, 1000 Ljubljana;

E-mail: [zorana.tanasic@unibl.rs](mailto:zorana.tanasic@unibl.rs)  
[goran.janjic@unibl.rs](mailto:goran.janjic@unibl.rs)  
[borut.kosec@omm.ntf.uni-lj.si](mailto:borut.kosec@omm.ntf.uni-lj.si)



Šimunović, G., Svalina, I., Havrlišan, S., Šimunović, K., Šarić, T., Lujčić, R., Vukelić, Đ.

## **ADAPTIVNI NEURO-FAZI SISTEM ZA PROCENU BRZINE POLIRANJA ŠAVNIH CEVI**

**Rezime:** Proceniti tehnološke parametre na način da se ispune postavljeni konstrukcioni i tehnološki zahtevi, cilj je i želja svakog tehnologa. Procenu, tehnologu, mogu olakšati prikupljena znanja i ranije stečena iskustva. U želji za tačnijim procenama potrebne brzine poliranja šavnih cevi, tokom dužeg vremenskog perioda, sistematski su prikupljeni podaci iz proizvodnje. Ova baza podataka upotrebljena je za generisanje sistema za predviđanje brzine poliranja pomoću metode adaptivnog neuro-fazi sistema (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System - ANFIS). Generisani sistem ima mogućnost procene izlaza (brzine poliranja) na temelju datih ulaza (spoljašnji prečnik cevi, kružnost cevi nakon prve faze proizvodnje, gradacija remena za brušenje ili poliranje, stanje remena-vreme upotrebe remena, pritisak remena). Greška procenivanja brzine poliranja koju daje sistem je 1,43 %. Na ovaj se način olakšava rad tehnologa i skraćuje vreme tehnološke pripreme proizvodnje.

**Cljučne reči:** veštačka inteligencija, adaptivni neuro-fazi sistem, tehnološki parametri

### **1. UVOD**

Ispunjenje osnovnih zahteva koji se postavljaju pred današnja preduzeća, kao što su optimalni kvalitet proizvoda, niski troškovi proizvodnje, poštovanje rokova isporuke i racionalnije upravljanje materijalnim i informacionim tokovima u proizvodnom sistemu, nezamislivo je bez novih naučnih pristupa u pripremi proizvodnje. Dva su osnovna problema koja zaokupljaju inženjere tehnologe u proizvodnim preduzećima: izabrati tehnološke parametre kojima će se postići zahtevani kvalitet proizvoda (prema tehničko-tehnološkoj dokumentaciji) i maksimalno iskoristiti mogućnosti raspoloživih proizvodnih resursa. Ovi problemi su kompleksni i vrlo često uslovljeni mnoštvom međuzavisnih faktora, stoga modeliranje kao pristup u okviru rešavanja problema u proizvodnim preduzećima ima izuzetno veliki značaj. Modeliranje je usmereno na prepoznavanje oblika, određivanje redosleda tehnoloških operacija i zahvata, planiranje putanje alata, izbor polaznog materijala, predviđanje i optimizaciju tehnoloških parametara, procenu troškova proizvodnje, modeliranje hrapavosti obrađene površine, itd. [1-8]. U analiziranim radovima se na iskustvenim podacima, eksperimentalnim podacima ili podacima dobijenim na temelju svakodnevnih merenja, primenjuje algoritamsko modeliranje, matematičko modeliranje, regresiono modeliranje, simulacijsko modeliranje ili se za modeliranje koriste tehnike veštačke inteligencije: genetski

algoritmi, neuronske mreže, ekspertni sistemi, fazi logika, itd. Za tehnološke probleme procene i optimizacije parametara rada te hrapavosti površine često se kombinuju tehnike veštačke inteligencije: fazi logika i neuronske mreže, fazi logika i genetski algoritmi, te neuronske mreže i genetski algoritmi [9-13]. Naime, predloženi hibridni modeli u radovima, po pravilu, ostvaruju bolje rezultate od pojedinačnih tehnika veštačke inteligencije i pokazuju brže prilagođavanje strukture na problem učenja. Iz tog je razloga, u ovom radu, upotrebljena metodologija adaptivnog neuro-fazi sistema, odnosno kombinacija fazi logike i neuronskih mreža pri proceni brzine poliranja šavnih cevi s ciljem ispunjavanja zahtevanog kvaliteta površine (hrapavosti). Brzina poliranja šavnih cevi ima direktan uticaj na tehnološko vreme. Dakle, u radu je posmatran višedimenzionalni problem kod kojeg je na osnovi prikupljenih eksperimentalnih podataka teško uspostaviti matematičku zavisnost između ulaznih i izlazne varijable.

### **2. DEFINICIJA PROBLEMA I CILJA ISTRAŽIVANJA**

Proizvodnju šavnih cevi od nerđajućeg čelika čine faza valjanja i faza brušenja i poliranja. U početnoj fazi, traka od nerđajućeg čelika, različitih debljina i širina, zavisno o traženom spoljašnjem prečniku cevi, se valja preko niza vertikalnih i horizontalnih valjaka i oblikuje u cev. U nastavku procesa, zagrevaju se krajevi izvaljane cevi i

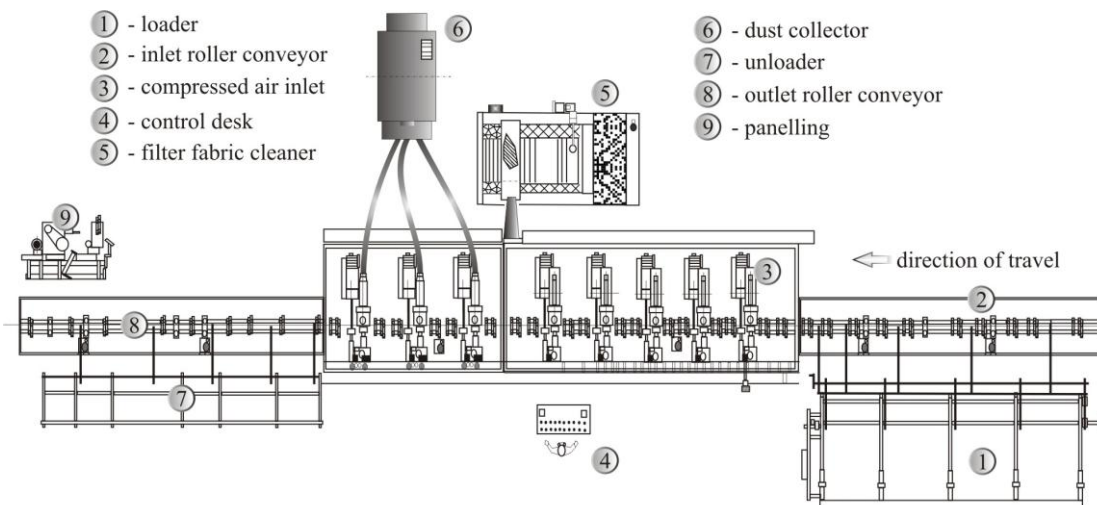
priprema za zavarivanje, koje se TIG postupkom obavlja u prolaznoj zaštitnoj komori. Sledi brušenje zavara i kalibrisanje cevi prema zahtevanoj toleranciji spoljašnjeg prečnika i zahtevanoj kružnosti. Nakon sprovedenog ispitivanja zavara metodom bez razaranja i povremenim tehnološkim probama, cevi se grubo bruse, označavaju, režu na određenu dužinu i odlažu u skladište poluproizvoda. Prva faza proizvodnje na skladištu poluproizvoda stvara planirane minimalne zalihe različitih dimenzija cevi. U većini slučajeva (oko 95 %) ovako dobijene šavne nerđajuće cevi potrebno je dodatno brusiti i polirati. Shema linije za brušenje i poliranje prikazana je na slici 1. U zavisnosti od narudžbenice kupaca, sledi izuzimanje cevi sa skladišta poluproizvoda i druga faza proizvodnje - brušenje i poliranje. Prolaskom cevi između abrazivnih remena i glave za poliranje, te rotiranjem oko osa, postiže se visoko zahtevana čistoća i sjaj spoljašnje površine. U cilju postizanja zahtevanog kvaliteta, potrebno je pravovremeno menjati potrošene abrazivne remene. U protivnom se cevi vraćaju na dodatnu obradu (II ili III faza poliranja), koja osim gubitka vremena povećava i troškove radnog naloga.

Parametri obrade i vreme potrebno za drugu fazu proizvodnje uglavnom se procenjuju na

osnovu iskustva. Vreme obrade se može izračunati na osnovu brzine poliranja, a brzina poliranja zavisi i od velikog broja drugih uticajnih parametara.

Matematički model brzine poliranja je zbog velikog broja uticajnih parametara gotovo nemoguće definisati. Stoga je jedan od ciljeva u radu, za procenjivanje tehnoloških parametara i tehnološkog vremena poliranja šavnih cevi, razviti procesni model baziran na primeni neuronskih mreža i fazi logike. Rezultati koje model daje trebali bi predstavljati osnovu za tačnije procenjivanje mogućih rokova isporuke i planiranje proizvodnje. Integracija modela u ERP sistem preduzeća mogla bi unaprediti aktivnosti u tehnološkoj pripremi proizvodnje i poslove planiranja proizvodnje, te podatke koje model daje učiniti opštedostupnim i opštekorisnim na razini celog preduzeća.

Za postavljanje modela izabran je ANFIS sistem, jer je znanje o problemu dostupno u obliku skupa diskretnih vrednosti elementa vektora stanja i izlaznih veličina iz procesa. Realni podaci za postavljanje modela su prikupljeni tokom dužeg vremenskog perioda u preduzeću "Đuro Đaković Zavarene posude d.d." (Slavonski Brod, Hrvatska) u proizvodnji šavnih cevi od nerđajućeg čelika.



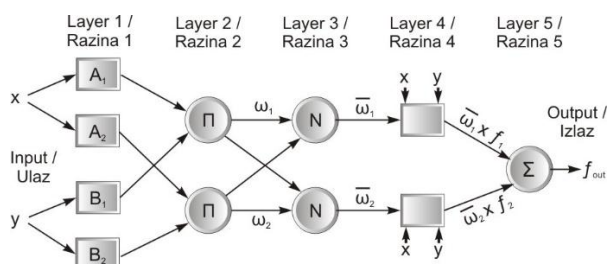
Sl. 1. Shema linije za poliranje i brušenje.

### 3. ADAPTIVNI NEURO-FAZI SISTEM (ANFIS)

Sistem fazi zaključivanja (FIS) za predviđanje brzine poliranja pomoću parametara tehnološkog procesa i karakteristika šavnih cevi se generiše pomoću ANFIS metode. ANFIS metoda predstavlja programirani postupak određivanja svih parametara sistema fazi zaključivanja koristeći dostupne ili merene podatke koji opisuju ciljni sistem. Opšta arhitektura primenjene ANFIS

metode za dobijanje sistema fazi zaključivanja kojeg čine dva ulaza ( $x$  i  $y$ ) i jedan izlaz (fout) je prikazana na slici 2. Koncept fazi zaključivanja prikazan na slici 2. predstavlja metodu za fazi zaključivanje koja tumači vrednosti u ulaznom vektoru te na osnovi skupa pravila dodeljuje vrednosti u izlaznom vektoru.

Za prikazivanje ANFIS arhitekture najčešće se koristi 5 lejera (slojeva). Oni se sastoje od određenog broja čvorova koji su opisani funkcijama [14,15].



Sl. 2. Opšta arhitektura ANFIS-a.

#### 4. REZULTATI

Pomoću ANFIS sistema na temelju ulazno/izlaznih podataka razvijen je FIS sistem za predviđanje brzine poliranja šavnih cevi od nerđajućeg čelika. Pet parametara obrade (spoljašnji prečnik cevi, kružnost cevi nakon prve faze proizvodnje, gradacija remena za brušenje ili poliranje, stanje remena-vreme upotrebe remena, pritisak remena) su uzeti kao ulazi dok je izlazni parametar brzina poliranja. Skup ulazno/izlaznih podataka je podeljen u dva podskupa na način da je jedan podskup upotrebljen za generisanje FIS sistema, a drugi podskup je upotrebljen za testiranje generisanog FIS sistema. Osnovne karakteristike FIS sistema prikazane su u tabeli 1.

1. Name	Polishing speed
2. Type	Sugeno
3. Inputs/Outputs	[5 1]
4. NumInputMFs	[3 3 3 3 3]
5. NumOutputMFs	243
6. NumRules	243
7. AndMethod	Prod
8. OrMethod	Max
9. ImpMethod	Prod
10. AggMethod	Max
11. DefuzzMethod	wtaver
12. InLabels	Input 1
	Input 2
	Input 3
	Input 4
	Input 5
13. OutLabels	Output
14. InRange	[12 42.4]
	[4 8]
	[80 600]
	[8 25]
15. OutRange	[45 80]

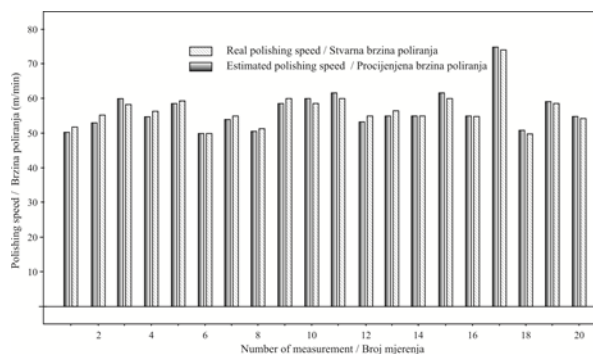
Tabela 1. Osnovne karakteristike generisanog FIS sistema.

Glavni zadatak ANFIS sistema pri generisanju FIS sistema je optimizacija parametara funkcija pripadnosti kako bi funkcije pripadnosti bolje povezivale ulazni prostor sa ulaznim fazi

skupovima i izlazne fazi skupove s izlaznim prostorom.

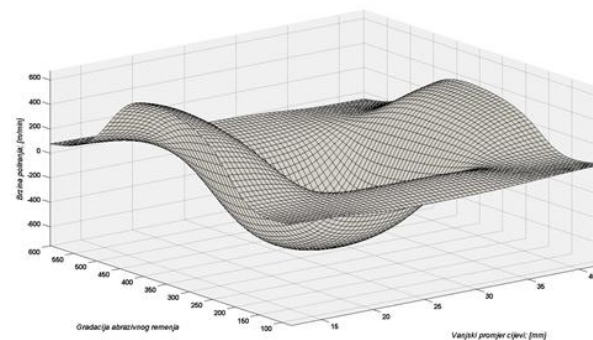
Ukupna greška (srednje kvadratno odstupanje) koju daje FIS sistem iznosi 1,43% i puno je manja nego u radu [9] u kojem su za procenjivanje primenjene neuronske mreže, a greška iznosi 4,93%.

Na slici 3 je prikazan dijagram procenjene brzine poliranja pomoću generisanog FIS sistema u poređenju sa stvarnom brzinom poliranja.



Sl 3. Stvarna i procenjena brzina poliranja pomoću generisanog FIS sistema.

Na slici 4. je prikazan dijagram 3D površine dobijen pomoću generisanog FIS sistema u *matlab*-u koji predstavlja zavisnost brzine poliranja od gradacije abrazivnog remena i spoljašnjeg prečnika cevi.



Sl. 4. Dijagram zavisnosti brzine poliranja od gradacije abrazivnog remena i spoljašnjeg prečnika cevi.

#### 5. ZAKLJUČAK

U radu je opisan neuro-fazi pristup za procenu brzine poliranja šavnih cevi. Izbor podataka za treniranje iz ukupnog seta podataka imao je veliki uticaj na srednje kvadratno odstupanje. Slučajan izbor slogova podataka za uzorak za treniranje u početku je prouzrokovao veliku grešku. Međutim, kasnijim uticajem na jednaku zastupljenost karakterističnih podskupova (klasa, razreda) podataka, greška je značajno smanjena. Konačni neuro-fazi model daje rezultate s greškom koja je manja od 5%. Istraživanje je pokazalo da mladi i

manje iskusni inženjeri u postupku projektovanja tehnoloških procesa kod određivanja brzine obrade i tehnološkog vremena greše po pravilu oko 10%, stoga model daje prihvatljive rezultate. Može se zaključiti da predloženi neuro-fazi model ostvaruje bolje rezultate od modela dobijenog na temelju neuronskih mreža zbog bržeg prilagođavanja strukture na posmatrani problem. S druge strane, ovaj model je ograničen činjenicom da njegova upotreba postaje komplikovana sa porastom broja ulaznih parametara, jer raste broj fazi skupova i pravila učenja. Rezultati koje model daje trebali bi predstavljati osnovu za tačnije procenjivanje mogućih rokova isporuke i planiranje proizvodnje. Takođe, model može da unapredi aktivnosti u tehnološkoj pripremi proizvodnje i olakša poslove planiranja proizvodnje.

## 6. REFERENCE

- [1] Marchetta, M.G., Forradellas, R. Q.: *An artificial intelligence planning approach to manufacturing feature recognition*, Computer-Aided Design, 42 (3), pp. 248-256, 2010.
- [2] Rufeng, X., Zhitong, C., Wuyi, C., Xianzhen, W., Jianjun, Z.: *Dual Drive Curve Tool Path Planning Method for 5-axis NC Machining of Sculptured Surfaces*, Chinese Journal of Aeronautics, 23 (4), pp. 486-494, 2010.
- [3] Quan, L., Yongzhang, W., Hongya, F., Zhenyu, H.: *Cutting Path Planning for Ruled Surface Impellers*, Chinese Journal of Aeronautics, 21 (5), pp. 462-471, 2008.
- [4] Brezocnik, M., Buchmeister, B., Gusel, L.: *Evolutionary algorithm approaches to modeling of flow stress*, Materials and Manufacturing Processes, 26 (3), pp. 501-507, 2011.
- [5] Zhou, C.C., Yin, G.F., Hu, X.B.: *Multi-objective optimization of material selection for sustainable products: Artificial neural networks and genetic algorithm approach*, Materials & Design, 30 (4), pp. 1209-1215, 2009.
- [6] Srikant, R.R., Siva Subrahmanyam, M., Vamsi Krishna, P.: *Experimental selection of special geometry cutting tool for minimal tool wear*, Advances in Production Engineering & Management, 5 (1), pp. 13-24, 2010.
- [7] Sardinas, R.Q., Santana, M.R., Brindis, E.A.: *Genetic algorithm-based multi-objective optimization of cutting parameters in turning processes*, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 19 (2), pp. 127-133, 2006.
- [8] Huanga, B.P., Chenb, J.C., Lib, Y.: *Artificial-neural-networks-based surface roughness Pokayoke system for end-milling operations*, Neurocomputing, 71 (4-6), pp. 544-549, 2008.
- [9] Šimunović, G., Šarić, T., Lujčić, R.: *Application of neural networks in evaluation of technological time*, Strojniski vestnik - Journal of Mechanical Engineering, 54 (3), pp. 179-188, 2008.
- [10] Gologlu, C., Arslan, Y.: *Zigzag machining surface roughness modelling using evolutionary approach*, Journal of Intelligent Manufacturing, 20 (2), pp. 203-210, 2009.
- [11] Kuang-Chyi, L., Shinn-Jang, H., Shinn-Ying, H.: *Accurate estimation of surface roughness from texture features of the surface image using an adaptive neuro-fuzzy inference system*, Precision Engineering, 29 (1), pp. 95-100, 2005.
- [12] Wen-Hsien, H., Jinn-Tsong, T., Bor-Tsuen, L., Jyh-Horng, C.: *Adaptive network - based fuzzy inference system for prediction of surface roughness in end milling process using hybrid Taguchi - genetic learning algorithm*, Expert Systems with Applications, 36 (2), pp. 3216-3222, 2009.
- [13] Tansel, I.N., Ozcelik, B., Bao, W.Y., Chen, P., Rincon, D., Yang, S.Y., Yenilmez, A.: *Selection of optimal cutting conditions by using GONNS*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 46 (1), pp. 26-35, 2006.
- [14] Sugeno, M., Kang, G.T.: *Structure identification of fuzzy model*, Fuzzy Sets and Systems, 28 (1), pp. 15-33, 1988.
- [15] Takagi, T., Sugeno, M.: *Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control*, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 15 (1), pp. 116-132, 1985.

Autori: **prof. dr Goran Šimunović**, **dr Ilija Svalina**, **mag. Sara Havrlišan**, **prof. dr Katica Šimunović**, **prof. dr Tomislav Šarić**, **prof. dr Roberto Lujčić**, Sveučilište u Osijeku, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Trg Ivane Brlić Mažuranić 2, 35000 Slavonski Brod, Hrvatska; **vanr. prof. dr Đorđe Vukelić**, Univerzitet Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija.

E-mail: [gsimun@sfsb.hr](mailto:gsimun@sfsb.hr)  
[isvalina@sfsb.hr](mailto:isvalina@sfsb.hr)  
[shavrlisan@sfsb.hr](mailto:shavrlisan@sfsb.hr)  
[ksimun@sfsb.hr](mailto:ksimun@sfsb.hr)  
[tsaric@sfsb.hr](mailto:tsaric@sfsb.hr)  
[rlujic@sfsb.hr](mailto:rlujic@sfsb.hr)  
[vukelic@uns.ac.rs](mailto:vukelic@uns.ac.rs)

**NAUČNA KONFERENCIJA SA MEĐUNARODNIM  
UČEŠĆEM  
ETIKUM 2016  
NOVI SAD, SRBIJA, 23-25 JUN, 2016**

**Mijatović, M., Brzaković, Lj., Kostić, N.**

**EKOLOŠKO ENERGETSKI ASPEKTI IZBORA ELEKTROMOTORNIH POGONA**

***Rezime:** Izbor elektromotornog pogona (elektromotora) bilo koje mašine vrši se najčešće sa aspekta maksimalno mogućih opterećenja mašina. Potrebna snaga motora, proračunata na bazi ekstremnih uslova rada se najčešće i uvećava, u smislu stepena sigurnosti. Posledice takvog pristupa izbora elektromotora su krajnje negativni energetske i ekološki efekti. Predimenzionisani motori postaju nepotrebni energetske ponori i često su potpuno neosetljivi na promene opterećenja, upravo zbog velike instalirane snage. U radu su izloženi rezultati teorijske analize i eksperimentalnih ispitivanja vezanih za ovu problematiku. Teorijske i eksperimentalne analize, izložene u okviru rada, ukazuju na potrebu kompleksnijeg pristupa problematici izbora elektromotornih pogona alatnih mašina, u cilju ostvarenja veoma značajnih ušteda energije.*

***Ključne reči:** elektromotor, mašine, analiza, teorijski, eksperimentalno*

## **1. UVODNA RAZMATRANJA**

Istraživanja u oblasti ušteda energije u svim sferama ljudske delatnosti predstavljaju posebno aktuelnu problematiku. Veliki broj industrijski razvijenih zemalja uštede energije razmatra i planira kao dugoročne programe razvoja od strateškog nacionalnog interesa. U cilju ušteda energije (analize, identifikacije energetske ponora, predloga i sl.) u većini zemalja formirani su nacionalni ekspertske timovi. Sve to ukazuje na veliki značaj koji industrijski razvijene zemlje pridaju problematici ušteda energije [1-2], [8-12]. U tom smislu, veliki prostor potencijalnih ušteda jeste i metaloprerađivačka industrija odnosno elektromotori kao pogonske elementi.

Elektromotori retko rade u uslovima punog opterećenja. Na primer, ispitivanja 60 elektromotora u 4 različite proizvodne fabrike pokazala su da motori, u proseku, rade pri 60% opterećenja [5-6]. Kod motora koji rade sa opterećenjima ispod 50% punog opterećenja, stepen iskorišćenja je značajno smanjen, odnosno dolazi do neželjenih energetske gubitaka. Prisutan je veliki broj motora koji upravo ovako rade u realnim proizvodnim sistemima, što potvrđuju i brojni radovi posvećeni problemima zamene tzv. prevelikih motora energetske efikasnim motorima.

Troškovi upotrebe energetske predimenzionisanih motora su veliki, a izražavaju se kroz: višu cenu koštanja motora; skuplju prateću električnu opremu i povećane energetske troškove zbog smanjenog stepena iskorišćenja. Generalni pravac istraživanja prisutan u svetu u oblasti istraživanja gubitaka energije u

elektromotornim pogonima je analiza moguće zamene predimenzionisanog motora energetske efikasnim motorom. Takva zamena može obezbediti značajno smanjenje energetske troškova, a time i finansijske uštede. Ne može se, međutim, pitanje optimalne opterećenosti električnih motora jednostavno generalizovati na sve motore prisutne u industriji, već se mora razmatrati za svaki poseban slučaj primene. Zamena predimenzionisanih motora energetske efikasnim motorima je tema značajnog broja radova koji govore u prilog ovakvom pristupu ušteda energije u industriji.

Na primer, u okviru preglednog rada koji kao primer daje američka asocijacija CIPCO koja se bavi pitanjima štednje energije, posmatrana je ušteda koja se postiže ako se motor od 7,46 kW koji radi pri opterećenju od 25% zameni motorom od 2.24 kW koji radi pri 83% opterećenja. Na godišnjem nivou ušteda energije iznosi 172\$. S obzirom na činjenicu da se iznešeni podaci odnose na uštedu ostvarenu zamenom samo jednog elektromotora, lako je sagledati uštede ako se zamena izvrši na nivou cele jedne fabrike ili industrije. Prema procenama u USA zamenom samo 10% elektromotora u metaloprerađivačkoj industriji može se na godišnjem nivou uštedeti 18 548 400 \$. Treba imati u vidu da bi taj iznos bio i veći ako se uzme u obzir da je prethodna analiza ušteda vršena za zamenu motora od 7,46 kW motorom od 2.24 kW i da se raspon snaga elektromotora kod alatnih mašina kreće od 0,1 kW do 110 kW, pa je prosečna posmatrana snaga daleko iznad one date u prethodnoj analizi. Kao što je već i napomenuto, ne može se ovo pitanje generalizovati, bar ne za sve alatne mašine u



industriji, ali se iz prethodnog jasno sagledava potencijal mogućih ušteda i time opravdanost i aktuelnost postojećih istraživanja.

## 2. PROBLEMI IZBORA ELEKTROMOTORNIIH POGONA ALATNIH MAŠINA

Elektromotor kao pogonski element mašine bira se prvenstveno prema vrednosti potrebnog obrtnog momenta i brzine, tj. broja obrtaja. Kada je reč o elektromotorima koji su pogonski elementi alatnih mašina problem se upravo odnosi na određivanje potrebnog i realnog obrtnog momenta. Alatne mašine rade u različitim uslovima opterećenja u većini slučajeva. Statistički posmatrano disperzija potrebnog obrtnog momenta je vrlo velika i može višestruko prelaziti srednje opterećenje. Na primer, određena alatna mašina u toku eksploatacije radi pri momentima na vratilu elektromotora koji se mogu iskazati u rastućem redu  $M_1, M_2, \dots, M_n$ . Najveći deo svog radnog veka elektromotor je izložen, uslovno rečeno, nekom srednjem opterećenju  $M_{sr}$  i motor realno radi sa znatno manjim stepenom iskorišćenja od predviđenog. Red najvećih opterećenja motora  $M_{n-m}, \dots, M_{n-1}, M_n$  se vrlo retko javlja u toku eksploatacionog veka elektromotora. Međutim, elektromotor je upravo, sa aspekta opterećenja, dimenzionisan za maksimalno moguće opterećenje (opterećenje  $M_n$  i veća opterećenja – stepen sigurnosti. Projektanti alatnih mašina, kao što se vidi, znaju samo okvirnu oblast mogućih opterećenja, tj. potrebnih obrtnih momenata. Iz tih razloga, skoro je redovan slučaj da se elektromotor alatne mašine bira prema maksimalno mogućem opterećenju. Pored toga, kao mera sigurnosti (često nije poznato maksimalno moguće opterećenje) uvodi se i stepen sigurnosti. Na taj način dolazi se do elektromotora predimenzionisanog, i u odnosu i na maksimalno moguće opterećenje, nekada dva ili čak više puta. U našoj metaloprerađivačkoj industrije u velikoj meri su prisutni rezni alati savremene geometrije i kvaliteta alatnog materijala. Ti alati, po pravilu, fizički zahtevaju manje efektivne energije u procesima rezanja. Sa aspekta elektromotora, primena savremenih reznih alata trebala bi da smanji i zahteve po pitanju potrebne instalisane snage elektromotora, što u našoj industrijskoj praksi nije slučaj. Naime, u narednom izlaganju, pokazuje se, kroz teorijsku analizu i eksperimentalne rezultate, problem predimenzionisanih elektromotora, upravo preko njihove male osetljivosti na promene opterećenja.

## 3. OSNOVE TEORIJSKE ANALIZE

Mala osetljivost pogonskog elektromotora i na relativno veće promene opterećenja teorijski se prema [8] analizira kroz sledeće razmatranje.

Posmatraju se dve proizvodne operacije, operacija "A" i operacija "B". Operacija "A" se izvodi alatom sa alatnim materijalom  $M_a$  dok se operacija "B" izvodi sa alatnim materijalom  $M_b$ . Pretpostavimo da je alatni materijal  $M_b$  boljih triboloških svojstava i da se pri obradi sa njim javljaju manji otpori rezanja u odnosu na obradu sa alatnim materijalom  $M_a$ .

Potrebna, efektivna snaga koja je, s aspekta fizičke realizacije procesa, neophodna može se izraziti kao:

$$P_{Aef} = F_A \cdot v \quad (1)$$

$$P_{Bef} = F_B \cdot v = (F_A - \Delta F) \cdot v \quad (2)$$

gde je:

$P_{Aef}$  – efektivna snaga potrebna za realizaciju proizvodne operacije "A",

$P_{Bef}$  – efektivna snaga potrebna za realizaciju proizvodne operacije "B",

$F_A$  – tangencijalni otpor rezanja pri izvođenju operacije "A" (otpor u pravcu brzine rezanja),

$F_B$  – tangencijalni otpor rezanja pri izvođenju operacije "B" (otpor u pravcu brzine rezanja),

$\Delta F$  – razlika otpora rezanja u operacijama "A" i "B" (pretpostavlja se da je tangencijalni otpor rezanja pri izvođenju proizvodne operacije "B" manji) i

$v$  – brzina rezanja koja je ista za obe proizvodne operacije.

Stvarna angažovana snaga motora potrebna za izvođenje navedenih operacija je:

$$P_{AS} = \frac{P_{Aef}}{\eta_A} = \frac{F_A \cdot v}{\eta_A} \quad (3)$$

$$P_{BS} = \frac{P_{Bef}}{\eta_B} = \frac{F_B \cdot v}{\eta_B} = \frac{(F_A - \Delta F) \cdot v}{(\eta_A - \Delta \eta)} \quad (4)$$

gde je:

$P_{AS}$  – stvarno angažovana snaga pri izvođenju operacije "A",

$P_{BS}$  – stvarno angažovana snaga pri izvođenju operacije "B",

$\eta_A$  – stepen iskorišćenja snage motora pri izvođenju operacije "A",

$\eta_B$  – stepen iskorišćenja motora pri izvođenju operacije "B" i

$\Delta\eta$  – razlika stepena iskorišćenja motora u proizvodnim operacijama "A" i "B".

Naime, poznata je činjenica da stepen iskorišćenja motora opada sa smanjenjem angažovane snage.

Stepen iskorišćenja motora je složena funkcija odnosa angažovane i instalisane snage motora [4], što se može napisati u obliku:

$$\eta = f\left(\frac{P_{ef}}{P}\right) \quad (5)$$

gde je:

$P_{ef}$  – efektivno potrebna snaga motora i

$P$  – instalisana, projektovana snaga motora.

Promena stepena iskorišćenja je, kako je rečeno, vrlo složena funkcija. Međutim, poznato je da pri većim odnosima  $P_{ef}/P$  stepen iskorišćenja snage motora,  $\eta$ , ima trend rasta. Stepenski iskorišćenja motora pri izvođenju operacije "B" bio bi definisan uopšteno kao:

$$\eta_B = \eta_A - \Delta\eta \quad (6)$$

jer je, po polaznoj pretpostavci, odnos angažovane i projektovane snage u ovom slučaju manji, pa je i stepen iskorišćenja motora manji.

Ako se uvede u razmatranje odnos stvarno angažovanih snaga u operacijama "A" i "B" (promenljiva  $\zeta$  u jednačini), dobija se izraz:

$$\zeta = \frac{P_{AS}}{P_{BS}} = \frac{I_A \cdot U}{I_B \cdot U} = \frac{F_A (\eta_A - \Delta\eta)}{\eta_A (F_A - \Delta F)} \quad (7)$$

gde su:

$I_A, I_B$  – odgovarajuće struje kojima motor pri izvođenju eksperimenata "A" i "B" opterećuje mrežu.

Analizirajući prethodni izraz mogu se izvesti sledeći zaključci:

- teorijski je apsolutno moguće, naročito pri manjim vrednostima  $\Delta F$ , da koeficijent  $\zeta$  ima vrednost veoma blisku jedinici.
- u tom slučaju vrednosti struja  $I_A$  i  $I_B$  takođe su veoma bliske,
- posebno se velike vrednosti  $\Delta\eta$  dobijaju pri radu sa motorima koji su, s obzirom na

projektovanu snagu, malo opterećeni.

#### 4. REZULTATI PROCENA REALNIH OPTEREĆENJA ELEKTROMOTORA U MALIM PREDUZEĆIMA DOMAĆE METALOPRERAĐIVAČKE INDUSTRIJE

Analiza opterećenja elektromotora alatnih mašina izvršena je u privatnom sektoru 10 malih preduzeća domaće metaloprerađivačke industrije. U svakom od 10 preduzeća analizirano je opterećenje tri univerzalne alatne mašine čime je ukupno obuhvaćeno 30 mašina. Osnovne karakteristike analiziranih alatnih mašina su sledeće:

- prosečna instalisana snaga  $P=8,6$  kW,
- prosečna starost mašina  $G=28$  godina
- procenjeni stepen vremenskog iskorišćenja  $\eta=0,6$ .

Na osnovu prikupljenih podataka od direktora preduzeća i proizvodnih radnika tj. neposrednih operatera analiziranih alatnih mašina došlo se do podataka neophodnih za procenu i proračun [3] realnih opterećenja mašina. Kao osnovni podaci neophodni za proračun otpora rezanja prikupljene su i obrađene informacije vezane za:

- prosečno korišćene brzine rezanja  $V_{sr}$ ,
- prosečno korišćene brzine pomoćnog kretanja  $V_p$ ,
- prosečno korišćene dubine rezanja  $\delta_{sr}$ ,
- korišćene alate i materijale koji se prerađuju obradom rezanjem.

U obradi struganjem prosečna dubina rezanja u operacijama grube obrade iznosi 2 mm, prosečni korak 0,3 mm/0 a prosečna brzina rezanja oko 120 m/min. Koriste se pretežno alati sa izmenljivim reznim pločicama. Najfrekventniji materijali koji se prerađuju rezanjem u obradi struganjem su ugljenični čelici. Navedenim parametrima režima rezanja i uslova obrade, prema proračunima, proizilazi da je potrebna snaga za realizaciju navedenih operacija struganja manja od 3 KW. Slična situacija je i u operacijama obrade glodanjem i obrade bušenjem. Naime, raspoložive snaga motora je dva do tri puta veća od realno potrebne snage. Trema imati u vidu i činjenicu da su analizirane alatne mašine već dugi niz godina u eksploataciji, pri čemu je većina od njih remontovana u zadnjih pet godina. Iz navedenih razloga, bez obzira na raspoloživi energetski kapacitet mašina tj. instalisane snage motora, sama struktura i stanje konstrukcije mašina (pohabanost kliznih površina, prisutni zabori i dr.) ne omogućavaju da mašine u značajnijoj meri budu više opterećene.

## 5. ZAKLJUČCI

Pregledom literaturnih izvora može se zaključiti da industrijski razvijene zemlje posebnu pažnju poklanjaju problemima vezanim za uštede energije u svim sferama ljudske delatnosti. Metaloprerađivačka industrija, sa tog aspekta, svakako predstavlja veoma bitnu industrijsku granu.

Na osnovu teorijskih razmatranja [1] i rezultata analize razmatranog uzorka od 30 proizvodnih mašina može se zaključiti da alatne mašine, odnosno elektromotori alatnih mašina, rade pri znatno manjim opterećenjima (dva do tri puta) u odnosu na instalisanu snagu motora. Sve to ukazuje na velike energetske gubitke kao posledicu energetske predimenzionisanih pogonskih elektromotora i veliki potencijalni prostor za uštede energije. Zamena energetske predimenzionisanih elektromotora u malim preduzećima metaloprerađivačke industrije dovela bi do značajnih ušteda energije i krajnje pozitivnih finansijskih efekata.

## 6. REFERENCE

- [1] Ivković B., *TIS - informacije*, Tribologija u industriji, No. 4., 1990.
- [2] Zahar S., *Mašine alatke 1*, Jugoslovensko društvo za tribologiju, 1993.
- [3] Smith G. T., *Cutting tool technology – Industrial handbook*, Springer-Verlag,
- [4] London, 2008, ISBN -13:978-1-84800-204-3
- [5] Teodorović V., *Električne pogonske mašine 1*, Naučna knjiga, Beograd, 1997.
- [6] Bhattacharjee K., Tyagi A., *Industrial energy conservation: issues for improving industrial operations*, TERI Newswire 7(17), 2001.
- [7] Lobodovsky K., Ganeriwal.R, Gupta A., *Field measurements and Determination of Electric Motor Efficiency*, Sixth World Energy Engineering Congress, Atlanta, Georgia, USA, 1983.
- [8] Tadić, B., Babić, M., Živić, F., *Energy Saving by Replacing Electromotor Machine Tool Propulsion*, Tribology in industry, (21-25), volume 26, NO 1&2, Kragujevac, 2004.
- [9] Science Direct baza, <http://www.sciencedirect.com>,
- [10] Springer-Link baza podataka, <http://www.link.springer.de>
- [11] Replacing an oversized and underloaded electric motor, fact sheet, <http://www.motor.doe.gov>, 2003.
- [12] Replacing Oversized, CIPCO Energy Library, <http://cipco.apogee.net/>, 2003.
- [13] Cowern E.H., RMS Horsepower Loading, The Cowern Papers, <http://www.motorsanddrives.com>, 2001.

**Autori: Prof. Dr. Milomir Mijatović, dipl. maš. inž. Ljiljana Brzaković, dipl. maš. inž. Nikola Kostić**, Visoka Tehnička Mašinska Škola Trstenik, Radoja Krstića 19, 37240 Trstenik, Serbia, Tel: +381 37 714 121, Fax: +381 37 714 121.

E-mail: [milomir.mijatovic@vtmsts.edu.rs](mailto:milomir.mijatovic@vtmsts.edu.rs),  
[ljiljana.brzakovic@vtmsts.edu.rs](mailto:ljiljana.brzakovic@vtmsts.edu.rs),  
[nikola.kostic@vtmsts.edu.rs](mailto:nikola.kostic@vtmsts.edu.rs)



Santoši, Ž., Šokac, M., Budak, I., Ralević, N., Dramićanin, M.

## **PRIMENA FAZI LOGIKE KAO ALATA ZA POBOLJŠANJE KVALITETA FOTOGRAFIJA KOD 3D DIGITALIZACIJE FOKUSIRANJEM-DEFOKUSIRANJEM**

**Rezime:** 3D digitalizacija fokusiranjem-defokusiranjem je jedna od pasivnih metoda 3D digitalizacije. Zasniva se na rekonstrukciji oblika i površina u prostoru pomoću niza fotografija iste scene snimljene sa različitim podešavanjima fokusa. Zbog optičkih svojstava uređaja za akviziciju fotografija koje karakteriše mala dubinska oštrina moguće je napraviti podobne fotografije za primenu ove metode. U ovom radu će se predstaviti primena fazi logike zasnovane na logičkim pravilima kao alat za poboljšanje kvaliteta fotografija kod 3D digitalizacije fokusiranjem-defokusiranjem.

**Cljučne reči:** Obrada slike, fazi logika, 3D digitalizacija

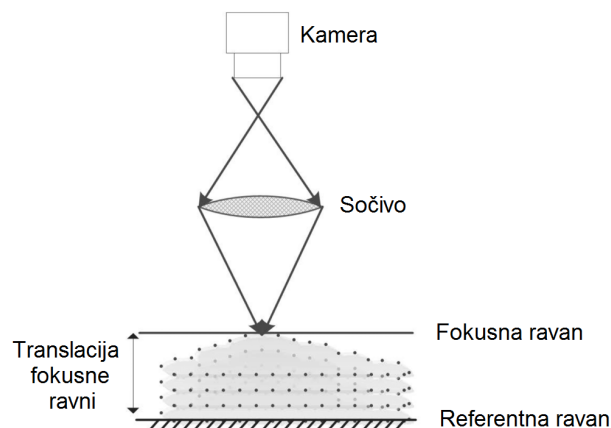
### **1. UVOD**

3D digitalizacija fokusiranjem-defokusiranjem je pasivna metoda 3D digitalizacije. Ova metoda se zasniva na obradi niza fotografija jedne iste scene snimljene sa različitim podešavanjima fokusa [1, 2]. Da bi se snimile pogodne ulazne fotografije potrebno je imati uređaje koji sa svojim optičkim svojstvima omogućavaju veoma malu dubinsku oštrinu i imaju kontrolisano pomeranje fokusne ili referentne ravni. Najbolji primeri ovih uređaja su svetlosni mikroskopi koje odlikuje veoma mala dubinska oštrina, ali i veoma mali radni prostor, dok za veće objekte mogu da se koriste digitalni fotoaparati koji poseduju napredniju optiku i samim tim mogu da postignu veoma malu dubinsku oštrinu.

Dubinska oštrina je fotografski termin koji se odnosi na polje prihvatljivo oštrog fokusa ispred i iza aktuelne tačke fokusa. Parametri koji utiču na veličinu polja dubinske oštine su: žižna daljina objektiva, otvor blende i udaljenost tačke fokusa od fotoaparata. Različitim podešavanjem ovih parametara moguće je povećati ili smanjiti dubinsku oštrinu. Za postizanje što manje dubinske oštine potrebno je podesiti najveći otvor blende, najmanju žižnu daljinu objektiva (ako je izvodljivo) i postaviti predmet na najbližu moguću distancu.

### **2. AKVIZICIJA FOTOGRAFIJA**

Za akviziciju fotografija korišćen je svetlosni mikroskop sa digitalnom kamerom. Na slici 1. prikazan je način akvizicije fotografija.



Sl. 1. Akvizicija fotografija pomoću svetlosnog mikroskopa

Kamera postavljena na objektiv mikroskopa omogućava digitalni zapis snimljenih fotografija potrebnih za dalje procesiranje. Za radni predmet uzet je pripremljeni uzorak na kome se nalazi otisak četvorostane piramide dobijen na uređaju za merenje tvrdoće po Vickersu. Ugao vrha piramide iznosi  $136^\circ$ . Fotografije su snimane sa korakom translacije referentne ravni od 0,02mm i ukupno je snimljeno 40 fotografija. Rezolucija fotografija je 2048x1536 pix.

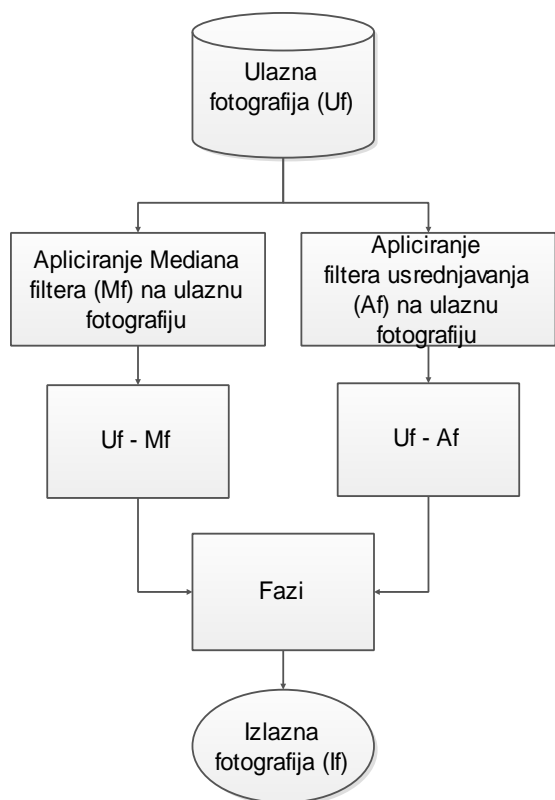
### **3. TEORETSKE OSNOVE**

U zavisnosti od vrste teksture materijala čulom vida i dodira u ljudskoj percepciji može da se atributivno odredi o kakvoj površini je reč. Kod 3D digitalizacije fokusiranjem-defokusiranjem ključnu ulogu ima vizuelna tekstura. Naime materijali sa dinamičnom teksturom koju karakteriše izrazit kontrast i visoka entropija, jasne i oštre ivice (sa fotografske tačke gledišta) su pogodni za primenu ove metode. Oštri delovi

posmatranog predmeta na fotografiji, odnosno delovi koji se nalaze unutar polja dubinske oštine poseduju pomenute osobine dinamične teksture, dok delovi van polja dubinske oštine imaju znatno manje vrednosti kontrasta i entropije. Sa poznatim osobinama teksture i dubinske oštine ideja je da se u ovom radu prikaže primena prostornih filtera za obradu slike kao i fazi logike u poboljšanju kvaliteta regija na fotografijama koje se nalaze unutar polja dubinske oštine.

Osnovni cilj metoda za poboljšanje kvaliteta fotografije je da se obradom polazne fotografije dobije fotografija koja je pogodnija za dalju primenu [3]. Algoritam procesa obrade fotografija prikazan je na slici 2. Ulaz u proces obrade je jedna fotografija na koju se primenjuju nelinearni (mediana) filter i linearni filter usrednjavanja (filter srednje aritmetičke sredine).

Kod prostornog filtriranja u postupak izračunavanja jednog piksela se uvodi grupa piksela koja ga okružuje i takva grupa se naziva grupa piksela lokalnog susedstva ili samo lokalno susedstvo [3].



Sl. 2. Algoritam procesa obrade fotografija

Osobina mediana filtera je da efektivno uklanja impulsni šum samo ako nivo šuma na fotografiji ne prelazi 50%. Mediana filter funkcioniše tako što zamenjuje datu vrednost sa vrednošću mediane svojih susednih vrednosti kao što je prikazano na slici 3.

<u>1, 3, 3, 3, 4, 6, 6, 8, 11</u>						
6	6	3		6	6	3
3	1	8	→	3	4	8
4	11	3		4	11	3

Sl. 3. Primer mediana filtera

Od veličine polja koja okružuju datu vrednost zavisi vrednost koja će biti zamenjena, takođe zavisno od oblika i sadržaja prostorne maske operacije filtriranja mogu biti veoma raznovrsne i imati različite namene npr. filtriranje samo u jednom smeru. Prednosti mediana filtera je ta što zadržava ivice objekta na fotografiji a uklanja i izjednačuje polja sa sličnim vrednostima [3].

Filter usrednjavanja funkcioniše tako što se za određenu vrednost piksela računa vrednost srednje aritmetičke sredine lokalnog susedstva piksela i zamenjuje posmatrani piksel [3]. Takođe veličina polja izabranih vrednosti piksela utiče na rezultat zamenjene vrednosti (slika 4.).

<u>(6+6+3+3+1+8+4+11+3)/9=5</u>						
6	6	3		6	6	3
3	1	8	→	3	5	8
4	11	3		4	11	3

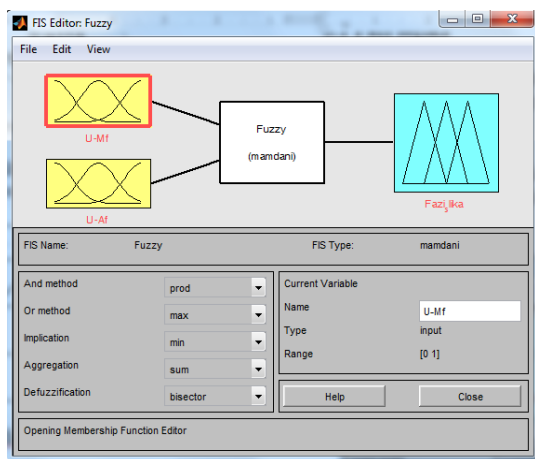
Sl. 4. Primer filtera srednje aritmetičke sredine

Oba ova filtera služe da fotografiju blago zamute, odnosno da ublaže oštre delove i na fotografiji. Zbog načina na koji mediana i filter usrednjavanja funkcionišu, filtriranje delova na fotografija koji su već zamučeni u velikoj meri neće podleći promeni usled primene ovih filtera, dok će regioni objekta koji se nalaze unutar polja dubinske oštine pretrpeti značajne gubitke u vidu informacija o teksturi, odnosno postaće zamučeni. Nakon toga primenom aritmetičke operacije oduzimanja od ulazne fotografije Uf se oduzimaju filtrirane fotografije Mf i Af koje predstavljaju ulaz u fazi proces obrade fotografije.

### 3.1 Fazi logika

Fazi logika obezbeđuje matematički model koja omogućava sposobnost ljudskog rezonovanja do određene granice. Pomoću fazi skupova moguće je modelovati nesigurnost koja je povezana sa neodređenošću, nepreciznošću i nedostatkom

informacija vezanih za dati problem [4, 5].



Sl. 5. Primer fazi sistema sa dva ulaza i jednim izlazom

Zbog svojih karakteristika fazi logika je našla široku primenu u raznim oblastima, kao što je regulacija i upravljanje uređajima, elektronici, obradi slike, ocenjivanju uticaja na životnu sredinu itd. [2, 6, 7].

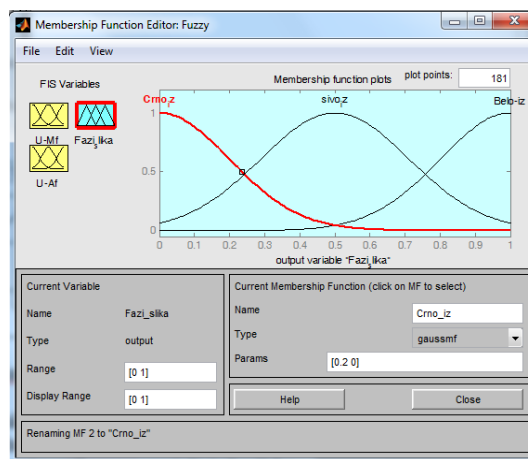
Fazi procesiranje slika se u opštem slučaju sastoji iz tri glavne faze [5]:

- fazifikacija,
- modifikacija karakterističnih funkcija i
- defazifikacija.

Pored nabrojane tri glavne faze moguće je pridružiti još dve pomoćne faze kao što su: teorija fazi skupova i fazi logike i ekspertsko znanje. Pod time se podrazumeva znanje iz stručne oblasti koje je neophodno da bi se uspešno rešio dati problem, kao u konkretnom slučaju koja regija na fotografiji je u fokusu, a koja nije.

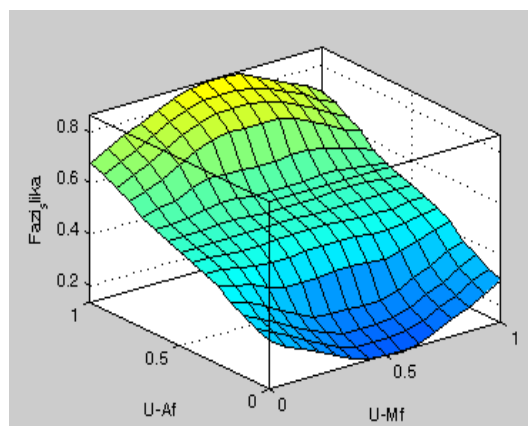
Na slici 5. dat je primer prostijeg fazi sistema koji se sastoji od dva ulaza i jednog izlaza. Ulazne veličine su zapisane u jasno definisanim okvirima tzv. krisp skupu. Krisp ulazne veličine prvo moraju da se fazifikuju, prevedu u fazi domen, odnosno da im se dodeli odgovarajuća funkcija pripadnosti. Zatim se ulazne veličine podvrgavaju određenim definisanim pravilima (ako, i, onda) i na kraju dolazi do defazifikacije.

Ulaz u ovom slučaju predstavljaju filtrirane fotografije u prostornom domenu kojima je za određenu vrednost piksela dodeljena odgovarajuća funkcija pripadnosti. Funkcija pripadnosti definiše u kolikoj meri određena vrednost pripada ili ne pripada datoj fotografiji. Na slici 6. prikazane funkcije pripadnosti su definisane nad izlaznom fotografijom.



Sl. 6. Funkcije pripadnosti izlazne fotografije

Dalje se kroz definisana pravila (ako, i, onda) kombinuju dve ulazne fotografije koje formiraju izlaznu fotografiju. Grafički prikaz površine funkcija pripadnosti fazi sistema sa dva ulaza i jednim izlazom prikazan je na slici 7.



Sl. 7. Grafički prikaz površine funkcija pripadnosti za sistem sa dva ulaza i jednim izlazom

Pri definisanju pravila korišćene su lingvističke varijable prikazane u tabeli 1.

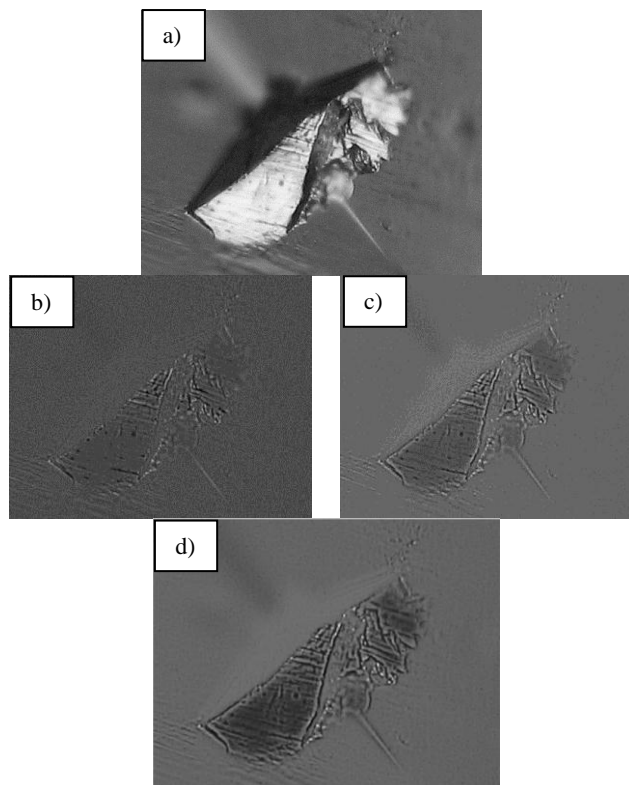
		Filter usrednjavanja		
		belo	sivo	crno
Mediana filter	sivo	belo_iz	sivo_iz	crno_iz

Tabela 1. Lingvističke varijable

U fazi domenu za svaki piksel sa fotografije izračunava se odgovarajuća vrednost karakteristične funkcije i na osnovu te vrednosti vrši se povratak i izračunava vrednost intenziteta za svaki piksel. Na kraju procesa defazifikacije generiše se izlazna fotografija [5].

## 4. REZULTATI

Veliki broj metoda za poboljšanje kvaliteta fotografije je empirijskog karaktera i iterativne prirode, stoga veoma je teško izvršiti kvantifikaciju rezultata, tj. proceniti koliko je dobro fotografija poboljšana. Osnovni pokazatelji kod promene kvaliteta fotografija su srednja kvadratna greška (MSE) i PSNR.



Sl. 8. a) Isečak originalne fotografije; b) Isečak U-Mf fotografije; c) Isečak U-Af fotografije; d) Isečak fazi fotografije

Na slici 8. je prikazan isečak fotografije nad kojom je izvršena primena fazi logike kao alata za poboljšanje kvaliteta fotografije.

	MSE	PSNR
U-Mf	0.0170	17.6906
U-Af	0.0050	23.0234

Tabela 2. MSE (mean-squared error) i PSNR (Peak signal-to-noise ratio) U-Mf i U-Af u odnosu na fazi sliku

Dok su u tabeli 2. prikazane vrednosti statističkih parametara za ocenjivanje kvaliteta fotografija.

## 5. ZAKLJUČAK

Fazi logika je vid veštačke inteligencije i veoma moćan alat koji omogućava da se matematički

opisu problemi i procesi koje čovek lako može atributivno da opiše i predstavi. Ono što treba naglasiti jeste da kao i svaki pristup rešavanju nekog problema tako i fazi pristup procesiranju fotografija ima svoje prednosti i mane. U ovom radu je predstavljena upotreba fazi logike za poboljšanje kvaliteta fotografija kod 3D digitalizacije fokusiranjem-defokusiranjem. Na primeru fotografija sa delovima objekta koji se nalaze unutar i van polja dubinske oštine gde granice nisu jasno definisane, fazi logika nailazi na opravdanost primene. Dalja istraživanja bi bila orijentisana ka unapređenju fazi sistema uvođenjem dodatnih pravila, kako bi se obezbedio što bolji izlazni kvalitet fotografija.

## 6. REFERENCE

- [1] Pertuz, S., Puig, D., Angel Garcia, M.: *Analysis of focus measure operators for shape-from-focus*, Pattern Recognition, vol. 46, pp 1415–1432, 2013.
- [2] Malik, A., Nisar, H., Choi, T.: *A Fuzzy-Neural approach for estimation of depth map using focus*, Applied Soft Computing, vol. 11, pp. 1837–1850, 2011.
- [3] Gonzalez, R.C., Woods, R.E., Eddins, S.L.: *Digital Image Processing Using MATLAB*, New Jersey, Prentice Hall, 2003, Chapter 11.
- [4] Negoita, V., Zadeh, A., Zimmermann, H.: *Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility*, Fuzzy sets and systems 1, pp. 3-28. 1978.
- [5] ---, „Fuzzy Logic Toolbox™ User's Guide“, Matlab, MathWork, R2015a
- [6] Budak, I., Vukelić, Đ., Bračun, D., Hodolić, J., Soković, M.: *Pre-processing of point-data from contact and optical 3D digitization sensors*, Sensors, vol. 12, pp. 1100–1126, 2012.
- [7] Agarski, B., Budak, I., Vukelic, Đ., Hodolic, J.: *Fuzzy multi-criteria-based impact category weighting in life cycle assessment*, J. Clean. Prod., vol. 112, pp. 3256–3266, 2016.

**Autori:** M.Sc. Željko Santoši, M.Sc. Mario Šokac, Vanr. prof. dr Igor Budak, Prof. dr Nebojša Ralević, M.Sc. Miroslav Dramićanin. Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel: +381 21 485 2350, Fax: +381 21 454-495.

E-mail: [zeljkos@uns.ac.rs](mailto:zeljkos@uns.ac.rs)  
[marios@uns.ac.rs](mailto:marios@uns.ac.rs)  
[budaki@uns.ac.rs](mailto:budaki@uns.ac.rs)  
[mralevic@uns.ac.rs](mailto:mralevic@uns.ac.rs)  
[dramicanin@uns.ac.rs](mailto:dramicanin@uns.ac.rs)

**Baloš, S., Šidjanin, L., Dramićanin, M., Janjatović, P., Labus Zlatanović, D., Rajnović, D.**

**UTICAJ TUNELA NA OSOBINE ZAVARENOG SPOJA LEGURE AL 5052 H38**

**Rezime:** U ovom radu je ispitivan uticaj različitih tipova tunelskih defekata pri zavarivanju trenjem sa mešanjem (ZTM, Eng. friction stir welding - FSW). Za zavarivanje korišćen je alat sa zavojnicom. Da bi se omogućilo formiranje tunela, potreban je odgovarajući odnos zapremine čela i trna, kao i optimizovan odnos brzine obrtanja i brzine zavarivanja. Pojava defekta tipa tunela je ispitivana na leguri EN-AW5052 H38, debljine 8 mm. Ustanovljeno je, da se upotrebom alata sa zavojnicom na trnu, nastaje jednostruki ili višestruki tunel, a takođe i tunel sa prslinom. Ispitivani su uticaji tunela na zatezne karakteristike zavarenog spoja, kao i na tvrdoću.

**Ključne reči:** zavarivanje trenjem sa mešanjem, greška tipa tunela, mehaničke osobine

**1. UVOD**

Zavarivanje trenjem sa mešanjem (ZTM, Eng. Friction stir Welding - FSW) predstavlja postupak zavarivanja u čvrstom stanju koje podrazumeva upotrebu trećeg tela, odnosno namenskog alata za spajanje dva radna predmeta [1]. ZTM je postalo interesantno zbog brojnih prednosti nad zavarivanjem sa električnim lukom. Pokazalo se da je ZTM pogodan za spajanje materijala čija je zavarljivost konvencionalnim postupcima zavarivanja otežana, kao što su taložno ojačane legure aluminijuma 7xxx i 2xxx [2-4]. Takođe, moguće je zavarivanje legura Mg, Cu, Zn, čelika, ali i zavarivanje raznorodnih materijala (legure Al i Mg, legure Al i Cu).[5-7] Jedna od osnovnih razlika između tradicionalnih metoda zavarivanja električnim lukom i ZTM jeste u postojanje zona termomehaničkog uticaja (ZTMU) i grumena [8]. Kod ZTM geometrija alata ima veliki uticaj na mehaničke osobine spoja i mikrostrukturu u zonama zavarivanja. Bitan faktor kod geometrije alata je odnos između zapremine trna i rezervoara čela alata (konkavnog oblika). Odnos zpremina ne bi trebao da prelazi jedan, kako bi se omogućio nakupljanje i usmeravanje tečenja materijala koji je istisnut zbog utiskivanja trna. Pored geometrije alata, uticaj imaju i parametri zavarivanja kao što su brzina obrtanja alata i brzina zavarivanja (translatorna brzina). Odnos između brzine obrtanja i brzine zavarivanja mora biti optimizovan [9]. Jedan od najkritičnijih defekata koji se pojavljuju kod ZTM su tuneli. Defekt tipa tunela se pojavljuje kada protok materijala oko alata trna nije adekvatan, rezultujući nepravilnim popunjavanjem spoja.

U ovom radu je izvršeno ispitivanje uticaja tunela (različitih oblika i veličina) na mehaničke

osobine zavarenih spojeva.

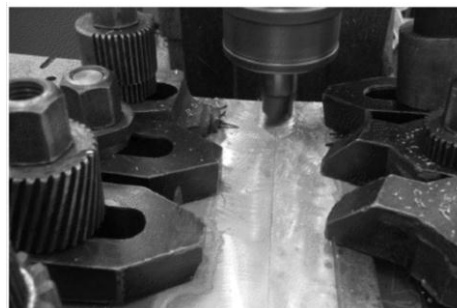
**2. EKSPERIMENTALNI DEO**

U ovom radu je korišćena legura Al 5052-H38 debljine 8 mm. Hemijski sastav legure, je prikazan u tabeli 1, a određen je pomoću optičkog emisionog spektrometra ARL 3580

	Cu	Mn	Mg	Si	Fe	Zn	Ti
Udeo %	0.03	0.29	2.33	0.19	0.29	0.011	0.022

Tabela 1. Hemijski sastav legure Al

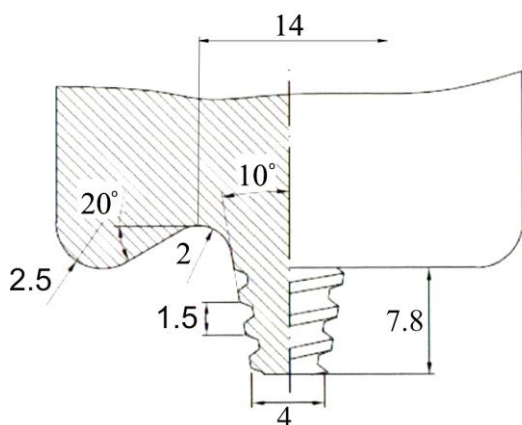
Mehaničke osobine materijala, su određene pomoću kidalice ZDM 5/91. Zatezne karakteristike ispitane na 3 uzorka su:  $R_{p0.2\%} = 204\text{MPa}$ ,  $R_m = 245\text{MPa}$ ,  $A=12\%$  i  $HV5=90$ . Zavarivanje je izvršeno na univerzalnoj glodalici Prvomajska UHG. Uzorci su postavljeni i pričvršćeni u čelični pribor sa podložnom pločom, širine žljeba 130 mm (slika 1).



Sl. 1. Montirani uzorci na priboru

Korišćen je alat sa zavojnicom na trnu, čija je geometrija data na slici 2. Izrađen od alatnog čelika za rad na toplo X38CrMov5-1 (H11), koji je termički obrađen do tvrdoće 53 HRC.





Sl. 2. Alat sa zavojnim trnom

Odnos zapremine rezervoara čela alata i zapremine trna je 1,1. Pored geometrije alata i parametri zavarivanja su odabrani tako da omoguće nastajanje tunela, tabela 2. Odnosi brzine obrtanja i brzine zavarivanja odabrani su u skladu sa rezultatima rada [9].

Uzorak	1	2	3	4
Brzina obrtanja [o/min] $v_o$	645	645	645	645
Brzina zavarivanja [mm/min] $v_z$	5	5	12	49
Odnos $v_o/v_z$ [o/mm]	129	129	53.75	13.16
Smer rotacije alata	Levo	Gore	Gore	Gore
Smer tečenja materijala	gore	dole	dole	dole

Tabela 2. Parametri zavarivanja

Nakon zavarivanja izvršena su metalografska i mehanička ispitivanja. Od mehaničkih ispitivanja urađena su ispitivanja zateznih karakteristika, savijanje preko korena šava i merenje tvrdoće. Ispitivanja zatezanjem i savijanjem su izvršena na kidalici WPM ZDM 5/91, na osnovu standarda SRPS EN 895 i SRPS EN 910. Tvrdoća je izmerena na uređaju za ispitivanje tvrdoće po Vickersu oznake VEB HP-250, sa opterećenjem od 5 kg. Merenje tvrdoće je izvršeno na uzorcima pre i posle zavarivanja, gde je vrednost tvrdoće predstavljena kao srednja vrednost pet utiskivanja. Rastojanje između otisaka merenja tvrdoće je iznosilo 1,5 mm. Za metalografsko ispitivanje uzorci su pripremljeni standardnom tehnikom metalografske pripreme uzorka: brušenje brusnim papirima granulacije od 220 do 2500 u nekoliko koraka, poliranje dijamantskom pastom sa veličinama čestica 6, 3, 1 i  $\frac{1}{4}$   $\mu\text{m}$  i na kraju nagrizanje Keller's-ovim reagensom. Metalografska ispitivanja uzoraka su izvršena svetlosnim mikroskopom Leitz Orthoplan.

### 3. REZULTATI ISPITIVANJA

#### 3.1 Rezultati ispitivanja zatezanjem

Rezultati zateznih karakteristika uzoraka zavarenih pomoću ZTM su prikazane u tabeli 3.

Uzorak	Napon tečenja $R_{p0.2\%}$ [MPa]	Zatezna čvrstoća $R_m$ [MPa]
1	91	109
2	112	127
3	127	140
4	80	89

Tabela 3. Rezultati zateznih karakteristika

Na osnovu rezultata ispitivanja zatezanjem i parametara zavarivanja uočava se da pravac tečenja materijala utiče na zatezne karakteristike. Veće vrednosti zateznih karakteristika se dobijaju ukoliko je pravac tečenja materijala na dole. Pored pravca tečenja materijala uticaj ima i brzina zavarivanja. Najveći napon tečenja i zatezna čvrstoća dobijeni su pri brzini od 12 mm/min što odgovara odnosu 53.75 o/mm.

#### 3.2 Ispitivanje savijanjem preko korena šava

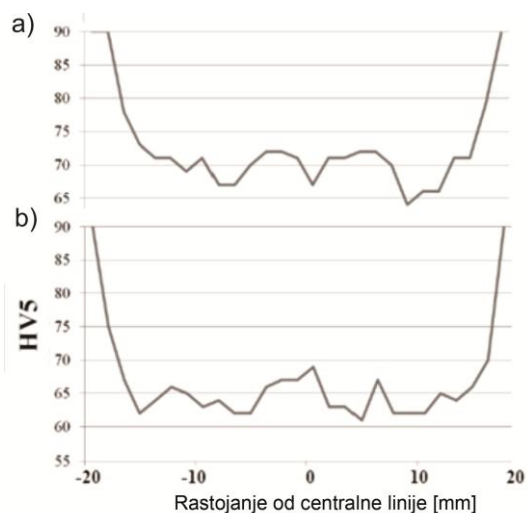
Rezultati ispitivanja savijanjem preko korena šava su prikazani u tabeli 4. Ugao pojave prve prsline je najveći kod uzorka 4 i iznosi  $25^\circ$ , dok je najmanji ugao pojave prve prsline od  $6^\circ 30'$  dobijen na uzorku 1. Pri savijanju do ugla od  $180^\circ$  u uzorcima 1-3 nije došlo do loma, dok je u uzorku 4 do loma došlo pri uglu od  $134^\circ$ .

	Ugao pojave prve prsline	Ugao loma
1	$6^\circ 30'$	Nema loma
2	$10^\circ 30'$	Nema loma
3	$19^\circ 30'$	Nema loma
4	$25^\circ$	$134^\circ$

Tabela 4. Rezultati savojnog ispitivanja

#### 3.3 Rezultati ispitivanja tvrdoće

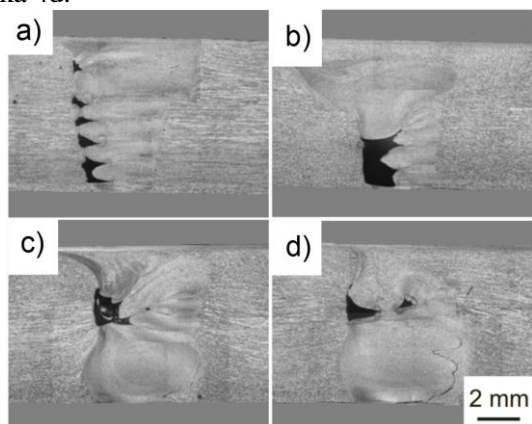
Raspodela tvrdoće po Vickersu (HV5) reprezentativnih uzoraka prikazani su na slici 3. Prikazane su raspodele tvrdoće uzorka 3 (slika 3a) i uzorka 4 (slika 3b), koji imaju najveće i najmanje zatezne karakteristike. Sa slike se vidi da tvrdoća u grumenu (rastojanje 0) ima veću tvrdoću u odnosu na zonu termomehantičkog uticaja (ZTMU) i zonu uticaja toplote (ZUT). Tvrdoća u svim zonama ZTM je niža od tvrdoće osnovnog materijala.



Sl. 3. Raspodela tvrdoće a) uzorak 3 b) uzorak 4

### 3.4 Makro i mikrostruktura

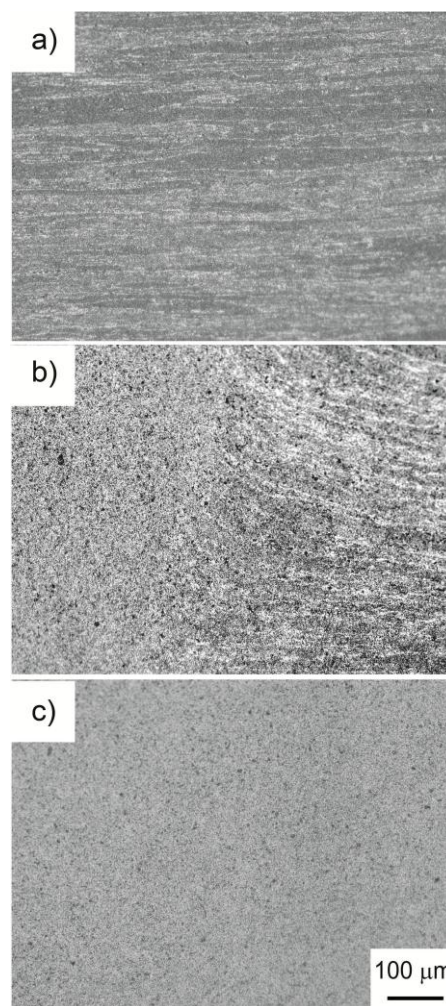
Poprečni presecci zavarenog spoja su prikazani na slici 4. Sa slike se može videti da su dobijeni tuneli složenih oblika. Alat sa zavojnicom sa pravcem protoka materijala prema alatu (gore) prouzrokuje višestruke tunele (slika 4a), koji imaju oblik profila trna alata. Tuneli se prostiru duž celog uzdužnog preseka spoja. Protok materijala prema korenu zavara (dole) takođe rezultuje formiranjem kompleksnih tunela u centru spoja ili na dnu. Kombinacija kompleksnih tunela sa pojavom pukotine se pojavljuje u uzorku 4, slika 4d.



Sl. 4. Makrostruktura zavarenog spoja: a) uzorak 1 b) uzorak 2 c) uzorak 3 d) uzorak 4

Slika 5 prikazuje mikrostrukture zona ZTM uzorka 4. Može se primetiti da mikrostruktura osnovnog materijala, prikazane na slici 5a, odgovaraju tipičnoj hladno valjanoj leguri Al, sa jasno vidljivom deformacijom mikrostrukture strukture u pravcu valjanja. S druge strane, u zoni uticaja toplote (ZUT), slika 5b, (leva strana uzorka), prikazuje mikrostrukturu nastalu rekristalizacijom. U zoni termomehantičkog uticaja (TMAZ), prikazan na slici 5b (desna strana),

formirana je finija mikrostruktura, kao rezultat lokalne deformacije. U grumenu uzorka, slika 5c, mikrostruktura je finija od mikrostrukture osnovnog materijala, zone uticaja toplote i zone termomehantičkog uticaja.



Sl. 5. Mikrostruktura zavarenog spoja uzorak 4 a) osnovni materijal b) ZUT i TMAZ c) grumen

## 4. DISKUSIJA

Efikasnost zavarenog spoja se definiše kao odnos određene mehaničke osobine zavarenog spoja i osnovnog materijala izražen u procentima. Efikasnost po zavarenog spoja po naponu tečenja, zateznoj čvrstoći i tvrdoći dati su u tabeli 5. Najviša Efikasnost spoja po naponu tečenja i zateznoj čvrstoći je kod uzorka 3, dok je najniža kod uzorka 4. Razlike u efikasnosti spoja po naponu tečenja i po zateznoj čvrstoći daleko su veće u odnosu na razliku u efikasnosti spoja po tvrdoći. Efikasnost po zateznim karakteristikama je niža zbog postojanja tunela, u odnosu na rezultate predstavljene u [9] (do 80,1%). Sa druge strane, efikasnost po tvrdoći spoja se podudara sa vrednostima predstavljenim u [9]. Osnovni razlog za to je što su prilikom merenja tvrdoće izbegnuti tuneli.

	Efikasnost [%]		
	Po naponu tečenja	Po zateznoj čvrstoći	Po tvrdoći
1	45	44	72
2	55	52	75
3	63	57	74
4	40	36	77

Tabela 5. Efikasnost mehaničkih osobina

Poređenjem efikasnosti uzorka 3 i 4 vidi se da uzorak 3 ima veću efikasnost po zateznim karakteristikama, dok uzorak 4 ima veću efikasnost po tvrdoći. Međutim tvrdoća se može dovesti u zavisnost sa mikrostrukturom. U uzorku 4, tvrdoća grumena je veća nego tvrdoća u zoni termomehaničkog uticaja i zoni uticaja toplote (slika 3b). Takva raspodela tvrdoće je rezultat usitnjavanja zrna u grumenu (slika 5c). Dok je vrednosti tvrdoće grumena u odnosu na osnovni materijal manja, a na to mogu uticati nedovoljno usitnjavanje zrna i rekristalizacija.

#### 4.1 Uticaj oblika tunela

Pojava tunela ima veliki uticaj na mehaničke osobine. Na osnovu rezultata uzorak 3 ima najviše mehaničke osobine, a uzorak 4 ima najmanje mehaničke osobine. U uzorku 4, pojavljuju se kombinacija tunela sa prslinom, što pokazuje negativniji efekat na mehaničke osobine u odnosu na uzorak 1 gde se pojavljuju višestruki tuneli, koji prate profil trna alata.

## 5. ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata, mogu se izvući sledeći zaključci:

- Na profil tunela utiče smer rotacije trna koji određuje smer tečenja materijala.
- Smer tečenja material prema dole pruža efikasniji zavareni spoj, odnosno kvalitetnije popunjavanje šava.
- Zavisno od smera tečenja materijala mogu da nastaju tuneli trouglastog obilka ili tuneli kompleksnog oblika.
- Kombinacija tunela kompleksnog oblika i tunela sa prslinom daje najniže mehaničke osobine.

## 6. REFERENCE

[1] Thomas, W. M., Nicholas, E. D., Needham, J. C., Murch, M. G., Templesmith, P., Dawes, C. J., International Patent Application No. PCT/GB92/02203, GB Patent Application No.

9125978.8 (Dec. 1991), and U.S. patent No. 5, 460, 317, (Oct. 1995)

- [2] Ypekoglu, G., Kiral, B. G., Erim, S., Cam, G.: *Investigation of the effect of temper condition on the frictionstir weldability of AA7075 Al-alloy plates*, Materials and technology, 46, 627-632, 2012.
- [3] Fratini, L., Buqa, G., Palmeri, D., Hua, J., Shivpuri, R.: *Material flow in FSW of AA7075-T6 butt joints: numerical simulations and experimental verifications*, Science and Technology of Welding and Joining., 11, 412-421, 2006.
- [4] Threadgill, P. L., Leonard, A. J., Shercliff, H. R., Withers, P. J.: *Friction stir welding of aluminium alloys*, International materials review, 54, 49-93, 2009.
- [5] Xie, G. M., Ma, Z. Y., Geng, L.: *Effect of microstructural evolution on mechanical properties of friction stir welded ZK60 alloy*, Materials science and engineering A, 486, 49-55, 2008.
- [6] Chowdhury, S. M., Chen, D. L., Bhole, S. D., Cao, X.: *Tensile properties of a friction stir welded magnesium alloy: Effect of pin tool thread orientation and weld pitch*, Materials science and engineering A, 527, 6064-6075, 2010.
- [7] Debroy, T., Bhadeshia, H. K. D. H.: *Friction stir welding of dissimilar alloys – a perspective*, Science and Technology of Welding & Joining, 15, 266-270, 2010.
- [8] Jata, K.V., Semiatin, S.L.: *Continuous Dynamic Recrystallization During FSW of High Strength Aluminium Alloys*, Scripta Materialia, 43, 743, 2000.
- [9] Radisavljevic, I., Zivkovic, A., Radovic, N.: *Avoidance of tunnel type defects in FSW welded Al 5052-H32 plates*, Welding & Welded Structures, 1, 5-11, 2012.

**Autori: Vanr. prof. dr Sebastian Baloš, Prof. emeritus dr Leposava Šidanin, Miroslav Dramicanin, Petar Janjatovic, Danka Labus Zlatanovic, Doc. dr Dragan Rajnović**, Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2339, Fax: +381 21 454-495.

Email: [sebab@uns.ac.rs](mailto:sebab@uns.ac.rs)  
[lepas@uns.ac.rs](mailto:lepas@uns.ac.rs)  
[dramicanin@uns.ac.rs](mailto:dramicanin@uns.ac.rs)  
[janjatovic@uns.ac.rs](mailto:janjatovic@uns.ac.rs)  
[danlabus@uns.ac.rs](mailto:danlabus@uns.ac.rs)  
[draganr@uns.ac.rs](mailto:draganr@uns.ac.rs)



**Janjatović, P., Baloš, S., Radisavljević I., Rajnović, D., Dramićanin, M., Labus Zlatanović, D.,  
Erić-Cekić O.**

**BALISTIČKE KARAKTERISTIKE PERFORIRANIH PLOČA OD ADI MATERIJALA**

**Rezime:** Konstantnim razvojem i unapređenjem streljačkog oružja i municije, pojavila se potreba za razvojem postojećih sistema dodatne zaštite. U ovom radu prikazane su balističke karakteristike nehomogenog dodatnog oklopa u vidu perforiranih ploča izrađenih od austemperovanog nodularnog liva - ADI materijala. Izvršeno je ispitivanje četiri predoklopa dimenzija 630x390 mm sa otvorima Ø 11 mm i dužine ligamena 3,5 mm, različitih mehaničkih osobina i debljina. Pokazalo se da najveću balističku efikasnost ima predoklop materijala ADI-275 debljine 9 mm zahvaljujući prelomu jezgra svih pet projektila i na taj način ni jedan projektil nije izvršio proboj osnovne ploče.

**Ključne reči:** Perforirane ploče, balistička zaštita, ADI materijal

**1. UVOD**

Mehanizam zaštite dodatnog oklopa u vidu perforiranih ploča se temelji na indukovanju savojnih napona u jezgru projektila pri kontaktu sa ivicom otvora perforirane ploče. Lomom probojnog jezgra se smanjuje kinetička energija jezgra, a samim tim i probojnost [1]. Broj otvora treba da bude što veći kako bi se povećala verovatnoća kontakta projektila i ivice otvora i prvenstveno zavisi od projektila od kojeg se želi postići zaštita, oblika i veličine otvora, i veličine ligamenta (rastojanja između ivica otvora). Kod perforiranih ploča je bitna i krutost koja se postiže povećanjem debljine ploče. ADI materijal (Austempered Ductile Iron) pruža mogućnost povećanja debljine ploče zbog manje gustine u odnosu na čelik (za oko 10 %). ADI materijal ima i manju cenu (do 50 %) u odnosu na kovani, termički obrađeni ili liveni čelik. Promenom parametara termičke obrade se postiže širok dijapazon mehaničkih osobina [2]. Nedostatak ADI materijala jeste manja duktilnost što može biti uzrok nastajanja i širenja prslina na ploči pri udaru projektila. Ovaj problem bi se mogao rešiti perforacijom ploča, tako da nastala prslina propagira do najbližeg otvora i tu se zaustavlja.

**2. EKSPERIMENTALNI DEO**

Ploče nodularnog liva su odlivene u peščanom kalupu. Hemijski sastav nodularnog liva dat je u tabeli 1, a stepen sferoidizacije je veći od 85% sa nodulama veličine između 15 i 25 µm. Gustina nodula je 250 nodula po mm<sup>2</sup>. Nakon livenja ploča pristupilo se smanjenju debljine ploča glodanjem i bušenju otvora Ø 11 mm.

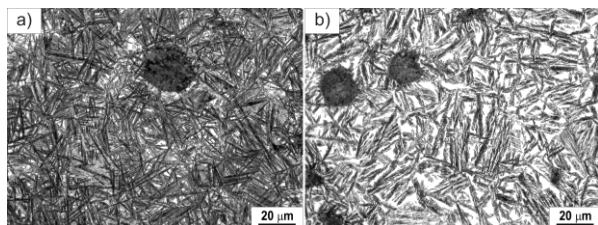
<b>C%</b>	<b>Si%</b>	<b>Mn%</b>	<b>Cu%</b>	<b>Ni%</b>
3,51	2,21	0,380	0,189	0,022
<b>Cr%</b>	<b>Mg%</b>	<b>P%</b>	<b>S%</b>	
0,040	0,031	0,035	0,014	

Tabela 1. Hemijski sastav nodularnog liva

Za dobijanje ADI materijala, izvršena je termička obrada, koja se sastojala od austenitizacije na 900 °C u trajanju od 2 časa u zaštitnoj atmosferi argona, u komornoj peći i izotermne transformacije. Izotermna transformacija je izvršena u sonom kupatilu na temperaturama 275 i 400 °C u trajanju od 1 časa. Mikrostruktura dobijenih materijala označenih kao ADI-275 i ADI-400 je u potpunosti ausferitna i sastoji se od ausferitnog ferita i zadržanog austenita, međutim, morfologija ausferita je različita. Razlika nastaje zbog temperature izotermne transformacije. Temperatura 275 °C spada u donje područje izotermne transformacije i nastaje acikularna odnosno igličasta morfologija ausferita sa finijim i izduženim snopovima ausferitnog ferita (slika 1a). Temperatura 400 °C spada u gornje područje izotermne transformacije i nastala je pločasta morfologija ausferita sa širim i kraćim snopovima ausferitnog ferita (slika 1b).

Za metalografsko ispitivanje svetlosnim mikroskopom Leitz Orthoplan izvršeno je isecanje i toplo zatapanje uzoraka, zatim brušenje i poliranje i na kraju nagrizanje nitalom (3% azotna kiselina). Pomoću skenirajućeg elektronskog mikroskopa (SEM) JEOL JSM-6460LV ispitane su površine preloma, a pomoću rengenostrukturnog ispitivanja difrakcijom X-zraka određen je zapreminski udeo zadržanog

austenita  $\gamma_{HC}$ . ADI-275 sadrži 9,8 % dok ADI-400 26 %  $\gamma_{HC}$ . Zadržani austenit u velikoj meri utiče na mehaničke osobine ADI materijala koje su prikazane u tabeli 2 [3]. Mehaničko spajanje segmenata je izvršeno pomoću pločica i vijaka zbog postizanja veće krutosti.



Sl. 1. Mikrostruktura: a) ADI-275; b) ADI-400

Materijal	ADI-275	ADI-400
Zatezna čvrstoća $R_m$ [MPa]	1472	914
Napon tečenja $R_{p0,2\%}$ [MPa]	-	679
Izduženje A [%]	1	8
Energija udara K0 [J]	23	44
Tvrdoća HV 10	498	300

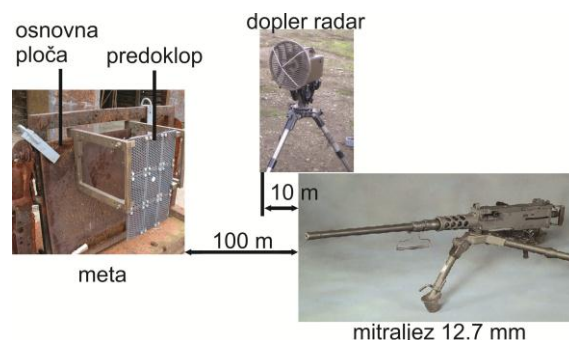
Tabela 2. Mehaničke osobine ADI materijala

Za balističko ispitivanje napravljena su četiri predoklopa od materijala ADI-275 i ADI-400 debljine 7 i 9 mm. Svaki predoklop se sastojao iz 9 segmenata dimenzija 210x130 mm spojenih tako da grade predoklop dimenzija 630x390 mm. Predoklop je zatim montiran na osnovnu ploču pomoću dodatnog nosača. Rastojanje između predoklopa i osnovne ploče je bilo 400 mm i njihov položaj je bio vertikalno odnosno pod  $90^\circ$  u odnosu na trajektoriju projektila. Osnovna ploča je bila od homogenog valjanog čelika debljine 13 mm. Tokom balističkog ispitivanja teški mitraljez Browning M2HB kalibra 12,7 mm se nalazio na rastojanju 100 m od mete (Slika 2). Dozvoljeno rasipanje brzine projektila iznosi  $\pm 15$  m/s, i merena je na udaljenosti 10 m od usta cevi dopler radarom BS850. Za ispitivanje je korišćena municija 12,7x99 mm, sa probojno – zapaljivim projektilom M-8. Kriterijum balističke zaštite je da od 5 hitaca ni jedan ne izvrši proboj osnovne ploče. Oštećenje na osnovnoj ploči se opisuje kao:

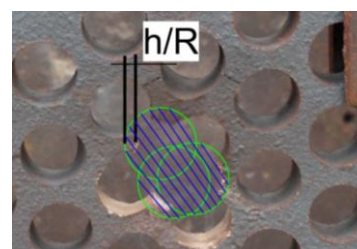
- proboj – projektil je izvršio proboj kroz metu, pri čemu je prečnik otvora i probojnog jezgra približno jednak,
- zador sa prslinom – oštećenje spoljašnje strane mete sa izbočinom i prslinom ili prslinama na unutrašnjoj strani,
- zador sa izbočinom – oštećenje spoljašnje strane mete sa izbočinom na unutrašnjoj strani.

Oštećena površina predoklopa se dobija ucrtavanjem krugova koji predstavljaju prečnik probojnog jezgra. Preklapanje probojnog jezgra sa

ivicama perforirane ploče, tačnije ligamentima između otvora iznosi  $h/R=0,34$  jer je to odnos koji je potreban da bi se izvršio prelom jezgra projektila [4]. Površina je izmerena pomoću programa Corel Draw X6 (slika 3).



Sl. 2. Šema balističkog ispitivanja

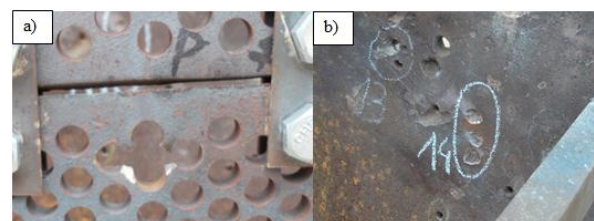


Sl. 3. Prikaz oštećene površine predoklopa

### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

U tabeli 3 prikazani su rezultati balističkog ispitivanja predoklopa. Konstatuje se da je najveću balističku otpornost postigao predoklop od materijala ADI-275. Perforirana ploča debljine 9 mm ima veću efikasnost od 7 mm. Ta efikasnost se ogleda u manjem oštećenju osnovne ploče usled češćeg preloma jezgra. Prelom jezgra se kod perforirane ploče ADI-275 debljine 9 mm dogodio kod svih pet projektila, a kod perforirane ploče debljine 7 mm, kod četiri projektila.

Na slici 4a je prikazan predoklop čije oštećenje je minimalno i koji je uspeo da izvrši prelom jezgra projektila na tri fragmenta. Oštećenje na osnovnoj ploči nastalo od strane fragmenata prikazano je na slici 4b.



Sl. 4. Prikaz oštećenja a) predoklopa b) osnovne ploče

Kriterijum efikasnosti predoklopa nisu zadovoljile ploče ADI-400. Upotrebom predoklop

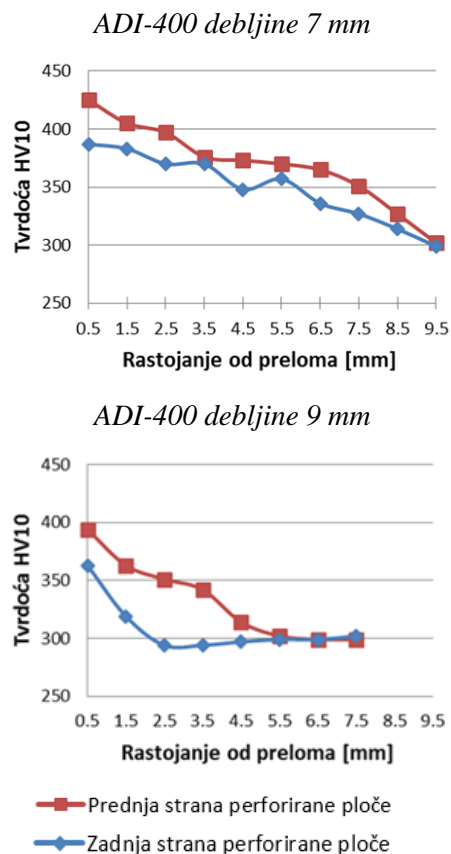
debljine 7 mm izvršena su dva proboja, a upotrebom predoklopa debljine 9 mm izvršen je jedan proboj u osnovnoj ploči.

Oštećena površina predoklopa [mm <sup>2</sup> ]	Opis oštećenja osnovne ploče
<b>ADI-275, 7 mm</b>	
2124	zador sa jednom prslinom
630	zador sa izbočinom (prelom jezgra u 3 fragmenta)
4856	zador sa izbočinom (prelom jezgra, nepoznat broj fragmenata)
2004	zador sa izbočinom (prelom jezgra, nepoznat broj fragmenata)
768	zador sa izbočinom (prelom jezgra, nepoznat broj fragmenata)
<b>Srednja vrednost 2076</b>	
<b>ADI-275, 9 mm</b>	
2541	zador sa izbočinom (prelom jezgra, nepoznat broj fragmenata)
741	zador sa izbočinom (prelom jezgra, nepoznat broj fragmenata)
508	zador sa izbočinom (prelom jezgra, nepoznat broj fragmenata)
1433	zador sa izbočinom (prelom jezgra, nepoznat broj fragmenata)
502	zador sa izbočinom (prelom jezgra, nepoznat broj fragmenata)
<b>Srednja vrednost 1145</b>	
<b>ADI-400, 7 mm</b>	
375	zador sa izbočinom
702	<b>Proboj</b>
1296	zador sa jednom prslinom (prelom jezgra u 3 fragmenta)
902	<b>Proboj</b>
722	zador sa dve prsline
<b>Srednja vrednost 799</b>	
<b>ADI-400, 9mm</b>	
480	zador sa izbočinom
759	<b>Proboj</b>
412	zador sa izbočinom (prelom jezgra u 3 fragmenta)
864	zador sa formiranim čepom
560	zador sa izbočinom (prelom jezgra u 3 fragmenta)
<b>Srednja vrednost 615</b>	

Tabela 3. Rezultati balističkog ispitivanja

Prslina nastaje na mestu udara projektila u ligamenta i širi se do najbližeg otvora. Na taj način dolazi do lokalizacije oštećene površine što obezbeđuje visoku otpornost perforiranih ploča na višestruke pogotke. Najveću površinu oštećenja ima predoklop ADI-275 debljine 7 mm, a najmanju predoklop ADI-400 debljine 9 mm. Tvrdoća je

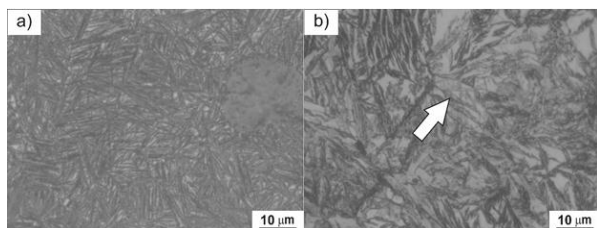
ispitana sa prednje i zadnje strane ploče paralelno, na 1 mm ispod površine ploče sa rastojanjem između otisaka po 1 mm. Tvrdoća je najveća u blizini preloma ligamenta i opada sa povećanjem rastojanja. Predoklopi izrađeni od ADI-400 su imali najveći porast tvrdoće (slika 5) što se može obrazložiti deformacionim ojačavanjem i pojavom matrenzita (slika 6b). Tvrdoća je ispitana po Vickersovoj metodi uređajem VEB HPO-250 sa silom na utiskivač 98,1 N (10 kgf).



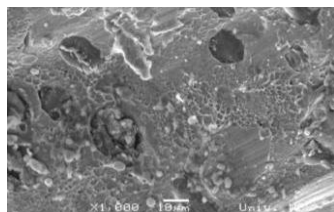
Sl. 5. Grafički prikaz rezultata merenja tvrdoće

Mikrostruktura nakon udara je analizirana u zoni najveće plastične deformacije. Kod ADI-275 koji ima manje izraženu plastičnu deformaciju nije došlo do faznih promena (slika 6a) za razliku od ADI-400. Usled intenzivne plastične deformacije kod ADI-400 zadržani austenit koji se nije dodatno obogatio ugljenikom tokom izotermne transformacije prelazi u martenzit (slika 6b). Procenat ugljenika kod takvog zaostalog austenita je isti kao i posle austenitizacije, i kreće se od 0,6 do 1,2 % C [5]. Transformacija zadržanog austenita u martenzit se dašava SITRAM mehanizmom (Strain Induced Transformation of Austenite into Martensite). Pomoću SEM-a su dobijene slike površina prelomljenih ligamenata u blizini kontakta sa projektilom i srednje oblasti ligamenta. Površina preloma ligamenta u blizini kontakta sa projektilom je nastala kao rezultat smicajnog opterećenja. Na slici 7 prikazana je

izdužena morfologija površine preloma nastala smicanjem koja je prethodno bila jamičasta.

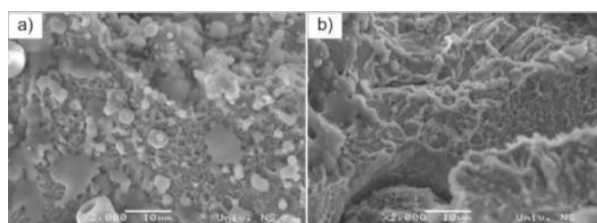


Sl. 6. Mikrostruktura ADI materijala nakon udara a) ADI-275; b) ADI-400



Sl. 7. Prikaz deformisanih jamica na prelomljenoj površini

Na osnovu slika srednje oblasti (zatezna oblast) može se uočiti da je razlika između prelomljenih površina ADI-275 i ADI-400 u tipu loma. Na površini ADI-275 7 mm prisutna je jamičasta struktura prekrivena slojem kapljica (slika 8a). Kod ADI-400 9 mm tip loma je mešovit. U blizini nodula prisutna je jamičasta morfologija kao rezultat duktilnog loma, a u drugim oblastima je prisutna pojava prslina kao pokazatelj krtog ponašanja (slika 8b). Krtost potiče od prisustva martenzita nastalog SITRAM mehanizmom.



Sl. 8. Srednja oblast (zatezno opterećenje) a) ADI-275 7 mm; b) ADI-400 9 mm

Elektronskom mikroanalizom (EDX) ustanovljeno je značajno prisustvo bakra, aluminijuma, magnezijuma i barijuma. Bakar potiče od košuljice projektila dok ostali elementi od zapaljive smeše koja se sastoji od 50 % barijum-nitrata  $Ba(NO_3)_2$  i 50 % magnezijuma i aluminijuma [6].

#### 4. ZAKLJUČAK

Utvrđeno je da je najveću balističku efikasnost postigao predoklop materijala ADI-275 debljine 9 mm. Iako manje duktilan u odnosu na ADI-400, prelom jezgra se dogodio kod svih pet projektila. Metalografskim ispitivanjem konstatovane su fazne transformacije u materijalu ADI-400.

Intenzivna plastična deformacija je dovela do stvaranja martenzita SITRAM mehanizmom, što je uzrokovalo krto ponašanje pri udaru. Taj rezultat je potvrđen relativno velikim porastom tvrdoće perforirane ploče nakon balističkog ispitivanja kod predoklopa od materijala ADI-400.

#### 5. REFERENCE

- [1] Radisavljevic, I., Balos, S., Nikacevic, M., Sidjanin, L.: Optimization of geometrical characteristics of perforated plates, *Materials and Design*, 49, (2013), 81–89
- [2] Harding, R.A.: The production, properties and automotive applications of austempered ductile iron, *Kovove Materialy*, 45, (2007), 1-16
- [3] Kim, Y.J., Shin, H., Park, H., Lim, J.D.: Investigation into mechanical properties of austempered ductile cast iron (ADI) in accordance with austempering temperature, *Materials Letters*, 62, (2008), 357-360
- [4] Chocron, S., Anderson, C. E. Jr., Grosch, D.J., Popelar, C. H.: Impact of the 7.62-mm APM2 projectile against the edge of a metallic target, *International Journal of Impact Engineering*, 25, (2001), 423-437
- [5] Kovacs, B. V.: On the Terminology and Structure of ADI, *AFS Transactions*, 83, (1994), 417-420
- [6] Balos, S., Grabulov, V., Sidjanin, L., Pantic, M., Radisavljevic, I.: Geometry, mechanical properties and mounting of perforated plates for ballistic application, *Materials and Design*, 31, (2010), 2916-2924

**Autori:** Petar Janjatović<sup>1</sup>, vanr. prof. dr Sebastian Baloš<sup>1</sup>, naučni saradnik dr Igor Radisavljević<sup>2</sup>, doc. dr Dragan Rajnović<sup>1</sup>, Miroslav Dramićanin<sup>1</sup>, Danka Labus-Zlatanović<sup>1</sup>, viši naučni saradnik dr Olivera Erić-Cekić<sup>3</sup>

1. Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet Tehničkih Nauka, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel: +381 21 485 2350.

E-mail: [janjatovic@uns.ac.rs](mailto:janjatovic@uns.ac.rs)

2. Vojtotehnički institut, Ratka Resanovića 1, 11030 Beograd, Srbija, Tel: +381 11 250-8308.

3. Inovacioni centar Mašinskog fakulteta d.o.o. Kraljice Marije 16, Beograd, Srbija, Tel: +381 11 330 23 46.

**Zahvalnica:** Rezultati prezentovani u ovom radu su realizovani u okviru projekta „Projektovanje, razvoj i primena nove generacije ADI materijala“, TR – 34015, finansiranog od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.



**Antić, A., Milošević, M., Lukić, D., Ungureanu, N.**

**IDENTIFIKACIJA ZAVISNOSTI SEGMENTACIJE STRUGOTINE I SIGNALA  
VIBRACIJA PRI ODABIRU PARAMETARA ZA NADZOR HABANJA ALATA**

***Rezime:** Većina istraživanja vezanih za nadzor habanja alat pri obradi materijala rezanjem do sada nije bila usmeren na interakciju mehanizama formiranja strugotine i karakterizaciju pohabanosti alata. Međutim, još uvek ne postoji sistematsko proučavanje oblika karakterizacije strugotine pri različitim uslovima obrade i stepena pohabanosti alata. Pokazalo se da se taj proces upotrebom klasičnih matematičkih numeričkih metoda i modela, zbog izrazite nelinearnosti i stohastičnosti, vrlo teško može biti opisan. Stoga, prevazilaženje tog problema podrazumeva primenu različitih metoda veštačke inteligencije i upotrebu odgovarajućih senzora koji su na indirektan način u korelaciji sa habanjem alata i segmentacijom strugotine.*

***Ključne reči:** habanje alata, obrada signala,*

## **1. UVOD**

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. Da bi se jednim sistemom moglo adekvatno upravljati potrebno je predvideti stanje procesa u pojedinim momentima i pomoću prethodno zadatih parametara imati mogućnost optimizacije i delovanja na stabilnost procesa. Za uspešno razumevanje i interpretaciju mernih podataka primenjuju se dve postojeće strategije:

- Podaci dobijeni direktnim merenjem
- Podaci dobijeni proračunima

Praćenjem neke veličine i njenim kontinualnim merenjem moguće je u veoma kratkom vremenskom periodu reagovati i samim tim na adekvatan način zaštititi komponente sistema neophodne za uspešno odvijanje procesa kao što je to, na primer, neophodno za nadzor stanja i loma alata. Merni sistem omogućava brzo i tačno reagovanje na promene veličina komponenata procesa kako bi se zadati kriterijumi nadzora održali konstantnim. Tako na primer, može se dobiti informacija o pohabanosti alata ili tačnost i kvalitet obratka, naravno uz adekvatnu opremljenost samog mašinskog sistema. Na osnovu toga mogućnost za praćenje stanja i pohabanosti alata kao i samog procesa može se vršiti na više načina, a neki od načina se zasnivaju na različitim fizičkim principima rada kao što su: induktivni, kapacitativni, optički, pneumatski itd.

## **2. METODE NADZORA I PRAĆENJA HABANJA ALATA**

Praćenje stanja alata je intenzivno proučavalo mnogo istraživača od kasnih 1980-ih, na osnovu čega je objavljeno i dosta studija [1, 2, 3,4]. Habanje alata je proces koji zavisi od režimima obrade, uslova obrade, materijala obratka, materijala alata, geometrije rezne pločice itd. Pri obradi struganjem pretežno se pojavljuju oblici habanja alata identifikovani kao glavni tipovi habanja alata koji se javlja na: vrhu, reznoj ivici, boku (bočno habanje) i grudnoj površini (kratersko habanje). Da bi se identifikovao procenat pohabanosti i vršio kontinualni nadzor stepena pohabanosti alata primenjuju se različite metode poznate kao direktne i indirektne. Direktne metode merenje habanja alata direktno na samom alatu utvrđuju stepen pohabanosti, a indirektne metode koriste posredničke uređaje, tehnike i signale koji su u korelaciji sa alatom.

Direktne metode nadzora kao što su optičke metode, kojima se direktno mere geometrijski parametri alata. Ove metode u opštem slučaju imaju prednost u primeni jer detektuju stvarne promene koje proizilaze iz stanja pohabanosti alata. Međutim, direktno merenje je veoma teško sprovesti zbog stalnog kontakta alata i obratka, i veoma teško izvodljivo zbog prisustva tečnosti za hlađenje u procesu rezanja. Ova ograničenja predstavljaju ne premostive prepreke za primenu direktnih metoda u nadzoru habanja alat.

Direktne metode se zasnivaju na direktnim merenjima na samom mestu obrade, uglavnom pomoću optičkih metoda, sistema za obradu slike, itd. Na osnovu toga kod pojedinih autora se

insistira na potrebi sprovođenja direktnih metoda za merenje pohabanosti alata bez prekida obrade i izdvajanju podataka direktno iz procesa rezanja. Pojedini autori ukazuju da direktni optički sistemi daju pouzdane rezultate za sprovođenje nadzora alata uprkos njihovoj visokoj ceni, ali da za realnu industrijsku primenu treba da se izvrše još dodatna prilagođavanja i poboljšanja. Iz tog razloga, određeni broj istraživača ih koristi kao moguće "on-line" tehnike merenja pohabanosti alata. Takođe, pregledom literaturnih referenci, sistemi za nadzor alata koji koriste obradu slike ukazuju na dva glavna metoda rada: sistemi koji koriste usmereno svetlo za merenje bočnog habanja i sistemi koji koriste strukturirano svetlo i 3D rekonstrukciju slike za merenje kraterskog habanja.

Indirektnim metodama nadzora habanja alata se vrši praćenjem stepena korelacije senzorskog signala sa datom pojavom. Ovakav pristup je u prednosti i manje komplikovan u smislu pogodnosti za praktičnu primenu. Takođe su razvijene i različite indirektno metode pomoću kojih se stanje habanja alata, u različitim operacijama obrade, procenjuje na osnovu lako merljivih parametara kao što su sile rezanja, vibracije, akustična emisija, temperatura rezanja, površinska hrapavost obrađene površine itd.. Međutim, ovim metodama se i dalje ne postižu dovoljno dobri i precizni rezultati kakvi se postižu direktnim metodama, jer su merni signali pod uticajem različitih šumova okoline [5]. Primenom indirektnih mernih veličina koje se relativno jednostavno mogu pratiti, u korelaciji sa direktnim merenjem, stiče se uvid u stanje alata. Njihovo određivanje se vrši pomoću senzora koji se kod savremenih mašina alatki mogu instalirati na različitim mestima kao što su višepozicioni nosač alata, glavno vreteno ili neko drugo mesto na mašini.

### 3. PARAMETRI ZA DEFINISANJE HABANJA ALATA

Paralelno s razvojem modela nadzora habanja reznog alata, rađene su i analize karakteristika različitih vrsta i oblika parametara identifikacije habanja s obzirom na kvalitet procene stepena pohabanosti. Uprkos njihovoj velikoj raznovrsnosti većinu razmatranih parametara je moguće svrstati u nekoliko osnovnih grupa.

#### 3.1 Prikaz i podela parametara za identifikaciju habanja alata

Tabela 1 prikazuje podelu parametara habanja u četiri osnovne grupe s obzirom na karakteristike

metoda korišćenih u analizi snimljenih signala u procesu obrade.

Grupa pripadnosti	Vrsta parametra	Napomena
Statistički parametri	Srednja vrednost, Varijansa, Standardna devijacija, Kutos i Skewnes, ..	Parametri koji opisuju distribuciju i raspodelu verovatnoće u procesu habanja.
	Koeficijenti AR, MA, ARMA modela, ...	Modeliranje signala korišćenjem vremenskih serija
	Različiti koeficijenti graničnih vrednosti, Ukrštena korelacija, Harmonijska sredina, ...	Ostale ređe zastupljene statističke metode
Parametri iz vremenskog domena	Prosečne i efektivne (RMS) vrednosti signala unutar nekog vremenskog intervala; Kratkotrajni porasti ili smanjenja vrednosti u signalima; Intenzitet sile, Polinomske aproksimacije signala, ...	Parametri dobijeni pri obradi signala sila
Parametri iz frekventnog domena	Dominantna amplituda/snage spektra, PSD celog signala, PSD u pojedinim segmentima signala (međusobni, susedni ili delom preklapajućih frekventnih pojasevi); Frekvencija najveće amplitude spektra; Ukupna snaga signala u okolini frekvencije najveće amplitude spektra	Parametri najčešće dobijeni obradom signala korišćenjem Fourierove transformacije
Parametri iz vremensko-frekventnog domena	Koeficijenti transformacije	Parametri koji se izdvajaju gotovo isključivo na osnovu wavelet transformacije signala

Tabela 1. Podele parametara za identifikaciju habanja na osnovu domena pripadnosti

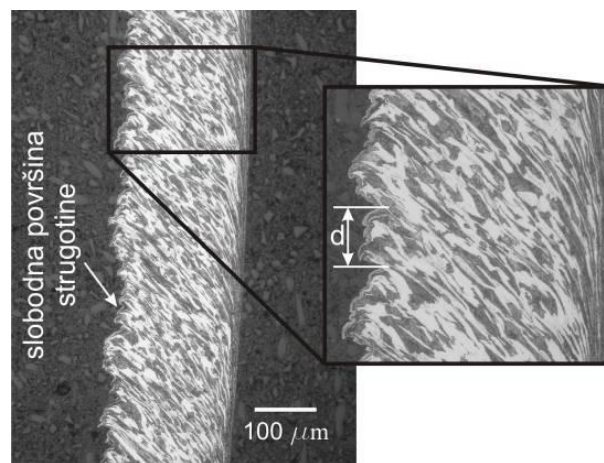
Ova podela nije stroga, jer se, statistički parametri mogu takođe svrstati i u grupu parametara iz vremenskog domena. Osim navedenih, postoji još čitav niz parametara koji su manje zastupljeni. Najčešće se primenjuju

parametri iz prve tri grupe. Pritom se može primetiti da su kod signala niskih frekvencija (sile, struje) najviše zastupljeni parametri iz vremenskog domena, a zatim i frekventni kao i statistički parametri. Kod visokofrekventnih signala kao što su akustična emisija ili vibracije, na prvom su mestu parametri iz frekventnog domena, a zatim slede statistički parametri i parametri iz vremenskog domena. Najmanja je zastupljenost parametara iz vremensko – frekventnog domena. Većina navedenih tipova parametara, kao i karakteristika njihove primene, u većoj su ili manjoj meri predstavljeni su u citiranim radova u kojima se razmatra problem nadzora habanja reznih alata.

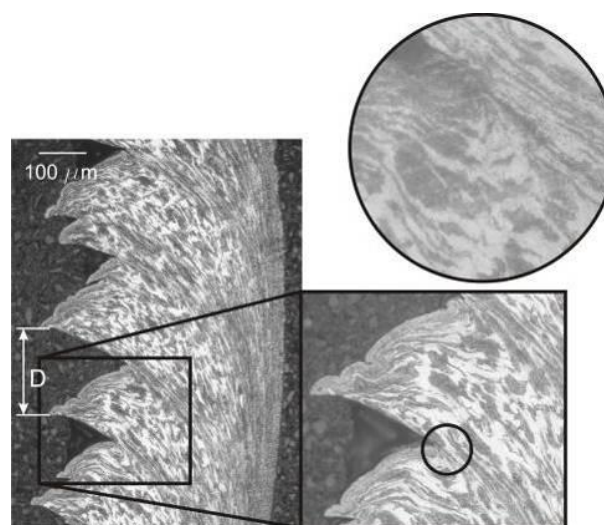
#### 4. EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJE

Zahvati obrade koji su izvođeni u toku eksperimenta su uzdužno i poprečno struganje u zavisnosti od postavke eksperimentalnog ispitivanja. Prečnik obrade kretao se u dijapazonu od 110 do 75 mm a dužina jednog prolaza, na kome je vršeno merenje ubrzanje vibracija i uzorkovanje strugotine, je 40 mm. Prilikom svakog prolaza meren je signal ubrzanja vibracija u trajanju od jedne sekunde, radi uporedne analize međusobne zavisnosti spektra snage vibracija formiranog signala u odnosu na oblik segmentacije strugotine i stepen pohabanosti alata.

Merenje dimenzija strugotine: koraka, visine neravnina na slobodnom kraju strugotine, visina kontinualnog dela, ukupne debljine strugotine i širine lamela poslužili su za izračunavanje frekvencije stvaranja lamela strugotine u toku procesa obrade. Frekvencija segmentacije se povećava sa povećanjem brzine rezanja a opada sa povećanjem stepena pohabanosti alata prikazuju slike 1 i 2 direktno govore tome u prilog. Uticaj promene stepena pohabanosti alata na oblik vibracija strugarskog noža posmatran je kroz promenu izračunatog spektra snage izmerenih signala. Gustina spektara snage vibracija je izračunata Welch-ovom metodom, primenom Hamming-ovog prozora širine 512 odmeraka i preklapanjem prozora od 128 odmeraka.



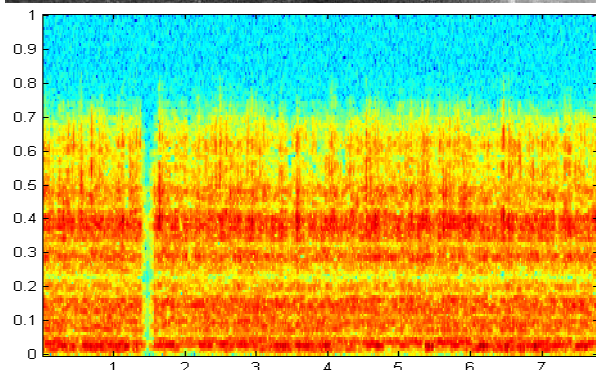
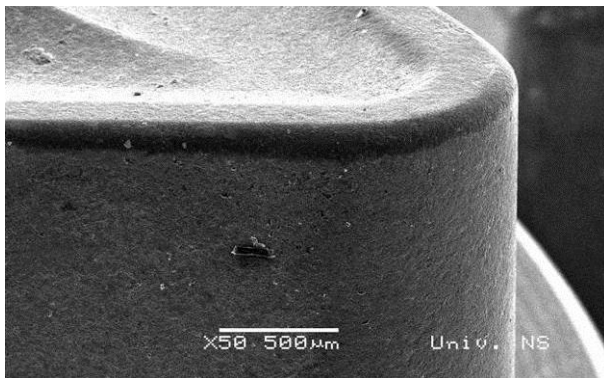
Sl. 1. Morfologija strugotine pri obradi sa novim alatom



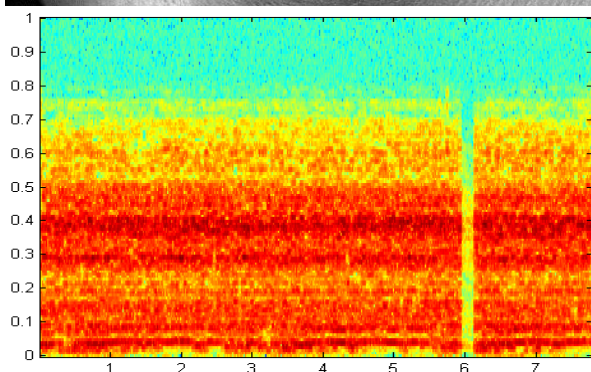
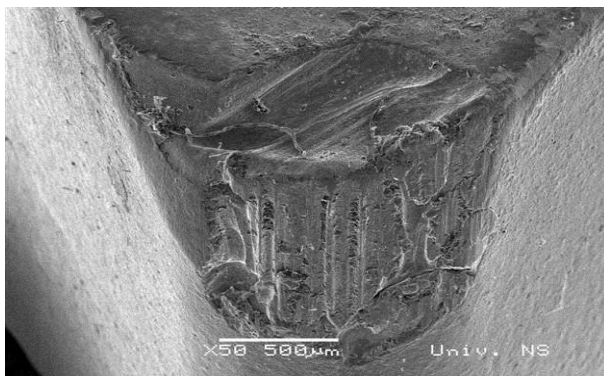
Sl. 2. Morfologija strugotine pri obradi sa pohabanim alatom

Merni signal je u ovom slučaju posmatran kao kvazistacionaran. Promena ponašanja izračunatog spektra merenog signala vibracija, dovodi se u direktnu vezu sa povećavanjem zatupljenja alata tj. promenom poprečnog preseka strugotine, što se može jasno uočiti na slikama 3 i 4. Analizom dobijenih rezultata na prikazanim slikama jasno se uočava promena gustine snage spektra vibracija na višim frekvencijama što ukazuje da pohabanost, tj. promena geometrije reznog klina, potiskuje pikove na višim frekvencijama i podiže ukupnu snagu signala.

Posmatrajući promenu segmentacije lamela, kao i promenu rezne geometrije alata usled porasta habanja alata na slikama 1 i 2 predstavljeni su uporedni prikazi vremenskog prozora snimljenog signala i mikroskopskog snimka poprečnog preseka formirane strugotine u toku obrade alatom sa određenim stepenom pohabanosti.



Sl. 3. Izgled stepena pohabanosti reznog alata i spektra signala vibracija koji se stvara pri obradi novim alatom



Sl. 4. Izgled stepena pohabanosti reznog alata i spektra signala vibracija koji se stvara pri obradi pohabanim alatom

Takođe se može zaključiti da napredovanje kraterskog habanja povećava udeo vibracija i menja spektar frekvencija signala, što je prikazano na slikama 3 i 4.

## 5. ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata mikroskopske analize pojedinih delova formirane strugotine, uočeno je postojanje saglasnosti i veoma dobre korelacija učestalosti segmentacije strugotine sa stepenom pohabanosti reznog alata. Zajednički uzroci formiranja frekventnih karakteristika signala vibracija u procesu rezanja u korelaciji su sa oblikom segmentacije strugotine i sa razvojem kraterskog i bočnog habanja na alatu. Takođe, znanje morfologije i evolucija strugotine može da poboljša produktivnost proizvodnje, gde habanje alata i dimenzionalna tačnost obratka treba da se konstantno prate

## 6. LITERATURA

- [1] Byrne, G., Dornfield, D., Inasaki, I., Kettler, G., Konig, W., Teti R.: *Tool condition monitoring (TCM)—the status of research and industrial applications*, Annals of CIRP, 44, pp 541–567, 1995.
- [2] Kunpeng, Z., Yoke San, W., Geok Soon, H., *Wavelet analysis of sensor signals for tool condition monitoring: A review and some new results*, International Journal of Machine Tools & Manufacture 49, pp 537–553, 2009.
- [3] Liang, S.Y., Rogelio, L.H., Robert, G.L., *Machining process monitoring and control: The state of the art*, Journal of Manufacturing Science and Engineering 126 pp 297–310, 2004.
- [4] Sick, B., *On-line and Indirect Tool Wear Monitoring in Turning with Artificial Neural Networks*, Mechanical Systems and Signal Processing 16(4), pp 487 – 546, 2002.
- [5] Barreiro, J., Castejon, M., Alegre, E., Hernandez, L.K., *Use of descriptors based on moments from digital images for tool wear monitoring*, International Journal of Machine Tools & Manufacture 48, pp1005–1013, 2008.

**Authors:** Associate Prof. Dr Aco Antić, Assistant Prof. Dr Mijodrag Milošević, Assistant Prof. Dr Dejan Lukić, 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; Prof. Dr Nicolae Ungureanu, Technical University of Cluj-Napoca, Department of Engineering and Technologic Management, Dr. V. Babes 62/A, 430083 / Baia Mare, Romania.

E-mail: [antica@uns.ac.rs](mailto:antica@uns.ac.rs)  
[mido@uns.ac.rs](mailto:mido@uns.ac.rs)  
[lukied@uns.ac.rs](mailto:lukied@uns.ac.rs)  
[unicu@ubm.ro](mailto:unicu@ubm.ro)



**Durđev, M., Milošević, M., Lukić, D., Vukman, J., Borojević, S.**

**PRIMENA GENETSKIH ALGORITAMA U OPTIMIZACIJI TEHNOLOŠKIH  
PROCESA IZRADE PROIZVODA**

***Rezime:** U radu je dat prikaz domena optimizacije tehnoloških procesa primenom genetskih algoritama kao jedne od najznačajnijih metaheurističkih metoda. Optimizacija tehnoloških procesa je usmerena na nekoliko osnovnih zadataka, među kojima se izdvajaju selekcija odgovarajućih tipskih zahvata i određivanje optimalnog redosleda njihovog izvođenja, definisanje/dodeljivanje mašina alatki, reznih alata, pribora i pravaca prilaza alata pri realizaciji tipskih zahvata. Prikazana je struktura ovog problema optimizacije i modeli prizmatičnih proizvoda koji se najčešće razmatraju u literaturi iz ove oblasti. Predstavljeni su primeri primene genetskih algoritama kao efikasne metaheuristike za pronalaženje optimalnih rešenja tehnoloških procesa.*

***Ključne reči:** optimizacija tehnoloških procesa, metaheuristike, genetski algoritam*

## **1. UVOD**

Razvoj informacionih tehnologija i sve veći tržišni zahtevi u pogledu smanjenja vremena i troškova proizvodnje doveli su do razvoja i unapređenja sistema za automatizaciju projektovanja tehnoloških procesa izrade proizvoda, poznatijih po akronimom - CAPP sistemi. Kao neizostavna aktivnost koji pruža podršku projektantima i omogućuje integraciju CAD i CAM sistema, CAPP predstavlja „most“ između projektovanja proizvoda i procesa njihove proizvodnje [1].

Sa ciljem da se ostvari projektovanje kvalitetnih tehnoloških procesa iz skupa velikog broja alternativa, CAPP sistemi pokrivaju različite zadatke koje je neophodno realizovati u što kraćem vremenskom periodu [2]:

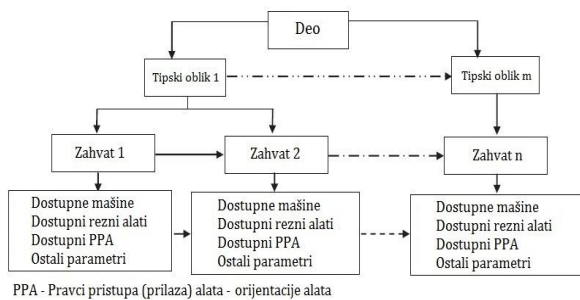
- Prihvatanje i analiza ulaznih projektnih podataka, izdvajanje i prepoznavanje tipskih tehnoloških oblika na proizvodu,
- Izbor i definisanje priprema,
- Definisanje sadržaja tehnološkog procesa, operacija i podoperacija izrade delova,
- Izbor i definisanje zahvata i njihovog redosleda izvođenja,
- Izbor i definisanje proizvodnih resursa (mašina, alata, pribora, merila i dr.)
- Izbor i definisanje parametara i strategije obrade,
- Generisanje upravljačkih programa za NC obradne i tehnološke sisteme,
- Određivanje vremena i troškova proizvodnje i
- Generisanje tehnološke dokumentacije.

Domen optimizacije tehnoloških procesa pripada klasi NP-teških problema usled ekstremno velikog broja alternativnih rešenja koja se nalaze u prostoru rešenja. Optimizacija tehnoloških procesa definisana je tipovima obradaka, tipskim tehnološkim oblicima, proizvodnim resursima i okruženjem koji su neophodni za dobijanje gotovog proizvoda [3].

U okviru drugog poglavlja dat je kratak opis problema optimizacije tehnoloških procesa, dok je u trećem poglavlju dat pregled odgovarajućih ograničenja i funkcija cilja. U četvrom poglavlju razmotrena je primena genetskog algoritma kao adekvatne metaheuristike za rešavanje razmatranog problema optimizacije.

## **2. DEFINISANJE PROBLEMA OPTIMIZACIJE TEHNOLOŠKIH PROCESA**

Problem optimizacije tehnoloških procesa usmeren je na dva zadatka koji se sprovode simultano sa ciljem dobijanja optimalnog rešenja. Prvi je izbor i definisanje tipskih zahvata obrade, a drugi predstavlja određivanje optimalnog redosleda izvođenja definisanih tipskih zahvata [4,5]. Izbor zahvata baziran je na geometriji tipskih oblika, tehnološkim zahtevima u pogledu njihove obrade i izboru/dodeli odgovarajuće/ih mašina, pribora, reznih alata i pravaca prilaza alata (orijentacije alata) koji će omogućiti obradu datih tipskih oblika. Sa druge strane, redosled izvođenja tipskih zahvata podrazumeva optimalni niz zahvata kojim će se proizvesti odgovarajući tipski oblici na delu uz zadovoljenje tehnoloških ograničenja zadatih na crtežu. Struktura jednog tehnološkog procesa predstavljena je na slici 1 [5].



PPA - Pravci pristupa (prilaza) alata - orijentacije alata

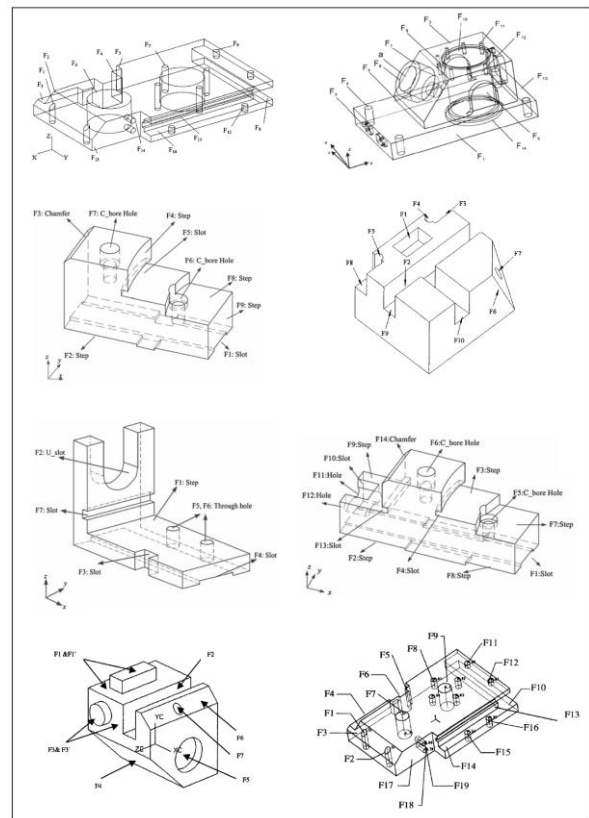
Sl. 1. Struktura problema optimizacije tehnološkog procesa

Tipski tehnološki oblici (machining feature) predstavljaju zapreminu materijala koja se uklanja sa obratka u toku procesa obrade i mogu se podeliti na različite načine [6]. Pod pojmom proizvodno okruženje kod ovih problema optimizacije, pažnja je najčešće posvećena tzv. job shop sistemima koji imaju veoma bitnu ulogu kako za tehnološke procese tako i za termin planove proizvodnje. CAPP sistem kao ulazne podatke usvaja stečenu job shop informaciju koja pruža uvid u raspoloživost proizvodnih resursa (mašina, reznih alata, pribora i dr.) zajedno sa tehnološkim atributima kao što su dimenziona ograničenja, kvalitet i tačnost obrađene površine.

Imajući u vidu mnogobrojne alternative u pogledu izbora zahvata, mašina, alata, orijentacije alata i određivanja redosleda obrade, mnogi autori izražavaju različite „fleksibilnosti“ koje su se pokazale ključnim za efikasnost proizvodnje i samog proizvodnog sistema. Prema [7] postoje sledeći tipovi fleksibilnosti:

- Fleksibilnost procesa (process flexibility) – mogućnost formiranja istog tipskog tehnološkog oblika primenom različitih zahvata ili različitih redosleda zahvata;
- Fleksibilnost mašina (machine flexibility) – mogućnost izvođenja istog zahvata na različitim mašinama;
- Fleksibilnost alata (tool flexibility) – mogućnost izvođenja istog zahvata uz primenu različitih reznih alata;
- Fleksibilnost orijentacije alata (TAD flexibility) – mogućnost izvođenja istog zahvata primenom različitih orijentacija alata (+/- x, y, z);
- Fleksibilnost redosleda zahvata (sequence flexibility) – mogućnost izmene redosleda zahvata koji su neophodni za izradu datog proizvoda.

Na slici 2 prikazani su najzastupljeniji prizmatični delovi koje su autori usvojili kao benchmark modele za rešavanje problema optimizacije tehnoloških procesa i testiranje performansi primenjenih algoritama [4,8,9].



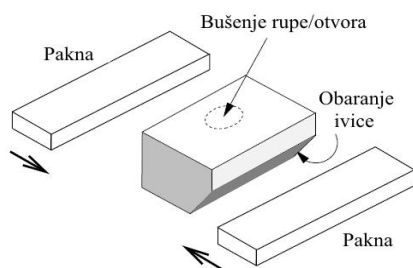
Sl. 2. Benchmark modeli prizmatičnih delova

### 3. USLOVI PRETHODENJA ZAHVATA I KRITERIJUMI VREDNOVANJA

Uslovi prethodjenja među zahvatima predstavljaju element optimizacije tehnološkog procesa od izuzetne važnosti i od njih direktno zavisi da li tehnološki proces predstavlja validno rešenje ili ne. Ovi uslovi, ili drugim rečima ograničenja, se moraju identifikovati kako bi se izvršila provera slučajno generisanog redosleda izvođenja zahvata i utvrdilo da li je redosled izvodljiv. Ističu se dve osnovne grupe uslova prethodjenja [3]:

- 1) Uslovi prethodjenja zahvata u okviru obrade tipskih tehnoloških oblika, gde spadaju:
  - a. Uslov stezanja,
  - b. Zavisnost baznih površina,
  - c. Odnosi dva tipska oblika,
  - d. Uslov tehnološkičnosti,
  - e. Uslov efikasnosti obrade.
- 2) Uslovi prethodjenja zahvata u okviru skupa različitih tipskih tehnoloških zahvata.

Na slici 3 prikazan je uslov stezanja kao jedan od navedenih ograničenja, gde se obaranje ivice mora realizovati nakon bušenja rupe/otvora. Prema ovom uslovu realizacija jednog tipskog zahvata utiče na potpuni ili delimični gubitak baza za obradu koje su neophodne za obradu drugih tipskih oblika.



Sl. 3. Primer uslova stezanja kao uslova prethodjenja

Kada su u pitanju kriterijumi vrednovanja tehnološkog procesa u većini slučajeva se u obzir uzima minimizacija ukupnih troškova i vremena obrade [10]. Kod prvog kriterijuma, ukupne troškove izrade određenog dela čini pet komponenata troškova: troškovi rada mašine, troškovi korišćenja alata, troškovi promene mašine, troškovi promene alata i troškovi promene stezanja dela/pravca prilaza alata [4,11].

#### 4. REŠAVANJE PROBLEMA OPTIMIZACIJE TEHNOLOŠKIH PROCESA PRIMENOM GA

Za razvoj genetskog algoritma najzaslužniji je Holand [12]. Tokom poslednjih nekoliko decenija sprovedena su mnoga istraživanja u ovom polju veštačke inteligencije i izvršeno mnogo modifikacija koje su dovele do toga da genetski algoritmi postanu vrlo efikasna metoda za rešavanje problema iz raznih oblasti.

Genetski algoritam predstavlja metodu pretraživanja koja se primenjuje za razne probleme optimizacije. Zasnovan je na principima biološke evolucije koje je doneo britanski naučnik Čarls Darwin. Osnovi elementi genetskog algoritma koji formiraju proces evoluiranja rešenja su sledeći [3]:

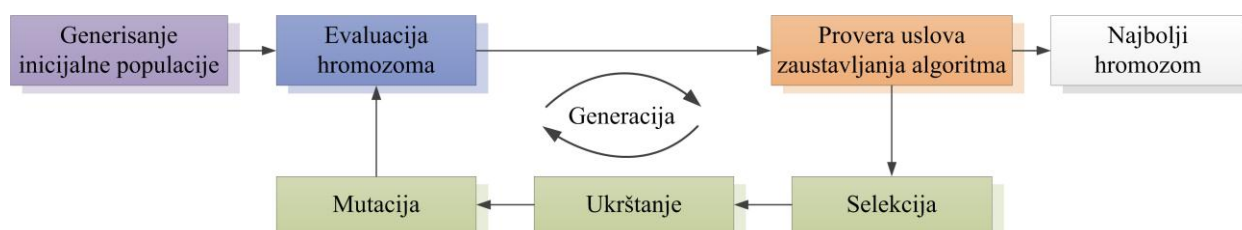
- Hromozom – svaka jedinka u populaciji rešenja;
- Generacije – skup iteracija kroz koje rešenje (hromozom) evoluirao;
- Funkcija prilagođenosti (eng. fitness) – funkcija na osnovu koje se vrednuje rešenje; funkcija cilja je u značajnom srodstvu sa funkcijom prilagođenosti;

- Potomak – vrsta hromozoma koja se dobija nakon primene genetskih operacija na odgovarajuće „roditelje“ koji predstavljaju hromozome u okviru razmatrane generacije;
- Selekcija, ukrštanje i mutacija – genetski operatori koji se primenjuju sa ciljem generisanja boljih hromozoma; vrše modifikaciju gena primenom raznih procedura.

Genetski algoritmi se primenjuju u rešavanju velikog broja problema kombinatorne optimizacije među kojima se ubraja problem trgovačkog putnika kao jedan od najpoznatijih problema iz ove klase. Ovo poglavlje je usmereno na formulisanje koncepta GA za probleme optimizacije tehnoloških procesa. Na slici 4 dat je prikaz toka klasičnog genetskog algoritma na osnovu kojeg je razvijen koncept GA za optimizaciju tehnoloških procesa [9,13]. Šest osnovnih koraka koji se izdvajaju kod ovog koncepta su sledeći [3]:

- 1) Definisavanje prezentacije tehnološkog procesa – kodiranje hromozoma,
- 2) Generisanje početne (inicijalne) populacije hromozoma,
- 3) Proračun funkcije cilja-funkcije prilagođenosti i evaluacija rešenja,
- 4) Razvijanje procedure reprodukovanja hromozoma – selekcija i elitizam,
- 5) Primena genetskih operatora (ukrštanje i mutacija), i
- 6) Podešavanje parametara GA (veličina populacije, verovatnoća selekcije, ukrštanja i mutacije, kriterijum zaustavljanja algoritma).

Autori [4] su razvili pristup zasnovan na hibridnom grafu i primeni genetskog algoritma. Početna rešenja su predstavljena na tzv. grafu prethodjenja zahvata (eng. *Operation precedence graph*) zajedno sa matricom susedstva, dok je algoritam topološkog sortiranja primenjen u kombinaciji sa OPG grafom sa ciljem prevodenja neizvodljivih u izvodljiva rešenja. Isti tako, genetski algoritam se primenjuje za pretraživanje redukovanog prostora rešenja i pronalaženje određenog broja optimalnih tehnoloških procesa.



Sl. 4. Dijagram toka GA [13]

U radu autora [11] opisana je primena genetskih algoritama za optimizaciju tehnološkog procesa sa pet tipova fleksibilnosti u okviru SIPROTEX programskog sistema za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa.

Takođe, razvijeni su hibridni pristupi pomoću kojih se omogućava pronalaženje globalnih optimuma kombinacijom dve optimizacione metode. Jedan takav primer dat je u [9] gde je opisana hibridna GA/SA metoda koja koristi prednosti genetskog algoritma i simuliranog kaljenja. Prikazani su rezultati za dva benčmark modela i krive konvergencije na kojima je izraženo poređenje dobijenih rezultata primenom GA, SA i hibridne GA/SA metode iz kojih se može zaključiti da GA pruža mnogo lošije rezultate u odnosu na ostala dva pristupa. U istoj literaturi interesantan je sistem za optimizaciju tehnološkog procesa zasnovan na web-u. Ovaj web sistem sastoji se od posebnog servisa za optimizaciju tehnološkog procesa i prikazivanje rezultata putem web browsera.

## 5. ZAKLJUČAK

U ovom radu ukratko su prezentovani osnovni problemi optimizacije tehnoloških procesa i prikaz odgovarajućih zadataka. Dat je prikaz ograničenja koja se nazivaju uslovima prethodjenja i čije razmatranje čini problem znatno kompleksnijim, kao i funkcija cilja za vrednovanje tehnoloških procesa, koje baziraju na troškovima i vremenu obrade. Ukratko je predstavljena primena genetskog algoritma kao efikasne metaheuristike za pronalaženje optimalnih rešenja tehnoloških procesa izrade proizvoda.

## 6. REFERENCE

- [1] Todić, V., Milošević, M., Lukić, D.: *Istraživanje mogućnosti razvoja integrisanih CAPP sistema primenom programskih sistema opšte namene*, Tehnika - Mašinstvo 2010, Vol. 65, No. 3, p.p. 36-44.
- [2] Denkena, B., Shpitalni, M., Kowalski, P., Molcho, G., Zipori, Y.: *Knowledge Management in Process Planning*, Annals of the CIRP, Vol. 56, p.p. 175–180, 2007.
- [3] Jun, W., Kuslak, A.: *Computational Intelligence in Manufacturing Handbook*, CRC Press LLC, USA, 2001.
- [4] Huang, W., Hu, Y., Cai, L.: *An effective hybrid graph and genetic algorithm approach to process planning optimization for prismatic parts*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 62, p.p. 1219-1232, 2011.
- [5] Wang, J., Du, B., Ding, H.: *A Modified*

*Genetic Algorithm(GA) for Optimization of Process Planning*, Journal of Computers, Vol. 6, p.p. 1430-1437, 2011.

- [6] Lukić, D., Todić, V., Milošević, M.: *Model of modern technological production preparation*, Journal Proceedings in Manufacturing Systems, 2010, Vol. 5, No. 1, p.p. 15-22, ISSN 2067-9238.
- [7] Lian, K., Zhang, C., Shao, X.: *Optimization of process planning with various flexibilities using an imperialist competitive algorithm*, International Journal of Adv Manuf Technology, Vol. 59, p.p. 815-828, 2011.
- [8] Dereli, T., Filiz, H.: *Optimisation of process planning functions by genetic algorithms*, Computers & Industrial Engineering, Vol. 36, p.p. 281-308, 1999.
- [9] Li, W. D., Ong, S. K., Nee, A.Y.C.: *Integrated and Collaborative Product Development Environment – Technologies and Implementations*, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore, 2006.
- [10] Petrović, M., Mitić, M., Vuković, N., Miljković, Z.: *Optimizacija fleksibilnih tehnoloških procesa primenom algoritma baziranog na inteligenciji roja i teoriji haosa*, 39. Jupiter konferencija, 35. Simpozijum, p.p. 122-129, Beograd, oktobar, 2014.
- [11] Borojević, S.: *Razvoj sistema za simultano projektovanje proizvoda i tehnoloških procesa*, Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2015.
- [12] Holland, J.H.: *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, University of Michigan Press, Ann Arbor, Michigan, 1975.
- [13] Sivanandam, S.N., Deepa, S.N.: *Introduction to Genetic Algorithms*, Springer-Verlag Berlin, 2008.

**Autori:** MSc Mića Đurđev, Doc. dr Mijodrag Milošević, Doc. dr Dejan Lukić, MSc Jovan Vukman, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet Tehničkih Nauka, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2346.

E-mail: [mdjurdjev@uns.ac.rs](mailto:mdjurdjev@uns.ac.rs)

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

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

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

**Doc. dr Stevo Borojević**, Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet, Vojvode Stepe Stepanovića 71, 78000 Banja Luka, Bosna i Hercegovina, Republika Srpska.

[stevo.borojevic@unibl.rs](mailto:stevo.borojevic@unibl.rs)

**Zahvalnica:** Rad predstavlja deo istraživanja na projektu TR 35025 koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja R. Srbije.



Sovilj-Nikic, I., Sovilj, B., Kovac, P., Sovilj-Nikic, S. Varga, G.

## IDENTIFICATION OF WEAR OF REAL HOB MILLING TOOLS

**Abstract:** Hob milling is most often applied in the machining of spur wheel teeth. Wear of hob milling tool, its nature and regulations of its changes in space and time during hob milling of spur wheel teeth are still insufficiently investigated. In order to assess the quality of hob milling tools a comparative examination of tool life and adequate uncoated and coated hob milling tools in machining of spur wheel teeth in production conditions is carried out. In this paper apart of the research, which refers to the identification of wear of hob milling tools is presented.

**Key words:** hob milling, real hob milling tools, tribomechanical systems, wear

### 1. INTRODUCTION

The occurrence of the power transmission units and movement dates back to ancient times. In China, Mesopotamia and Egypt parts and assemblies for various devices with toothed transmission elements were found. The origin of the gear is very old. Mysterious Chinese coach, "pointing to the South", which dates from 2700 BC used also spur wheels [1].

Power transmission units are parts of mechanical systems whose main task is transferring power from drive to executive parts or assemblies of the system, where changes of loads and speeds can be made. Power transmission unit can be divided into mechanical, hydrodynamic and pneumatic.

Mechanical transmission units can be: toothed, chain, friction, belts and belt and screw conveyors. Application of toothed gearings is very wide and significantly outperforms all other types of transmission units [2]. According to the position of the axis of rotation of conjugate gear all gear pairs can be classified into five types [3]. Simply performing, accurate kinematic transmission ratio, small size and high degree of efficiency (excluding worm gear units) are the advantages of toothed gearings. High stiffness in the transfer of power, vibrations and noise during operation are the disadvantages of toothed gearings [3, 4].

In the process of hob milling teeth and hollows between teeth are formed by removing the material from work piece.

On the Figure 1 [5] examples of tribomechanical systems are given, and with number 1 is marked the critical element of system or element that, in the process of contact, wears most significantly.

Tribological processes that occur in the process of

hob milling of teeth of spur wheels on the tooth-face and back surfaces of the teeth of hob milling tool develop under specific conditions. The effect of wear process of hob milling on the characteristics of the status and output effects of machining processes is large and extremely unfavorable.

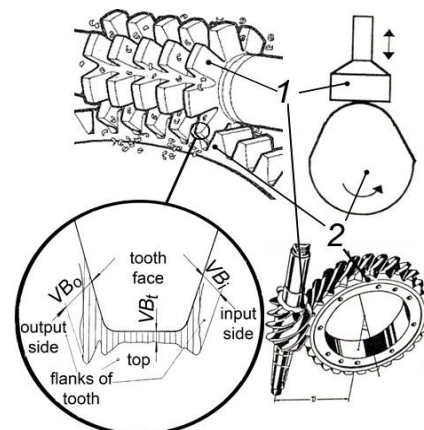


Fig. 1. Example of tribo-mechanical systems with basic elements 1 and 2 and a detail with wear parameters of hob milling tool

In industrialized countries, as well as in Serbia today through wear and corrosion resulting losses are expressed in billions. Lack of scientific knowledge in the field of hob milling as well as the present economic situation require further research of this process.

### 2. PARAMETERS OF WEAR OF REAL HOB MILLING TOOLS

The specific feature of geometric forms of hob milling tool and special complexity of the process of cutting and machining conditions make the process of hob milling tool significantly more

complex phenomenon in relation to most other cutting tools. A set of factors and parameters of machining system on which determines the wear of hob milling tools depends is numerous. This set includes geometric, mechanical, metallurgical and dynamic characteristics of the elements of the machining system and spectrum of cutting regimes and processing conditions (Figure 2 [5]).

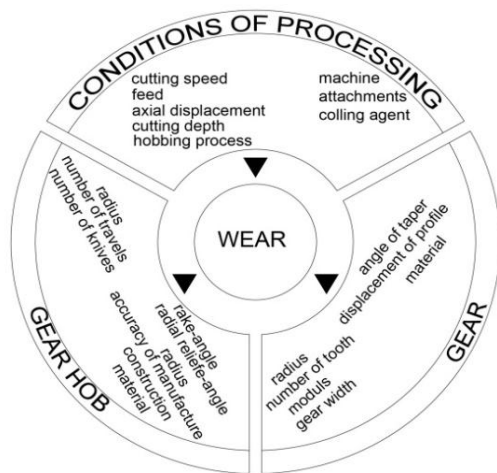


Fig. 2. Influential parameters on wear process of hob milling tool

Negative effects of wear is reflected primarily on the tool life of hob milling tool, but also on the productivity of the process of hob milling, cost of process of hob milling machining, cutting forces, the dynamic stiffness of a machining system, cutting temperature, the geometry of hob milling tool and some other characteristics and effects of machining process of hob milling.

The results of the tool wear tests should be used as a quantitative basis for optimization of hob milling process in order to achieve maximum productivity, ensuring qualitative features of machined gears and minimize costs after operation.

In the process hob milling tooth of spur wheels teeth tools are unequally loaded, and hence their development and forms of wear differ. Tooth-faces and back surfaces of tooth of hob milling tool are worn. Due to the variable cross-section of chips variable intensity of wear bandwidth on the back surface of the teeth is occurred, whereby the change does not take place linearly with fluctuations in chip cross section along the blade teeth. In the transitional radius from tip of tooth to the lateral concentrated wear is appeared (Figure 3 [6]). Wearing is particularly expressed in the transition from the tip of tooth to the output side of the blade and on the back surface side of the blade where the transition radius meets the side cutter. One of the causes of faster development of wear process in this area there is also the size of

radial relief angle. This angle in the connecting point of the transition radius and the output side of the blade reaches the minimum value. This point is even more endangered by the presence of small thickness of the cross section of chips. Specifically, in the case of small thickness of cutting, depending on the radius of the transition from the tooth-face to the back surface, the cutting process is carried out with negative rake angle, in which there are no conditions for the formation of chips. The result of the above mentioned is plastic deformations of the workpiece material and increased friction, which causes the release of large quantities of heat which increases the intensity of wear.

When defining a form of tool wear on the back surface may be adopted three parameters of wear:  $VB_o$  width of concentrated wear on the transition from output flank to the tip of tooth,  $VB_t$  bandwidth of wear along blade and  $VB_i$  width of concentrated wear on the transition from the input flank to the tip of tooth.

Wear on the tooth face of hob milling tool is not as emphasized as on the back surface. It is in the form of a crater. The depth of the crater is on the order of a couple of hundreds of millimeters. At the same tool life that is significantly smaller than the size of the back surface of which  $VB_o$  and  $VB_i$  are on the order of a few tenths of a millimeter. The reason for this is interrupted character of cutting, short contact time and lower thermal loads.

The layers usually occur at the output sides of the blade (Figure 3 [6]-section A-A).

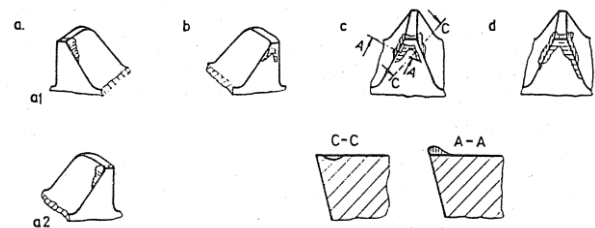


Fig. 3. Shape and position of wear zones on the hob milling tool tooth

When machining by hob milling tool from high speed steel tool wear on the back surface, was determined. Also, it is considered that hob milling tool is blunted when machined gear no longer meets the dimensional accuracy, shape or quality of the machined surface.

On the basis of numerous experimental measurements it was determined that as a criterion for evaluation of complete obtuseness of hob milling tool can adopt parameters  $VB_o$  and  $VB_i$

on the most blunting tooth. As parameter  $VB_o$  is significantly more prominent therefore  $VB_i$  is a parameter for a complete evaluation of obtuseness. However, when radioactive isotopes are applied in order to determine the intensity of wear or wear resistance of hob milling tools it was noticed that the development of wear process is easier to monitor using  $VB_i$  parameter.

### 3. MICROSCOPIC IDENTIFICATION OF WEAR OF REAL HOB MILLING TOOLS

In the experimental identification of the wear of real uncoated and coated hob milling cutters Signatone H100 microscope (Figure 4 [7]) was used. The construction of this microscope is based on a modular principle. This device is equipped with a camera for recording the results of tooth wear of hob milling cutters. Calibration is very important and has to be performed before using Motic Images Plus 2.0 ML software for analysis, measurement and editing in order to ensure the accuracy of the measurement results [8]. There are three methods of calibration, and in this study the calibration using circle was applied.

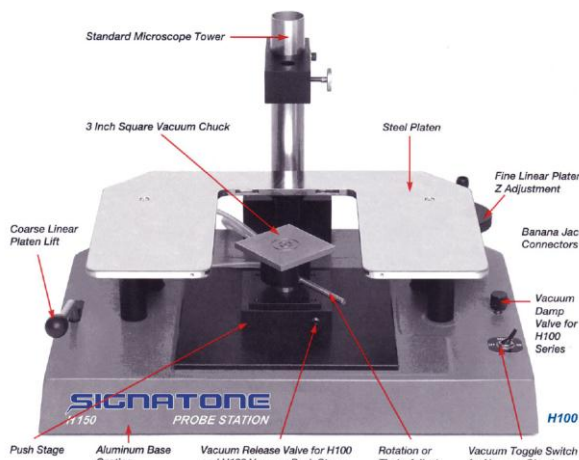


Fig. 4. Microscope for wear identification

This paper describes the microscopic identification of wear of real uncoated hob milling tool (Figure 5).



Fig. 5. Integral hob milling tool

The characteristics of this tool are: hob milling tool diameter: 68 mm, length: 107 mm, the angle of the spiral:  $1^{\circ}18'$ , the direction of the spiral: right, accuracy class: A, HS6-5-2-5, module: 1.5 mm, hardness: HRC63 and Manufacturer: Jugoalat.

Microscopic identification was carried for three parameters  $VB_o$  width of concentrated wear on the transition from the output flank to tip of tooth,  $VB_t$  bandwidth of wear along the tip blade and  $VB_i$  width of concentrated wear on the transition of the input flank to the tip of tooth. Based on the results the corresponding diagrams are plotted. Figures 6 and 7 show the measured values of the parameters of wear for the tooth 1 and tooth 2 on the comb 1 of uncoated real hob milling tool.

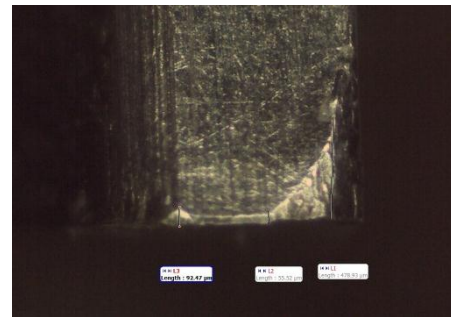


Fig. 6. Measured values of wear height for comb 1 and tooth 1

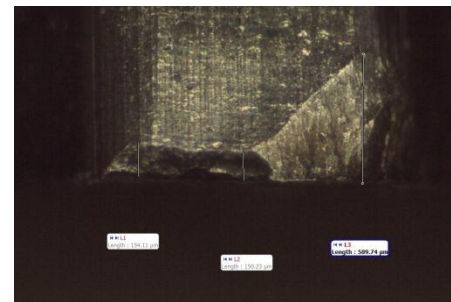


Fig. 7. Measured values of wear height for comb 1 and tooth 2

Values of parameter  $VB_o$  for that tool are given in Figure 10. This tool is used for roughing of spur wheel teeth. It can be noticed that the wear parameter  $VB_o$  is bigger on the left and right part of the tool and it is a considerably smaller in the middle of the tool on almost all combs. The disparity of wear of combs and teeth on them is obviously. In this case, one can see the inadequacy of using the whole length of the real hob milling tool for teeth machining.¶

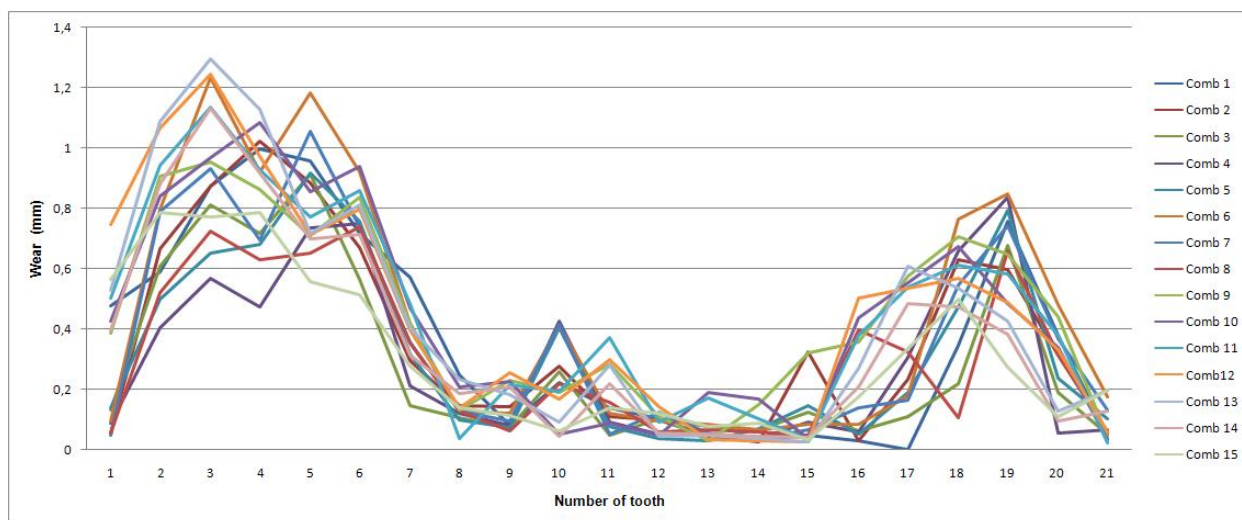


Fig. 8. Values of wear height for right flank of back surface of tooth of integral hob milling

#### 4. CONCLUSION

Modern methods for monitoring of process of spur wheel teeth machining play an important role in the processing of results and analysis of tool wear process.

Operations of teeth machining are usually the bottleneck in the production of spur wheels. A large number of controlled and uncontrolled factors affect on the process of hob milling make this method of machining extremely complex.

A huge unevenness of width of concentrated wear of hob milling tool teeth reaches to the small utilization of these very expensive tools, therefore this problem deserves to pay special attention in further research.

#### 5. REFERENCES

- [1] Ivković B., Rac A., *Tribologija*, Kragujevac, 1995.
- [2] Marjanović N., *Optimizacija zupčastih prenosnika snage sa stalnim položajem osa vratila, dissertation*, University of Kragujevac, 1997.
- [3] Miltenović V., Ognjanović M, *Mašinski elementi II: elementi za prenos snage*, Niš, Beograd, 1995.
- [4] Tanasijević S., *Tribološki ispravno konstruisanje*, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2004.
- [5] I. Sovilj-Nikić, B. Sovilj, M. Kandevo, V. Gajić, S. Sovilj-Nikić, S. Legutko, P. Kovač, *Tribological Characteristics of Hob Milling Tools from Economical Aspects*, *Journal of the Balkan Tribological Association*, Scientific Bulgarian Communications Ltd., Bulgaria, 2012.
- [6] Sovilj, B., *Identifikacija triboloških procesa*

*pri odvalnom glodanju*, Novi Sad, 1988.

[7] [www.signatone.com](http://www.signatone.com)

[8] [www.motic.com](http://www.motic.com)

**Authors: Ivan Sovilj-Nikić, prof. dr Bogdan Sovilj, prof. dr Pavel Kovač**, University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Phone.: +381 21 485 2343, Fax: +381 21 454-495.

**dr Sandra Sovilj-Nikić**, Iritel a.d. Beograd

**Prof. dr Gyula Varga**, University of Miskolc, Hungary

E-mail: [inikic@uns.ac.rs](mailto:inikic@uns.ac.rs)

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

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

[sandrasn@eunet.rs](mailto:sandrasn@eunet.rs)

[ggytvar@uni-miskolc.hu](mailto:ggytvar@uni-miskolc.hu)

**Acknowledgment:** The research was funded by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia, within the projects TR 35015 and III 43008, and it is also the result of the cooperation within CEEPUS project CIII- RO-0058-07-1415 supported by Secretary of Science and Technological Development of the Autonomous Province of Vojvodina.



**Skakun, P., Plančak, M., Milutinović, M.**

## **PRIMENA RELAKSIRAJUĆIH OTVORA U PROCESU HLADNOG ISTISKIVANJA**

**Rezime:** *Primena relaksirajućih otvora u procesima hladnog istiskivanja metala omogućava snižavanje potrebne deformacione sile što posebno utiče na povećanje tačnosti gotovog dela i smanjenje opterećenja alata u procesu. U radu je predstavljeno teorijsko rešenje određeno metodom gornje granice na osnovu koga se određuje deformaciona sila potrebna u procesu radijalnog istiskivanja ozubljenog elementa sa pravim bokovima u radijalnom pravcu. Relaksirajući otvor je primenjen u centru priprema. Na osnovu teorijskog rešenja je pokazano da primena centralnog otvora u pripremu za ovaj tip ozubljenog elementa može da dovede do smanjenja potrebne deformacione sile*

**Cljučne reči:** *hladno istiskivanje, relaksirajući otvori, gornja granica*

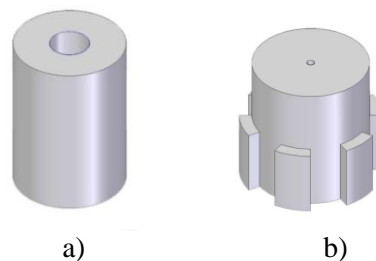
### **1. UVOD**

Primenom metode hladnog istiskivanja ostvaruje se ušteda u materijalu, vremenu proizvodnje i energiji potrebnoj za proces, ostvaruje se visok kvalitet površine proizvedenog dela i postižu se poboljšana mehanička svojstva materijala, zbog čega se ova metoda veoma često susreće u proizvodnim pogonima. Postoji više vrsta istiskivanja (istosmerno, suprotnosmerno, kombinovano, radijalno), a osnovni kriterijum za podelu je smer tečenja materijala u odnosu na smer kretanja alata. Kod izrade zupčanika i ozubljenih elemenata često se koristi radijalno istiskivanje kod koga se cilindrični pripremak pod pritiskom dejstvom žiga istiskuje u radijalne otvore u matrici. Jedan od nedostataka ovog procesa je visoka vrednost deformacione sile koja se javlja na kraju procesa istiskivanja, a vezana je za završno popunjavanje gravure alata, tzv. „corner filling“. Visoke vrednosti sile na kraju procesa mogu dovesti do toga da gravura alata ne bude u potpunosti ispunjena i da dobijeni deo nema zahtevani oblik i dimenzije, kao i da nepotrebno visoka deformaciona sila utiče na intenzivnije habanje alata koje dovodi do preranog zamora ili potrebe za češćim održavanjem. Svi ovi faktori utiču da se povećaju izdaci vezani za proces što utiče i na cenu gotovog dela. Bitno je napomenuti da smanjenje potrebne deformacione sile utiče i na smanjenje ukupnih elastičnih deformacija obradnog sistema što za posledicu ima i povećanu tačnost obratka.

Jedan od načina da se vrednost ukupne deformacione sile smanji je da u pripremu ili alatu postoje relaksirajući otvori. Relaksirajući otvori omogućuju materijalu da tokom procesa deformisanja osim što popunjava predviđenu

gravuru alata, popunjava i postojeći otvor. Na taj način dolazi do podeljenog tečenja materijala, koje dovodi do smanjenja potrebne deformacione sile. Podeljeno tečenje će dovesti do formiranja neutralne površine u obratku, odnosno površine na kojoj materijal menja smer tečenja.

U Laboratoriji za tehnologiju plastičnog deformisanja Fakulteta tehničkih nauka, Univerziteta u Novom Sadu, već dugi niz godina se proučavaju procesi istiskivanja ozubljenih elemenata [1,2,3,4]. U ovom radu biće prikazano teorijsko rešenje određeno metodom gornje granice za određivanje deformacione sile potrebne za radijalno istiskivanje dela sa pravim bokovima u radijalnom pravcu kod koga se relaksirajući otvor nalazi u centru priprema. Teorijsko rešenje je pokazalo da postojanje relaksirajućeg otvora dovodi do smanjenja potrebne sile u procesu istiskivanja.

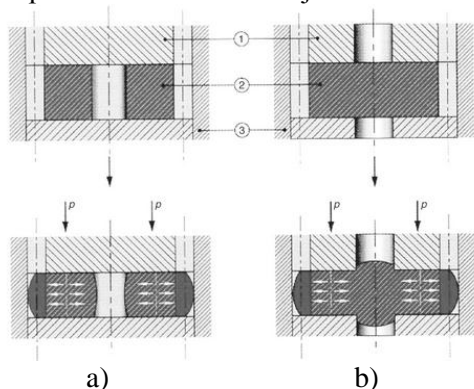


Sl. 1. a) Pripremak sa centralnim otvorom i b) ozubljeni element sa pravim bokovima u radijalnom pravcu

### **2. PRIMENA RELAKSIRAJUĆIH OTVORA**

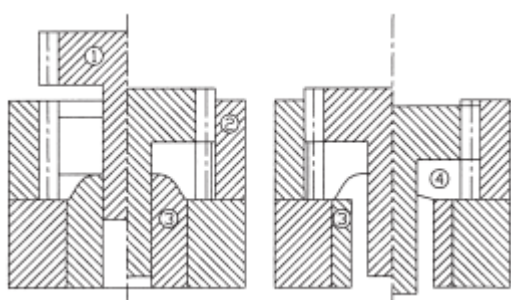
Među prvima ideju o relaksirajućim otvorima su primenili Ogha i Kondo. Prvo su ovaj kocept primenili kod istiskivanja jednostavnih aksijalno simetričnih delova [5], da bi kasnije relaksirajući otvori bili primenjeni u istiskivanju ozubljenih

elemenata [6]. Predložili su dva načina da se ostvari podeljeno tečenje materijala. Kod prvog načina (slika 2a) otvor je bio u centru pripremk a i tokom procesa deformisanja je dolazilo do smanjivanja tog otvora (eng. flow relief hole), dok su kod drugog načina (slika 2c) otvori postojali u žigu i matrici (eng. flow relief axis). Proces su analizirali metodom gornje granice. Teorijski rezultati su pokazali da postojanje relaksirajućeg otvora dovodi do smanjenja potrebne deformacione sile, što su potvrdila i eksperimentalna istraživanja.



Sl. 2. Relaksirajući otvori u pripremk (a) i alatu (b)

Choi i Choi [7] su predložili tehnologiju toplog kovanja zupčanika koja bi se sastojala iz dve operacije (slika 3). U prvoj operaciji izbacivač je konveksan tako da se nakon prve operacije formira konkavna donja površina dela. U drugoj operaciji upravo ta površina preuzima ulogu relaksirajućeg otvora, a izbacivač mora da se zameni novim koji je ravan. Relaksirajući otvor formiran na ovaj način utiče na smanjenje potrebne deformacione sile.



1 – Ozubljeni žig 2 – Ozubljena matrica  
3- Izbacivač 4 - Obradak

a) Prva operacija b) Druga operacija

Sl. 3. Toplo kovanje zupčanika u dve operacije

U radu [8] je analiziran uticaj relaksirajućih otvora u kombinaciji sa posebnom konstrukcijom alata, dok je Behrens sa saradnicima [9,10] relaksirajući otvor iskoristio za kompenzaciju viška materijala tokom procesa toplog istiskivanja zupčanika (slika 4).



Sl. 4. Primena relaksirajućeg otvora u alatu kod toplog kovanja cilindričnih zupčanika sa kosim zubima [9,10]

### 3. ANALIZA PROCESA METODOM GORNJE GRANICE

Izraz koji se najčešće koristi za određivanje ukupne snage potrebne za deformisanje kod primene metode gornje granice ima sledeći oblik:

$$\dot{W}_t = \dot{W}_d + \dot{W}_s + \dot{W}_f = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_s \int_V \sqrt{\frac{1}{2} \dot{\epsilon}_{ij} \dot{\epsilon}_{ij}} dV + \int_{A_s} \tau_s |\Delta v| dA_s + \int_{A_f} \tau_f |\Delta v| dA_f \quad (1)$$

gde je:

$\dot{W}_t$  - ukupna snaga potrebna za deformisanje (engl. total power)

$\dot{W}_d$  - snaga unutrašnjeg deformisanja (engl. power for internal deformation)

$\dot{W}_s$  - snaga potrebna za savladavanje diskontinuiteta brzine na granicama između oblasti u obratku (engl. shear loss)

$\dot{W}_f$  - snaga potrebna za savladavanje otpora spoljašnjeg trenja (engl. friction loss)

Prvi korak u primeni metode gornje granice je da se za proces koji se analizira obradak odnosno telo koje se deformiše podeli na nekoliko oblasti u kojima se razlikuju komponente polja brzine i da se za svaku od tih oblasti pretpostave komponente polja brzine. Podela na zone za analizirani deo je izvršena kako je prikazano na slici 5. Pretpostavljene komponente polja brzine određene su na osnovu sledećih izraza:

Zona 1

$$v_z = -\frac{v_0}{H} z \quad v_\theta = 0 \quad v_r = -\frac{v_0}{2H} \frac{r^2 - r_n^2}{r} \quad (2)$$

Zona 2

$$v_z = -v_0 \quad v_\theta = 0 \quad v_r = 0 \quad (3)$$

Zona 3

$$v_z = -\frac{v_0}{h_t} z \quad v_\theta = -\frac{v_0}{h_t} r(\alpha - \theta) \quad v_r = 0 \quad (4)$$

Zona 4

$$v_z = -\frac{v_0}{h_t} z \quad v_\theta = -\frac{v_0}{h_t} \frac{\alpha - \beta}{\beta} r \theta \quad v_r = \frac{v_0}{h_t} \frac{\alpha}{2\beta} \frac{r^2 - r_n^2}{r} \quad (5)$$

Zona 5

$$v_z = 0 \quad v_\theta = 0 \quad v_r = \frac{v_0}{h_t} \frac{\alpha}{2\beta} \frac{r_0^2 - r_n^2}{r} \quad (6)$$

Veličine koje figurišu u prethodnim izrazima su

H – visina obratka

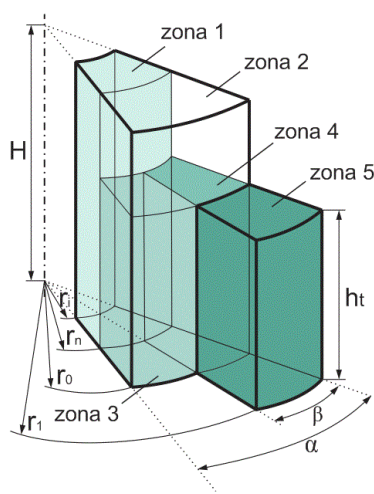
$v_0$  – brzina kretanja žiga

$h_t$  – visina ozubljenog dela

$r_0$  – poluprečnik pripremk

$r_n$  – neutralni poluprečnik

$\alpha, \beta$  – uglovi koji definišu veličinu polovine zuba i međuzublja ( $\alpha$ ), odnosno polovinu zuba ( $\beta$ )

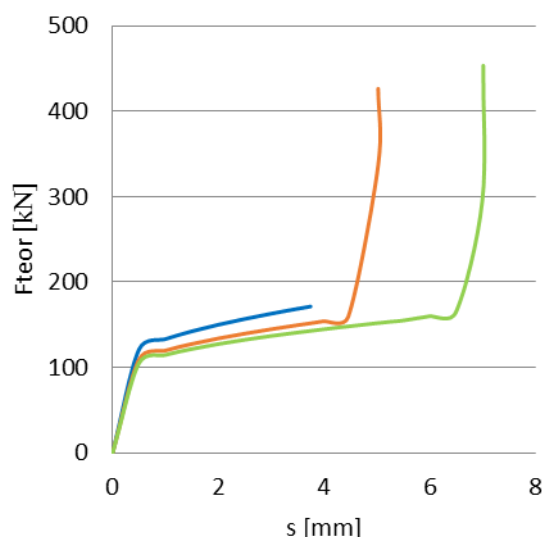


Sl. 5. Podela obratka na zone

Na osnovu pretpostavljenih komponenti polja brzine i izraza (1) određuje se izraz za ukupnu snagu potrebnu za deformisanje u kojoj figuriše  $r_n$ , poluprečnik neutralne površine kao nepoznata veličina. Položaj neutralne površine nije konstantan tokom procesa deformisanja. Poluprečnik neutralne površine  $r_n$  će imati onu vrednost za koju ukupna potrebna snaga deformisanja ima minimum, odnosno neutralna površina u toku procesa deformisanja zauzima onaj položaj koji omogućava deformisanje se najmanjom potrebnom energijom. Kada se iz ovog uslova odredi poluprečnik neutralne linije, odnosno položaj neutralne površine, moguće je odrediti i vrednost potrebne deformacione sile.

#### 4. REZULTATI I ANALIZA REZULTATA

Na slici 6 prikazan je dijagram promene deformacione sile u zavisnosti od hoda alata određen na osnovu teorijskog rešenja. Na dijagramu je prikazana i deformaciona sila potrebna u konvencionalnom istiskivanju (kada ne postoji otvor u obratku, pun deo) određena takođe na osnovu metode gornje granice. Prema teorijskom rešenju u prvom delu procesa materijal istovremeno ispunjava centralni otvor i formira zube. U trenutku kada su zubi formirani centralni otvor još nije u potpunosti ispunjen i tom delu procesa odgovara deo krive u kome dolazi do naglog porasta deformacione sile. Na dijagramu se vidi da potrebna deformaciona sila za proces radijalnog istiskivanja ozubljenog elementa opada sa povećanjem prečnika relaksirajućeg otvora u delu koji se odnosi na formiranje zuba, dok se u delu procesa koji se odnosi na završno popunjavanje otvora dobija nešto veća sila kod dela koji ima veći početni relaksirajući otvor.



— pun deo — OP 5 mm — OP 8 mm

Sl. 6. Promena deformacione sile u zavisnosti od hoda alata određena na osnovu teorijskog rešenja

#### 5. ZAKLJUČAK

U radu je prikazana analiza procesa radijalnog istiskivanja ozubljenog elementa sa pravim bokovima u radijalnom pravcu kada u pripremk postoji relaksirajući otvor. Teorijsko rešenje određeno metodom gornje granice pokazalo je da primena relaksirajućeg otvora u pripremk za ovaj tip ozubljenja može dovesti do smanjenja potrebne deformacione sile u procesu. Dalja istraživanja treba da uključe eksperimentalnu proveru

vrednosti deformacione sile, kao i numeričku simulaciju procesa. Dodatna saznanja o procesu omogućavaju dalje poboljšanje teorijskog rešenja kako bi i deo procesa kada dolazi do završnog popunjavanja gravure („corner filling“) takođe bio obuhvaćen. Prikazano teorijsko rešenje predstavlja dobru osnovu za dalju analizu procesa.

## 6. REFERENCE

- [1] Plančak, M., Vilotić, D., Skakun P.: *A study of radial gear extrusion*, International Journal of Forming Processes, Vol 6, No 1, pp. 71-86, 2003.
- [2] Skakun, P., Škunca, M., Plančak, M.: *Radial gear extrusion modelling: analytical, numerical and experimental approach*, Proceedings of the 8th ESAFORM conference on material forming, pp. 581-584, Bucharest, Romania, April 2005,
- [3] Škunca, M., Skakun, P., Keran, Z., Šidanin, L., Math, M. D.: *Relations between numerical simulation and experiment in closed die forging of gear*, Journal of Materials Processing Technology, Vol 177, pp. 256-260 2006.
- [4] Skakun, P.: *A contribution to the investigation of divided material flow influence to the process parameters of complex shapes cold extrusion*, PhD thesis, Faculty of technical sciences, University of Novi Sad, 2015.
- [5] Ogha K., Kondo K.: *Research on precision die forging utilizing divided flow (First report, theoretical analysis of processes utilizing flow relief-axis and flow relief-hole)*, Bulletin of the JSME, Vol 25, No 209, pp. 1828-1835, November 1982.
- [6] Ogha, K., Murakoshi, F., Ando, H., Kondo, K.: *Precision cold die forging of actual steel gear thoothed products utilizing divide flow*, Proceeding of 5th ICTP, pp. 331-339, Ohio, USA, 1996.
- [7] Choi, J.C., Choi, Y.: *Precision forging of spur gears with inside relief*, International Journal of Machine Tool & Manufacture Vol 39, pp. 1575-1588, 1999.
- [8] Zuo, B., Wang, B., Li, Z., Zheng, M., Zhu, X.: *Design of relief-caviti in closed-precision forging of gears*, Journal of Central South University, Vol 22, pp. 1287-1297, 2015.
- [9] Behrens, B. A. et al.: *Anforderungen an Umformwerkzeuge für das gratlose Präzisionsschmieden*, 2. AutoMetForm/17. Sächsische Fachtagung Umformtechnik Tagungsband Freiberg, pp. 299-311, November 2010.
- [10] Behrens B.A. et al.: *Comprehensive materials Processing*, Volume 3, Chapter Near-Net and Net Shape Forging, Elsevier, pp. 427-446, 2014.

**Autori: Doc. dr Plavka Skakun, Prof. dr. Miroslav Plančak, asistent mr Dejan Movrin, doc. dr Mladomir Milutinović**, Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Institut za Proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2513, Fax: +381 21 454-495.

E-mail: [plavkas@uns.ac.rs](mailto:plavkas@uns.ac.rs)  
[plancak@uns.ac.rs](mailto:plancak@uns.ac.rs)  
[movrin@uns.ac.rs](mailto:movrin@uns.ac.rs)  
[mladomil@uns.ac.rs](mailto:mladomil@uns.ac.rs)

**Štrbac, B., Župunski, Lj., Radlovački, V., Ačko, B., Spasić – Jokić, V., Hadžistević, M.**

**PROCENA MERNE NESIGURNOSTI PRI MERENJU RAVNOSTI NA KMM  
PRIMENOM MONTE KARLO SIMULACIJE**

***Rezime:** Zbog svoje fleksibilnosti, preciznosti, tačnosti i nivoa automatizovanosti koordinatne merne mašine zauzimaju vodeće mesto u proizvodnoj metrologiji. Kako se u osnovi baziraju samo na uzorkovanju koordinata tačaka mogu da izmere bilo koju makro toleranciju naznačenu na crtežu. Među različitim tolerancijama oblika, tolerancija ravnosti je često prisutna na tehničkoj dokumentaciji. Iako se odlikuju visokim metrološkim karakteristikama ovi merni instrumenti poseduju grešku merenja. Pošto je u praksi greška merenja generalno nepoznata, kao kvantitativni pokazatelj greške merenja daje se merna nesigurnost. Opšte je mišljenje da je Monte Karlo simulacije najbolji metod za numericko ocenjivanje merne nesigurnosti. U ovom radu će biti prikazan razvijeni model, za konkretnu mernu mašinu i radni predmet, za procenu merne nesigurnosti pri merenju ravnosti na KMM.*

***Ključne reči:** ravnost, merna nesigurnost, koordinatna metrologija, Monte Karlo simulacija*

## **1. UVOD**

Zbog svoje fleksibilnosti, preciznosti, tačnosti i nivoa automatizovanosti koordinatne merne mašine (KMM) su dominantan merni instrument u proizvodnoj metrologiji. KMM, sa pogodnom opremom, mogu se koristiti za merenje praktično bilo koje makro tolerancije naznačene na tehničkoj dokumentaciji, pošto KMM u osnovi uočava jedino koordinate tačaka koje se nalaze na površini merenog predmeta. Kada su koordinate tačaka određene, nezavisnom softverskom analizom, određuju se idealni asocijativni elementi kao što su linija, krug, ravan, itd. Određivanje asocijativnih elemenata se vrši primenom odgovarajućih algoritama na koordinate uzorkovanih tačaka.

Ravan oblik je jedan od najčešćih oblika čiju je specifikaciju potrebno proveriti. Nakon uzorkovanja konačnog broja tačaka, greška ravnosti se može odrediti prema dva asocijativna kriterijuma: najmanji kvadrati (LS) i minimalna zona (MZ) [1]. LS metoda je superiornija u odnosu na MZ sa stanovišta jednostavnosti i vremena računanja. LS generalno precenjuje grešku oblika i samim tim može dovesti do odbacivanja dobrih delova dok MZ teži da potceni grešku oblika i veoma je osetljiva na pikove koji mogu, ako se ne primete, dovesti do loših rezultata. LS ne prati pažljivo standarde i ne može da garantuje da je rešenje minimalne zone specificirano u standardu [2,3]. Iako standard preporučuje da se tolerancije oblika ocenjuju na osnovu koncepta minimalne zone, u ovom radu će se procena vršiti metodom LS.

Svako merenje poseduje nesigurnost koja je

povezana s njim. Rezultat merenja ima smisla jedino ako je dat zajedno sa iskazanom nesigurnosti. GUM definiše nesigurnost (merenja) kao parametar, koji je povezan sa rezultatom merenja, i koji karakteriše disperziju vrednosti koja se razumno može prepisati izmerenoj veličini [4]. Nesigurnost se može opisati kao verovatnoća raspodele vrednosti merene veličine, koja nam dozvoljava da odredimo granice merene veličine sa bilo kojim nivom poverenja. Ove granice definišu takozvanu proširenu nesigurnost.

Procena merne nesigurnosti kod KMM merenja predstavlja kompleksan zadatak zbog niza faktora i njihovih interakcija koji na nju utiču. Postoji opšte mišljenje da je Monte Karlo simulacija najbolji metod za numericko ocenjivanje nesigurnosti, i stoga se ova simulaciona metoda primenjuje za procenu nesigurnosti pri merenju ravnosti na KMM.

## **2. METODOLOGIJA**

Postoji mnogo razvijenih modela za procenu merne nesigurnosti na KMM čiji princip rada se zasniva na Monte Karlo simulaciji. Suština ovih metoda je modeliranje mašine i mernog procesa koji se koriste da oponašaju realnu koordinatnu mernu mašinu. Među prvim razvijenim rešenjima može se izdvojiti koncept Virtuelne koordinatne merne mašine (VKMM) razvijene od strane nemačkog PTB-a, slika 1 [5]. Virtuelna koordinatna merna mašina oponaša strategiju merenja i fizičko ponašanje KMM kao dominantne činioce nesigurnosti merenja. Sprovođenje merenja preko simulacije bi trebalo da uključi sve aspekte realnog merenja, međutim,

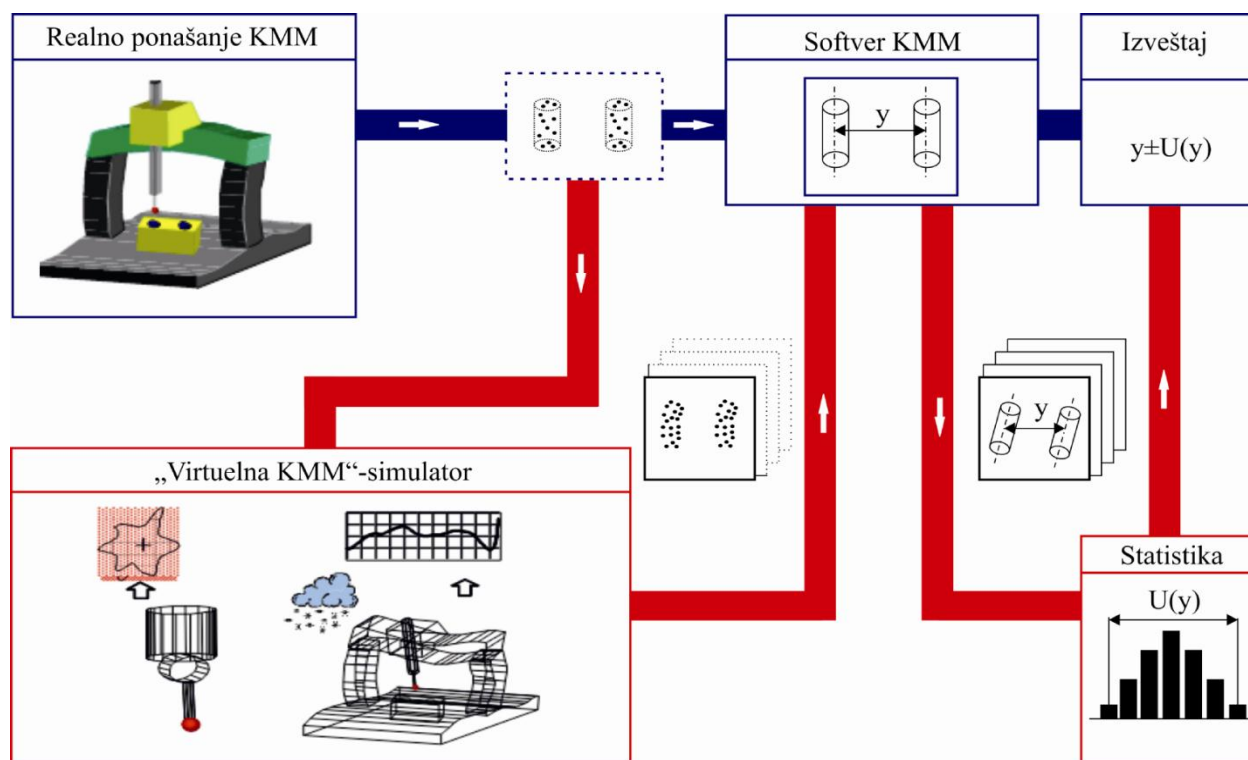


u praktičnim primerima VKMM ne može da obuhvati sve činioce nesigurnosti. Ova činjenica predstavlja glavni nedostatak ovih simulacionih alata. Balsamo i ostali su nazvali svoj koncept za procenu merne nesigurnosti KMM preko Monte Karlo simulacije ekspertna koordinatna merna mašina (EKMM). Princip rada EKMM se sastoji od dva konceptualna koraka, tj. nesigurnosti pojedinačnih koordinata tačaka i širenje ove nesigurnosti kroz program dela [6]. Sladek i Gaska su razvili simulacioni model za procenu merne nesigurnosti koristeći LaserTraker za opis nesigurnosti svake tačke u mernoj zapremini KMM [7]. Kruth je svoj simulacioni model bazirao na uključivanju greške oblika kružnih primitiva kao jednih od najuticajnijih činilaca nesigurnosti i modelovanju geometrijskih grešaka KMM i grešaka senzora [8]. Rost i ostali su razvili model za procenu merne nesigurnosti pri merenju zupčanika zasnovan na Monte Karlo metodi [9]. Wen i ostali su koristili Monte Karlo za procenu merne nesigurnosti tako što su nesigurnost svake uzorkovane tačke procenili na osnovu poznatih sistematskih uticaja [10].

Na osnovu dosadašnjih istraživanja može se zaključiti da je primena Monte Karlo metode opravdana samo u slučaju kada je proces merenja adekvatno opisan matematičkim modelom. Ulazi u ovaj model, činioci nesigurnosti, moraju biti vrednovani preko podataka dobijenih eksperimentalnim putem. Tako se u tu svrhu

koriste razni etaloni (referentna sfera, ploča sa kuglama, ploča sa otvorima, itd) i merni instrumenti veće klase tačnosti kao što je na primer interferometar. Na osnovu ovih eksperimenata se mogu opisati geometrijske greške KMM i greške senzora dok ostali činioci nesigurnosti (strategija merenja, greška oblika radnog predmeta, fitovanje) ostaju „ne – pokriveni“.

U ovoj pilot studiji vrši se procena merne nesigurnosti pri merenju ravnosti plan – paralelne pločice koja predstavlja etalon ravnosti. Greška oblika i interakcija greške oblika sa brojem i položajem mernih tačaka se može zanemariti u proceni. Ulaz u model biće funkcije raspodele koordinata uzorkovanih tačaka (x,y,z) dobijene ponavljanjem uzorkovanja iste tačke. Na ovaj način su uvedene geometrijske greške KMM i greške nastale usled temperaturnih efekata. Pošto x, y i z koordinate imaju normalnu raspodelu ulazi u model su srednje vrednosti i standardne devijacije. Na koordinatu z je dodata uniformna raspodela nesigurnosti kalibracije plan paralelne pločice. Iz pomenutih raspodela generisano je N Monte Karlo uzorkovaja u cilju dobijanja N referentnih ravni najmanjih kvadrata iz kojih se određuje greška ravnosti. Ukupna nesigurnost će predstavljati 95% interval poverenja izlazne funkcije raspodele verovatnoće. Testiranje predloženog modela će biti izvršena prema ISO 15530-4 [11].

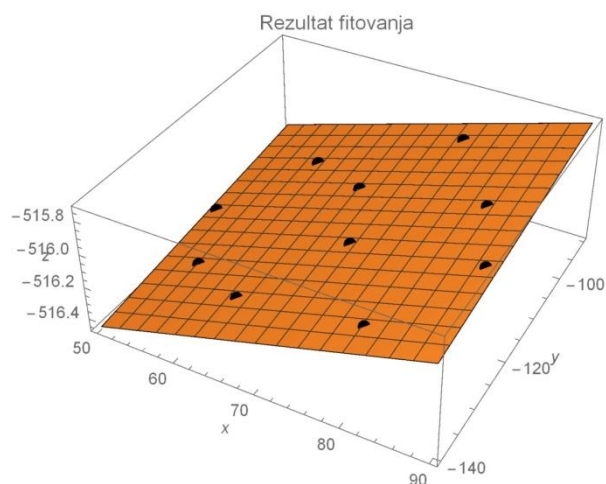


Sl. 1. Koncept Virtuelne koordinatne merne mašine [5]

### 3. PROCENA MERNE NESIGURNOSTI – PRIMER SLUČAJA

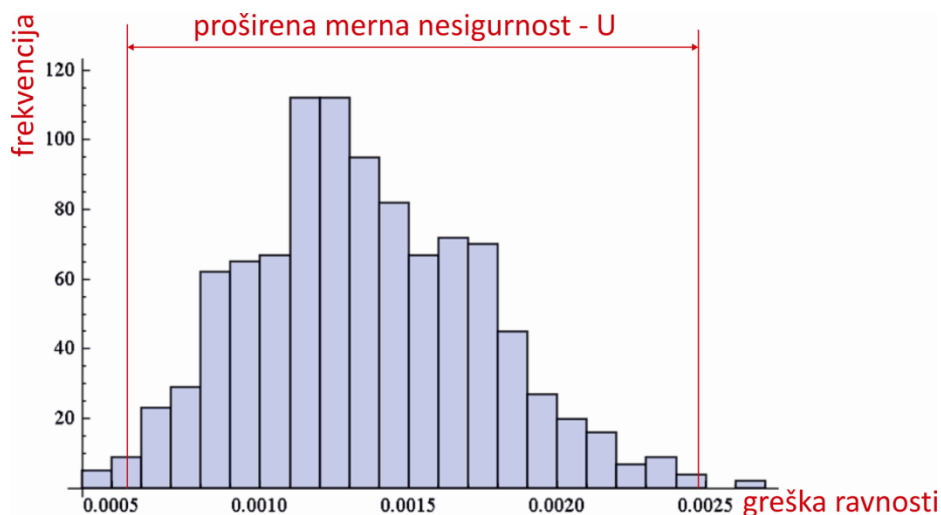
Procena merne nesigurnosti je vršena na primeru plan-paralelne pločice  $d=50\text{mm}$  i specificirane greške ravnosti  $\delta=0.068\mu\text{m}$ . Kalibracija ravnosti je vršena pomoću interferometra Zygo Verifire MST i dobijeno je da je  $U_{cal}=0.02\mu\text{m}$ . Merenje je vršeno na koordinatnoj mernoj mašini Carl Zeiss UMS 850 u Laboratoriji za dimenzionalnu metrologiju na Mašinskom Fakultetu u Mariboru. Maksimalna dozvoljena greška ( $MPE_E$ ) je  $2.1+L/330\mu\text{m}$  ( $L$  je dužina merenja iskazana u mm). Radni predmet je meren u 10 tačaka. Na osnovu ponovljenih merenja koordinata za svaku tačku, definisane su Gausove raspodele za  $x_i, y_i, z_i$  ( $i=1,2,3,\dots,10$ ). Gausove raspodele su definisane na osnovu izračunatih srednjih vrednosti  $\bar{x}_i, \bar{y}_i, \bar{z}_i$  i standardnih devijacija  $\sigma_{x_i}, \sigma_{y_i}, \sigma_{z_i}$ . Za svaku raspodelu generiše se (simulira) uzorak od  $N$  elemenata ( $N=10000$ ). Za prvu vrednost iz  $N$  skupa metodom najmanjih kvadrata se odredi jednačine referentne ravni i na osnovu nje greška ravnosti (slika 2).

Zatim je uzeta druga uzorkovana vrednost za  $(x_1, y_1, z_1), \dots, (x_n, y_n, z_n)$  tako da su dobijene koordinate za novih  $n$  tačaka na osnovu kojih je urađeno fitovanje kako bi se dobila nova jednačina ravni. Za novu jednačinu ravni je određena nova greška ravnosti metodom najmanjih kvadrata.



Sl. 2. Određivanje referentne ravni i greške ravnosti

Postupak je ponovljen za svih  $N$  uzorkovanih vrednosti iz Gausovih raspodela za tako da je dobijeno  $N$  jednačina ravni odnosno  $N$  vrednosti za grešku ravnosti. Na osnovu dobijenih  $N$  vrednosti za grešku ravnosti je konstruisan histogram frekvencija prikazan na slici 3. 95% interval poverenja na prikazanom histogramu, tj. merna nesigurnost iznosi  $U=0.0015063$



Sl.3. Raspodela frekvencija greške ravnosti – proširena merna nesigurnost  $U$

#### 3.1 Testiranje predloženog modela

U skladu sa preporukama ISO 15530-4:2008 koja se odnosi na metod testiranja softvera za procenu nesigurnosti, rezultati merenja su testirani nasuprot proširenim nesigurnostima procenjenim od strane predloženog modela.

Sledeći kriterijum je potrebno zadovoljiti:

$$\frac{|\bar{y} - y_{cal}|}{\sqrt{U_{cal}^2 + U^2}} \leq 1$$

gde  $\bar{y}$  označava srednju vrednost greške ravnosti,  $y_{cal}$  grešku ravnosti navedenu u kalibracionom sertifikatu,  $U_{cal}$  nesigurnost iz kalibracionog sertifikata i  $U$  je proširena merna nesigurnost dobijena predloženim modelom. Na osnovu eksperimentalnih rezultata koja podrazumevaju merenje i procenu greške ravnosti na KMM nekoliko puta u cilju pronalazjenja  $\bar{y}$  zadovoljen je postavljeni kriterijum.

#### 4. ZAKLJUČAK

Rezultat merenja bez izjavljene nesigurnosti je nepotpun i ne može se dokazati usklađenost/neusklađenost sa specifikacijom. Monte Karlo metoda je veoma efikasan simulacioni alat za procenu merne nesigurnosti naročito kod KMM zbog postojanja niza faktora u njihovih interakcija koji utiču na nesigurnost. Primena Monte Karla podrazumeva kreiranje matematičkog modela procesa merenja. U ovom radu je kreiran model za procenu nesigurnosti pri merenju ravnosti koji je isključio nekoliko bitnih činilaca. Testiranje koje preporučuje standarda je pokazalo ispravnost modela. Dalje istraživanja će se fokusirati na interakcije KMM nesigurnosti sa veličinom uzorkovanja, raspodelom uzorkovanja i veličinom greške oblika.

#### 5. REFERENCE

- [1] ISO/TS 12781-2: „Geometrical product specifications (GPS) - Flatness - Part 2: Specification operators“, ISO, Geneve, 2011.
- [2] Badar, M.A., Raman, S., Pulat, P.S.: „Intelligent search-based selection of sample points for straightness and flatness estimation“, Journal of Manufacturing Science and Engineering. Vol. 125, pp. 263–271, 2003.
- [3] Samuel, G.L., Shunmugam, M.S.: „Evaluation of straightness and flatness error using computational geometric techniques“, Computer Aided Design, Vol. 31, pp. 829–843, 1999.
- [4] ISO/IEC Guide 98-3:2008: „Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)“. ISO/IEC, 2008.
- [5] Trenk, M., Franke, M. & Schwenke, H.: *The "virtual CMM" a software tool for uncertainty evaluation - Practical application in an accredited calibration lab*, In ASPE Summer Topical Meeting on Uncertainty Analysis in Measurement and Design. State College, Pennsylvania, USA, 2004.
- [6] Balsamo, A., Di Ciommo, M., Mugno, R., Rebaglia, B.I., Ricci, E., Grella, R.: „Evaluation of CMM Uncertainty Through Monte Carlo Simulations“, CIRP Annals - Manufacturing Technology Vol. 48, No. 1, pp. 425-428, 1999.
- [7] Sladek, J., Gaska, A.: „Evaluation of Coordinate Measurement Uncertainty with Use of Virtual Machine model based on Monte Carlo Method“, Measurement, Vol.45, pp. 1565-1575, 2012.
- [8] Kruth, J.P., Van Gestel, N., Bleys, P., Welkenhuyzen, F.: „Uncertainty determination for CMMs by Monte Carlo simulation integrating feature form deviations“, CIRP – Manufacturing Technology, Vol. 58, pp. 463-466, 2009.
- [9] Rost, K., Wendt, K., Härtig, F.: „Evaluating a task – specific measurement uncertainty for gear measuring instruments via Monte Carlo simulation“ Precision Engineering, Vol. 44, pp. 220-230, 2016.
- [10] Wen, X-L., Zhu, X-C., Zhao, B-Y., Wang, D-X, Wang, F-L.: *Flatness error evaluation and verification based on new generation geometrical product specification (GPS)*, Precision Engineering, Vol. 36, pp. 70-76, 2012.
- [11] ISO, 2004. ISO/TS 15530-4: „Geometrical Product Specifications (GPS) – Coordinate measuring machines (CMM): Technique for determining the uncertainty of measurement – Part 4: Evaluating task-specific measurement uncertainty using simulation“, ISO, 2008.

**Autori: Branko Štrbac, Ljubica Župunski, Vanr. prof. dr Vladan Radlovački, Prof. dr Vesna Spasić – Jokić, Prof. Dr. Miodrag Hadžistević**, Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2316, Fax: +381 21 454-495. **Prof. dr Bojan Ačko**, Univerzitet Maribor, Mašinski Fakultet, Smetanova 17, 2000 Maribor, Slovenija, Tel: +38622207884, Fax: +3862220-7990

E-mail: [strbacb@uns.ac.rs](mailto:strbacb@uns.ac.rs)  
[ljubicaz@uns.ac.rs](mailto:ljubicz@uns.ac.rs)  
[rule@uns.ac.rs](mailto:rule@uns.ac.rs)  
[bojan.acko@um.si](mailto:bojan.acko@um.si)  
[svesna@uns.ac.rs](mailto:svesna@uns.ac.rs)  
[miodrags@uns.ac.rs](mailto:miodrags@uns.ac.rs)

**Lanc, Z., Zeljković, M., Živković, A., Štrbac, B., Hadžistević, M.**

**SISTEMATIZACIJA TOPLOTNIH IZVORA KOD MAŠINA ALATKI  
SA ASPEKTA ZAŠTITE RUKOVAOCA OD TOPLOTNIH OPASNOSTI**

***Rezime:** Pri radu na mašinama alatkama postoji rizik od nastanka opekotina ukoliko rukovalac dođe u kontakt sa zagrejanim elementima mašine alatke. Porast temperature na elementima mašine alatke posledica je dejstva unutrašnjih i spoljašnjih toplotnih izvora. Iako se pri projektovanju mašina alatki posebno vodi računa o zaštiti rukovaoca od dejstva temperatura, kontakt sa pojedinim elementima mašine u toku rada je neizbežan. Pravovremena identifikacija toplotnih opasnosti kod mašina alatki je ključna sa aspekta sprečavanja ili smanjenja rizika od povreda rukovaoca. Cilj rada je sistematizacija toplotnih izvora kod mašina alatki, radi lakše identifikacije zagrejanih elemenata i predlaganje mera za smanjenje ili ublažavanje rizika od nastanka opekotina usled toplotnih opterećenja mašina alatki.*

*Ključne reči: mašine alatke, izvori toplote, toplotne opasnosti*

## **1. UVOD**

Elementi mašina alatki predstavljaju toplotne opasnosti na radnom mestu ukoliko se rukovalac nalazi u blizini delova ili materijala sa visokom temperaturom. U okviru standarda EN 563 iz 1997. godine, koji se bavi temperaturom dodirnih površina sa aspekta bezbednosti mašina, definisani su egonomski podaci za utvrđivanje graničnih uslova kod kojih kontakt sa vrućom površinom dovodi do stvaranja opekotina. Osnovni nedostatak standarda je što ne postoje precizno definisane vrednosti granične temperature između stanja kada nema opekotina i početka nastanka opekotina za kratko vreme kontakta. Umesto toga definisana su područja sa materijalima sličnih karakteristika (plastični, keramički, metalni materijali) sa kojima kontakt u određenom vremenskom intervalu može izazvati nastanak opekotina kod rukovaoca u zavisnosti od temperature dodirne površine [1]. Za duže vreme trajanja kontakta podaci su pouzdaniji i dati su kao brojcane vrednosti. Na primer, početak nastanka opekotina kod nezaštićenih glatkih metalnih površina očekuje se nakon 10 s, ukoliko je temperatura dodirne površine 55°C.

Da bi se unapredila zaštita na radu od toplotnih opasnosti i omogućila adekvatna zaštita od vrućih površina kojima rukovalac može biti izložen u toku svog radnog vremena, potrebna je detaljna identifikacija svih izvora toplote koji se javljaju kod mašina alatki. U tu svrhu mogu poslužiti istraživanja koja su se bazirala na toplotnoj karakterizaciji određenog mesta generisanja toplote na mašini alatki, kao što su prenosnici za glavna i pomoćna kretanja, zona obrade, ležaji,

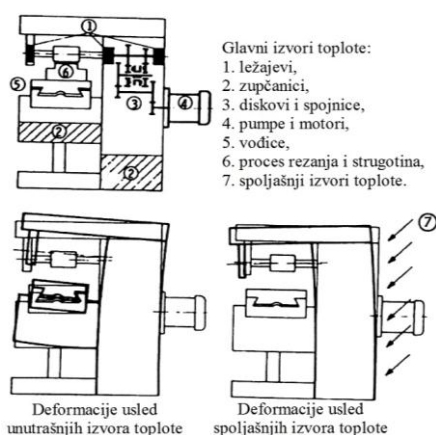
zupčanci, spojnice itd [2]. Li i dr. [3] kao jedan od najvećih izvora toplote navode glavno vretena mašine alatke. Autori su se takođe na kratko pozabavili podelom na spoljašnje (varijacije u ambijentalnoj temperaturi, solarna i druga zračenja) i unutrašnje izvore toplote (proces rezanja, vretena, prenosnici, ležaji, vodice itd). Mayr i dr. su uradili opsežnu studiju u kojoj su dali pregled dosadašnjih istraživanja ponašanja mašina alatki usled promena u toplotnim uslovima. Rad je usresređen na mašine alatke za obradu rezanjem, naročito na strugove i glodalice, kao i na obradne centre. U radu su obrađene tri teme: pregled metoda za merenje temperature i prostiranje toplote, izračunavanje toplotnih grešaka kod mašina alatki i redukcija toplotnih grešaka [4]. Zhang i dr. su se bavili unapređenjem tačnosti toplotnih simulacija mašine alatke, kao jednog od alata za uspešno predviđanje toplotnog ponašanja mašina [5]. Delbressine i dr. su predložili metodu za merenje i modeliranje toplotno indukovanih grešaka pri pozicioniranju višeosnih mašina alatki. Autori su koristeći određeni broj senzora odredili izvore toplote i raspodelu temperature na mašini alatki [6].

Prethodna istraživanja su se uglavnom bavila analizom toplotnih izvora kod mašina alatki sa aspekta smanjenja toplotnih grešaka i povećanja tačnosti mašina alatki. Cilj ovog rada jeste sistematizacija izvora toplote kod mašina alatki i njihova podela u svrhu lakše identifikacije vrućih dodirnih površina mašina alatki sa kojima rukovalac može doći u neposredni kontakt. Takođe, u radu su predložene određene mere zaštite na radu od nastanka opekotina.

## 2. SISTEMATIZACIJA IZVORA TOPLOTE KOD MAŠINA ALATKI

Neki od mogućih izvora toplote kod mašina alatki su [7]:

- a) ležaji,
- b) zupčanici,
- c) prenosnici,
- d) spojnice,
- e) hidraulične pumpe,
- f) pogonski motori,
- g) glavna vretena,
- h) vođice,
- i) proces rezanja i strugotina,
- j) spoljašnji izvori toplote.



Sl. 1. Toplotno uzrokovana pomeranja i lokacija toplotnih izvora kod glodalice

Na Slici 1. dat je prikaz položaja pojedinih izvora toplote na primeru glodalice, kao i deformacije nastale usled unutrašnjih (Slika 1. levo) i spoljašnjih (Slika 1. desno) izvora toplote.

### 2.1 Ležaji

Početni zazor, toplotne deformacije elemenata ležaja i uslovi hlađenja utiču na promene toplotnih karakteristika ležaja. Ležajni sklop čine kotrljajni elementi, zatim prstenovi i toplota koja se prenosi kroz njih. Kada se broj obrtaja ležaja povećava, povećava se i razvijena toplota na kontaktnim površinama ležaja. Toplota utiče na statičko i dinamičko ponašanje ležaja izazivajući promenu kontaktnog pritiska u ležaju, čime utiče na granične uslove, kao što su: količina razvijene toplote, toplotna kontaktna provodljivost, dinamička krutost, prigušenje. Toplotni izvori i ponori mogu stvoriti dodatna toplotna opterećenja i prouzrokovati kompleksno toplotno širenje, usled čega dolazi do promene generisane toplote na kontaktnim površinama ležaja [8].

### 2.2 Prenosnici

Mašine alatke koriste prenosnike kako bi

izmenili ili varirali standardnu brzinu pogonskog motora. Svaki prenosnik je snabdeven uljem koje služi za podmazivanje zupčanika. Ukoliko nivo ulja u prenosniku opadne ispod dozvoljenog limita ili izgubi sposobnost podmazivanja, doći će do pregrevavanja čiji je krajnji ishod otkaz prenosnika.

Zupčanici su mašinski elementi oblika diska sa jednako raspoređenim zubima po omotaču koji služe za prenos snage ili kretanja. Dovodjenjem u spregu dva ili više zupčanika nastaju zupčasti prenosnici. Na kontaktnim površinama između zuba zupčanika dolazi do generisanja toplote. Oštećenja zupčanika kao što su habanje, mikrooštećenja i agresivna lokalna korozija su uzrokovana temperaturom ulja u sistemu za podmazivanje. Visoke temperature dovode do male viskoznosti i stanjivanja filma ulja u kontaktnoj zoni, što za posledicu ima umanjene radne sposobnosti zupčanika. Takođe, visoke temperature utiču na metalurške promene materijala zupčanika i smanjenja granice izdržljivosti materijala [9].

### 2.3 Spojnice

Osnovne funkcije spojnice su spajanje ili odvajanje motora od ostalih elemenata za prenos snage, zatim prekid dotoka snage pri promeni stepena prenosa, prigušenje vibracija i zaštita od preopterećenja. Najčešće se sastoje, od dva (ili više) diska, elemenata za povezivanje diskova i uređaja za uključivanje i isključivanje. Zbog vibracija, pritisnih i centrifugalnih sila i zagrevanja usled trenja spojnice se ubraja u delove sistema za prenos snage sa najvećim opterećenjem. Pri aktiviranju spojnice dolazi do stvaranja velike količine toplote, većinom usled trenja između radnih elemenata. Delovi spojnice apsorbuju jedan deo oslobođene toplote, zbog čega se za izradu spojnice koriste materijali koji mogu da apsorbuju i oslobode toliku količinu toplote koja neće uticati na njihove eksploatacione karakteristike [10].

### 2.4 Hidraulične pumpe

Hidraulični fluid je tečnost ili smeša tečnosti namenjena za prenos pritiska, odnosno snage, koja radi na principu Paskalovog zakona. Pritisak nastao usled preteranog generisanja toplote tokom rada hidrauličnog sistema, negativno utiče na celokupni sistem. Zagrevanje je uglavnom posledica nedovoljne efikasnosti sistema, usled koje dolazi do zagrevanja hidraulične tečnosti. Kada je temperatura hidraulične tečnosti previsoka (iznad 82°C) dolazi do opadanja viskoznosti ispod



optimuma koji je predviđen za komponente hidrauličnog sistema. Toplota ima negativan uticaj na vek eksploatacije hidraulične tečnosti, zatim na gubitak energije, nepravilan rad delova mašine alatke, formiranje i uklanjanje mulja, kao i na uslove koji dovode do pregrevavanja, što rezultuje curenjem fluida kroz ventile itd [11].

## 2.5 Linearni motori

Linearni motori se uglavnom koriste kod sistema za pozicioniranje, kada zavojno vreteno sa kuglicama dostignu svoj radni maksimum. Omogućavaju visoku brzinu i dinamičnost, kao i precizno pozicioniranje alata. Ranijih godina ovi motori su imali izuzetnih problema sa pregrevanjem, dok su kod savremenih rešenja ovi problemi umanjeni, ali ne i eliminisani. Njihova široka upotreba je umanjena visokom cenom, uprkos njihovoj velikoj efikasnosti [12].

## 2.6 Glavna vretena

Jedan od najznačajnijih sklopova u mehaničkoj strukturi mašine alatke je sklop glavnog vretena, tokom čije eksploatacije dolazi do promene temperature usled trenja između kotrljanih tela ležaja i staza kotrljanja. Pri visokim brojevima obrtaja vretena razvija se velika količina toplote. Porast temperature utiče na kontaktna opterećenja i izaziva toplotne deformacije. Visoke temperature vretena neposredno utiču na tačnost obrade, što zahteva precizno regulisanje hlađenja, podmazivanja i uravnotežavanja. Zbog svega ovoga toplotno i mehaničko ponašanje sklopa glavnog vretena je relativno teško predvideti pri računarskom modeliranju, pa se zbog toga često vrši eksperimentalna identifikacija ovih sklopova [13].

## 2.7 Vođice

Vođice su, takođe, vitalni elementi mašina alatki. Njihova osnovna funkcija je omogućavanje pravolinijskog ili kružnog kretanja alata ili obratka. Vođice imaju značajnu ulogu kod pravilnog pozicioniranja alata čime se postiže tačnost obrade. Osnovni problem kod vođica je trenje koje se javlja na kontaktnim površinama i usled kojeg dolazi do generisanja temperature. Sa druge strane trenje utiče na deformaciju vođica, kao i na otežano kretanje koje onemogućava izuzetnu preciznost i tačnost tokom izvođenja operacija obrade. Zbog svega navedenog, sistem za podmazivanje je od izuzetnog značaja radi odvođenja prekomerno generisane toplote iz sistema vođica [14].

## 2.8 Proces rezanja i strugotina

U toku procesa rezanja se oslobađa velika količina toplote, pogotovo kod rezanja metala. Tokom formiranja strugotine dolazi do plastičnih i elastičnih deformacija što doprinosi generisanju toplote. Nastala toplota se prenosi na delove mašine alatke, kao što je alat, rashladno sredstvo, kao i na strugotinu. Strugotina sadrži najveću količinu toplote, zbog čega skoro svaka mašina alatka ima posebno projektovan podsistem za njeno odvođenje iz mašine.

## 2.9 Spoljašnji izvori toplote

Spoljašnji toplotni izvori umnogome utiču na toplotnu stabilnost mašine alatke, bilo da su to određene fluktuacije u okolnoj temperaturi ili prisustvo drugih izvora toplote. Njihova identifikacija je ponekad otežana, zbog čega je infracrvena termografska tehnika još jednom naišla na korisnu primenu u mašinstvu.

## 3. MERE ZAŠTITE NA RADU OD VRUĆIH DODIRNIH POVRŠINA

Pravilnik o bezbednosti mašina Republike Srbije propisuje da moraju biti preduzete sve mere za otklanjanje svakog rizika od povrede zbog dodira, blizine delova mašine ili materijala sa visokom temperaturom [15]. Metalne površine čija temperatura je viša od 51 °C se smatraju toplotnim opasnostima na radnom mestu i predstavljaju rizik od nastanka opekotina usled trajanja dodira do 1 min [1]. Ukoliko se procenom rizika utvrdi postojanje ovakvih površina na radnom mestu potrebno je sprovesti mere kako bi se rizik od opekotina usled kontakta sa vrućom površinom smanjio ili izbegao. Izvršni odbor za zdravlje i sigurnost Velike Britanije (Health and Safety Executive - HSE) predlaže sledeće mere za smanjenje rizika od opekotina:

- projektovanje mašina tako da se vruće površine ne nalaze u neposrednoj blizini rukovaoca;
- izmeštanje toplotnog izvora van domašaja rukovaoca;
- oblaganje vrućih površina izolacionim materijalima;
- korišćenje zaštitnih sredstava za rad;
- obuka rukovaoca;
- adekvatno obeležavanje zone toplotne opasnosti;
- održavanje i kontrolisanje mašina i uređaja;
- praćenje temperature na mašinama ili uređajima na mestima koji predstavljaju potencijalna izvore toplotnih opasnosti.

#### 4. ZAKLJUČAK

Mašina alatke predstavljaju opasnost od nastanka opekotina po zaposlenog ukoliko temperatura njenih elemenata uzrokuje zagrevanje dodirnih površina izvan graničnih vrednosti temperature propisane standardima. S obzirom da za kraće vreme dodira, ispod 1 s, ne postoje podaci za tačnu vrednost temperature pri kojoj nastaju opekotine, svaki toplotni izvor kod mašine alatke koji utiče na zagrevanje njenih elemenata se može posmatrati kao toplotna opasnost. Najznačajniji toplotni izvori kod mašina alatki su ležaji, prenosnici, spojnice, motori i pumpe, glavna vretena, vođice, proces rezanja, strugotina i spoljašnji izvori toplote. Njihova sistematizacija omogućava lakšu identifikaciju mesta i površina na kojima se očekuju visoke temperature. Vruće površine sa kojima rukovaoc može doći u kontakt ne bi trebalo da budu u njegovoj neposrednoj okolini, što je potrebno obezbediti već u fazi projektovanja mašine alatke. Ukoliko to nije moguće, ovakve površine moraju biti obložene ili označene kao zone toplotne opasnosti, a rukovaoci treba da budu obučeni za bezbedan rad uz korišćenje adekvatnih sredstava za rad kako bi se izbegao rizik od nastanka opekotina.

#### 5. REFERENCE

- [1] SRPS EN 563:1997. Bezbednost mašina - Temperatura dodirljivih površina - Ergonomski podaci za određivanje graničnih vrednosti temperatura vrućih površina
- [2] Hadžistević, M., Blanuša, B., Živković, A., Štrbac, B.: *Toplotne opasnosti na mašinama alatkama i zaštita operatera primenom zaštitnih rukavica*, Zbornik radova Politehnika, p.p. 34-41, 2013.
- [3] Li, Y., Zhao, W., Lan, S., Ni, J., Wu, W., Lu, B.: *A review on spindle thermal error compensation in machine tools*, Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 95, p.p. 20–38, 2015.
- [4] Mayr, J., Jedrzejewski, J., Uhlmann, E., Donmez, M., Knapp, W., Härtig, F., Wendt, K., Moriwaki, T., Shore, P., Schmitt, R., Brecher, C., Würz, T., Wegener, K.: *Thermal issues in machine tools*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol. 61, p.p. 771–79, 2012.
- [5] Zhang, J., Feng, P., Chen, C., Yu, D., Wu, Z.: *A method for thermal performance modeling and simulation of machine tool*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 68, p.p. 1517-1527, 2013.
- [6] Delbressine, F., Florussen, G., Schijvenaars, L., Schellekens P.: *Modelling thermo-mechanical behaviour of multi-axis machine tools*, Precision Engineering, Vol. 30, p.p. 47–53, 2006.
- [7] Ramesh, R., Mannan, M., Poo, A.: *Error compensation in machine tools — a review Part II: thermal errors*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 40, p.p. 1257–1284, 2000.
- [8] Živković, A., Zeljković, M., Tabaković, S.: *Programsko rešenje za analizu ponašanja kugličnih ležaja – Tehničko rešenje*, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Novi Sad, 2013.
- [9] Höhn, B.-R., Michaelis, K.: *Influence of oil temperature on gear failures*, Tribology International, Vol. 37, p.p. 103–109, 2004.
- [10] Fernandes, G., Zannotto, P., Sinatora, A.: *Contribution on understanding the friction film development in the performance of a dry automotive clutch system*, Wear, Vol. 342-343, p.p. 364-376, 2015.
- [11] Rosato, D., Rosato, M.: *Injection molding handbook*, Kluwer Academic Publishers, Berlin, 2000.
- [12] Chryssolouris, E.: *Manufacturing Systems: Theory and Practice*, Mechanical Engineering Series, 2nd ed, 2006.
- [13] Zeljković, M., Živković, A., Borojev, Lj., Gatalo R.: *Modeliranje toplotnog ponašanja sklopa glavnog vretena primenom metoda konačnih elemenata*, Infotech – Jahorina, Vol. 4, p.p. 134-138, 2005.
- [14] Sparham, M., Sarhan, A., Mardi, N., Dahari, M., Hamdi, M.: *Cutting force analysis to estimate the friction force in linear guideways of CNC machine*, Measurement, Vol. 85, p.p. 65–79, 2016.
- [15] Službeni glasnik Republike Srbije: *Pravilnik o bezbednosti mašina*, Beograd, 2010.

**Autori: M.Sc. Zorana Lanc, prof. dr Milan Zeljković, doc. dr Aleksandar Živković, M.Sc. Branko Štrbac, prof. dr Miodrag Hadžistević**, Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Institut za Proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: 021 485 2306, Fax: 021 454 495.  
E-mail: [zoranalanc@uns.ac.rs](mailto:zoranalanc@uns.ac.rs),  
[milanz@uns.ac.rs](mailto:milanz@uns.ac.rs),  
[aco@uns.ac.rs](mailto:aco@uns.ac.rs),  
[strbacb@uns.ac.rs](mailto:strbacb@uns.ac.rs)  
[miodrags@uns.ac.rs](mailto:miodrags@uns.ac.rs)

Matin, I., Hadžistević, M., Vukelić, Đ., Medić, V., Brajlili, T., Drstvenšek, I., Golebski, R.

## PRIMENA NUMERIČKE SIMULACIJE INJEKCIONOG PRESOVANJA ZA PROIZVODNJU MEDICINSKE OPREME

**Rezime:** U radu se predstavlja naučni i praktični aspekti numeričke simulacije injekcionog presovanja u integrisanom programskom sistemu za projektovanje alata. Modul za reološki, termički i mehanički proračun alata i modul za numeričku simulaciju predstavljaju pogodne aplikacije sa stanovišta predviđanja kvaliteta otpreska i procesa presovanja. Rezultati predviđanja kvaliteta procesa koji su dobijeni simulacijom predstavljaju ulazne podatke za završni proračun alata. Verifikacija modula za numeričku simulaciju je sprovedena na poklopcu za lek.

**Ključne reči:** injekciono presovanje, medicinska oprema, P-V-T model.

### 1. UVOD

Injekciono presovanje (brizganje) se definiše kao postupak prerade plastičnih masa ubrzavanjem rastopa u alatnu šupljinu gde se vrši njeno hlađenje i očvršćavanje, nakon čega se vrši otvaranje alata i izbacivanje otpresaka. U preradi polimernih materijala, injekciono presovanje je po prerađenim količinama, odmah iza ekstrudiranja. Ova tehnologija predstavlja najvažniji ciklični postupak prerade polimera [1]. Otpresak ne zahteva doradu, odnosno predstavlja gotov proizvod. Glavne prednosti ovog postupka su:

- velika mogućnost iskorišćenja plastičnog materijala,
- manje vreme izrade proizvoda,
- visoka tačnost i
- manji prostor za proizvodnju.

Poslednjih godina dolazi do ekspanzije primene ove tehnologije u medicini, biomedicini, građevini, mašinstvu i prehrambenoj industriji. U novije vreme razvoj računarom podržanog projektovanja alata i simulacije injekcionog presovanja predstavljaju fokus interesovanja naučnika i stručnjaka iz privrede.

Računarom podržan sistem za projektovanje alata (CAIDMS) treba da obezbedi što brže projektovanje alata i optimalno određivanje osnovnih parametara injekcionog presovanja. Tokom numeričke simulacije injekcionog presovanja u fazi ubrizgavanja rastopa u alatnu šupljinu je potrebno razmotriti nekoliko pojava, pri čemu se analizira njihov uticaj na:

- popunjenost alatne šupljine,
- potreban pritisak ubrizgavanja,

- postojanje otpora tečenju rastopa,
- pojavu vazdušnih uključaka u otpresku,
- pojavu linija spajanja,
- uravnoteženje (balans) tečenja rastopa kroz alatnu šupljinu pri višestrukim ulaznim kanalima i
- uravnoteženje ulivnog podsistema za svaku alatnu šupljinu (ako ih ima više).

CAIDMS se gradi pomoću sledećih metoda veštačke inteligencije: rezonovanje na osnovu slučaja, iterativni redizajn, linearno programiranje i simulacija, sve u cilju određivanja parametara alata i procesa. Ovaj CAD/CAE parametarski, objektno orijentisani modularni sistem integriše programski sistem CREO, modul za proračun parametara presovanja i modul za završno projektovanje alata [1-3].

Mnogi autori koriste numeričku simulaciju i integrisane CAE alate sa za određivanje osnovnih parametara presovanja [4-9]. Optimalni izbor plastičnog materijala, geometrije simulacionog modela (radijusi, oborene ivice, nagibi, rebra i sl.) i osnovnih parametara presovanja se sprovodi iterativnim postupkom numeričke simulacije. Osnovni parametri presovanja su:

- debljina otpreska,
- dužina puta tečenja,
- radijusi, nagibi, konusi,
- materijal otpreska,
- lokacija ulivnog sistema,
- broj ulivnih mesta,
- temperatura alata,
- temperatura ubrizgavanja,
- pritisak ubrizgavanja,

- naknadni pritisak, i
- najveći pritisak ubrizgavalice.

Osnovni parametri presovanja se određuju korišćenjem P-V-T modela, koji je prikazan u sledećem poglavlju.

## 2. MODIFIKOVANI TAITOV P-V-T MODEL

Modifikovani Tait P-V-T model se koristi za određivanje stišljivosti plastične mase tokom simulacije zapreminskog tečenja. Ovaj model se može izraziti preko sledećih jednačina: (1-7).

$$V(T, P) = V_0(T) \left[ 1 - C \ln \left( 1 + \frac{P}{B(T)} \right) + V_t(T, P) \right] \quad (1)$$

gde su:

- $V(T, P)$  – specifična zapremina plastične mase na temperaturi  $T$  i pritisku  $P$ ,
- $V_0$  - specifična zapremina plastične mase na nultom pritisku,
- $T$  - temperatura plastične mase [K],
- $P$  - pritisak u cilindru [Pa],
- $C$  - konstanta,  $C=0.0894$ , i
- $B$  - koeficijent uticaja pritiska i materijala.

Za područje temperatura koje zadovoljavaju uslov ( $T > T_i$ ) se koriste sledeće jednačine (2, 3):

$$V_0 = b_{1m} + b_{2m} (T - b_5) \quad (2)$$

$$B(T) = b_{3m} \exp [-b_{4m} (T - b_5)] \quad (3)$$

gde su:

- $b_{1m}$ ,  $b_{2m}$ ,  $b_{3m}$ ,  $b_{4m}$  i  $b_5$  koeficijenti korekcije koji zavise od temperature transformacije  $T_t$ , pri nultom pritisku.

Za područje temperatura koje zadovoljavaju uslov ( $T < T_i$ ) se mogu koristiti sledeće jednačine (4-6):

$$V_0 = b_{1s} + b_{2s} (T - b_5) \quad (4)$$

$$B(T) = b_{3s} \exp [-b_{4s} (T - b_5)] \quad (5)$$

$$V_t(T, P) = b_7 \exp((b_8(T - b_5)) - (b_9P)) \quad (6)$$

gde su:

- $b_{1s}$ ,  $b_{2s}$ ,  $b_{3s}$ ,  $b_{4s}$ ,  $b_5$ ,  $b_7$ ,  $b_8$ , i  $b_9$  koeficijenti korekcije koji zavise od temperature transformacije  $T_t$ , pri nultom pritisku.

Zavisnost temperatura transformacije i pritiska se prikazuje sledećom jednačinom (7):

$$T_t(P) = b_5 + b_6 P \quad (7)$$

gde su:

- $b_5$  i  $b_6$  koeficijenti korekcije.

### 2.1 Williams-Landel-Ferry (WLF) model promene viskoziteta

Definiše se preko sledećih jednačina (8-11):

$$\eta = \frac{\eta_0}{1 + \left( \frac{\eta_0 \dot{\gamma}}{\tau^*} \right)^{1-n}} \quad (8)$$

$$\eta_0 = D_1 \exp \left[ \frac{-A_1 (T - T^*)}{A_2 + (T - T^*)} \right] \quad (9)$$

gde su:

- $\eta$  - dinamička viskoznost [Pas],
- $\dot{\gamma}$  - brzina smicanja [1/s],
- $T$  - temperatura plastične mase [K].

$$T^* = D_2 + D_3 * P \quad (10)$$

$$A_2 = A_2\sim + D_3 * P \quad (11)$$

gde su:

- $n$ ,  $T^*$ ,  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ ,  $A_1$ ,  $A_2$  i  $A_2\sim$  koeficijenti korekcije,
- $P$  - pritisak u cilindru ubrizgavalice [Pa].

### 2.2 Moldflow model viskoziteta

Ovaj model promene viskoziteta se definiše sledećom jednačinom (12):

$$\ln(\eta) = A + B \ln(\dot{\gamma}) + CT + D[\ln(\dot{\gamma})]^2 E[\ln(\dot{\gamma})] + FT^2 \quad (12)$$

gde su:

- $\eta$  - dinamička viskoznost [Pas],
- $\dot{\gamma}$  - brzina smicanja [1/s],
- $T$  - temperatura plastične mase [ $^{\circ}$ C],
- $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $E$ ,  $F$  – koeficijenti korekcije.

## 3. STUDIJA SLUČAJA

Verifikacija modela viskoziteta se prikazuje na poklopcu bočice za lek, koji je prikazan na slici 1.



Sl. 1. Poklopac bočice za lek

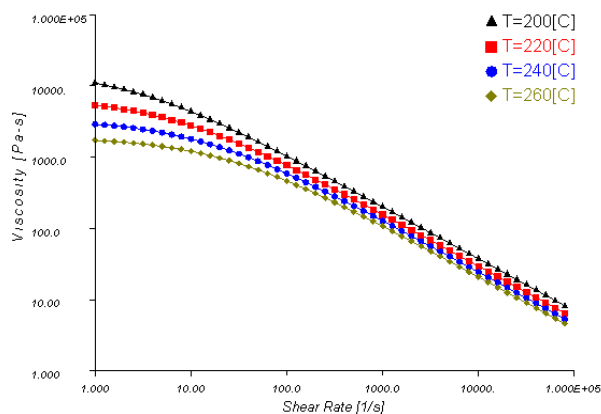
Rezultati iz razvijenog CAD/CAE sistema zasnovanog na znanju su prikazani u tabeli 1.

Naziv plastične mase	ABS 121 + PP 31
Najveći pritisak ubrizgavanja	190 [MPa]
Pritisak ubrizgavanja	20, 2 [MPa]
Najveća temperatura topljenja plastične mase	300 [°C]
Temperatura zida alata	65 [°C]
Temperatura ubrizgavanja	250 [°C]
Vreme ubrizgavanja, određeno analitičkim proračunom	2,3 [s]
Vreme ubrizgavanja, određeno simulacijom	2,41 [s]
Proračunsko vreme ciklusa	6,2 [s]
Temperatura izbacivanja otpreska	90 [°C]
Modul smicanja	805 [MPa]
Najveći napon smicanja	0,38 [MPa]
Najveće deformacije na simulacionom modelu	0,03 [mm]

Temperatura okoline	20 [°C]
Specifična toplota	1998 [J/kg°C]
Masa simulacionog modela	22[g]
Broj alatnih šupljina	4
Kodni broj simulacije	ID 15

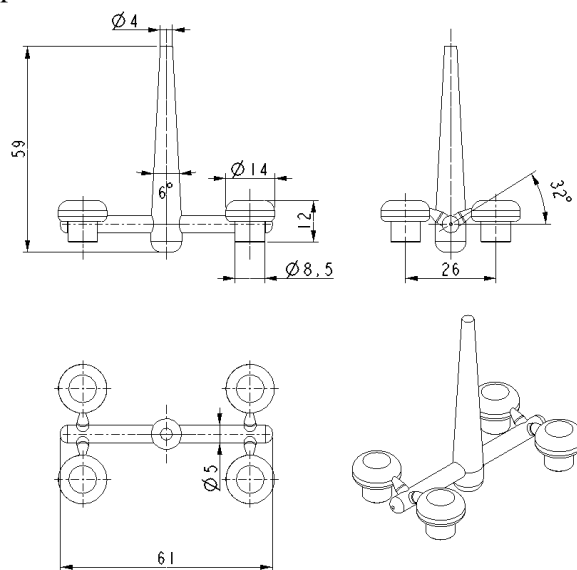
Tabela 1. Izlazni rezultati iz CAD/CAE sistema

Reološke osobine plastične mase se mogu prikazati ( $\eta - T - \dot{\gamma}$ ) dijagramom, slika 2.



Sl. 2. Reološke osobine plastične mase ( $\eta - T - \dot{\gamma}$ )

Simulacioni model je sastavljen od ulivnog podsistema i četiri modela otpreska, što je prikazano na slici 3.

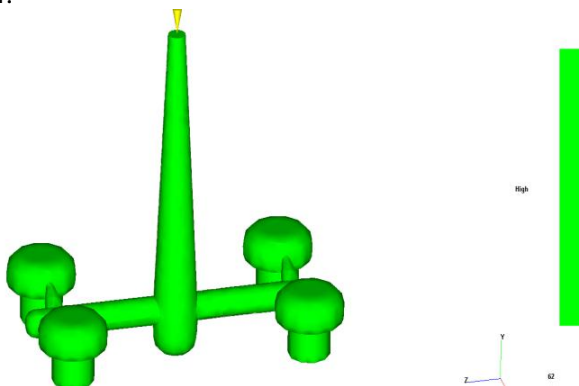


Sl. 3. Simulacioni model

Ulivni kanal se konstruiše da omogući



automatsko odvajanje ulivnog podsistema. Ulazni kanal je okrenut nagore a dimenzije i ugao ulaznog kanala (ušća) omogućavaju kvalitetan otpresak bez linija spajanja i gasnih uljučaka. Test kvaliteta simulacionog modela je prikazan na slici 4.



Sl. 4. Test kvaliteta simulacionog modela

Test kvaliteta simulira očekivani kvalitet na modelu u skladu sa njegovim mehaničkim osobinama. Test kvalitet predstavlja kombinaciju sledećih pet analiza: pada pritiska ubrizgavanja, temperature fronta rastopa, napona smicanja, vremena hlađenja i brzine smicanja. Ukoliko su svih pet rezultata analize u zadatim granicama, regioni na simulacionom modelu su zelene boje a model poseduje visok kvalitet, što je prikazano na slici 4. Pokazatelji kvaliteta simulacionog modela mogu da služe kao smernice za eventualnu geometrijsku rekonstrukciju proizvoda (dodavanje radijusa, nagiba, konusa), izbor pogodnijeg materijala, a potom za konstrukciju alata.

#### 4. ZAKLJUČAK

Ovi rezultati predstavljaju upotrebljive ulazne parametre za modul za završnu konstrukciju alata, a projektovan simulacioni model i prikazani parametri procesa obezbeđuju optimalnu proizvodnju injekcionim presovanjem.

#### 5. REFERENCE

- [1] Hadzistevic, M., Matin, I., Hodolic, J., Vukelic, D., Vukmirovic, S., Godec, D., Nedic, B.: *Rule base reasoning in the knowledge-based mould design system*, Tehnicki vjesnik - Technical Gazzete, Vol.21, p.p. 1143-1148, 2014.
- [2] Matin, I., Hadzistevic, M., Hodolic, J, Vukelic, D.: *Practical aspects of integration in the developed mold design system*, Acta Technica Corviniensis – Bulletin of Engineering, Vol.7, No.2, p.p. 41-44, 2014.
- [3] Matin, I., Hadzistevic, M., Hodolic, J.,

Vukelic, D., Tadic, B.: *Development CAD/CAE system for mold design*, Journal of Production Engineering, Vol.12, p.p. 222-225, 2010.

- [4] Dang, X.P., and Park, H.S.: *Design of U-shape milled groove conformal cooling channels for plastic injection mold*, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol.12, p.p. 73-84, 2011.
- [5] Ferreira, I., Cabral J, A., Saraiva, P., Oliveira, M.C.: *A multidisciplinary framework to support the design of injection mold tools*, Structural and Multidisciplinary Optimization, Vol.49, p.p. 501–521, 2014.
- [6] Kennedy, P., *Practical and Scientific Aspects of Injection Molding Simulation*, University Press Facilities-Eindhoven, Netherland, 2008.
- [7] Park, H.S., Dang, X.P.: *Structural optimization based on CAD/CAE Integration and metamodeling techniques*, Computer Aided Design, Vol.42, p.p. 889-902, 2010.
- [8] Spina, R., Kusters, K., Hopmann, C., and Spekowius, M.: *Thermal Simulation of Polymer Crystallization during Post-Filling*, Key Engineering Materials, Vol. 554-557, p.p. 1699-1706, 2013.
- [9] Spina, R., Spekowius, M., Dahlmann, R., Hopmann, C.: *Analysis of Polymer Crystallization and Residual Stresses in Injection Molded Parts*, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing Vol. 15, p.p. 89-96, 2014.

**Autori: Dr Ivan Matin, Prof. dr Miodrag Hadžistević, Prof. dr Đorđe Vukelić, MSc Vesna Medić**, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel: +381 21 485 2332, 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)  
[vukelic@uns.ac.rs](mailto:vukelic@uns.ac.rs)  
[medicv@uns.ac.rs](mailto:medicv@uns.ac.rs)

**Dr Tomaž Brajljih, Prof. dr Igor Drstvenšek**, Univerzitet u Mariboru, Mašinski fakultet, Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenija, Tel.: +386 2 220 7596, Fax: +386 2 220 7990.

E-mail: [tomaz.brajlih@um.si](mailto:tomaz.brajlih@um.si)  
[igor.drstvenssek@um.si](mailto:igor.drstvenssek@um.si)

**Dr Rafal Golebski**, Tehnološki univerzitet u Čestakovi, Fakultet mašinstva i informatike, Dabrowskiego 69, 42200 Czestochowa, Poljska, Tel: +48 34 32 50 509, Fax: +48 34 32 50 559.

E-mail: [rafal@itm.pcz.pl](mailto:rafal@itm.pcz.pl)

SCIENTIFIC CONFERENCE WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION  
ETIKUM 2016

PROCEEDINGS

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

Novi Sad, 23 – 25 June 2016.



**Brajlih, T., Irgolic, T., Kostevsek, U., Matin, I., Hadzistevic, M., Balic, J., Drstvensek, I.**

**ACCURACY INSPECTION OF CRANIAL IMPLANTS USING CT IMAGING AND CAQ SOFTWARE**

**Abstract:** *The main objective of this paper is to establish a method for testing how the post-operative cranial implant's position corresponds to the CAD designed position. The research is based on the segmentation of CT images which yield 3D data for inspection and it has been investigated if this data contains sufficient information for these analyses. Surface comparisons of the pre-operative and post-operative implants were made and the material thickness has been examined in order to determine occurring deviations and find the cause of them. A single case analysis showed deviations in the locations that could be contributed to the production process of silicone rubber moulding. The deviations were not exceeding the tolerance limits and the implant seemed to fit properly within expected procedure accuracy.*  
**Key words:** *cranial implants, CAQ software, CT scanning, segmentation, surface comparison*

**1. INTRODUCTION**

The main objective is to establish a method for testing how the post-operative implant's position corresponds to the CAD designed position. The data used for this purpose has been obtained through digital images made by a CT scanner and three dimensional CAD models are generated after the process of segmentation. It will be determined if the segmentation of these images yield enough 3D data for the actual inspection of dimensional accuracy and the position of the implant [1].

In most of the previous research and scientific articles concerning this subject, the focus is mainly on the mechanical properties of the implant both before and, most of the time, after the operation. Properties such as stress, strain... are being analyzed under the conditions of a certain applied force [2]. In this paper, the variations of cranial implants before and after surgery will be analysed based on the displacement, shape, positioning, etc. The position of the implant will also be compared to the CAD designed position.

**2. DESCRIPTION OF THE PROBLEM**

In order to be able to produce the physical model of the implant, a couple of steps need to be completed. At first, the patient will be selected and he will have to undergo a couple of scanning sessions. These images are a source of information regarding the contour of the cranial damage. This allows for a thorough evaluation of the cranium before the operation takes place, making an implant of great precision possible. The data from

these digital images will be processed and segmentation will be performed with the help of software.

**3. PRODUCTION PROCESS**

For the design of cranial implants, two aspect must be taken into account: biocompatibility, which is determined by the choice of material and patient customization. For medical purposes, scans can either be made by computed tomography (CT) or magnetic resonance (MR). The images made with CT or MR are segmented to segregate the bone or tissue of interest from the rest. These images are converted in a file format called DICOM (digital imaging and communication in medicine), which represents the 2D cuts and will be transferred to the additive manufacturing. DICOM file was imported in to the software for segmentation EBS (Ekliptik, Slovenia) [3], the two dimensional image data is used to generate a three dimensional model (Figure 1).

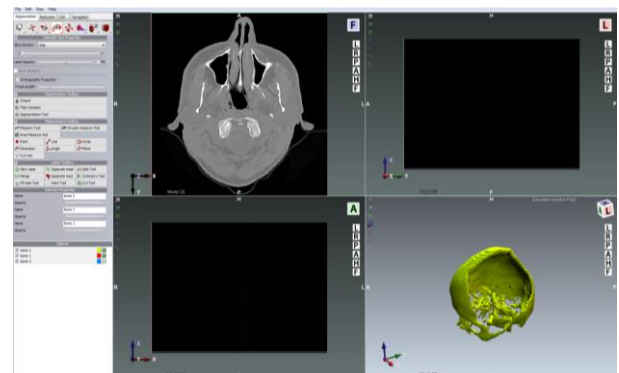


Fig. 1. EBS segmentation software

Another important factor for the generation of a three dimensional model is the Hounsfield value. The software, EBS, always gave a standard value of 150, which is a normal value for soft tissue. Using this value, the selected ROI (Region of Interest) surrounding the entire cranial tissue. When raising this value until +700 the ROI got smaller and the three dimensional model had thinner tissue, leaving even openings in this model. Raising the value until +1000, the skull was partially visible in both cases.

The step following the segmentation is to convert the DICOM file to an STL file (structure triangulation language) in order to generate a format usable for additive manufacturing. The software used for conversion in this case is also EBS. STL file approximates the surface of a solid model with mesh of triangles. For cranial implants, this is usually a polygon mesh. The purpose of these triangles is to depict as accurately as possible the geometry of the implant and the patient's cranium. The STL file contains data usable for the Additive Manufacturing system to produce the physical model.

The analysis of deviations has been performed with the help of GOM Inspect [4]. Displacements of the implant and the surrounding bone tissue can be visually interpreted based on color-coded maps.

#### 4. RESULTS

As seen in the picture, all of seven post-operative models have a different quality. Some of the models were built with the images stacked from bottom to top and others were generated from right to left (Figure 2).

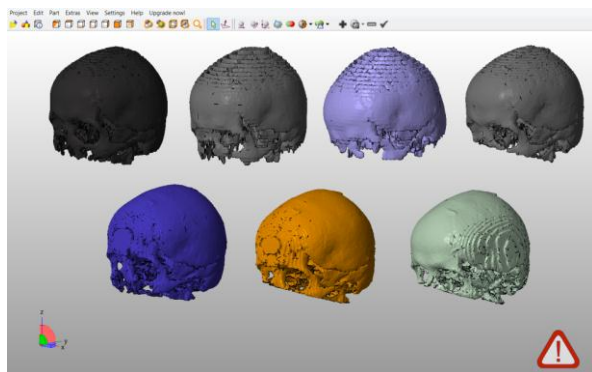


Fig. 2. Post-operative CT segmentation results

Models on the top rows looks quite good and usable for analysis, since the staircase shape is only visible at the top of the cranium and almost not on the implant. The left and middle models on the bottom row are stacked differently than the ones on the top row. They also have a distinct

staircase shape, only that now it is placed in a different direction. For the one on the right slide, bottom row, it is visible that the slices were stacked differently than all of the previous models. In this article, the first model on the left on the top row was eventually chosen for further analysis in GOM inspect.

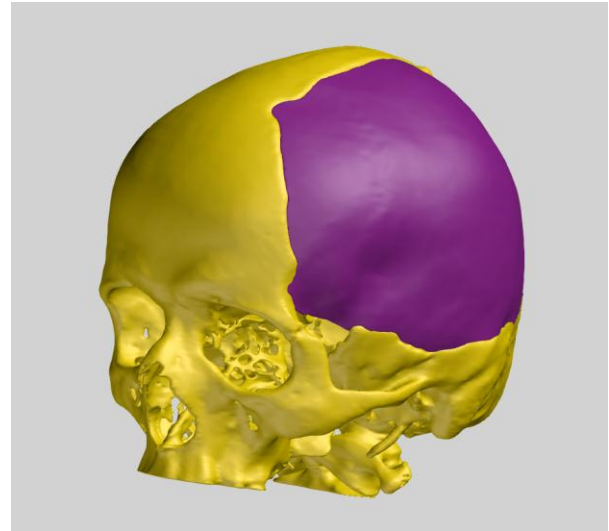


Fig. 3. Nominal CAD data

At first, there a surface comparison of the actual and nominal data was made (Figure 3) aligned with the global fit. The first maximum value that was put is 5 mm. The regions overall colored in green means that these areas there are not or only minor deviations. Yellow colored regions are visible on the implantant, which points out that there are minor- deviations in this region. It is normal to have some deviations due to the fact that the implantation itself can never be carried out exactly as planned with the pre-operative planning in the software.

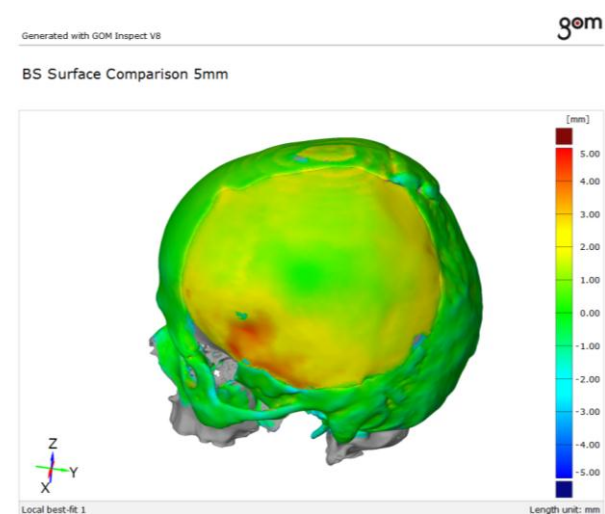


Fig. 4. Global best-fit comparison



There are no dark colored regions visible in either red or blue, which means there are no places where the deviations exceed the given maximum or minimum deviations and the implant was manufactured and fixed in a proper way. The second maximum value that was put is 3 mm. There are also dark colored regions, which means there are places where the deviations exceed the given maximum deviations (Figure 4).

The yellow zone is also probably due to the fact that the implants are manufactured through silicone rubber moulding. Problem is that pressure is only being exerted from one direction, perpendicular on the base of the mould. Since the region in the middle of the implant is being pressed against the base where there is almost no movement, it is located in the green zone.

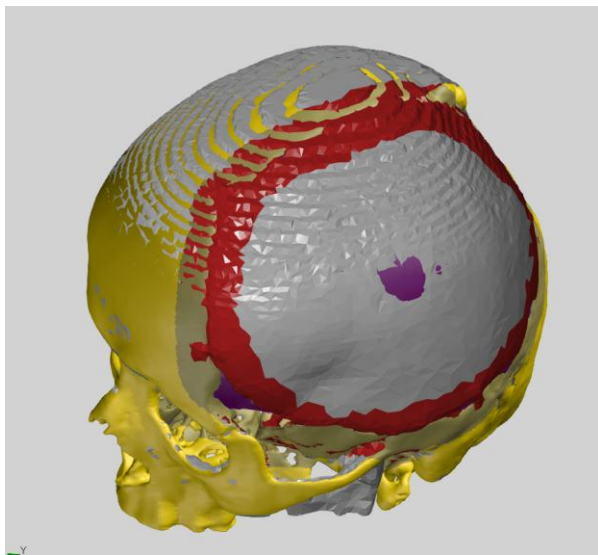


Fig. 5. Local best-fit area

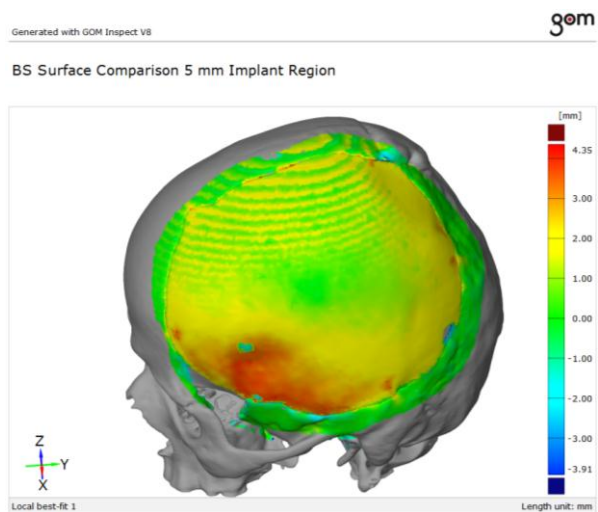


Fig.6. Local best-fit surface comparison

All of these comparisons were made for global fits, but might as well be done for local fits. This

means the selected area where the transition from skull to implant takes place (Figures 5 and 6).

There are no major differences in between the deviations if the global and local best-fit colored maps are compared to each other. The most critical region is still located around the temples and the deviations are in line with each other.

To get an even more precise view on the deviations on the implant, it is possible to leave the implant as nominal data. This means not the entire mesh will be used for analysis, but only the part corresponding to the implant as CAD-body. With the upper and lower limit put at 5 mm again, the corresponding surface comparison looks quite alike again (Figure 7 and 8). The only minor difference might be that at the top edge of the implant there are no or only negligible deviations.

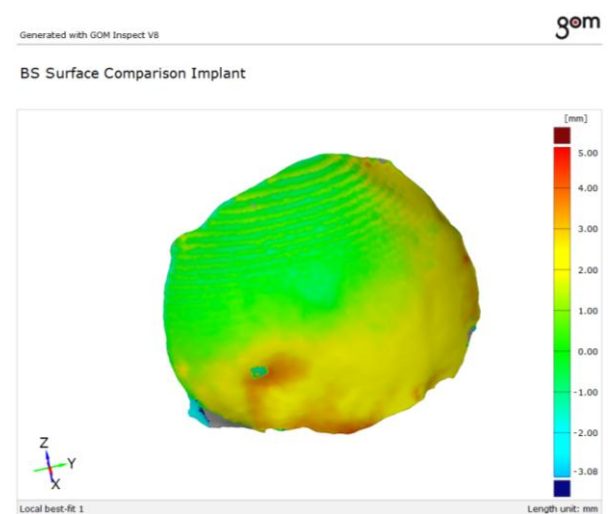


Fig.7. Implant deviations (outside)

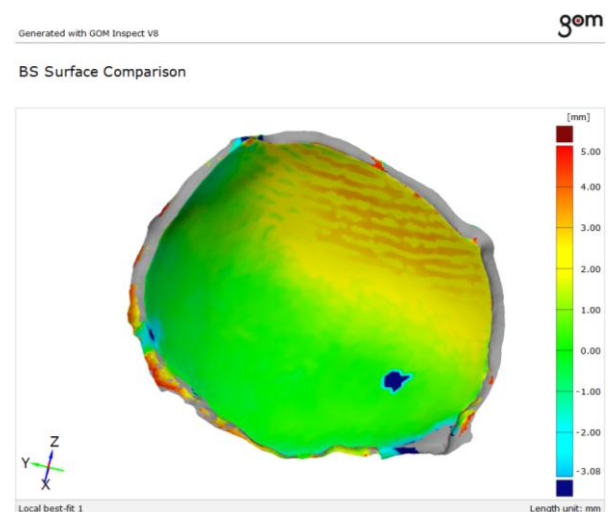


Fig. 8. Implant deviations (inside)

Since the implant has a concave shape, the pressure will deform the implant's shape and it will bend open on the sides. The more concave the

implant is, the bigger the deformation will be. In these cases, the deformation is around 1 mm. A solution for future cases could be to exert pressure from the sides as well in order to equalize these deformations.

The deviations might also be the result of the material being too thick at certain places. If in future analysis of other cases with cranio maxillofacial surgery almost the same kind of deviations at almost the same places would return, it might be considered to check the manufacturing process. As in the surface comparison, it is also really easy to adjust the values of the upper and lower limits and get a clear visualization of this.

The area with a notably bigger deviation is located in the same place regardless of the registration method and could be due to bone growth, but this does not affect the functionality of the implant. Overall, the deviations are acceptable and guarantee a good fixation of the implant.

## 5. DISCUSSION

When taking a closer look to the results, there is one visual aspect that returns in every one of the figures. It can be seen that the inside region of the cranial implant is coloured in green, while the area towards the edges of the implant is yellow.

Although it is not possible to draw general conclusions from results of a single case, this is probably due to the fact that the implants are manufactured through silicone rubber moulding. In this process, the material is poured over the desired shape and pressure will be exerted. The problem is that this pressure is only being exerted from one direction, perpendicular on the base of the mould. Since the region in the middle of the implant is being pressed against the base where there is almost no movement, it is located in the green zone of the legend bar. On the sides of the mould there are only openings to drain the excess material.

Since the implant has a concave shape, the pressure will deform the implant's shape and it will bend open on the sides in a way that results in a flatter shape. The more concave the implant is, the bigger the deformation will be. In these cases, the deformation is around 1 mm which is quite big for something only due to the production process. A solution for future cases could be to exert pressure from the sides as well in order to equalize these deformations.

## 5. CONCLUSION

If the surface comparisons of future cases give

the same deviations, thus the green coloured centre without deviations surrounded by a yellow region with occurring displacements, then the division of pressure on the mould in the production process can be reassessed. This would provide a more concave shape like intended instead of a flatter implant.

It can be concluded that if the results of the analyses of future cases would be comparable, the above described method could be used for trustworthy inspection of the dimensional accuracy and the implant its position.

## 6. REFERENCES

- [1] Drstvensek, I. et al. *Applications of Rapid Prototyping in Cranio-Maxillofacial Surgery Procedures*. International Journal of Biology and Biomedical Engineering, 2008, vol. 2, no. 1, p.p. 34-35.
- [2] Lohfeld, S. et al. *Engineering Assisted Surgery: A route for digital design and manufacturing of customised maxillofacial implants*. Journal of Materials Processing Technology, 2007, vol. 183, p.333-338.
- [3] Home website of Ekliptik company: [Internet]. Ekliptik d.o.o.. Available at: <http://www.ekliptik.si/client/en/index.php> [11.02.2016].
- [4] Home website of GOM company: [Internet]. Topomatika d.o.o.. Available at: <http://www.gom.com/index.html> [8.04.2016].

### Authors:

**dr. Tomaz Brajljič, dr. Tomaz Irgolič, Urska Kostevsek, prof. dr. Jože Balic, prof. dr. Igor Drstvensek**, University of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering, Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenia, Phone.: +386 2 220 7596, Fax: +386 2 220 7990.

**dr. Ivan Matin, prof. dr. Miodrag Hadzistević**, University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Phone.: +381 21 485 2350, Fax: +381 21 454-495.

E-mail:

[tomaz.brajli@um.si](mailto:tomaz.brajli@um.si)  
[tomaz.irgolic@um.si](mailto:tomaz.irgolic@um.si)  
[urska.kostevsek@um.si](mailto:urska.kostevsek@um.si)  
[joze.balic@um.si](mailto:joze.balic@um.si)  
[igor.drstvensek@um.si](mailto:igor.drstvensek@um.si)  
[matini@uns.ac.rs](mailto:matini@uns.ac.rs)  
[miodrags@uns.ac.rs](mailto:miodrags@uns.ac.rs)

**Trifković, B., Todorović, A., Puškar, T., Špadijer-Gostović, A., Miletić, V., Bogojević, J.**

**RAZLIKE U OSNOVNIM NUMERIČKIM PARAMETRIMA BOJE ZUBA I  
NADOKNADA IZRAĐENIH OD LITIJUM DISILIKATNE STAKLO KERAMIKE**

***Rezime:** Rekonstrukcije jednog zuba predstavljaju jedan od najvećih izaziva kako za lekare, tako i za zubne tehničare. Za postizanje vrhunskih rezultata važan je izbor gradivnih materijala. Litijum disilikatna staklo keramika ima dobre optičke karakteristike koje su značajan faktor u rekonstrukciji boje. Pravilno određivanje boje jedan je od preduslova za uspeh terapijskog postupka i može da se vrši primenom vizuelnog ili instrumentalnog metoda. Instrumentalna metoda eliminisala je subjektivne faktore i omogućila je prikaz numeričkih vrednosti parametara boje. Cilj: Utvrditi da li postoji statistički značajna razlika u numeričkim parametrima boje između zuba i nadoknada izrađenih od litijum disilikatne staklo keramike.*

***Cljučne reči:** boja zuba, keramička kruna, faseta, spektrofotometar*

## **1. UVOD**

Rekonstrukcija jednog zuba u harmoničnom zub-nom nizu predstavlja jedan od najvećih izazova kako za lekare, tako i za zubne tehničare. Osim znanja i veština, za postizanje vrhunskih rezultata važan je i izbor gradivnih materijala. Danas je na tržištu moguće pronaći široku paletu keramičkih materijala koji se razlikuju po hemijskom sastavu, mehaničkim i optičkim osobinama.

Litijum disilikatna staklo keramika poseduje dobre optičke karakteristike koje znatno doprinose uspešnoj rekonstrukciji boje zubnih nadoknada. Danas je ova vrsta keramike na tržištu prisutna u dve verzije: 1. IPS e.max press (e.max press, Ivoclar Vivadent, Lihtenstein) litijum disilikatna staklokeramika, plasirana je na tržište 2005. godine. Ona predstavlja poboljšanu verziju mehaničkih i optičkih karakteristika svoje prethodnice Empress keramike. 2. Empress 2 (IPS Empress 2, Ivoclar Vivadent, Lihtenstein) keramika kod koje su mehaničke osobine i translucencija unapređene posebnim procesom sinterovanja.[1] Obe vrste keramike se fabrikuju i u vidu blokova namenjenih izradi nadoknada primenom CAD/CAM tehnologija. IPS e. max CAD (IPS e.max CAD, Ivoclar Vivadent, Lihtenstein) su monohromatski ili polihromatski blokovi različitog stepena translucencije koji se nakon obrade CAD/CAM tehnologijom i termičkog tretiranja prevode u gotovu nadoknadu.[2] Pravilno određivanje boje zuba i nadoknada je jedan od preduslova za uspeh terapijskog postupka i može se vršiti primenom vizuelnog ili instrumentalnog

metoda. Najčešći metod za određivanje boje u svakodnevnoj kliničkoj praksi je primena ključeva boja.[3,4] Međutim, ovakav način određivanja boje ima izvesne nedostatke kao što su: metamerizam, zamor oka, neadekvatne uslove osvetljenja, problem komunikacije sa zubnim tehničarem koji nastaje zbog nesavršenosti serija ključeva boja i sl.[5] Poznato je da uticaj pola i iskustva može da utiče na izbor boje. Dokazano je da se percepcija boje razlikuje između dve osobe i može da varira kod jedna osobe u različitim vremenskim periodima.[6,7,8] Ovi nedostaci usloveli su potrebu za primenom instrumentalnih metodama, od kojih se očekivala tačnost i preciznost.

Primena instrumentalnih metoda eliminisala je subjektivne faktore i omogućila je prikaz numeričkih vrednosti parametara boje (L,c,h,a,b). Instrumentalne metode zasnovane su na sistemima boja od kojih su najpoznatiji Munsellov (Munsell system) i CIE Lab sistem (International Commission on Illumination L\*a\*b\* color system). U CIE Lab sistemu parametar L predstavlja kordinatu svetline. Parametru a odgovara hromatičnost između zelene (negativno a) i crvene (pozitivno a), dok parametar b prezentuje hromatičnost između plave (negativno b) i žute (pozitivno b).[9] Na osnovu vrednosti parametra a verifikuje se udeo crvene, parametar b verifikuje udeo žute boje. Podaci iz literature ukazuju na činjenicu da između prirodnih zuba i nadoknada izrađenih od različitih vrsta gradivnih materijala ne postoji apsolutno podudaranje u osnovnim parametrima boje. Ova konstatacija predstavlja hipotezu na osnovu koje je definisan cilj istraživanja: utvrditi da li postoji statistički značajna razlika u numeričkim paramet-

rima boje između prirodnih zuba i krunica, odnosno faseta izrađenih od litijum disilikatne staklo keramike.

## 2. MATERIJALI I METODE

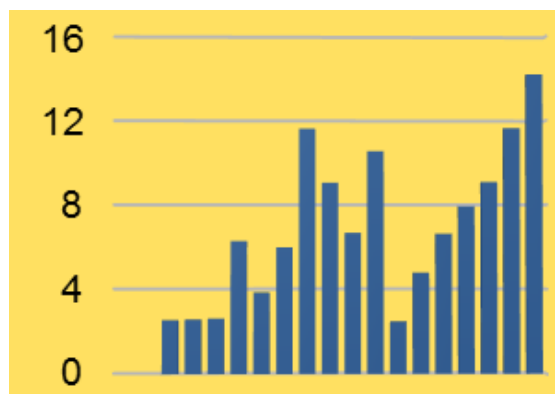
Istraživanje je obavljeno na uzorku od 17 nadoknada (10 keramičkih krunica, 7 faseta) koje su izrađene od litijum disilikatne staklo keramike (e.max press, e.max CAD, Ivoclar Vivadent, Lichtenstein) primenom press tehnike ili CAD/CAM tehnologijama. Određivanje boje vršeno je u regiji centralnog kvadranta srednje trećine vestibularne površine referentnog zuba, odnosno nadoknade. Za referentni zub odabran je zub iz iste grupe kao uz uslov da je zub bio bez karijesnih lezija ili je u potpunosti rekonstruisan nekom vrstom nadoknade. Određivanje boje vršeno je pre početka preparacije. U postupku određivanja učestvovali su lekar i zubni tehničar. Konačna selekcija boje vršena je nakon verifikacije iste od strane pacijenta.

Određivanje je vršeno primenom vizuelnog i instrumentalnog metoda. Instrumentalno određivanje izvršeno je spektrofotometrom EasyShade advance 4.0 (Vita, Bengsheim, Germany). Obrada rezultata obuhvatala je statističku analizu podataka za vrednosti L, a i b zuba i nadoknade i izračunavanje vrednosti  $\Delta E$ .

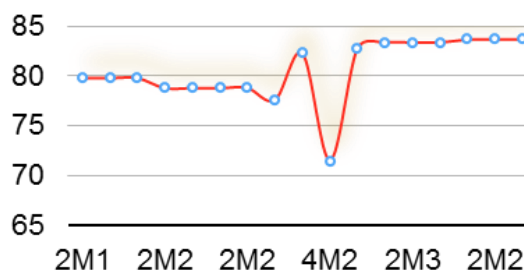
## 3. REZULTATI

Statističkom analizom vrednosti L, a, b između referentnog zuba i faseta utvrđeno je da postoji statistički značajna razlika u vrednostima parametra a ( $p=0,17$ ) što je manje od  $p=0,05$ . U vrednostima L i b nije bilo statistički značajne razlike L-0,076, b-0,18. Analiza vrednosti L, a, b između referentnog zuba u kruna pokazuje da postoji statistički značajna razlika u vrednostima parametara L-0,01 i a-0,00. Vrednost b nije pokazivala statistički značajnu razliku b-0,38.

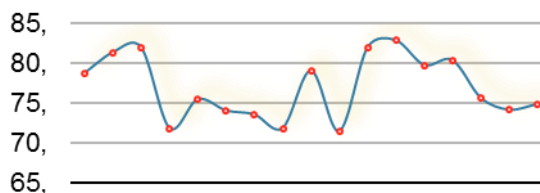
Rezultati istraživanja pokazuju da postoji značajna razlika u vrednostima  $\Delta E$  parametra kod svih uzraka. (Grafikon 1) Numeričke vrednosti parametara L između referentnog zuba i nadoknade pokazuju razliku i odstupanja u vrednostima. (Grafikon 2,3)



Sl. 1. Vrednosti parametra  $\Delta E$



Sl. 2. Prikaz L vrednosti referentnog zuba u odnosu na boju prema 3D Master ključu



Sl. 3. Prikaz L vrednosti nadoknade u odnosu na boju prema 3D Master ključu

## 4. DISKUSIJA

Rezultati istraživanja ukazuju da postoji razlika u parametrima L, a, b i  $\Delta E$  između referentnih zuba i nadoknade. Iako su sve nadoknade za pacijente i lekare bile klinički prihvatljive numeričke vrednosti pokazuju odstupanja, slični rezultati su prisutni i u publikovanim radovima. Ghulman i Awad ukazuju na činjenicu da postoji odstupanje u  $\Delta E$  vrednostima između prirodnih zuba i nadoknade izrađenih od različitih vrsta keramike. Oni ističu na razliku veliki uticaj ima debljina keramičkog materijala. Njihovi rezultati pokazuju da je najlošije podudaranje u boji ostvareno kod IPS Empress keramike. Ovo objašnjavaju činjenicom da je ojačanje keramike leucitom odgovorno za odstupanje od željene boje. Oni uočavaju da veća debljina keramike (1,5mm u odnosu na 0,8mm) omogućava bolji estetski rezultat i verniju reprodukciju prirodne boje, što ukazuje na činjenicu da boja podloge i cementa u znatnoj meri utiče na boju nadoknade

tanjih od 1mm.[10]

Ovi rezultati saglasni su sa rezultatima drugih auto-ra koji istražuju uticaj debljine keramike na izgled nadoknade.[11,12] Vichi navodi da na nau-saglašenost boje prirodnog zuba i keramičke nadoknade, veliki značaj ima boja struktura ispod nadoknade. Boja nadoknade čija debljina iznosi 1mm uslovljena je bojom cement, ovaj uticaj opada sa povećanjem debljine keramike.[13] Sa ovim rezultatima saglasni su rezultati Xu- ove studije. On navodi da je uticaj cementa pri debljini keramike od 1mm najmanje uočljiv, a pri opadanju vrednosti debljine keramike (0,7mm odnosno 0,5mm) taj uticaj je postao izraženiji.[14] Publikovana su istraživanja u kojima autori simulirajući prirodnu boju dentina dolaze do zaključka da tanka keramička faseta ne može da maskira boju struktura ispod, bez obzira na to koji cement je primenjen.[15] Takođe podaci iz literature ukazuju da cement ima uticaja na svetlinu i zasićenost boje keramičke nadoknade, što potkrepljuju razlikama u ovim parametrima pre i posle cementiranja.[16]

Rezultati našeg istraživanja pokazuju da prisustvo statistički značajne razlike u parametru a (p - 0,17) između prirodnog zuba i keramičkih faseta ukazuju na činjenicu da je udeo crvene boje različit, odnosno da je u nadoknadama nakon instrumentalnog određivanja boje zabeležen veći udeo crvene boje. Razloge za to možemo tražiti u debljini nadoknade, boji cementa i keramike, kao i boji brušenog zuba. Prisustvo statistički značajne razlike u parametrima L-0,01 i a-0,00 između zuba i krunica pokazuje da su nadoknade tamnije od prirodnih zuba i da imaju veći udeo crvene boje. Razloge za ovakve rezultate treba tražiti u debljini nadoknade, odnosno vrsti keramičkog materijala.

U literaturi poznata činjenica da vrednosti  $\Delta E$  od 2.0 do 3.7 pokazuju odstupanja u boji koja se mogu prepoznati u kliničkim uslovima. Praksa je pokazala da i veća odstupanja u  $\Delta E$  ne zahtevaju zamenu nadoknade i ne izazivaju nezadovoljstvo pacijenata.[17] Rezultati našeg istraživanja potvrđuju ovu konstataciju. Vrednosti parametra L između zuba i nadoknada takođe pokazuju značajnu razliku (Grafikon 2,3), koja nije povezana sa subjektivnim doživljajem boje kako pacijenta, tako i lekara imajući u obzir činjenicu da su sve nadoknade okarakterisane kao prihvatljive. Činjenica je da je čovekov doživljaj boje mnogo kompleksniji od jednostavnog numeričkog iznosa vrednosti  $\Delta E$ . Neki autori ukazuju na činjenicu da pacijenti svoje zube doživljavaju tamnijima, u poređenju sa doživljajem terapeuta. Očekivanja pacijenata češće su usmerena na svetlije i manje zasićene nijanse u odnosu na nijansu prirodnih zuba.[18] Ovo potvrđuje konstataciju da numerič-

ke vrednosti  $\Delta E$  nisu uvek objektivni razlozi za neprihvatanje boje. Budući da je pacijent jedini nosilac odluke o prihvatljivosti nadoknade, numeričke parametre i skale za vrednosti delta E treba uzeti sa rezervom.

## 5. ZAKLJUČAK

Rezultati istraživanja pokazuju da postoji razlika u osnovnim numeričkim parametrima boje između referentnog zuba i nadoknade koju su pacijenti i lekari vizuelnom verifikacijom ocenili kao prihvatljivu. Ovakva konstatacija upućuje na zaključak da numeričke vrednosti parametara koji definišu boju zuba i nadoknada mogu da pokazuju manje ili veće razlike, a da to ne utiče na vizuelni utisak posmatrača i prihvatljivost terapijskog rezultata.

## 6. REFERENCE

- [1] Conrad HJ, Seong WJ, Pesun GJ: Current ceramic materials and systems with clinical recommendations: A systematic review. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2007;98(5):389-404.
- [2] Obradović Đuričić K, Todorović A, Dodić S, Medić V: Keramički sistemi u stomatološkoj praksi, Stomatološki fakultet, Beograd 2013.
- [3] Ribino, Garcia A, Jimenez del Barco, Romeno J: Colour measurement of human teeth and evaluation of colour guide. *Color Res Appl* 1994;19:19-22.
- [4] Brewer D, Wee A, Seghi R: Advances in color matching. *Dent Clin North Am*, 48 (2004), pp. 341-358
- [5] O'Brien WJ, Boenke KM, Groh CL: Coverage errors of two shade guides. *Int J Prosthodont* 1991;4:45-50.
- [6] Haddad HJ, Jakstat HA, Arnetzl G, Borbely J, Vichi A, Dumfahrt H, et al: Does gender and experience influence shade matching quality? *Journal of Dentistry*. 2009;37:E40-E4
- [7] Capa N, Malkondu O, Kazazoglu E, Calikkocaoglu S: Evaluating factors that affect the shade-matching ability of dentists, dental staff members and laypeople. *Journal of the American Dental Association*. 2010;141(1):71-6
- [8] Horn DJ, Bulan-Brady J, Hicks ML: Sphere spectrophotometer versus human evaluation of tooth shade. *Journal of Endodontics*. 1998;24(12):786-90
- [9] Sproull RC: Color matching in dentistry. I. The three-dimensional naturecolor. *J Prosthet Dent* 1973;29:416-24.
- [10] Ghulman MA, Awad MA: Color Variation



- Between Matched and Fabricated Shades of Different Ceramics. *Journal of Prosthodontics-Implant Esthetic and Reconstructive Dentistry*. 2013;22(6):472-7
- [11] Dozic A, Kleverlaan CJ, Meegdes M, et al: The influence of porcelain layer thickness on the final shade of ceramic restorations. *J Prosthet Dent* 2003;90:563-570
- [12] Christensen GJ: Facing the challenges of ceramic veneers. *Journal of the American Dental Association*. 2006;137(5):661-4
- [13] Vichi A, Ferrari M, Davidson CL: Influence of ceramic and cement thickness on the masking of various types of opaque posts. *J Prosthet Dent* 2000;83:412-417
- [14] Xu B, Chen X, Li R, Wang Y, Li Q: Agreement of Try-In Pastes and the Corresponding Luting Composites on the Final Color of Ceramic Veneers. *Journal of Prosthodontics-Implant Esthetic and Reconstructive Dentistry*. 2014;23(4):308-12
- [15] Dozic A, Tsagkari M, Khashayar G, Aboushelib M: Color management of porcelain veneers: Influence of dentin and resin cement colors. *Quintessence International*. 2010;41(7):567-73
- [16] Chen X-D, Hong G, Xing W-Z, Wang Y-N: The influence of resin cements on the final color of ceramic veneers. *Journal of Prosthodontic Research*. 2015;59(3):172-7
- [17] Johnston WM, Kao EC: Assessment of appearance match by visual observation and clinical color metry. *J Dent Res* 1989;68:819-822
- [18] Samorodnitzky-Naveh GR, Grossmann Y, Bachner YG, Levin L: Patients' self-perception of tooth shade in relation to professionally objective evaluation. *Quintessence International*. 2010;41(5):E80-E3
- Autori: ass. dr Branka Trifković1, prof. dr Aleksandar Todorović1, prof. dr Tanja Puškar3, doc. dr Aleksandra Špadijer - Gostović1, doc. dr Vesna Miletić2, dr Jelena Bogojević1***
1. Klinika za Stomatološku protetiku, Stomatološki fakultet, Univerzitet u Beogradu
  2. Klinika za Bolesti zuba, Stomatološki fakultet, Univerzitet u Beogradu
  3. Medicinski fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Klinika za stomatologiju Vojvodine
- E.mail: [branka.trifkovic@stomf.bg.ac.rs](mailto:branka.trifkovic@stomf.bg.ac.rs)

**Puškar, T., Vasiljević, D., Šokac, M., Radovanović, M. Pivaš, B., Kojić, S., Mirković, S.**

**ANALIZA MOGUĆNOSTI ZA UNAPREĐENJE I RAZVOJ SAVREMENIH  
DIJAGNOSTIČKIH METODA ZA DETEKCIJU OKLUZALNIH OPTEREĆENJA**

***Rezime:** Razvoj savremene stomatologije je u značajnoj meri povezan sa implementacijom naprednih tehničko-tehnoloških rešenja. Jedan od aktuelnijih problema u oblasti stomatološke nauke i struke je potreba da se okluzalni kontakti između zuba, kao i između zuba i zubnih nadoknada tačno odrede i zabeleže, a posebno da se izmeri intenzitet opterećenja. Zahvaljujući razvoju u oblasti 3D digitalizacije, savremena stomatologija je orijentisana na primenu 3D virtuelnih modela. Sa druge strane, razvoj fleksibilnih senzora za detekciju sile, koji objedinjuju zahteve sa stomatološkog aspekta i analize dobijene pomoću 3D virtuelnih modela, predstavlja značajan korak ka unapređenju izrade zubnih nadoknada. U radu je predstavljena ideja za unapređenje i razvoj savremenih dijagnostičkih metoda za detekciju okluzalnih opterećenja, na bazi primene virtuelnih 3D modela i senzora za detekciju sile.*

***Cljučne reči:** stomatologija, 3D digitalizacija, okluzalno opterećenje, senzori*

## **1. UVOD**

Pojam “okluzija” se odnosi na raspored i način na koji zubi gornje i donje vilice međusobno kontaktiraju. Zubi su stalno izloženi okluzalnim opterećenjima tokom funkcija orofacijalnog sistema. Kontrola ovih sila i prenos na alveolarnu kost omogućena je preko periodontalnog ligamenta.

Pri izradi zubnih nadoknada, veoma je važno na optimalan način rekonstruisati okluzalnu površinu veštačke krune. U protivnom javiće se prevremeni kontakti između zuba i zubne nadoknade koji mogu dovesti do oštećenja potpornog aparata zuba i mehaničkog oštećenja zubne nadoknade. U najgorem slučaju može doći do gubitka preopterećenog zuba usled traumatskog parodontitisa, što stvara medicinske, psihološke, terapijske i materijalne probleme.

U oblasti stomatološke nauke i struke postoji potreba da se okluzalni kontakti između zuba, kao i između zuba i zubnih nadoknada tačno odrede i zabeleže, a posebno da se izmeri intenzitet opterećenja. Time bi se omogućila tačna izrada okluzalne površine zubnih nadoknada i osigurala trajna i uspešna terapija.

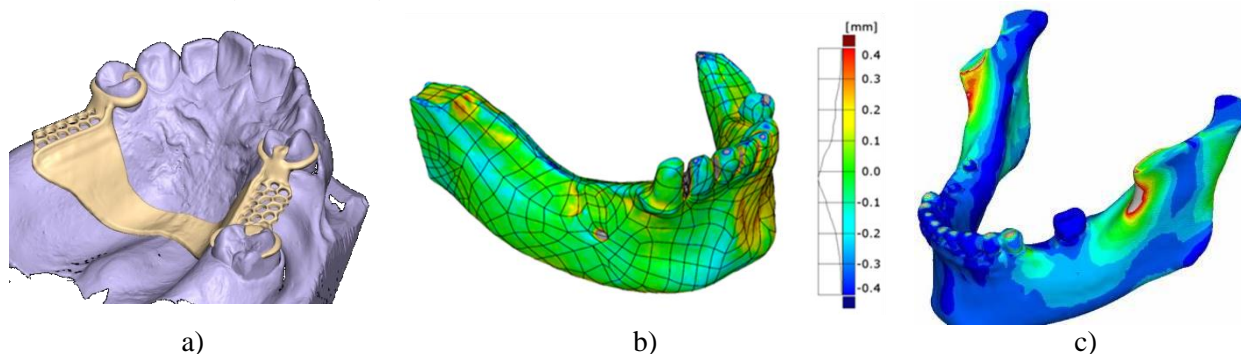
## **2. ANALIZA TRENUTNOG STANJA U OBLASTI DETEKCIJE OKLUZALNIH OPTEREĆENJA**

Uobičajena tehnika okluzalnog uravnoteženja u protetičkoj i implantno-protetičkoj terapiji, podrazumeva primenu okluzalnih markera, artikulacionih papira i subjektivnu interpretaciju

pacijenta o vremenu i jačini okluzalnih kontakata. Istraživanja su pokazala da postoji mala korelacija između tragova artikulacionog papira i okluzalne sile koja se razvija u zonama okluzalnog kontakta. Intenzivno obojeni tragovi artikulacionog papira pripisivani su jačim okluzalnim silama, dok bi manji, svetliji tragovi trebalo da predstavljaju slabije okluzalno opterećenje. Novija istraživanja pokazala su da trag artikulacionog papira ne prikazuje adekvatno jačinu okluzalnih sila i da je 21% tragova artikulacionog papira bilo u korelaciji sa primenjenim okluzalnim opterećenjem [1,2]. Subjektivna potvrda pacijenta nije uvek pouzdan indikator o jačini i simultanosti okluzalnih kontakata. To je posebno izraženo kod izrade implantno nošenih kruna, jer implantat ne poseduje proprioceptore i mehanoreceptore periodontalnog ligamenta pa se njegovo opterećenje odvija bez neurološke povratne informacije u centralnom nervnom sistemu. Prevremeni kontakti kod implantno nošenih nadoknada dovode do periimplantitisa i resorpcije kosti oko implantata, što dovodi do njegovog ispadanja. Ovo je teška komplikacija veoma složene i zahtevne terapije, sa materijalnim i psihosocijalnim posledicama.

Razvoj u oblasti stomatologije je u značajnoj meri povezan sa implementacijom sofisticiranih sistema za 3D digitalizaciju [3]. Zahvaljujući razvoju u oblasti 3D digitalizacije, savremena stomatološka nauka je orijentisana na primenu 3D virtuelnih modela. Teži se primeni 3D virtuelnih modela vilice i zuba u planiranju terapije (slika 1a), ali i integraciji ovakvih modela sa rezultatima različitih analiza, kao što su dimenziona i

strukturna analiza (slika 1b i 1c).



Sl. 1. Primeri primene 3D virtuelnih modela u stomatologiji

Na tržištu je dostupno više sistema za optičku 3D digitalizaciju različitih proizvođača. Većina predstavlja sastavni deo integrisanih stomatoloških CAD/CAM sistema, ali postoji i nekoliko nezavisnih sistema ove vrste. Kada je reč o metodološkim aspektima, iako je reč o optičkim sistemima, postoje značajne razlike u primenjenim mernim principima. Uglavnom su zasnovani na laserskoj i strukturiranoj svetlosti, a trend je primena dualnih kamera sa CCD i CMOS sensorima i LED svetlosnih izvora. Uprkos sličnim pristupima, karakteristike ovih sistema značajno variraju u pogledu korisničke orijentisanosti, tačnosti, tj. merne nesigurnosti, otvorenosti za povezivanje, odnosno izlaznih formata zapisa podataka, a slična je i situacija sa cenom, koja se značajno povećava sa povećanjem tačnosti. Stereovizijska fotogrametrija predstavlja optičku metodu koja je, iako poznata od ranije, zahvaljujući napretku senzorske i softverske podrške tek u skorije vreme počela ozbiljnije da se primenjuje, ali za sada ne i u oblasti stomatološke 3D digitalizacije. S obzirom na relativno nisku cenu potrebnih hardverskih komponenti, zasnovanosti na mernom principu koji garantuje dovoljno jednostavnu korisničku primenu, za očekivati je da se na bazi ove metode mogu razviti konkurentni sistemi za 3D digitalizaciju u oblasti stomatologije.

S obzirom na gore navedeno, određivanje intenziteta sile i položaja njenog delovanja je od ključnog značaja u većini merenja za određivanje sile u mnogim oblastima, kao što su medicina, stomatologija, rehabilitacija, robotika, itd. Do sada korišćene metode za određivanje sila variraju od običnih opruga, do savremenih elektronskih uređaja. Ovi uređaji su veoma tačni i precizni, međutim dimenzije i oblik u mnogome ograničavaju njihovu primenu u detekciji sila na malim površinama, npr. na frontalnom delu usne duplje. Takođe, najčešće su izrađeni od čvrstih materijala čineći ih tako neprijatnim i potencijalno

opasnim za pacijente. U poslednje vreme sve je veća primena fleksibilnih otpornika za detektovanje sile (FSRs-Force Sensing Resistors). Oni predstavljaju ravne, savitljive uređaje koji ispoljavaju smanjenje električne otpornosti sa povećanjem sile primenjene normalno na njihovu površinu. Glavne prednosti ovih senzora su niska cena, fleksibilni oblik, kao i njihova komfornost pri korišćenju za merenja na pacijenatima. Do sada su najčešće korišćeni za merenje sila koje se stvaraju na vrhovima prstiju, na šakama, kao i na stopalima, pri izradi proteza i robotskih šaka i stopala, kao i u rehabilitacione svrhe kod osoba sa invaliditetom [4-6]. Međutim, sve je veća potreba za njihovim korišćenjem u stomatologiji za merenje okluzalnih sila između zuba [7]. Na ovaj način moguće je veoma lako odrediti sile i na najmanjim kontaktnim površinama, koje se javljaju na frontalnom delu vilice. Treba istaći da primena ovako razvijenih senzora ustvari predstavlja lakšu, jeftiniju i bržu metodu merenja, jer se senzor samo postavi između željenih zuba i odmah dobije intenzitet sile ostvarene među njima.

### 3. PREDLOG ZA UNAPREĐENJE DIJAGNOSTIČKIH METODA ZA DETEKCIJU OKLUZALNIH OPTEREĆENJA

Kod zubno-nošenih nadoknada utvrđivanje međusobnog kontakta zuba moguće je zahvaljujući proprioceptorima u parodontijumu izbrusjenih zuba. Povratne informacije iz periodontalnog ligamenta i pacijentova percepcija okluzalnih kontakata kada su prisutne zubne nadokande osam puta je manje pouzdana, u poređenju sa prirodnim zubima [8].

Kod implantno nošenih zubnih nadoknada implant je u tesnoj vezi sa kosti- osteointegrisan, tako da pri opterećenju nedostaje amortizujući efekat parodontalnog ligamenta koji postoji kod

prirodnog zuba. U tom slučaju prevelika opterećenja i njihov nepovoljan pravac dejstva dovode do mnogo veće destrukcije kosti nego kod prirodnog zuba.

S obzirom na gore navedene činjenice, analiza okluzalnih kontakata u „in vitro“ uslovima, odnosno odabir radnih modela reprezentativnih slučajeva uticaće na kvalitet i primenljivost postignutih rezultata.

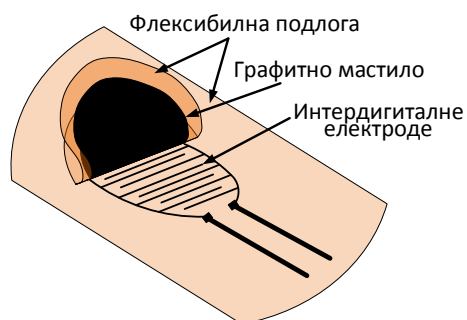
Imajući u vidu značaj identifikacije lokacija u kojima dolazi do okluzalnih kontakata, sprovede se analiza mogućnosti za primenu 3D virtuelnih modela zuba, odnosno vilice kod detekcije okluzalnih opterećenja. Rezultati analize će poslužiti kao osnova za trodimenzionalnu identifikaciju pozicija i pravaca okluzalnih sila.

Za realno simuliranje okluzalnih sila pri merenjima koristiće se artikulatori (slika 2) sa odabranim odgovarajućim kliničkim slučajevima.



Sl. 2. Šematski prikaz artikulatora, b) FSR senzora i c) sistema za stereovizijsku fotogrametriju

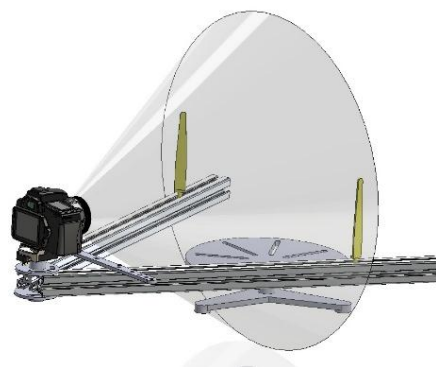
Integracija i interpretacija rezultata proučenih okluzalnih kontakata ciljanih populacija reprezentativnim slučajevima biće ostvarena u „in vitro“ uslovima. Senzori izrađeni na fleksibilnom supstratu koji se sastoje od dva sloja odvojena vazдушnim procepom za detekciju sile opterećenja su prikazani na slici 3.



Sl. 3. Šematski prikaz FSR senzora

Dok će konceptualni model ekstraoralnog sistema za 3D digitalizaciju biti zasnovan na

principu stereovizijske fotogrametrije (slika 4) [9].



Sl. 4. Šematski prikaz sistema za stereovizijsku fotogrametriju

#### 4. POTENCIJALNI EFEKTI UNAPREĐENJA DIJAGNOSTIČKIH METODA ZA DETEKCIJU OKLUZALNIH OPTEREĆENJA

Svakako uticaji koje može da ima ova integracija su ogromni, a pre svega se ogledaju u:

- Proširenju u oblasti razvoja i primene savremenih dijagnostičkih pristupa za analizu okluzalnih opterećenja (sa medicinskog i inženjerskog aspekta);
- Poboljšanom kvalitetu stomatološke terapije kroz bolji kvalitet dentalnih nadoknada;
- Produženom životnom veku dentalnih nadoknada kroz smanjenje rizika od loma što implicira nižu cenu;
- Zadovoljnijim pacijentima;
- Razvoj sistema za analizu okluzalnih opterećenja koji će poboljšati kvalitet individualnih rešenja za rekonstrukciju površina zuba i interdentalnih odnosa.
- Kreiranje sistema za analizu okluzalnih kontakata zuba omogućiće izradu zubnih nadoknada sa okluzalnom površinom koja omogućava optimalno raspoređivanje pritiska između preostalih zuba i implantno nošenih kruna, što doprinosi okluzalnom uravnoteženju i optimalnoj funkciji orofacijanog sistema nakon primenjene terapije. Na ovaj način izrada zubnih nadoknada ne nosi rizik po zdravlje orofacijalnog sistema usled neadekvatnog opterećenja.
- Tačnim merenjem okluzalnog opterećenja u zdravoj populaciji gde se omogućuje otkrivanje prevremenih kontakata i neadekvatnih opterećenja zuba, čijim otklanjanjem će se omogućiti prevencija oboljenja orofacijalnog sistema (temporomandibularnih disfunkcija).
- Sistem za analizu okluzalnih kontakata značajan je za dijagnostiku kranio-mandibularnih disfunkcija i dijagnostiku prevremenih kontakata.
- Analiza pokreta i položaja koji dovode do

pojačanih kontakata između zuba kod pacijenata sa bruksizmom (parafunkcija - škrgutanje zubima i stiskanje vilica) omogućit će izradu zubnih nadoknada kod ovih pacijenata, što je do sada bilo otežano uz neizvestan ishod terapije.

- Kod zdrave populacije i bruksista omogućit će se poboljšanje osnovnih funkcija orofacijalnog sistema, kao što su žvakanje, gutanje, govor i mimika.

## 5. ZAKLJUČAK

Primena virtuelnih 3D modela i senzora za detekciju sila u oblasti stomatologije, pre svega za određivanje intenziteta sile i položaja njenog delovanja kada je u pitanju okluzalno opterećenje kod zuba pacijenta, je od ključnog značaja. Ovo je veoma bitno kod merenja i određivanja okluzalne sile i predstavlja jedan novi pravac u kojem se integracijom ovih različitih sistema mogu dobiti rezultati koji omogućavaju adekvatan tretman kod pacijenta. Pritom će se, kroz integraciju metoda za 3D digitalizaciju i sofisticiranih senzora, omogućiti lakša, jeftinija i brža metoda merenja sile kod okluzalnog opterećenja.

## ZAHVALNICA

U ovom radu su predstavljeni rezultati ostvareni u okviru Projekta br. 114-451-2723/2016-03 finansiranog od strane Pokrajinskog sekretarijata za obrazovanje, nauku i tehnološki razvoj, odnosno u okviru projekta TR 35020 iz Programa tehnološkog razvoja Ministarstva za obrazovanje, nauku i tehnološki razvoj R. Srbije.

## 6. REFERENCE

- [1] Carey, J.P., Craig, M., Kerstein, R.B., Radke, J., *Determining a Relationship Between Applied Occlusal Load and Articulating Paper Mark Area* The Open Dentistry Journal, Vol 1, p.p. 1-7, 2007.
- [2] Qadeer, S., et al. *Relationship between articulation paper mark size and percentage of force measured with computerized occlusal analysis*, J Adv Prosthodont, Vol 4, No 1, p.p. 7-12, 2012.
- [3] Budak, I., Trifkovic, B., Puskar, T., Vukelic, Dj., Vucaj-Cirilovic, V., Hodolic, J., Todorovic, A., *Comparative analysis of 3D digitization systems in the field of dental prosthetics*, Tehnički vjesnik-technical gazette, vol. 20, no. 2, pp. 291-296, 2013.
- [4] A. Nikonovas, A. J. L. Harrison, S. Hoult, D. Sammut: "The application of force-sensing resistor sensors for measuring

forces developed by the human hand", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine, Vol. 218, No. 2, pp.121-126, 2004.

- [5] B. T. Smith, D. J. Coiro, R. Finson, R. R. Betz, J. McCarthy: "Evaluation of force-sensing resistors for gait event detection to trigger electrical stimulation to improve walking in the child with cerebral palsy", IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, Vol. 10, No. 1, pp. 22-29, 2002.
- [6] T. D'Alessio, "Improving the use of force sensing resistors arrays for the measure of hand grasp", Electrotechnical Conference, MELECON'96, Vol. 3, pp. 1383-1386, 1996.
- [7] C. Fernandes, P. O. Glantz, S. Svensson, A. Bergmark, "A novel sensor for bite force determinations", *Dental Materials*, Vol. 19, No. 2, pp. 118-126, 2003.
- [8] Lindhe, J., Lang, N.P., Karring, T., *Clinical Periodontology and Implant Dentistry*, Blackwell Munksgaard, Oxford, UK, 2008.
- [9] Santoši Ž., Šokac M., Korolija-Crkvenjakov D., Kosec B, Soković M., Budak I., *Reconstruction of 3D models of cast sculptures using close-range photogrammetry*, Metalurgija, Vol.54, No.4, pp. 695-698, 2015.

**M.Sc. Mario Šokac, M.Sc. Dragana Vasiljević, M.Sc. Milan Radovanović, M.Sc. Sanja Kojić**, Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2255, Fax: +381 21 454-495.

E-mail:

[marios@uns.ac.rs](mailto:marios@uns.ac.rs)  
[vdragana@uns.ac.rs](mailto:vdragana@uns.ac.rs)  
[rmilan@uns.ac.rs](mailto:rmilan@uns.ac.rs)  
[sanjakoje@uns.ac.rs](mailto:sanjakoje@uns.ac.rs)

**Autori: V. Prof. dr Tatjana Puškar, dr Bojana Pivaš, Prof. dr Siniša Mirković** Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet, Katedra za stomatologiju, Hajduk Veljkova 12, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 661-33-62, Fax: +381 21 526-120

E-mail:

[tatjanapuskar@yahoo.com](mailto:tatjanapuskar@yahoo.com)  
[bojanapivash@gmail.com](mailto:bojanapivash@gmail.com)  
[sinisa.mirkovic021@gmail.com](mailto:sinisa.mirkovic021@gmail.com)



## PRIMENA TEHNOLOGIJE MULTIDETEKTORSKOG SKENERA ZA SNIMANJE KORONARNIH KRVNIH SUDOVA

**Rezime:** MSCT koronarografija je neinvazivna dijagnostička procedura koja omogućava tačnu i preciznu procenu stepena suženja koronarnih krvnih sudova kao i vrste plaka. Dalje usavršavanje metode snimanja kroz usavršavanje aparata, uvođenjem u upotrebu skenera sa "dual source" tehnologijom kao i pravilan odabir pacijenata dovode do sve tačnije procene stepena stenoze koronarnih arterija.

**Ključne reči:** Kardiologija, multi-slajs kompjuterizovana tomografija, koronarna angiografija

### 1. UVOD

Savremena dostignuća u oblasti radiologije omogućila su unapređenje dijagnostičkih procedura u svim oblastima medicine.

Pojava tehnologije multi-slajs kompjuterizovane tomografije (MSCT), sa 16-slajsnim i kasnije 64,128 i 256 slajsnim aparatima, multidetektorskim skenerima, sa mogućom debljinom sloja (rezolucijom) 0,3 do 0,6 mm, dovela je do značajnih promena u načinu dijagnostike koronarne bolesti srca.

### 2. RAZVOJ MSCT TEHNOLOGIJE

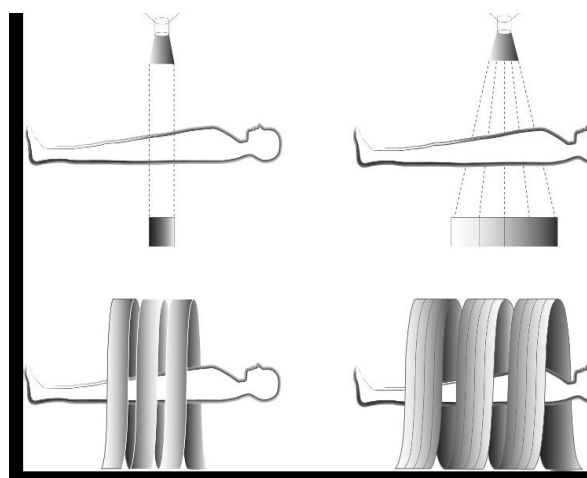
Prvi multislajсни skener Elscint CT Twin je razvijen još 1991. godine [1]. To je bio dvoslajсни skener, koji je tokom svake rotacije pravio dva preseka. Ova tehnologija se brzo razvijala, pa je ubrzo pušten u rad 4 slajсни, zatim 16-to slajсни, 64 slajсни, 128 i 256 slajсни [1]. Pojava "dual source" tehnologije, sa dva izvora x-zraka i upotreba multislajsnih detektora postavljenih jednih nasuprot drugima pod 90 stepeni jedan od drugog, koji se kontinuirano rotiraju oko pacijenta tokom snimanja, omogućila je skraćanje vremena snimanja (a time i vremena u kome je potrebno da pacijent zadrži dah) i obezbedila kvalitetniju sliku ispitivanih krvnih sudova (Slika 1.) [2].

### 3. TEHIČKE OSNOVE MSCT TEHNOLOGIJE

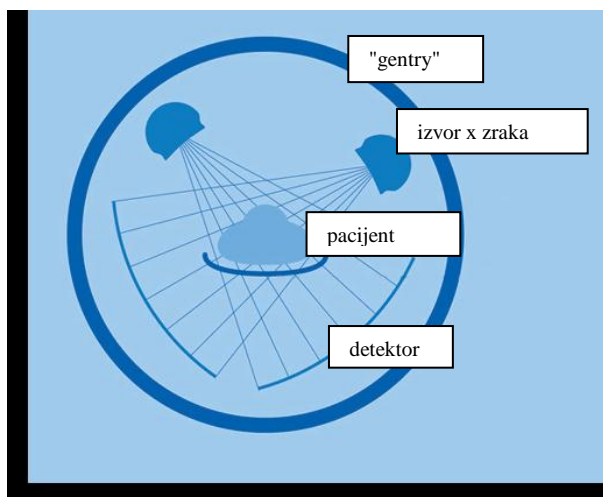
CT skeneri imaju izvor x-zraka i detektore postavljene jedne nasuprot drugima i oni se kontinuirano rotiraju oko pacijenta. Snimci (skenovi) se pravi prilikom kretanja pacijenta kroz otvor aparata (gentry) (Slika 2.). Računarski sistem obrađuje podatke dobijene sa snimaka i na osnovu njih se kreira trodimenzionalni (3D)

volumetrijski zapis. Formirani 3D objekat se na radnom monitoru može videti iz različitih perspektiva i u različitim presecima [3].

3D objekat, koji se vidi na radnoj stanici je načinjen od serije trodimenzionalnih piksela (vokseli), od čije veličine zavisi rezolucija skenera. Voksel je prikazan u različitim nijansama sive boje (od crne do bele) koje predstavljaju nivo atenuacije x-zraka, u zavisnosti od vrste tkiva kroz koje su prošli zraci. Kost i kalcijum (koji je posebno značajan u dijagnostici koronarne bolesti srca) impliciraju viši nivo atenuacije, zbog čega se prikazuju belom bojom. Vazduh karakteriše vrlo nizak stepen atenuacije, što se reprezentuje vokselima u crnoj boji. Manja veličina vokselu odgovara većoj rezoluciji skenera. Ona zavisi od rezolucije senzora x-zraka, a ne od broja preseka. Povećanjem broja i veličine detektora (multidetektorski MSCT), kao i ubrzavanjem rotacije aparata (gentry) oko pacijenta dobija se kvalitetniji snimak.



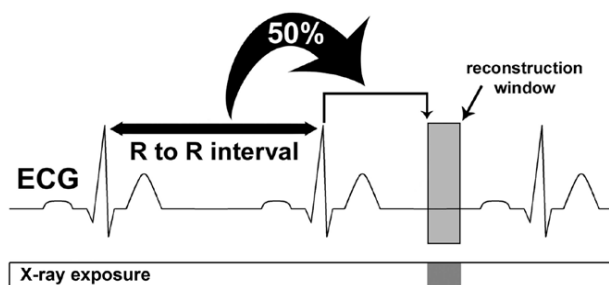
Sl. 1. Razlika između "single" i multi slajs skenera



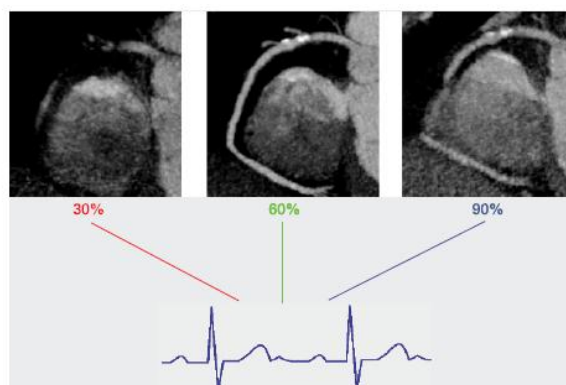
Sl. 2. EKG triggerovanje i smanjenje zračenja

#### 4. PRIMENA MSCT SKENERA U KARDIOLOGIJI

Specifičnost snimanja koronarnih arterija u odnosu na snimanje drugih organa leži u činjenici da se srce kao organ stalno pomera. Iz tog razloga je mnogo teže dobiti adekvatnu sliku. Da bi se ova tehnologija mogla koristiti za procenu suženja krvnih sudova, snimanje se obavlja samo u određenoj fazi srčanog ciklusa - u kasnoj dijastoli. To je faza rada srca kada se srčani mišić najmanje pomera. Iz tog razloga uvedeno je "EKG-triggerovanje". Snimanje u određenom delu dijastole (kasne dijastole) odnosno "cardiac triggering" odnosno "ECG gating" (engl. prim. aut.) predstavlja veoma važan momenat za dobijanje kvalitetne slike koronarne arterije (slike 3 i 4) [4]. Aparat registruje R zubac tokom EKG zapisa (sistola). Snimanje se vrši nakon određene (programirane) pauze, kada srce dolazi u kasnu dijastolu, čime se dobijaju slike sa mnogo manje artefakata (slika 4).



Sl. 3. "ECG gating" u toku CT koronarografije



Sl. 4. Proces rekonstrukcije slike u različitim fazama dijastole

Jedan od veoma važnih preduslova za uspešno snimanje koronarnih krvnih sudova u fazi kasne dijastole je smanjenje srčane frekvencije, koja treba da se kreće do 65 otkucaja u minuti. To se postiže adekvatnom medikamentoznom pripremom pacijenata. Produžavanjem dijastole, produžava se i vreme u kojem je moguće snimiti krvne sudove. Pojava ekstrasistola i odsustvo sinusnog ritma (atrijalna fibrilacija) onemogućavaju dobijanje adekvatne slike.

#### 5. DOZA ZRAČENJA TOKOM MSCT KORONAROGRAFIJE

U početku primene MSCT tehnologije nivo zračenja, koji je pacijent primao, bio je značajno veći u odnosu na klasičnu angiografiju (invazivnu koronarnu angiografiju), gde je doza zračenja iznosila i do 21 mSv [5]. U "CORE" studiji iz 2006. godine (poređenje CT koronarografije sa invazivnom koronarnom angiografijom) dobijena je srednja efektivna doza zračenja za muškarce 16 mSv, a za žene 15 mSv [5]. U "PROTECTION I" studiji dobijeno je prosečno zračenje od 12 mSv [5].

PROCEDURA	EFEKTIVNA DOZA (mSv)
MSCT koronarna angiografija	6 – 25
Invazivna koronarna angiografija	2,1 - 6
MSCT grudnog koša	5-7

Tabela 1. Efektivne doze zračenja tokom različitih dijagnostičkih procedura

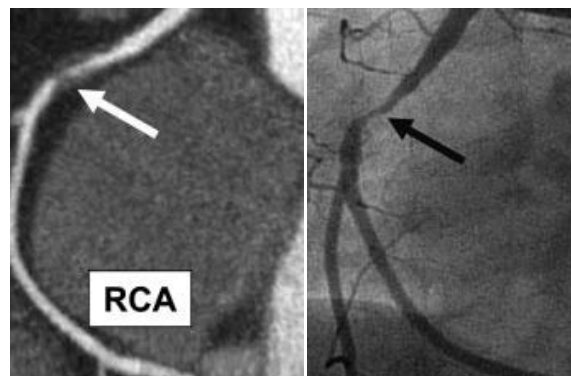
U toku dijagnostičke, invazivne koronarne angiografije srednja doza iznosi od 2,5 do 10 mSv [5]. Uvođenjem tehnologije EKG „trigerovanja“ u toku MSCT koronarografije, snimanje se vrši samo u određenom delu srčanog ciklusa (deo dijastole) i redukcijom voltaže cevi smanjenje zračenja se može postići i do 90% [5]. Tipične efektivne doze zračenja pri različitim dijagnostičkim procedurama prikazane su u tabeli 1.

## 6. ZNAČAJ MSCT KORONAROGRAFIJE U KLINIČKOJ PRAKSI

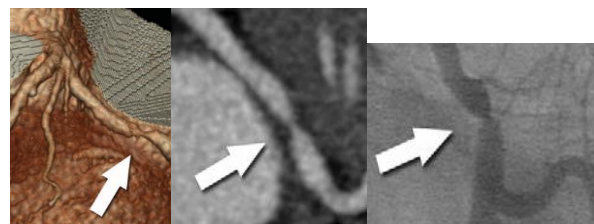
Tendencija savremene medicine je da se u dijagnostici pribegava što manje invazivnim procedurama uz primenu dijagnostičkih i terapijskih metoda koje ne zahtevaju hospitalizaciju. MSCT koronarografija kao neinvazivna dijagnostička metoda omogućava procenu stepena suženja koronarnih krvnih sudova i vrste plaka, bez hospitalizacije pacijenata, bez pojave ozbiljnih komplikacija (smrtni ishod, akutni infarkt miokarda, cerebrovaskularni inzult) i uz značajno smanjenje troškova izvođenja procedure u odnosu na invazivnu koronarnu angiografiju (IKA). Naučna istraživanja u oblasti primene MSCT koronarografije, u kojima su poređeni nalazi MSCT koronarografije i IKA, imaju za cilj ispitivanje stepena korelacije nalaza te dve dijagnostičke procedure, kako bi MSCT koronarografija, kao neinvazivna, ambulantna procedura, postala metoda izbora za procenu koronarne cirkulacije za određene grupe pacijenata (Slika 5. i 6.). Od uvođenja „dual sorce“ tehnologije MSCT koronarografije, ovaj način vizuelizacije krvnih sudova srca, veličine i vrste plaka u krvnim sudovima ima još značajniju ulogu u dijagnostici pacijenata sa anginom pectoris [6]. Senzitivnost se na taj način registruje do 95 %, specifičnost 95 % PPV 75 %, NPV 99 % [7]. U svetu se godišnje uradi veliki broj IKA na kojima se ne uočavaju hemodinamski značajne stenozе na koronarnim arterijama (po nekom istraživanjima čak do 40%) [7].

Na taj način, sa jedne strane, pacijenti se podvrgavaju nepotrebnoj hospitalizaciji i riziku te invazivne dijagnostičke procedure uz nepotrebne troškove za sistem zdravstvenog osiguranja. MSCT koronarografija bi u takvim slučajevima mogla imati dvojaku ulogu. Uz veliku tačnost, senzitivnost, specifičnost, kod mlađih pacijenata i kod pacijenata koji imaju nizak Ca score, MSCT koronarografija bi mogla da zameni IKA u dijagnostici koronarne bolesti srca ili da detekcijom stenozа na koronarnim krvnim sudovima koje nisu hemodinamski značajne,

smanji broj nepotrebnih IKA. Eliminisanjem pacijenata koji imaju poremećaje ritma, u prvom redu atrijalnu fibrilaciju, zatim gojaznih pacijenata i onih koji ne mogu da zadrže dah dovoljno dugo, uz adekvatnu edukaciju lekara koji očitavaju nalaza MSCT koronarografije, ova metoda snimanja omogućava dobijanje nalaza visoke tačnosti kod procene stepena stenozе koronarnih arterija.



Sl. 5. Korelacija nalaza suženja na desnoj koronarnoj arteriji na MSCT (levo) i IKA (desno)



Sl. 6. Korelacija nalaza suženja na koronarnoj arteriji na MSCT (gore) i IKA (dole)

Negativni nalaz MSCT koronarografije sa visokim stepenom verovatnoće isključuje postojanje hemodinamski značajne koronarne bolesti i kod pacijenata sa takvim nalazom ne bi trebalo izvoditi IKA. Određeni stepen dileme postoji kod pozitivnih nalaza MSCT koronarografije, zbog mogućnosti pojave lažno pozitivnih nalaza, koji se kreće u različitim istraživanjima između 12-15 % [8,9]. Dalje usavršavanje metode snimanja kroz usavršavanje aparata (128 i 256 slajnsni uređaji) uz pravilan odabir pacijenata, u budućnosti treba da dovede do smanjenja lažno pozitivnih nalaza MSCT koronarografije i samim tim do smanjenja broja izvođenja nepotrebnih invazivnih koronarnih angiografija.

Ekstenzivna koronarna arterijska kalcifikacija ograničava mogućnost za uspešnu vizuelizaciju koronarnih krvnih sudova. Kalcifikovani plakovi u zidovima koronarnih krvnih sudova, odnosno visok "Ca score" dovode do pojave artefakata kao što su efekat "blooming-a" i refleksije, koji u značajnoj meri ograničavaju procenu stepena suženja krvnog suda. Pojava artefakata je posledica toga što

objekti visoke gustine (kalcifikati) zauzmu prostor koji je veći ili jednak veličini jednog voksela. Kao posledica toga dolazi po precenjivanju stepena stenozе [8]. Do sada su činjeni pokušaji da se pojava smetnji kod očitavanja nalaza, koje su posledica prisustva kalcifikata smanji. Uvođeni su napredni algoritmi za rekonstrukciju slike, ali bez značajnijeg efekta. MSCT tehnologija, filteri slike, uz povećanje voltaže cevi, donekle smanjuju pojavu smetnji. Međutim, u svakodnevnoj kliničkoj praksi kalcifikacije u zidovima koronarnih krvnih sudova i dalje otežavaju interpretaciju nalaza, što govori u prilog tome da je potrebno dalje usavršavanje MSCT angiografije u pravcu boljih aparata, kao i programa za obradu slike. Ipak, Ca score je usko povezan sa pojavom hemodinamski značajnih suženja krvnih sudova, tako da nalaz kalcifikata na MSCT ukazuje na postojanje značajnog suženja [10].

## 7. ZAKLJUČAK

Multi-slice kompjuterska tomografija koronarnih krvnih sudova predstavlja pouzdanu dijagnostičku metodu za procenu stanja koronarnih krvnih sudova. Ona ima visoku senzitivnost i specifičnost u odnosu na klasičnu invazivnu koronarnu angiografiju. Dalje usavršavanje metode snimanja kroz usavršavanje aparata, uvođenjem u upotrebu skenera sa "dual source" tehnologijom kao i pravilan odabir pacijenata dovode do sve tačnije procene stepena stenozе koronarnih arterija pomoću MSCT tehnologije.

## 8. REFERENCE

- [1] Flohr, T.G., McCollough, C.H., Bruder, H., et al. *First performance evaluation of a dual source CT (DSCT) system*, Eur Radiol, Vol number 16, p.p 256–68, 2006.
- [2] Greuter, M.J.Q., Flohr, T., van Ooijen, P.M.A., et al. *A model for temporal resolution of multidetector computed tomography of coronary arteries in relation to rotation time, heart rate and reconstruction algorithm*, Eur Radiol, Vol number 17, p.p 784–812, 2007.
- [3] Roberts, W.T., Bax, J.J., Davies, L.C., *Cardiac CT and CT coronary angiography: technology and application*, Heart, Vol num 94, p.p.781-792, 2008.
- [4] Leschka, S., Alkadhi, H., Plass, A., Desbiolles, L., Grunfelder, J., Marincek, B., Wildermuth, S., *Accuracy of MSCT coronary angiography with 64-slice technology: first experience*, Eur Heart J, Vol num 26, p.p. 1482–1487, 2005.
- [5] Hausleiter, J., Meyer, T., Hermann, F., et al.

*Estimated radiation dose associated with cardiac CT angiography*, JAMA, Vol num 7, p.p. 301:500, 2009.

- [6] Andreini, D., et al. *Comparison of the diagnostic performance of 64-slice computed tomography coronary angiography in diabetic and non-diabetic patients with suspected coronary artery disease*, Cardiovascular Diabetology, Vol num 9, p.p. 80-90, 2010.
- [7] Chow, C.K., Sheth, T. *What is the role of invasive versus non-invasive coronary angiography in the investigation of patients suspected to have coronary heart disease?*, Internal Medicine Journal, Vol num 41, p.p. 5–13, 2011.
- [8] Hassan, A., Nazir, S.A., Alkadhi, H., *Technical challenges of coronary CT angiography: Today and tomorrow*. European Journal of Radiology, Vol num 79, p.p. 161-171, 2011.
- [9] Puškar, S.; *Test opterećenja, multi-slice kompjuterska tomografija koronarnih krvnih sudova i invazivna selektivna koronarna angiografija u dijagnostici pacijenata sa stabilnom anginom pectoris*, Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet, Novi Sad, 2013.
- [10] Ma, H., Wang, Y., Wen, Z., Liu, Y., Liu, J., Yang, J., *Challenge of coronary artery calcium by 64-multidetector computed tomography*, Int J Cardiol, Vol num 168 (5), p.p. 5044- 5049, 2013.

**Autori: dr sci med Slobodan Puškar, dr Aleksandra Milovančev**, Institut za plućne bolesti Vojvodine, Sremska Kamenica, Put dr Goldmana 4. 21000 Novi Sad, Srbija. Tel : +381 21 480 5284.

**asist dr sci med Aleksandra Vulin**, Institut za kardiovaskularne bolesti Vojvodine, Sremska Kamenica, Put dr Goldmana 4. 21000 Novi Sad, Srbija. Tel : +381 21 480 5284.

**V. prof. dr Igor Budak, M.Sc. Mario Šokac**, Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel: +381 21 485 2255, Fax: +381 21 454-495.

E-mail: [puskarslobodan@yahoo.com](mailto:puskarslobodan@yahoo.com)  
[lesandra\\_5@yahoo.com](mailto:lesandra_5@yahoo.com)  
[ajovelic@gmail.com](mailto:ajovelic@gmail.com)  
[budaki@uns.ac.rs](mailto:budaki@uns.ac.rs)  
[marios@uns.ac.rs](mailto:marios@uns.ac.rs)

**NAUČNA KONFERENCIJA SA MEĐUNARODNIM  
UČEŠĆEM  
ETIKUM 2016  
NOVI SAD, SRBIJA, 23-25 JUN, 2016**

**Vicko, K., Puškar, T., Trifković, B.**

**PRIMENA ATOMSKOG MIKROSKOPA U STOMATOLOŠKIM ISTRAŽIVANJIMA**

**Rezime:** *Atomski mikroskop (AFM) koristi se u ispitivanjima karakterizacije bioloških struktura i materijala u različitim naučnim oblastima. AFM je mehanički merni instrument koji meri i projektuje trodimenzionalnu topografiju, kao i fizičke osobine posmatrane površine sa izoštrenom pipalicom. Topografija dentalnih materijala je od velike kliničke važnosti, jer je u direktnoj vezi sa adhezijom bakterija dentalnog plaka, a i ćelija epitelnog pripoja u oblasti tkivnog inženjeringa. Ovaj rad opisuje mogućnosti primene AFM-a u stomatološkim istraživanjima i prikazuje ispitivanje površinske topografije gingiva formera (OCT-GF1002) pomoću AFM-a pre i posle čišćenja.*

**Ključne reči:** *atomski mikroskop, dentalni materijali, površinska hrapavost*

## 1. UVOD

Atomski mikroskop (engl. *Atomic Force Microscope*, AFM) izdvaja se kao moćan instrument u istraživanjima analize detalja nanostruktura i biomehaničkih karakteristika uzoraka materijala, biomolekula i ćelija. AFM je tehnika 3d topografije koja omogućuje proučavanje struktura u atomskoj rezoluciji. AFM omogućuje analizu vijabilnih i nevijabilnih ćelija u nano skali koji otvara mogućnosti istraživanja u novim pravcima u oblastima tkivnog inženjeringa, ćelijskih molekularnih interakcija, analize površinske strukture i materijala, takođe efekta različitih fizičkih i hemijskih procesa na tkiva i različitih materijala [1].

## 2. PRINCIP RADA AFM

AFM radi na osnovu merenja međumolekularnih sila koji deluju između atoma merne sonde i atoma ispitivanog uzorka. Merna sonda AFM-a je fina sonda, odnosno senzor koji analizira površinu. Sonda je pričvršćena za veoma fleksibilni nosač (konzolu), čije pomernjanje se detektuje. Fotodiode imaju ulogu detekcije promene položaja sonde. Lasersko svetlo se reflektuje sa nosača na fotodiodu. Sonda AFM-a je u bliskom kontaktu sa ispitivanom površinom. Optički sistem odnosno laserska detekcija se koristi za detekciju pomeranja sonde. Merenje se sprovodi pravolinijskim kretanjem vrha preko površine, čime se izvodi 2d linija profila. Spajanjem linija profila nastaje trodimenzionalni lik površine. Na taj način dobija se informacija o morfologiji ispitivane površine koja se prikazuje u vidu 3d slike. Vrlo male sile se produkuju između sonde AFM-a i ispitivane

površine prilikom prolaska sonde preko površine, a ove sile omogućuju da se pomeranja nosača registruju. Sonda AFM-a je izoštrana, obično u prečniku manja od 50 nanometara, a oblast skeniranja šiljka je manja od 100 $\mu$ m [2]. Opseg vremena skeniranja može da traje par sekundi do više desetina minuta, što zavisi od zone skeniranja, brzine merenja, odnosno broja tačaka koje se registruju. Uvećanje AFM-a kreće od 100x do 100,000,000x u horizontalnoj i u vertikalnoj ravni. Veličina površine pri prvom skeniranju zavisi od specifičnosti uzorka koji se izučava. Često se inicijalno vrši skeniranje većih površina, nakon čega se vrši zumirano skeniranje regiona od interesa.

Zbog mehaničke prirode interakcije sa uzorkom moguća su merenja kako u uslovima standardne atmosfere tako i u uslovima različitih gasova i tečnosti, što nije moguće optičkim i elektronskim mikroskopom. U zavisnosti od sredine merenja, vrši se adekvatni izbor sonde i režima merenja (kontaktni, vibracioni, beskontaktni metod). Nedostatak merenja AFM-om je da je snimanje ograničeno na površine, dok elektronski mikroskop omogućuje snimanje trodimenzionalnih objekata [2,3,4].

## 3. ANALIZA BIOLOŠKIH STRUKTURA

Primena AFM-a u medicini je nova tehnika koja omogućuje analizu karakteristika bioloških membrana, takođe i interakcije između lipidnog omotača ćelija i primenjenog molekula leka. Analize proteina na površini membrana otvorilo je nove mogućnosti farmaceutskih istraživanja [5]. Analize mikroba i posledično formiranje biofilma na površinama imaju izuzetan značaj u istraživanjima razvoja dentalnog plaka, karijesa



zuba i parodontopatije [6]. Analize AFM u nano skali omogućuju razvoj različitih nosača značajnih u tkivnom inženjeringu.

Moguća je analiza površine zdrave tako i demineralizovane gleđi i dentina usled karijesnog procesa ili procesa trošenja zubnih tkiva kao što su erozija, abrazija i atricija [7]. Moguće je sprovesti ispitivanja površine dentina posle preparacije kaviteta i endodontske terapije. AFM-om je moguće analizirati dentalni plak takođe i proteine pelikule koja se formira na površini zuba pod dejstvom pljuvačke [8]. Iste analize na elektronskom mikroskopu zahtevaju dehidraciju i fiksaciju koje nose mogućnost od pojave artefakta na uzorku.

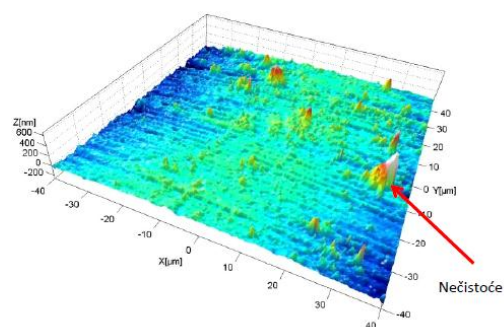
U restaurativnoj stomatologiji se koriste različite kiseline koje imaju ulogu nagrizanja površine gleđi i dentina sa ciljem postizanja mikromehaničke adhezije kompozitnih plombi. Efekat kiselina na površinu zubnih struktura je stvaranje mikroporozne površine koja se može analizirati pomoću AFM-a [9]. Takođe preventivni efekat fluorida na nagrižene površine se može ispitati i uticaj različitih procesa izbeljivanja na promenu površinske strukture gleđi [10].

#### 4. ANALIZA MATERIJALA

Veoma su popularna ispitivanja stomatoloških materijala pomoću AFM-a, najveći broj ispitivanja je rađeno sa cirkonija, alumina i litijum disilikatnom keramikom u okviru protetskih materijala, u restaurativnoj stomatologiji najčešće se ispituju karakteristike tečnih kompozita, kompozita na bazi smola i nanokompozita, dok u oblasti ortodontije analiziraju se karakteristike različitih žica koje se koriste u okviru fiksnih aparata [11-13]. Ispitivanja u promeni i inovacijama sastava materijala su najčešća, a sprovode se u cilju povećanja biokompatibilnosti, poboljšanja mehaničkih i estetskih karakteristika materijala. Površinska topografija materijala je klinički značajna jer je u direktnoj vezi sa adhezijom bakterija i posledičnim stvaranjem plaka što može dovesti do karijesa, parodontopatije, dok u implantologiji u slučaju gingiva formera ili implantata mogu ugroziti opstanak implanta usled nastanka periimplantitisa [14]. Takođe, zadržavanje pigmenata iz hrane i pića na hrapavoj površini dovodi do prebojavanja dentalnih materijala što dovodi do smanjenja estetskog efekta zubne nadoknade [11].

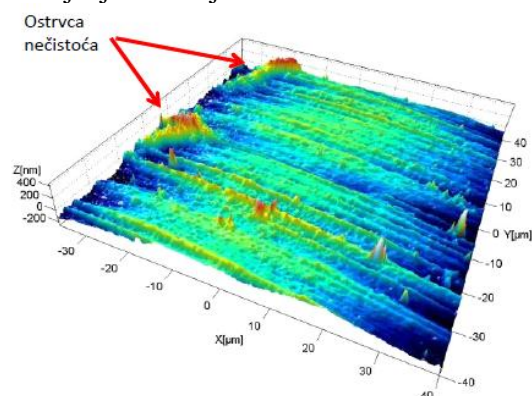
#### 4.1 Analiza materijala u implantologiji

AFM se može koristiti za *in vitro* ispitivanje adhezije i ponašanja osteoblasta i ćelija pripojnog epitela na površini implanta. Različite modifikacije hemijske i jonske strukture osealnog tako i supraosealnog dela implanta, abatmenta ili gingiva formera se istražuju u cilju što bržeg zarastanja tkiva i postave suprastrukture [14]. Analiza gingiva formera (*OCT-GF1002*) na AFM-u je urađena na Fakultetu Tehničkih Nauka u Novom Sadu. Dobijeni parametri su prikazani na Slici 1.

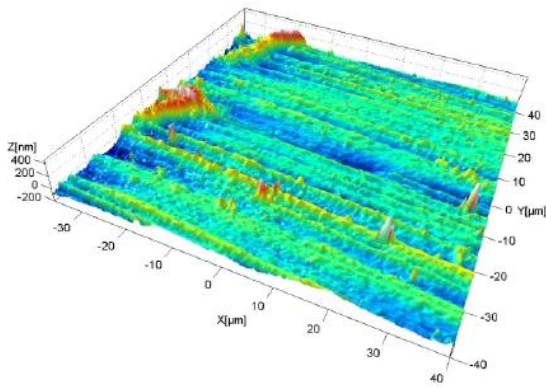


Sl. 1. Originalni 3D snimak formera pre čišćenja.

Na AFM snimcima formera primetna je blaga zakrivljenost koja je posledica okruglog oblika. U topografiji preovladavaju risevi (paralelni kanali i uzvišenja) koja su posledica načina izrade formera. Parametri hrapavosti koji su ključni za kvantitativno predstavljanje topografije mogu se odrediti nakon uklanjanja okruglog oblika. U konkretnom slučaju srednja aritmetička hrapavost iznosi  $Sa=25\text{nm}$ , a srednje kvadratno odstupanje  $Sq=34\text{nm}$ . Na vrednosti parametra hrapavosti značajno može uticati prisustvo nečistoća pa je u sledećem koraku izvršeno AFM snimanje nakon uklanjanja nečistoća u ultrazvučnoj kadi, a snimanje je izvršeno na dva mesta. AFM snimak na mestu 1. je prikazano na Slici 2., a nakon uklanjanja zakrivljenosti na Slici 3.



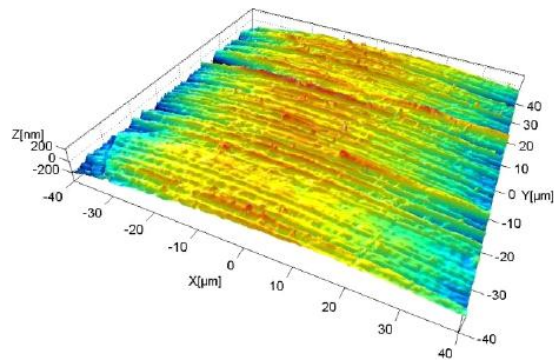
Sl. 2. Originalni 3D snimak prvog odabranog mesta posle čišćenja.



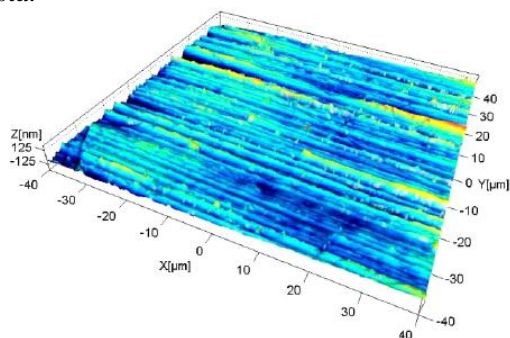
Sl. 3. 3D snimak prvog mesta nakon uklanjanja zakrivljenosti.

Nakon čišćenja smanjen je broj nečistoća, međutim na gornjim snimcima i dalje su primetne određene nečistoće. One su veće površine i izgledaju kao ostrvca. U cilju određivanja hrapavosti izvršeno je uklanjanje okruglog oblika. Primetno je da je na ovom mestu dubina tragova obrade veća nego na snimku napravljenom pre čišćenja. Parametri hrapavost na ovom mestu su  $S_a = 34 \text{ nm}$ ,  $S_q = 49 \text{ nm}$ . Ukoliko se iz analize hrapavosti izostave ostrvca nečistoća, dobijaju se sledeći parametri  $S_a = 28 \text{ nm}$ ,  $S_q = 37 \text{ nm}$ .

Na mestu 2. (Slika 4. i Slika 5. ) nečistoće su u potpunosti uklonjene. Dubina obrade na ovom mestu je takođe veća nego na mestu snimljenom pre čišćenja. Parametri hrapavosti su:  $S_a = 27 \text{ nm}$ ,  $S_q = 35 \text{ nm}$ .



Sl. 4. Originalni 3D snimak drugog odabranog mesta.



Sl. 5. 3D snimak drugog odabranog mesta nakon uklanjanja zakrivljenosti.

Na osnovu napravljenih snimaka može se zaključiti da se AFM može uspešno primeniti za dobijanje topografskih snimaka odabranog gingiva formera uprkos zakrivljenosti, stoga su moguća dalja ispitivanja hrapavosti pomoću AFMna istim modelima formera izrađenih od drugih materijala.

## 5. ZAKLJUČAK

AFM ima izuzetan značaj u biomedicinskim istraživanjima, pomaže razumevanje bioloških struktura i njihovih interakcija na nano nivou, takođe omogućuje razvoj i pronalaženje još boljih biokompatibilnih materijala. Rezultati preliminarnih istraživanja površine gingiva formera ukazuju na to da se AFM može koristiti u ove svrhe i da se mogu dobiti relevantni rezultati. Međutim treba imati u vidu da bi za sveobuhvatnije zaključke bilo potrebno izvršiti veći broj merenja i ispitati još i druge vrste stomatoloških materijala od kojih se izrađuju gingiva formeri, što će biti predmet daljih istraživanja.

## 6. REFERENCE

- [1] Vahabi S, Nazemi Salman B, Javanmard A. *Atomic Force Microscopy Application in Biological Research: A Review Study*. Iran J Med Sci, 38(2), p.p. 76-83, 2013.
- [2] Humphris, A.D.L., Miles, M.J., Hobbs, J.K.: *A mechanical microscope: high-speed atomic force microscopy*. Applied physics letters, 86(3), p.p. 34106-34106, Jan 2005.
- [3] Fotiadis, D., Scheuring, S., Müller, S.A., Engel, A., Müller, D.J.: *Imaging and manipulation of biological structures with the AFM*. Micron, 33(4), p.p.385-397, 2002.
- [4] Dufrière, Y.F.: *Using nanotechniques to explore microbial surfaces*. Nature Reviews Microbiology, 2(6), p.p.451-460, 2004.
- [5] Hu M, Wang J, Zhao H, Dong S, Cai J.: *Nanostructure and nanomechanics analysis of lymphocyte using AFM: from resting, activated to apoptosis*. J Biomech, 42:1513-9, 2009.
- [6] Cross, S.E., Kreth, J., Zhu, L., Qi, F., Pelling, A.E., Shi, W., Gimzewski, J.K.: *Atomic force microscopy study of the structure-function relationships of the biofilm-forming bacterium Streptococcus mutans*. Nanotechnology, 17(4), p.p.S1, 2006.E
- [7] El Feninat F, Ellis TH, Sacher E, Stangel I: *A tapping mode AFM study of collapse and denaturation in dentinal collagen*. Dent Mater, 17:284-288, 2001.

- [8] Hannig M, Herzog S, Willigeroth SF, Zimehl R.: *Atomic force microscopy study of salivary pellicles formed on enamel and glass in vivo*. Colloid Polym Sci, 279:479-483, 2001.
- [9] Sanches RP, Otani C, Damião AJ, Miyakawa W.: *AFM characterization of bovine enamel and dentine after acid-etching*. Micron, 40:502-506, 2009.
- [10] Choi, S., Rhee, Y., Park, J.H., Lee, G.J., Kim, K.S., Park, J.H., Park, Y.G., Park, H.K.: *Effects of fluoride treatment on phosphoric acid-etching in primary teeth: an AFM observation*. Micron, 41(5), pp.498-506, 2010.
- [11] Kakaboura A, Fragouli M, Rahiotis C, Silikas N.: *Evaluation of surface characteristics of dental composites using profilometry, scanning electron, atomic force microscopy and gloss-meter*. J Mater Sci Mater Med. 18:155–163, 2007.
- [12] Valois CR, Silva LP, Azevedo RB, Costa ED Jr.: *Atomic force microscopy study of guttapercha cone topography*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 98:250-255, 2004.
- [13] D'Antò, V., Rongo, R., Ametrano, G., Spagnuolo, G., Manzo, P., Martina, R., Paduano, S., Valletta, R.: *Evaluation of surface roughness of orthodontic wires by means of atomic force microscopy*. The Angle Orthodontist, 82(5), pp.922-928, 2012.
- [14] Rompen, E., Domken, O., Degidi, M., Farias Pontes, A.E., Piattelli, A.: *The effect of material characteristics, of surface topography and of implant components and connections on soft tissue integration: a literature review*. Clinical oral implants research, 17(S2), p.p.55-67,2006.

**Autori: dr. Kristina Vicko, Vanr. prof. dr Tatjana Puškar.** Katedra za stomatologiju, Medicinski fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Hajduk Veljkova 3, Srbija; asist.dr sci. **Branka Trifković**, Stomatološki fakultet u Beogradu, Klinika za stomatološku protetiku, Rankeova 4, Beograd, Srbija.

E-mail: [kvicko@uns.ac.rs](mailto:kvicko@uns.ac.rs)  
[tpuskar@uns.ac.rs](mailto:tpuskar@uns.ac.rs)  
[branka.trifkovic@stomf.bg.ac.rs](mailto:branka.trifkovic@stomf.bg.ac.rs)

**Napomena:** 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 prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije. Takođe, autori se zahvaljuju na tehničkoj pomoći merenja na AFM-u doc. dr Aleksandru Miletiću i saradnicima.



**Potran, M., Milovančev, M., Puškar, T.**

**PRIMENA SAVREMENIH INTRAORALNIH RADIOGRAFSKIH TEHNIKA U  
STOMATOLOGIJI**

***Rezime:** Intraoralne radiografske tehnike predstavljaju najčešću pomoćnu dijagnostičku metodu u stomatologiji. Konvencionalan način dobijanja radiografskog prikaza zasniva se na hemijskoj promeni površine filma, nastale posle ekspozicije filma sa X zracima. Digitalne intraoralne tehnike predstavljaju pojednostavljen način dobijanja radiografskog snimka, konverzijom X zraka u digitalni format. Digitalna akvizicija podataka pruža niz prednosti u odnosu na konvencionalan način dobijanja prikaza.*

***Ključne reči:** Intraoralni sensor, fosforne pločice, digitalna radiografija*

**1. UVOD**

Intraoralna radiografija je najčešća radiografska tehnika koja se koristi u stomatologiji. Projekcija radiografskog područja dobija se pomoću izvora rendgenskih zraka i odgovarajućeg receptora. Intraoralni snimci mogu biti retroalveolarni, okluzalni i bočni nagrizni. Prve dve tehnike koriste tehniku bisektrise za snimanje zuba, pri čemu rendgenski zraci padaju pod uglom od 90° na receptor, koji se postavlja paralelno sa snimanim zubom. Ekspozicija sa X zracima i pozicioniranje tubusa rendgena su najbitniji parametri za kvalitet dobijenog snimka (1). Pored klasičnih filmova za razvijanje snimka, u današnje vreme sve se više koriste digitalne metode dobijanja rendgenskog snimka, koje mogu biti direktne i indirektno. Direktni sistemi obuhvataju CCD (charged coupled device) i CMOS (complementary metal oxide semiconductor) bazirane kompaktne senzore, dok indirektno metode obuhvataju fosforne pločice (2).

Direktni sistemi sadrže kristale silike, koji vrše konverziju fotona u električni signal. Kod CCD senzora, naboji koji nastaju u grupi piksela sa prenoše na izlazni signal, dok se kod CMOS senzora konverzija naboja dešava kod svakog piksela ponaosob. Ovaj način nastanka signala favorizuje CCD senzore, u količini nastalog šuma, iako obe tehnologije proizvode zadovoljavajuće snimke (3). Čipovi se smeštaju u zaštitna kućišta sa kojima čine kompaktnu celinu t.j. intraoralni sensor (slika 1). Proizvode se u različitim veličinama, ali aktivna površina im je manja nego kod klasičnih filmova, od 20x30mm do 36x26 mm. Manja električna zahtevnost čini CMOS senzore pogodnije u smislu snabdevanja energijom i manjom debljinom senzora, što ih čini komfornijim za rad. Oba tipa kompaktnih senzora

su znatno osetljivija na jonizujuće zračenje od konvencionalnih filmova, što rezultuje kraćim vremenom ekspozicije.



Sl. 1. Intraoralni senzor

Indirektni sistemi: Fotostimulišuće fosforne pločice (Photostimulable storage phosphor-PSP) predstavljaju spoj između konvencionalnih tehnika snimanja filmom, sa savremenim načinom pomoću digitalnih intraoralnih senzora (slika 2)(4). PSP detektori signala imaju veći raspon snimanja od kompaktnih senzora, što smanjuje mogućnost ponovnog snimanja pacijenta. Savitljive su i lakše se pozicioniraju u ustima, povećavajući komfor pri radu. Nedostatak se ogleda u većoj količini zračenja koju zahtevaju PSP detektori i smanjenom veku trajanja, oko 50 ekspozicija.

Klinička primena: Intraoralni radiografski snimci predstavljaju pomoćno dijagnostičko

sredstvo u stomatologiji, pružajući prikaz tvrdih intraoralnih struktura zuba, njegove unutrašnjosti i okolne kosti, koji se ne mogu videti kliničkim pregledom. Dijagnostika karijesa je ovim metodom znatno olakšana, posebno aproksimalne površine ili okluzalni karijes duboko unutar fisura zuba (5,6). Početni stadijumi karijesa se klinički teško dijagnostikuju, zato što kontura zuba u takvim slučajevima ostaje intaktna. Karijesne lezije se na radiografskom prikazu prikazuju kao polje rasvetljenja, koje nastaje zbog smanjene mineralizacije zuba ili i povećane apsorpcije X zraka u tom predelu. Kontrast u odnosu na zdrava zubna tkiva predstavlja odlučujući faktor u tačnosti dijagnostike karijesa.



Sl. 2. Fosforne pločice [2]

## 2. DIGITALIZACIJA PRIKAZA

Dobijanje digitalnog prikaza je slično konvencionalnom nastanku snimka. Posle nastale ekspozicije, sledi razvijanje kontrasta i prikaz rasvetljene emulzije na filmu. Kod digitalnih senzora, informacija o količini ekspozicije je analogna kontrastu između bele i crne nijanse kao kod klasičnih filmova. Konverzija analognog u digitalni signal, nastaje kodiranjem izlazne informacije sa fotosenzitivnog dela senzora u binarni numerički sistem. Računari su bazirani na binarnom numeričkom sistemu, pri čemu se sve vrednosti prikazuju kao 0 ili 1, čijom kombinacijom nastaje prikaz informacije. Kombinacijom ova dva broja (bita) nastaju informacije dužine osam ili više bitova (bajtovi).

Ukupan broj mogućih bajtova za 8-bitni jezik je  $2^8=256$ . Izlazni električni signal se meri i pripisuje mu se vrednost od 0 (crna nijansa) do 255 (bela nijansa). Na taj način nastaje prikaz u vidu 256 nijansi između bele i crne nijanse (7). Koristeći 16 bitno kodiranje, broj kontrasta se povećava eksponencijalno, čak do 65,536 nijansi

između bele i crne. Problem takvog prikaza nalazi se u kompjuterkim monitorima koji imaju mogućnost prikaza samo 256 nijansi, pa se mora praviti redukcija kontrasta slike. Drugi način merenja kvaliteta radiografskog snimka, pored broja linija po milimetru, je veličina piksela samog prikaza. Veličina piksela varira među uređajima, od 20  $\mu$  do 40  $\mu$ , poređanih u redove 512x512 piksela. Primer, veličina piksela od 40-50  $\mu$ , jednaka je prikazu slike  $\approx 10$  do 11 linija po milimetru (8). Posle obrada podataka, na računaru nastaje slika snimanog objekta sa mogućom dodatno obradom i digitalnim čuvanjem snimka.

## 3. ZNAČAJ ZA STOMATOLOŠKU STRUKU

Digitalna radiografija predstavlja prijemčivu zamenu za konvencionalno snimanje bazirano na hemijskoj promeni površine filma. Najveća prednost je smanjenje količine zračenja. Dužina ekspozicije je kod digitalnih senzora manja i od tzv. Brzih filmova (F-speed film). Druge prednosti predstavljaju bržu akviziciju podataka (snimak nastaje odmah dok se kod filmova čeka 8 minuta) izostanak razvijачa, fiksatora i drugih hemikalija, veći komfor za rad i smanjenje dužine stomatološke intervencije.

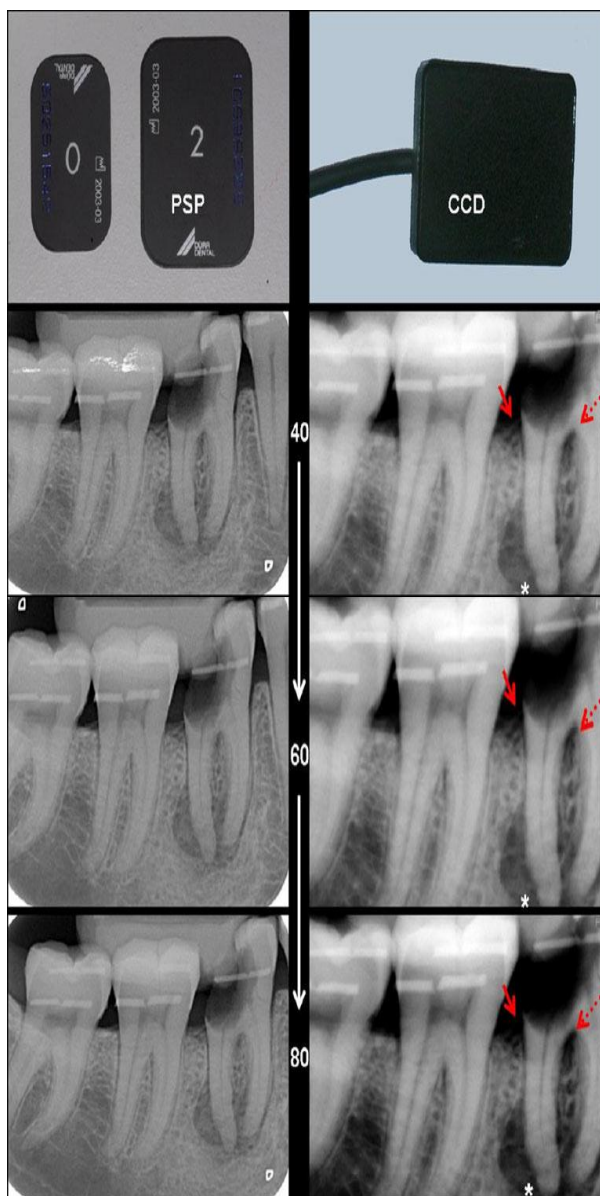
Prema dosadašnjim radovima, neadekvatno rukovanje sa filmom tokom razvijanja je najčešći razlog nastanka lošeg snimka filma, što je digitalnim tehnikom izbegnuto, pružajući veću pouzdanost ovom metodu (9,10). Dodatni prednost je kompletna softverska obrada snimka, počev od merenja do pozicioniranja implantata u kosti. Digitalni senzori se mogu koristiti znatno više puta od filmova ili fosfornih pločica, što predstavlja uštedu u materijalu i odlaganju istog.

Najveći nedostatak digitalnih intraoralnih senzora je njihova cena, što zahteva prisustvo računara na radnom mestu, otežano pozicioniranje u molarnoj regiji. Prethodne generacije digitalnih senzora takođe su imale nižu rezoluciju u odnosu na klasične film tehnike. Teoretski, prostorna rezolucija digitalnog snimka iznosi od 6 do 26 linija po milimetru. Kod filmova ona iznosi 20 lp po milimetru (7). Stvarna rezolucija je u praksi niža. Smanjenje rezolucije nastaje usled obrade i konverzije podataka, pa u praksi to iznosi i do 5 linija po milimetru manje od teoretske rezolucije. Napretkom tehnologije proces konverzije se konstantno usavršava, današnji CMOS senzori imaju veću rezoluciju od CCD senzora, no pored navoda proizvođača, nedostaju nezavisna istraživanja na dato pitanje.

Ograničavajući faktor kod intraoralnih tehnika snimanja je dvodimenzionalni prikaz snimanog objekta, sa preklapanjem anatomskih struktura. To



dovodi do mogućih greški u analizi bukalnih ili lingvalnih anatomskih struktura, pri čemu očuvano tkivo superponira i sakriva obolelo tkivo, u prikazu rasvetljeno područje na filmu (11). Drugi ograničavajući faktor je otežano pozicioniranje senzora i minimalni pokreti pacijenta koji tokom snimanja mogu značajno da smanje kvalitet slike.



Sl. 3. Poređenje kvaliteta radiografskog snimka fosfornih pločica (leva strana) sa intraoralnim senzorom (desna strana) [2]

Napredak u razvoju čipova koje koriste intraoralni senzori, kao i softverske podrške, dešava se brzim tempom. To se vidi po novim generacijama uređaja i uključivanjem sve više proizvođača u njihovu proizvodnju. Korišćenje klasičnih intraoralnih tehnika pomoću filma je u opadanju i u budućnosti očekuje se potpuni prelazak na digitalne tehnologije.

#### 4. REFERENCE

- [1] Potter, B.J, Shrout, M.K, Harrell, J.C. Reproducibility of beam alignment using different bite-wing radiographic techniques. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endo* 1995;79:532–535
- [2] Vandenberghe, B., Reinhilde, J., Bosmans H.: Modern dental imaging: a review of the current technology and clinical applications in dental practice. *Eur Radiol* (2010) 20: 2637–2655.
- [3] Litwiller, D. CCD vs CMOS: facts and fiction. *Photonics Spectra* 2001;1:154–158.
- [4] Kashima, I. Computed radiography with photostimulable phosphor in oral and maxillofacial radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endo* 1995;80:577–598.
- [5] Wenzel, A. Bitewing and digital bitewing radiography for detection of caries lesions. *J Dent Res* 2004;83:C72–C75
- [6] Pretty, I.A. Caries detection and diagnosis: novel technologies. *J Dent* 2006;34:727–739.
- [7] Van der Stelt, P.F. Principles of digital imaging. *Dent Clin North Am* 2000;44(2):237–248.
- [8] Langlais, R.P, Miles, D.A. Digital radiographic imaging: Technology for the next millennium. Part A –Comparing receptors systems. Available at: [www.learn.digital.net/articles/2000/rdi.htm](http://www.learn.digital.net/articles/2000/rdi.htm)
- [9] Button, T.M, Moore, W.C, Goren, A.D. Causes of excessive bitewing exposure: results of a survey regarding radiographic equipment in New York. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1999;87(4):513–517.
- [10] Yakoumakis, E.N, Tierris, C.E, Stefanou, E.P. Image quality assessment and radiation doses in intraoral radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2001;91(3):362–368.
- [11] Mol, A. Imaging methods in periodontology. *Periodontology* 2004;34:34–48.
- [12] Zulqarnain, B.J, Almas, K. Effect of x-ray beam vertical angulation on radiographic assessment of alveolar crest level. *Indian J Dent Res* 1998;9:132–138.

**Autori: Dr Sc. Med. Potran Michal, Dr Milovančev Milan, Prof. Dr. Tatjana Puškar**  
 Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet, Katedra za Stomatologiju, Hajduk Veljkova 12, 21000 Novi Sad, Tel.: +381 21 661-33-62, Fax: +381 21 526-120.

E-mail: [michalpotran@gmail.com](mailto:michalpotran@gmail.com)  
[tatjanapuskar@yahoo.com](mailto:tatjanapuskar@yahoo.com)  
[mmscanns@gmail.com](mailto:mmscanns@gmail.com)

**Napomena:** 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 prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije

**Vuletić, J., Puškar, T.**

## **ADITIVNE TEHNOLOGIJE U STOMATOLOGIJI**

**Rezime:** Stomatologija je područje sa širokim spektrom mogućnosti za primenu digitalnih tehnologija. Razvoj računarskih tehnologija u stomatologiji doprineo je povećanju brzine, a istovremeno i smanjenju mogućih grešaka u toku rada. Računarske tehnologije su našle svoju primenu u bazama podataka, dijagnostici, planiranju terapije, dizajniranju i proizvodnji dentalnih restauracija, simulacijama i edukaciji.

**Ključne reči:** digitalne tehnologije, aditivna proizvodnja, sla, sls.

### **1. UVOD**

Tokom poslednjih godina došlo je do brzog napretka primene digitalnih tehnologija u stomatologiji. Termin „rapid prototyping” (RP) označava čitavu klasu tehnologija koje podrazumevaju pretvaranje virtuelnog 3D modela (napravljenog u CAD- Computer Aided Design alatima) u realan fizički objekat [1]. Ove tehnologije se uglavnom temelje na izradi objekta sloj po sloj: uzimaju geometrijsku sliku modela iz CAD datoteka, koja se putem softvera priprema za štampu pomoću posebnih štampača koji slažu slojeve materijala, dok se ne napravi željeni trodimenzionalni (3D) objekat [1-3]. Otuda je aditivna proizvodnja definisana kao proces spajanja materijala kako bi se napravili objekti od 3D podataka, obično dodavanjem „sloj po sloj“. Ona opisuje tehnologije koje mogu da se koriste bilo gde u ciklusu proizvodnje (definisano od strane American Society for Testing and Materials (ASTM) [3].

### **2. PREDNOSTI ADITIVNE PROIZVODNJE**

Pojam aditivna tehnologija podrazumeva više tehnologija koje se razlikuju u vrsti materijala od kog se objekti izrađuju i u metodama spajanja materijala. Materijal od koga se objekti izrađuju može biti u tečnom obliku, vlakno, puder, prah ili čak metalni prah koji očvrstne hemijskim reakcijama, dejstvom UV svetlosti, laserske svetlosti ili nekim drugim metodama. Modeli koji se kreiraju su, prema tome, različitih fizičkih i mehaničkih karakteristika [2, 3].

Oprema koju koriste računarske tehnologije postaje konkurentna sa tradicionalnim alatima u smislu troškova, brzine, jednostavnosti i pouzdanosti. Sve ovo je razlog ekspanzivnog razvoja i upotrebe digitalnih tehnologija u različitim oblastima [1, 3]. S obzirom na to da se

objekti pri aditivnoj proizvodnji formiraju dodavanjem materijala sloj po sloj, za razliku od tradicionalnih tehnologija kod kojih se objekti proizvode oduzimanjem ili oblikovanjem materijala (struganjem, glodanjem, sečenjem, livenjem, kovanjem) ovaj način proizvodnje predstavlja uštedu materijala jer nema njegovog rasipanja [2,3]. Izrada objekata aditivnim tehnologijama eliminiše upotrebu alata i potrebu za skupim i izveštenim radom kao kod tradicionalnih tehnologija. Takođe se skraćuje proces proizvodnje kompleksnih modela koji su inače teški za modelovanje konvencionalnim stomatološkim procesima [2, 4].

Glavna prednost ove metode je u mogućnosti da se kreiraju fini detalji složenih geometrijskih oblika kao što su podminiranost, šupljine, složena unutrašnja geometrija... Sa poboljšanjem u brzini, pouzdanosti i tačnosti hardvera (može se napraviti veliki broj složenih objekata istovremeno) aditivna proizvodnja ozbiljno konkuriše tradicionalnoj proizvodnji [3].

### **3. SLA I SLS**

Aditivne tehnologije uključuju više različitih metoda izrade modela: stereolitografija (Stereolithography, SLA- eng. prim. aut.), selektivno lasersko sinterovanje (Selective Laser Sintering, SLS), laminarna objektna proizvodnja (Laminated Object Manufacturing, LOM), modelovanje topljenim depozitima (Fused Deposition Modeling, FDM), multizet modelovanje (Multi Jet Modeling, MJM), topljenje elektronskim snopom (Electron Beam Melting, EBM), 3D štampanje (3D Printing, 3DP) i proizvodnja objekata polidzet tehnologijom (Object Poly Jet Modeling, MJM) [2, 3, 4].

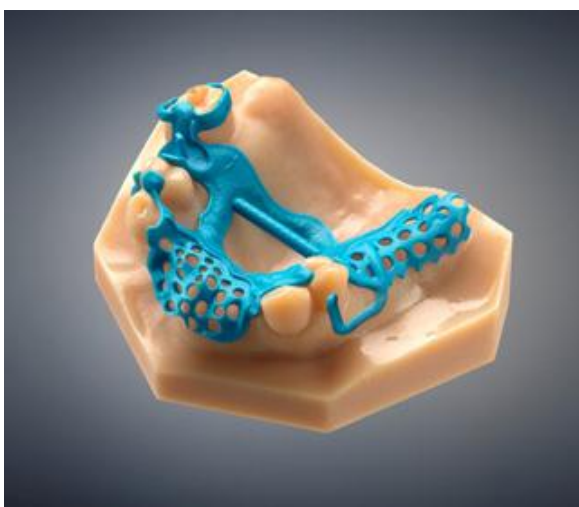
Najčešće primenjivane RP metode u stomatologiji za izradu proteza i implantata su stereolitografija i selektivno lasersko sinterovanje.

Stereolitografija je prvi komercijalno dostupan AM (additive manufacturing- eng. prim. aut.) postupak. Opisana je kao polimerizacija tečne fotosenzitivne smole u čvrsto stanje selektivnim izlaganjem smole laserskoj svetlosti. U ovom procesu CAD model je podeljen u slojeve, svaki sloj je izložen laserskim zracima kako bi smola selektivno očvrstnula za svaki poprečni presek.

Selektivnim laserskim sinterovanjem (Selective laser sintering, SLS- eng. prim. aut.) moguća je direktna izrada proteza i implantata od specijalnih metala (npr. titanijum), a na bazi predhodno kreiranog CAD modela. To je postupak pri kojem je prah raspoređen u sloj, a zatim selektivno izložen laserskim zracima pri čemu očvršćava.

#### 4. PRIMENA ADITIVNIH TEHNOLOGIJA U STOMATOLOGIJI

Jedna od prvih primena ovih tehnologija u medicini bila je izrada ljudskog fizičkog anatomskog modela na bazi CT snimka. Danas se aditivna tehnologija koristi u medicini i stomatologiji kao sredstvo za 3D vizualizaciju struktura delova vilice i usta, brzu i efikasnu izradu individualnih proteza i implantata (npr. kranioplastike, pod orbite, privremene krune i mostovi, onleji); za izradu modela pri planiranju oralnihirurških intervencija i izradu instrumenata za oralnihirurške intervencije (rutinski se koristi za izradu hirurških vođica za postavljanje dentalnih implantata); u tkivnom inženjerstvu i za biološki aktivne implantate. Ove tehnologije, takođe služe i u edukativne svrhe za studente stomatologije [2, 3].



Sl. 1. Isprintana baza parcijalne skeletirane proteze [5].

3D tehnologije proširile su kako dijagnostičke, tako i terapijske mogućnosti u oblasti medicine i

stomatologije [4, 6, 7]. 3D simulacije hirurških i ortodontskih procedura koriste se sve više, kako u istraživanjima, tako i u kliničkom radu.



Sl. 2. Isprintana metalna konstrukcija četvoročlanog bočnog mosta [5].

#### 5. DIGITALNI MODELI U STOMATOLOGIJI

Aditivna tehnologija nudi mogućnost proizvodnje objekata na osnovu digitalnih 3D modela. Mogućnost kreiranja 3D modela u stomatologiji bez uzimanja konvencionalnih otisaka isključuje greške otiskivanja vilica i izrade modela [6]. Digitalni model se može koristiti u stomatologiji u oblasti oralne i maksilofacijalne hirurgije, a dostupno je i mnogo softverskih paketa za dizajniranje dentalnih restauracija (krunice, mostovi, baze parcijalnih proteza) na ovakvim modelima [6]. Digitalni modeli se mogu kreirati skeniranjem ili digitalnom radiografijom. Direktno intraoralno skeniranje je poželjna metoda jer skeniranje može biti početni izvor eventualnih nepreciznosti, a direktno intraoralno skeniranje u sebi sadrži samo grešku metode i postupka skeniranja. Intraoralnim skenerima se neprestano povećava rezolucija, smanjuje se vreme prikupljanja podataka i poboljšava se sistem merenja treće dimenzije. Razvijen je i intraoralni skener kao deo stomatološkog radnog mesta, a omogućava jednoseansni rad ili direktan prenos podataka u laboratoriju [6].

#### 6. CBCT

CBCT (cone beam computed tomography- eng. prim. aut.) predstavlja jednostavan sistem pomoću koga se prikupljaju originalni 3D preseki anatomskih struktura [7]. Podaci dobijeni CBCT snimcima se softverski transformišu u format kompatibilan sa stereolitografskim aparatima [9].

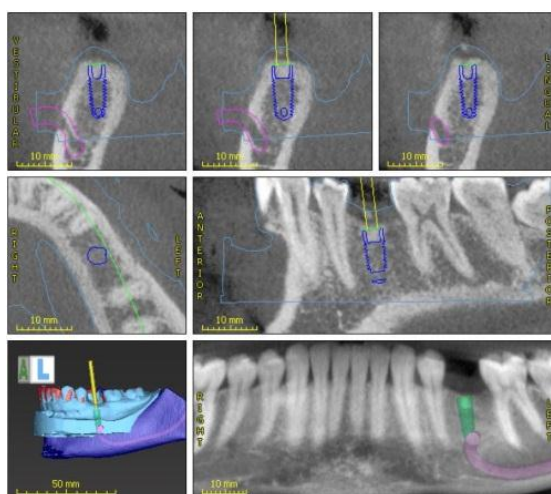


Na osnovu ovih snimaka vrši se detaljna preoperativna dijagnostika, postavljanje detaljnog terapijskog plana kao i izrada hirurških vodica, što omogućava tačnije i preciznije postavljanje zubnih implantata [9, 10].



Sl. 3. Sprintana hirurška vodica [8]

Hirurške vodice napravljene na osnovu podataka dobijenih pomoću CBCT-a omogućavaju brže, sigurnije i tačnije postavljanje implantata i posebno su indikovane kod pacijenata kod kojih je orofacijalna anatomija takva da su izvesne komplikacije tokom ovakvih operativnih zahvata [10, 11]. Hirurške vodice se koriste kako bi se implant postavio na tačno planiranu lokaciju i pod planiranom angulacijom [11].



Sl. 4. Planiranje postavljanja dentalnog implantata pomoću CBCT snimka [12].

Upotreba računarskih sistema u preparaciji ležišta za implant rezultirala je u prosečnoj tačnosti koja se kreće u rasponu od 1mm što se tiče lokalizacije implanta i 5 °devijacije u inklinaciji implanta [10, 11].

## 7. ZAKLJUČAK

S obzirom na to da implementacija aditivnih tehnologija u stomatologiji nudi niz prednosti, može se očekivati razvoj novih stomatoloških

materijala pogodnih za upotrebu pri ovim tehnologijama. Samim tim, rastu i mogućnosti medicine i stomatologije.

## 8. REFERENCE

- [1] Van Noort R. The future of dental devices is digital. *Dent Mater.* 2012; 28(1) 3-12.
- [2] Bens TA, Tille C, Bermes G, Emons M, Seitz H. Novel, biocompatible polyether(meth)acrylate-based formulations for stereolithography. *e-Polymers.* 2005; 5( 1) 377–386.
- [3] Krunić S, Perinić M, Maričić S. Načini brze izrade predserijskih proizvoda rapid prototyping application. *Eng Rev.* 2010; 30(2) 91-100.
- [4] Sabati Z, Bernik A, Prprović N. Metode rada I odabir materijala za 3D ispis. In: Vilko Žiljak, editor. Proceedings of the International Conference Tiskarstvo 2011. Akademija tehničkih znanosti Hrvatske – Centar za grafičko inženjerstvo; 2011: Stubičke Toplice, Hrvatska: FS, FotoSoft, ADAM-KAJ; 2011. p. 43-50.
- [5] <http://blog.stratasy.com/2014/05/13/crownwo-rx-framework-dental-3d-printers/>
- [6] Todorović A., Lazić V. Kompjuterom vođeno dizajniranje I izrada zubnih nadoknada-tehnologija “kompjuterizovanog otiska”. *Stom glas S.* 2006; 53():42-53.
- [7] Cassetta M, Giansanti M, Di Mambro A, Calasso S, Barbato E. Accuracy of two stereolithographic surgical templates: a retrospective study. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2013 Jun;15(3):448-59.
- [8] <http://texas-dental-Implants.com/wp-content/uploads/2014/06/GUided-Surgery.jpg>
- [9] Nickenig HJ, Eitner S. Reliability of implant placement after virtual planning of implant positions using cone beam CT data and surgical (guide) templates. *J Craniomaxillofac Surg.* 2007 Jun-Jul;35(4-5):207-11. Epub 2007 Jun 18.
- [10] Nickenig HJ, Wichmann M, Hamel J, Schlegel KA, Eitner S. Evaluation of the difference in accuracy between implant placement by virtual planning data and surgical guide templates versus the conventional free-hand method - a combined in vivo - in vitro technique using cone-beam CT (Part II). *J Craniomaxillofac Surg.* 2010 Oct;38(7):488-93. doi: 10.1016/j.jcms.2009.10.023. Epub 2009 Nov 24.



- [11] Kim SH, Choi YS, Hwang EH, Chung KR, Kook YA, Nelson G. Surgical positioning of orthodontic mini-implants with guides fabricated on models replicated with cone-beam computed tomography. *Am J OrthodDentofacialOrthop.* 2007 Apr;131(4 Suppl):S82-9.
- [12] <https://www.implantconcierge.com/>

**Autori: dr Jelena Vuletić Rakić, prof. dr Tatjana Puškar,** Univerzitet Novi Sad, Medicinski fakultet, Hajduk Veljkova 12, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 661-33-62, Fax: +381 21 52 5-120.

E-mail: [jelenavuletic@gmail.com](mailto:jelenavuletic@gmail.com)  
[tatjanapuskar@yahoo.com](mailto:tatjanapuskar@yahoo.com)

**Đurović-Koprivica, D., Budak, I., Puškar, T., Milekić, B., Jeremić-Knežević, M.**

### **IZBOR METODE PRENOŠENJA POZICIJE DENTALNIH IMPLANATA NA DEFINITIVAN RADNI MODEL SA ASPEKTA TAČNOSTI**

**Rezime:** Izrada implantno nošenih zubnih nadoknada predstavlja savremen način protetičke terapije i terapiju izbora kod velikog broja krezubih i bezubih pacijenata. Nadoknade na implantima se izrađuju u zubotehničkoj laboratoriji, indirektno, na modelu koji treba verno da reprodukuje morfologiju, položaje i međusobne odnose preostalih zuba, implanata, rezidualnih alveolarnih grebena i okolnih mekih tkiva kakvi postoje u ustima pacijenta. Kruta veza između implanta i kosti onemogućava pokretljivost implanata kakvu imaju prirodni zubi zahvaljujući prisustvu periodontalnih ligamenata. Apsolutno pasivno naleganje implantno nošene nadoknade je gotovo nemoguće obezbediti, a u cilju što tačnije reprodukcije pozicije implanata dve osnovne metode otiskivanja su pretrpele brojne modifikacije.

**Ključne reči:** dentalni implanti, implantno nošene nadoknade, otisak, tačnost

#### **1. UVOD**

Implantna protetika ima ulogu da omogući nadoknadu izgubljenih zuba i oralnih tkiva, izradom implantno nošenih zubnih nadoknada, u cilju ponovnog uspostavljanja orofacijalnih funkcija. Način prenošenja opterećenja kojima su izložene zubne nadoknade je od izuzetnog značaja. Sve konvencionalne zubne nadoknade se, prema načinu prenosa pritiska žvakanja na noseća tkiva, dele na parodontalno, parodontalno-gingivalno i gingivalno nošene zubne nadoknade. Zbog specifičnosti veze između implanta i kosti, u implantologiji, postoji nova kategorija prenosa pritiska [1].

Dentalni implanti, zbog svoje direktne veze sa kosti, su ankilotični, odnosno nedostaje im fiziološka pokretljivost koju imaju prirodni zubi zahvaljujući prisustvu periodontalnih ligamenata. To im ograničava mogućnost amortizacije pritiska i prilagođavanja na distorzionne momente koji se javljaju između implantno nošene nadoknade i nosača nadoknade (abatmenta) [2]. (slika 1)

Apsolutno pasivno naleganje nadoknade na abatment je gotovo nemoguće obezbediti, ali još uvek nije ustanovljeno koji stepen odstupanja je dozvoljen, odnosno koja netačnost u toku izrade implantno nošene zubne nadoknade neće izazvati biološke i tehničke komplikacije [3,4]. Dugotrajnost implantno nošenih nadoknada je usko povezana sa sposobnosti implantnog sistema da podnese okluzalna opterećenja bez prekomernog naprezanja i proizvodnje ekstenzivnih sila u periimplantnoj koštanoj regiji i na mestu spoja abatmenta i nadoknade [4].



Sl. 1. Veza između implanta i kosti : levo - prirodan zub; desno-implant

Precizan i tačan definitivni otisak je prva i najznačajnija karika u lancu u protetičkoj rehabilitaciji stomatognatnog sistema pomoću zubnih nadoknada nošenih implantima [5,6].

Faktori koji mogu da utiču na tačnost definitivnog radnog modela na kom će se izrađivati nadoknada i koji su tema aktuelnih istraživanja su mnogobrojni: metoda otiskivanja implanata [5,7,8,11-13,15], dubina implanata [9], stepen angulacije implanata [2,3,5,10,14], vrsta, oblik i dizajn abatmenta [12], izbor materijala za otiskivanje [2,5,14], iskustvo kliničara itd.

U procesu izrade implantno nošene nadoknade potrebno je obaviti što tačnije otiskivanje, izraditi model vilice na kom se izrađuje nadoknada i model antagonista i uneti ih u odgovarajući artikator. Ukoliko se za definitivni otisak koriste individualne kašike, prvi korak je uvek preliminarni otisak, nakon ugradnje implanata. Izlivanjem preliminarnog otiska dobijamo radni model na kome će se izraditi individualna kašika za tačno otiskivanje kakvo je potrebno za

dobijanje definitivnog modela za izradu implantno nošene nadoknade. Definitivni otisak ima za cilj prenošenje tačne odn. identične pozicije otiskivanog implanta u odnosu na ostale anatomske strukture na radni model [1].

Pre defininivnog otiskivanja potrebno je odabrati odgovarajuće prenosnike (transfer sistem). Kliničaru stoje na raspolaganju prenosnici kod kojih se koristi otvorena metoda otiskivanja ili prenosnici kod kojih se koristi zatvorena metoda otiskivanja. Izbor vrste prenosnika zavisi od primenjenog sistema implantata i kliničkog slučaja [1]. (slika 2)



Sl. 2. Prenosnici : levo-zatvorena metoda, desno-otvorena metoda

Metode i materijali koji se koriste pri otiskivanju dentalnih implanata zavise od vrste ugrađenih implanata, s jedne, i nadoknade koju treba izraditi, s druge strane. U zavisnosti od toga koji element implantnog sistema se otiskuje (prenosnik, nosač, retencioni element mobilne nadoknade...) razlikuju se otisci na nivou implantata i otisci na nivou nosača nadoknade. U prvom slučaju pomoću prenosnika se osigurava istovetan položaj implanata u ustima i replike na modelu, dok se u drugom slučaju prenosi još i oblik i položaj nosača nadoknade [1,12].

Abatmenti (nosači nadoknade) predstavljaju transmukozne i supragingivalne delove implantata za koje će biti fiksirane trajne zubne nadoknade i imaju funkciju preparisanih zuba u konvencionalnoj protetici. Postoje u različitim oblicima i veličinama i mogu se koristiti u izvornom ili modifikovanom obliku. Izbor abatmenta zavisi od vrste implanata, njihove visine i širine, visine gingive i razlike u položaju osovine implanta i potrebnog položaja osovine buduće zubne nadoknade, odnosno od potrebnog položaja samog abatmenta [12].

U savremenoj stomatologiji otiskivanje dentalnih implanata može da se izvrši digitalnom metodom (metoda intraoralnog ili ekstraoralnog skeniranja) i konvencionalno, gde kliničaru na raspolaganju stoje dve osnovne metode (otvorena i zatvorena metoda) i modifikovane tehnike, kako otvorene, tako i zatvorene metode [16].

## 2. KONVENCIONALNE METODE OTISKIVANJA DENTALNIH IMPLANATA

Dve osnovne konvencionalne metode otiskivanja u implantnoj protetici su direktna tzv. otvorena i indirektna tzv. zatvorena metoda.

Otvorena, direktna metoda naziva se još i metoda dizanja (eng. pick-up), jer podrazumeva primenu transfer kapica ili prenosnika koji se nakon završenog otiskivanja i vezivanja materijala „odižu” od implanta i ostaju u samom otisku.

Ova metoda koristi tzv. otvorenu kašiku (standardnu ili individualnu) koja je u delu zubnog luka gde su locirani implantati perforirana, kako bi prenosnici mogli da se oslobode pre vađenja otiska iz usta pacijenta. Nakon otiskivanja za svaki prenosnik se fiksira analog implantnog nosača i tela implanta (replika) istim zavrtnjem i istom jačinom kojom je prenosnik bio fiksiran u ustima [1]. (slika 3)



Sl. 3. Direktna (otvorena) metoda otiskivanja

Modifikacija direktne metode je tzv. „splint“ tehnika. Kod nje se dentalnim koncem povezuju svi prenosnici, a potom smeša autopolimerizujućeg akrilata nanese preko konca čime se formira čvrst akrilatni blok koji povećava stabilnost prenosnika u otisku. Uloga dentalnog konca je da polimerizacionu kontrakciju akrilata svede na najmanju moguću meru i time spreči mikropomeranja na nivou prenosnika [5]. (slika 4)



Sl. 4. „Splint” tehnika ( modifikacija direktne metode)

Zatvorena, indirektna metoda tzv. metoda prenošenja (eng. transfer) koristi prenosne kapice koje se nalaze fiksirane za implante i ostaju u ustima pacijenta nakon uzetog otiska, a otisci se uzimaju u zatvorenoj kašici, standardnoj ili individualno izrađenoj na preliminarnom radnom modelu. Nakon otiskivanja kapice se skidaju sa implanta i povezuju sa implantnim analogima, da bi se postavile u svoje impresije u otisku pre

izlivanja definitivnog radnog modela [1]. (slika 5)



Sl. 5. Indirektna (zatvorena) metoda otiskivanja

„Klik” tehnika otiskivanja je modifikovana indirektna metoda koja koristi plastične kapice koje se nanose na rub ramena implanta i vertikalnim i horizontalnim pokretima fiksiraju za implant uz pojavu karakterističnog „klik” zvuka, kao znaka za njihovo pravilno pozicioniranje. Ova modifikacija ima za cilj poboljšanje tačnosti pozicioniranja analoga implanata, budući da kapice ostaju u otisku [11].



Sl. 6. „Klik” tehnika (modifikacija zatvorene metode)

### 3. MATERIJALI ZA OTISKIVANJE DENTALNIH IMPLANATA

Materijali koji se koriste pri uzimanju definitivnog otiska u savremenoj implantnoj protetici su adicioni silikoni i polietri. Dobre osobine ovih materijala, kao što su veliki stepen tačnosti i preciznosti, elastičnost i elastični oporavak, dimenziona stabilnost, manja kontrakcija pri polimerizaciji itd., su ove materijale izbacili u prvi plan [1,2,14].

Izbor materijala i metode pri otiskivanju dentalnih implanata zavisi od vrste ugrađenih implanata, s jedne, i nadoknade koju treba izraditi, s druge strane. Kod direktne metode, odnosno otiskivanja otvorenom kašikom, polietar kao materijal kog u vezanom stanju odlikuje velika rigidnost, bi mogao da bude materijal izbora, budući da je otporniji na obrtne momente očekivane prilikom odizanja otiska. Sa druge strane, za potrebe tehnike zatvorene kašike prednost se daje adicisionim silikonima, jer su nakon vezivanja elastičniji i imaju manju trajnu deformaciju, što obezbeđuje tačniju reprodukciju ležišta za nosače u otisku [1].

### 4. TAČNOST RAZLIČITIH METODA OTISKIVANJA DENTALNIH IMPLANATA

Pasivnost naleganja implantno nošenih zubnih nadoknada prvenstveno zavisi od tačnosti otiska i upravo zato, cilj mnogobrojnih istraživanja iz oblasti implantne protetike je bio ustanoviti koja metoda otiskivanja dentalnih implanata je najtačnija i daje najbolje rezultate [7,8,11-13,15].

Faktori koji utiču na tačnost otisaka su mnogobrojni. Najznačajniji su broj implanata, njihova pozicija u zubnom luku, stepen angulacije implanata, vrsta, oblik i dizajn abatmenta, izbor materijala i tehnike otiskivanja.

Brojne studije su se bavile poređenjem dve osnovne konvencionalne metode otiskivanja, otvorene (direktne) i zatvorene (indirektne) i direktna (eng. pick-up) metoda se pokazala tačnijom [2,3,5,6,8,11].

Splint tehnika, kao modifikacija otvorene metode otiskivanja, se u dosadašnjim istraživanjima pokazala kao jedna od najtačnijih, posebno kod neparalelno ugrađenih implanata i multiplih implanata u bezuboj vilici, budući da obezbeđuje otiskivanje sa manje deformacija u regionu implanta i prenosioca [2,3,5,6,8,13].

U cilju iznalaženja najtačnije metode otiskivanja imlanata studije su išle i u smeru istraživanja najadekvatnijeg materijala za splintovanje prenosioca i vladajući stav je da su fotopolimerizujući i autopolimerizujući akrilati materijali izbora za ovu tehniku otiskivanja [8].

Uticao angulacije implanata je takođe jedan od bitnih predmeta istraživanja i mnogi autori navode da angulacija veća od 20° utiče na tačnost otisaka [2,3,5]. Predmet aktuelnih istraživanja su i materijali koji se koriste za potrebe otiskivanja u implantnoj protetici i ustanovljeno je da adicioni silikoni daju bolje rezultate od polietara kod anguliranih implanata u kombinaciji sa splint (pick-up) tehnikom [5] i kod otiskivanja implanata dubljih od 4 mm subgingivalno [9]. Takođe, postoje i brojne studije koje nisu dokazale statistički značajnu razliku u pogledu tačnosti kod primene dve osnovne konvencionalne metode otiskivanja [7,10], niti kod primene dva osnovna materijala [2,14]. Ustanovljeno je i da angulacija implanata  $\leq 15^\circ$  nema posebnog uticaja na tačnost otiskivanja [10].

### 5. ZAKLJUČAK

Precizan i tačan definitivni otisak je prva i najznačajnija karika u lancu u protetičkoj rehabilitaciji stomatognatog sistema pomoću zubnih nadoknada nošenih implantima.

U dostupnoj literaturi i dalje je aktuelna



nedoumica koja konvencionalna metoda otiskivanja implantata je tačnija i daje bolje rezultate, koje su stvarne indikacije za određenu tehniku i da li, i kako, uvođenje digitalnih metoda otiskivanja utiče na tačnost otisaka. To otvara put ka daljem istraživanju iz ove oblasti.

## 6. LITERATURA

- [1] Jurišić M, Stamenković D, Marković A, Todorović A, Leković V, Dimitrijević B, i dr. Oralna implantologija. Beograd: Naučna knjiga; 2008: 155-190.
- [2] Papaspyridakos P, Chen CJ, Gallucci GO, Doukoudakis A, Weber HP, Chronopoulos V. Accuracy of implant impressions for partially and completely edentulous patients: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2014; 29: 836-845.
- [3] Tsagkalidis G, Tortopidis D, Mpikos P, Kaisarlis G, Koidis P. Accuracy of 3 different impression techniques for internal connection angulated implants. *J Prosthet Dent* 2015; 114: 517-523.
- [4] Pjetursson BE, Thoma D, Jung R, Zwahlen M, Zembic A. A systematic review of the survival and complication rates of implant-supported fixed dental prostheses (FDPs) after a mean observation period of at least 5 years. *Clin Oral Implants Res* 2012; 23: 22-38.
- [5] Kurtulmus-Yilmaz S, Ozan O, Burak Ozelik T, Yagiz A. Digital evaluation of the accuracy of impression techniques and materials in angulated implants. *Journal of Dentistry* 2014; 42(12): 1551-1559.
- [6] Kim JH, Kim KR, Kim S. Critical appraisal of implant impression accuracies: a systematic review. *J Prosthet Dent* 2015; 114 (2): 185-192.
- [7] Nakhaei M, Madani AS, Moraditalab A, Haghi HR. Three-dimensional accuracy of different impression techniques for dental implants. *Dent Res J* 2015; 12(5): 431-437.
- [8] Lee SJ, Cho SB. Accuracy of five implant impression technique: effect of splinting materials and methods. *J Adv Prosthodont* 2011; 3: 177-185.
- [9] Lee H, Ercoli C, Funkenbusch PD, Feng C. Effect of subgingival depth of implant placement on the dimensional accuracy of the implant impression: an in vitro study. *J Prosthet Dent* 2008; 99(2): 107-113.
- [10] Conrad HJ, Pesun IJ, DeLong R, Hodges JS. Accuracy of two impression techniques with angulated implants. *J Prosthet Dent* 2007; 97: 349-356.
- [11] BalaMurugan T, Manimaran P. Evaluation of accuracy of direct transfer snap on impression coping closed tray impression technique and direct transfer open tray technique: an in vitro study. *J Indian Prosthodont Soc* 2013; 13(3): 226-232.
- [12] Lahori M, Nagrath R, Agrawal P. An in vitro study to compare the accuracy of the master cast fabricated by four different transfer impression techniques for single-tooth implant replacement. *J Indian Prosthodont Soc* 2014; 14(1): 78-84.
- [13] Papaspyridakos P, Benic GI, Hogsett VL, White GS, Lal K, Gallucci GO. Accuracy of implant casts generated with splinted and non-splinted impression techniques for edentulous patients: an optical scanning study. *Clin Oral Impl Res* 2012; 23: 676-681.
- [14] Reddy S, Prasad K, Vakil H, Jain A, Chowdhary R. Accuracy of impressions with different impression materials in angulated implants. *Nigerian Journal of Clinical Practice* 2013; 16(3): 279-284.
- [15] Marotti J, Tortamano P, Castilho TR, Steagall W Jr, Wolfart S, Haselhuhn K. Accuracy of a self-perforating impression tray for dental implants. *J Prosthet Dent* 2014; 112: 843-848.
- [16] Cho SH, Schaefer O, Thompson GA, Guentsch A. Comparison of accuracy and reproducibility of casts made by digital and conventional methods. *J Prosthet Dent* 2015; 113: 310-315.

**Autori:** Asist. dr Daniela Đurović-Koprivica, Prof. dr Tatjana Puškar, Doc. dr Bojana Milekić, Asist. dr Milica Jeremić-Knežević.

Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet, Katedra za stomatologiju, Hajduk Veljkova 12, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 661-33-62,

E-mail: [danielladjurovic@gmail.com](mailto:danielladjurovic@gmail.com)  
[tatjanapuskar@yahoo.com](mailto:tatjanapuskar@yahoo.com)  
[bojana.zagorka@gmail.com](mailto:bojana.zagorka@gmail.com)  
[jeremicknezevic@gmail.com](mailto:jeremicknezevic@gmail.com)

**Prof. dr Igor Budak.** Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, UNO: Metrologija, kvalitet, ekološko inženjerski aspekti, alati i pribori, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad; Telefoni: +381 21 485 2320; +381 21 450 366

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

**Napomena:** Rezultati prezentovani u ovom radu su realizovani u okviru projekta „Unapređenje terapije oboljenja orofacijalnog sistema kroz razvoj savremenih dijagnostičkih metoda za detekciju okluzalnih opterećenja“, finansiranog od strane Pokrajinskog sekretarijata za nauku i tehnološki razvoj AP Vojvodine.



Jeremić Knežević, M., Marković, D., Semnic, R., Puškar, T., Knežević, A., Đurović Koprivica, D.

**PRIMENA MAGNETNE REZONANCE U DIJAGNOSTICI POREMEĆAJA  
TEMPOROMANDIBULARNOG ZGLOBA**

**Rezime:** Oboljenja temporomandibularnog zgloba (TMZ), mastikatornih mišića i okolnih struktura nazivaju se temporomandibularne disfunkcije. Magnetna rezonanca (MR) predstavlja neinvazivnu, nekontrastnu dijagnostičku metodu, bez prisustva jonizujućeg zračenja. MR kao imidžing metoda predstavlja "zlatni standard" u detekciji pozicije diskus articularisa, prisustva sinovijalne tečnosti u TMZ, stanja retrodiskalnog tkiva i signala koštane srži mandibularnog kondila. Najčešći razlog snimanja TMZ pomoću MR su pozicija i građa diska kod pacijenata sa bolom u predelu TMZ, kao i merenje rastojanja između određenih anatomskih struktura unutar TMZ. Poznavanje parametara i standardnih dimenzija TMZ je od izuzetnog značaja u stomatologiji, posebno protetici, ortodontici i maksilofacijalnoj hirurgiji.

**Ključne reči:** temporomandibularni zglob, magnetna rezonanca, dijagnostika poremećaja

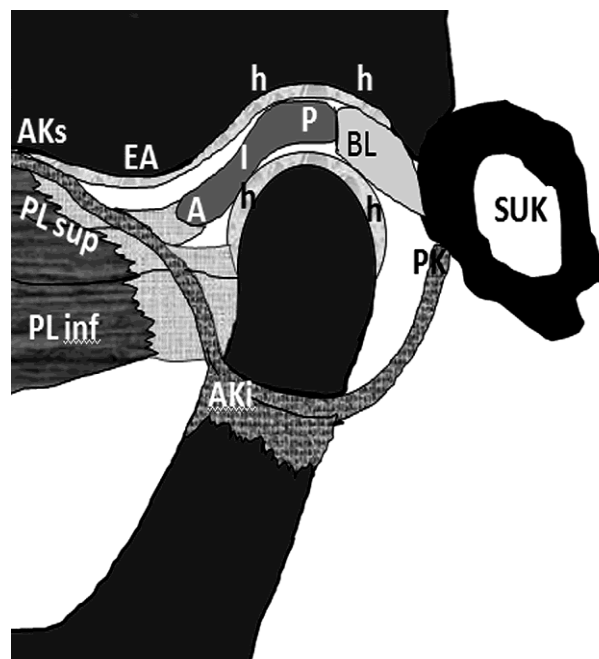
## 1. UVOD

Orofacijalni sistem predstavlja skup organa i tkiva koji vrše mastikatornu, fonetsku, fiziognomsku funkciju, kao i funkciju disanja, varenja i sisanja. Mastikatorni, maksilofacijalni, stomatognatni sistem ili organ za žvakanje predstavljaju zajedničke nazive za ovaj složen system [1]. U sastav orofacijalnog sistema ulaze: TMZ, koštane strukture viscerokranijuma, orofacijalni mišići, zubi i njihova potporna tkiva, oralna sluzokoža, krvni, limfni i nervni sudovi [1].

Uobičajeno funkcionisanje ovog sistema se odvija zahvaljujući povratnoj neuromuskularnoj kontroli koja podrazumeva kontinuiran protok impulsa između perifernog i centralnog nervnog sistema, apsolutnu kontrolu mišićne aktivnosti i odgovarajući odgovor orofacijalnih mišića [2].

Poremećaj funkcije orofacijalnog sistema može biti posledica: iznenadne traume, delovanja destruktivnih sila iz okolnih mišića, postojanja nestabilnih odnosa unutar TMZ, zglobnih disfunkcija i neinflamatornih mijalgija [2].

Osnovne anatomske komponente TMZ su: kondil ili glava mandibule (processus condilaris mandibulae), mandibularna ili glenoidna jama (fossa mandibularis ossis temporalis), disk ili meniskus (discus articularis), zglobna kapsula (capsula articularis) i zglobne veze (ligamenta articularis)[3].



Sl. 1. Shematski prikaz anatomije TMZ u sagitalnoj ravni. AKs- gornji pripoj anteriorne kapsule, AKi- donji pripoj anteriorne kapsule, PK- posteriorna kapsula, SUK- spoljašnji ušni kanal, h- artikularna hrskavica, A- anteriorna zona diska, P- posteriorna zona diska, I- intremedijarna zona diska, BL- bilaminarna zona (retrodiskalno tkivo), PL sup- gornja glava m. pterygoideus lateralis, PL inf- donja glava m. pterygoideus lateralis, EA- eminencija articularis

## **2. OBOLJENJA TEMPOROMANDIBULARNOG ZGLOBA**

Termin - temporomandibularne disfunkcije (TMD) obuhvata veći broj oboljenja TMZ, mastikatorne muskulature i okolnih struktura [4]. Epidemiološke studije pokazuju da 50-75% osoba u toku života ima neki znak poremećaja funkcije mastikatornog sistema. TMD se najčešće javljaju između 20-40 godine života. Najznačajniji znaci i simptomi TMD su bol u predelu maseteričnog mišića, TMZ, regiona temporalnog mišića, ograničeno otvaranje usta i zvučne pojave (kliktaži i krepitacije). Bol u predelu TMZ je najčešći razlog javljanja pacijenta lekaru [5].

TMD predstavljaju značajan zdravstveni problem koji pogađa oko 5-12% populacije [6]. To je drugo stanje po učestalosti u okviru muskuloskeletnih poremećaja posle hroničnog bola u leđima a koje se manifestuje bolom i radnom nesposobnošću [6].

Jedna od najobuhvatnijih i najčešće primenjivanih klasifikacija TMD je iz 2008. godine preporučena od strane Američke Akademije za Orofacijalnu bol [7]. Prema njoj se poremećaji TMZ dele na: kongenitalne i razvojne anomalije, poremećaje diska, dislokacije TMZ, inflamatorna oboljenja, neinflamatorna oboljenja i disfunkcije mastikatornih mišića.

Za postavljanje dijagnoze oboljenja temporomandibularnog zgloba neophodan je adekvatan klinički pregled i odgovarajuća imidžing tehnologija za snimanje TMZ.

### **3. IMIDŽING METODE ZA DIJAGNOSTIKU TEMPOROMANDIBULARNIH DISFUNKCIJA**

#### **3.1. Panoramska radiografija- ortopantomogram (OPT)**

Ova metoda se može koristiti u postavljanju dijagnoze frakture kondila mandibule i kondilarne i facijalne asimetrije, ali se i tada kombinuje sa drugim projekcijama ili kompjuterskom tomografijom [8].

#### **3.2. Kompjuterizovana tomografija**

Metode izbora su kod traume TMZ, razvojnih anomalija (hipoplazija, hipertrofija, malformacije kondila), inflamatornih oboljenja, tumora (osteoplastičnih ili osteolitičnih) i degenerativnih oboljenja [9,10].

### **3.3. Artrografija**

Artrografija je invazivna metoda koja omogućava evaluaciju šupljine TMZ i mekih struktura TMZ. Ona pruža podatke o položaju, obliku i stanju diska i omogućuje posmatranje kretnji kondilno-diskalnog kompleksa. Nedostatak ove metode je upravo njena invazivnost (uvođenje igle i iniciranje kontrastnog sredstva u gornji i/ili donji zglobni prostor), neprijatnost za pacijenta, kao i postojanje mogućih komplikacija. MR je u potpunosti potisnula artrografiju kao imidžing metodu TMZ [11].

### **4. MAGNETNA REZONANCA**

Magnetna rezonanca (MR) se bazira na interakciji između jezgra vodonika, kojim su bogata sva biološka tkiva, i magnetnog polja koje generiše i kontroliše sistem MR. Jezgra vodonika, ili protoni, imaju nonzero magnetni momenat zahvaljujući kome se oni ponašaju kao mali magneti. U slabom magnetnom polju Zemlje, ovi magnetni momenti su raspršeni. Međutim, kada se subjekat postavi unutar MR aparata (gde je magnetno polje 10.000 puta jače od magnetnog polja Zemlje), magnetni momenti protona teže da se grupišu longitudinalno u pravcu spoljašnjeg magnetnog polja. Kada se protoni vodonika grupišu na taj način, pristupa se pulsnom aplikovanju polja radio frekvencije (RF) na tkiva, čime se postiže absorpcija energije od strane protona. Kada se RF polje isključi, protoni se postepeno vraćaju u početne pozicije emitujući apsorbovanu energiju u obliku radijsko frekventnog signala. Termin koji se koristi u označavanju vremena potrebnog protonima da se vrate u prvobitnu poziciju je T1, odnosno longitudinalno vreme relaksacije.

Savremeni aparati imaju snažno magnetno polje, jačine od 1-3 Tesla, što omogućava bolju prostornu i tkivnu rezoluciju [12].



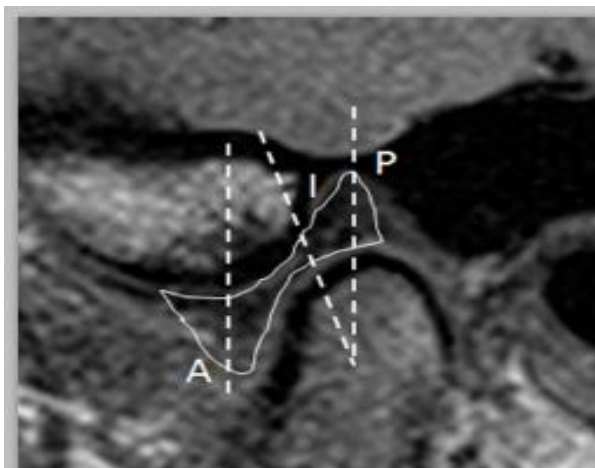
Sl. 2. Aparat za magnetnu rezonancu Siemens (Erlangen, Nemačka)

#### 4.1. Prednosti magnetne rezonance

Magnetna rezonanca predstavlja neinvazivnu, nekontrastnu dijagnostičku metodu, bez prisustva jonizujućeg zračenja. MR kao imidžing metoda predstavlja “zlatni standard” u detekciji pozicije diskus articularisa, prisustva sinovijalne tečnosti u TMZ, stanja retrodiskalnog tkiva i signala koštane srži mandibularnog kondila.

#### 5. MAGNETNA REZONANCA TEMPOROMANDIBULARNOG ZGLOBA

Najčešći razlog snimanja TMZ pomoću MR su pozicija i građa diska kod pacijenata sa bolom u predelu TMZ, kao i merenje rastojanja između određenih anatomskih struktura unutar TMZ. Poznavanje parametara i standardnih dimenzija TMZ je od izuzetnog značaja u stomatologiji, posebno protetici, ortodontiji i maksilofacijalnoj hirurgiji.

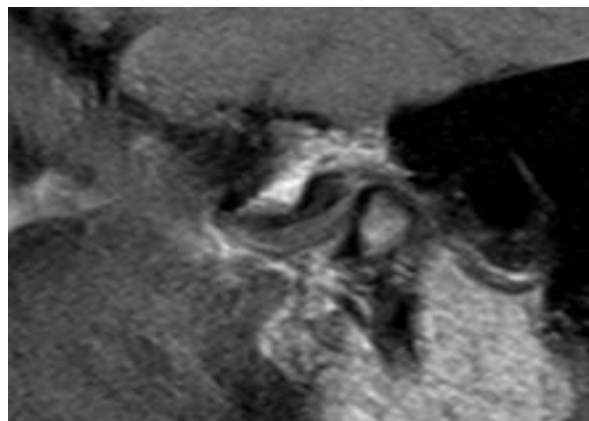


Sl. 3. Prikaz normalne pozicije diskus articularisa u položaju zatvorenih usta.

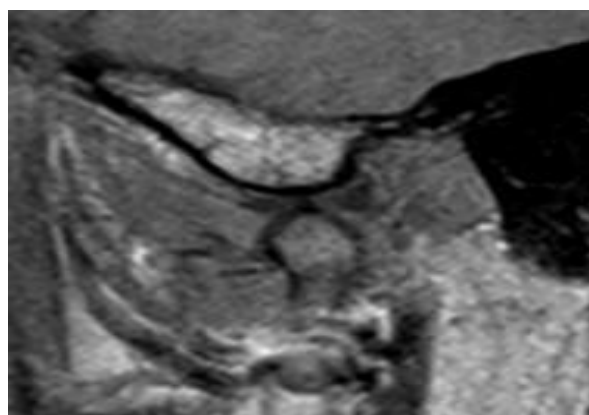
Prednja zona diska (A) je ispod eminencije articularis, intermedijerna zona diska (I) se nalazi između kondila i zadnje padine eminencije articularis, a zadnja zona diska (P) je iznad vrha kondila mandibule.

Najčešća grupa poremećaja temporomandibularnog zgloba su interni poremećaji u koje spadaju dislokacije diska.

Dislokacija diska je najčešće postavljena dijagnoza u okviru internih poremećaja TMZ. Smatra se da oko 75% svih oboljenja TMZ čine dislokacije diska.



Sl. 4a. Dislokacija diska sa redukcijom (zatvorena usta)



Sl. 4b. Dislokacija diska sa redukcijom (otvorena usta)



Sl. 5. Degenerativne promene na kondilu mandibule i mandibularnoj jami

Kontraindikacije za primenu MR dele se na apsolutne i relativne. U apsolutne spadaju: pacijenti sa ugrađenim klipsama na aneurizmama i pacijenti sa pejs-mejkerom. Relativne su: feromagnetni objekti u kritičnim regijama (npr. oči), metalne srčane valvule, klaustrofobični i nekooperativni pacijenti, prvi trimestar trudnoće, kao i pacijenti koji ne mogu da leže za vreme pregleda [13].

#### 6. ZAKLJUČAK

MR kao imidžing metoda predstavlja “zlatni standard” u detekciji pozicije diskus articularisa,

prisustva sinovijalne tečnosti u TMZ, stanja retrodiskalnog tkiva i signala koštane srži mandibularnog kondila. MR predstavlja neinvazivnu, nekontrastnu dijagnostičku metodu, bez prisustva jonizujućeg zračenja.

## 7. LITERATURA

- [1] de Leeuw R AAOOP. Orofacial Pain: Guidelines for Assessment, Diagnosis, and Management. 4 e, editor. Chicago, IL 2008.
- [2] Manfredini D. Current Concepts on Temporomandibular Disorders. Berlin: Quintessence Publishing; 2010.
- [3] Sicher H. DBEL. Oral Anatomy. ed t, editor. Saint Louis: The C.V. Mosby Co.; 1975.
- [4] McNeill C. Management of temporomandibular disorders: concepts and controversies. The Journal of prosthetic dentistry. 1997;77(5):510-22.
- [5] Anatomy Gs. The Anatomical Basis of Clinical Practice. 39th, editor. Edinburgh: Elsevier Churchill Livingstone; 2005.
- [6] Research NIODaC. Facial Pain 2013 [updated 7/28/2013].
- [7] De Leeuw R AAoOP. Orofacial Pain: Guidelines for Assessment, Diagnosis, and Management. Chicago: Quintessence; 2008.
- [8] Petersson A. What you can and cannot see in TMJ imaging-an overview related to the RDC/TMD diagnostic system. Journal of oral rehabilitation. 2010;37(10):771-8.
- [9] Hintze H, Wiese M, Wenzel A. Cone beam CT and conventional tomography for the detection of morphological temporomandibular joint changes. Dento maxillo facial radiology. 2007;36(4):192-7.
- [10] Honey OB, Scarfe WC, Hilgers MJ, Klueber K, Silveira AM, Haskell BS, et al. Accuracy of cone-beam computed tomography imaging of the temporomandibular joint: comparisons with panoramic radiology and linear tomography. American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics. 2007;132(4):429-38.
- [11] Blaschke DD, Solberg WK, Sanders B. Arthrography of the temporomandibular joint: review of current status. Journal of the American Dental Association. 1980;100(3):388-95.
- [12] Tomas J PJ, Berenguer J, Quinto L. MR imaging of temporomandibular joint dysfunction: a pictorial review. Radiographics. 2006;26:765-81.
- [13] Semnic R. Vodič kroz magnetnu rezonancu endokranijuma. Novi Sad: Biblioteka matice Srpske; 2002.

**Autori:** Milica Jeremić Knežević<sup>1</sup>, Dubravka Marković<sup>1</sup>, Robert Semnic<sup>2</sup>, Tatjana Puškar<sup>1</sup>, Aleksandar Knežević<sup>3</sup>, Daniela Đurović Koprivica<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet, Katedra za stomatologiju, +381 21 661-33-62, Fax: +381 21 526-120.

E-mail: [jeremicknezevic@gmail.com](mailto:jeremicknezevic@gmail.com)  
[dubravkamarkovic@yahoo.com](mailto:dubravkamarkovic@yahoo.com)  
[tatjanapuskar@yahoo.com](mailto:tatjanapuskar@yahoo.com)  
[danielladjurovic@gmail.com](mailto:danielladjurovic@gmail.com)

<sup>2</sup> Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet, Katedra za radiologiju, Hajduk Veljkova 12, 21000 Novi Sad, Srbija

E- mail: [semnic@open.telekom.rs](mailto:semnic@open.telekom.rs)

<sup>3</sup> Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet, Katedra za fizikalnu medicinu i rehabilitaciju, Hajduk Veljkova 12, Novi Sad, Srbija

**Napomena:** 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 prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.



**Spasić, A., Lainović, T., Bogdanović, M., Blažić, L., Šokac, M., Till, V.**

**GUSTINA I ARHITEKTONIKA TRABEKULARNE KOSTI MANDIBULE – MSCT  
STUDIJA**

**Rezime:** Mineralizacija i trabekularna arhitektonika u regiji ispred i iza foramena mentale su analizirane i poređene. Nasumično je odabrano 25 MSCT pregleda mandibule. Kružne regije od interesa su postavljene na 8 mesta u kavernožnu kost mandibule i njihov CT broj je izmeren. Ugao spoja trabekula spongiozne kosti u pre- i postforaminalnoj regiji je analiziran. Veća koštana gustina je zabeležena u preforaminalnoj regiji. Ugao pod kojim se trabekule pripajaju za korteks mandibule je veći u preforaminalnoj regiji. Mineralizacija i trabekularna arhitektonika određuju čvrstinu kosti. Zabeležene su razlike u koštanoj gustini i trabekularnoj arhitektonici u pre- i postforaminalnoj regiji mandibule.

**Ključne reči:** mandibula, kavernožna kost, denzitet, arhitektonika.

**1. UVOD**

Kvantifikacija gustine materije je moguća na savremenoj multislajsoj kompjuterizovanoj tomografiji (MSCT). Nijansa sive koja se prikazuje na MSCT ekranima je direktno srazmerna apsorpciji rendgenskog zraka u materiji. Još precizniji način merenja predstavlja analiza CT broja. CT broj predstavlja numeričku vrednost na skali od -1000 do preko 1000 Hounsfieldovih jedinica (HU). Ceo spektar apsorpcije ljudskog tela je podeljen na ovih preko 2000 vrednosti gde je sporazumom dodeljeno da voda ima vrednost 0HU, a vazduh -1000HU. Trabekularna kost ima manji CT broj od kortikalne kosti samim tim manju gustinu materije [1]. Dominantan faktor koji utiče na gustinu materije u kosti je smanjenje kalcijumom mineralizovanog dela kosti [2].

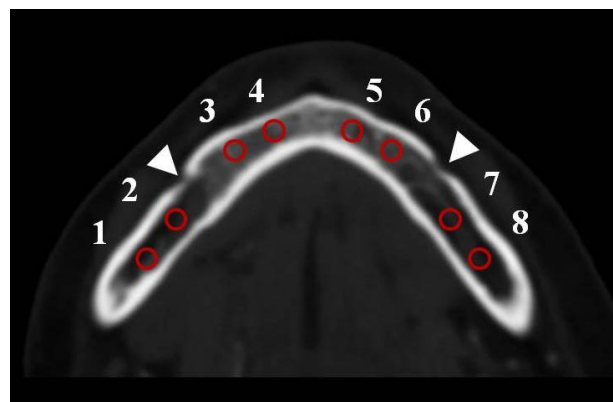
Pored mogućnosti kvantifikacije gustine kosti moguća je i kvalitativna analiza njene trabekularne strukture. Spacijalna rezolucija CT aparata omogućava analizu gustine, razmaka i pravca pružanja koštanih trabekula.

**2. MATERIJAL I METODE**

Iz sistema za arhiviranje slika Centra za radiologiju, Kliničkog centra Vojvodine, nasumično je odabran 25 MSCT studija mandibule.

Merenje denziteta vršeno je korišćenjem kružne regije od interesa (ROI) površine 5mm<sup>2</sup>. Gornji luk alveolarnog nastavka mandibule je podeljen na prednji i zadnji segment u odnosu na poziciju foramena mentale (bradnog otvora donje

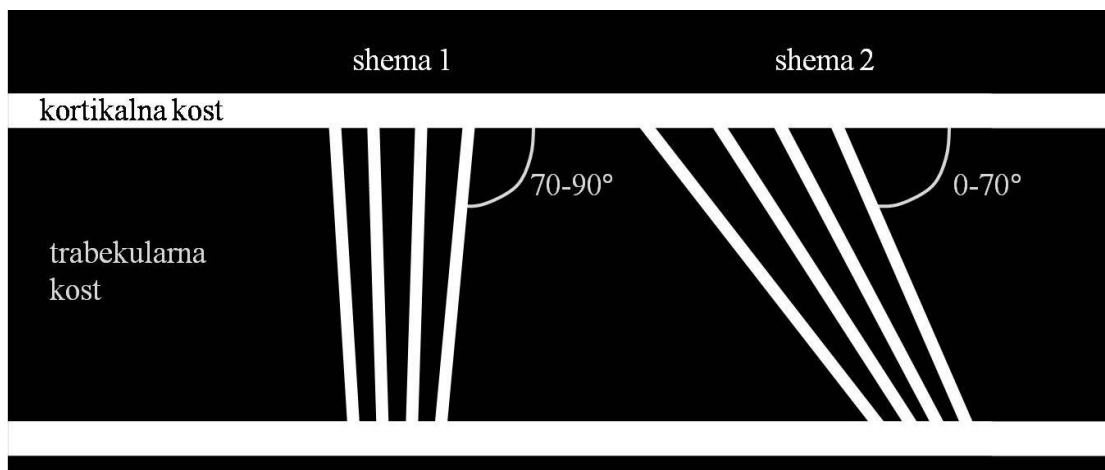
vilice). Deo ispred foramena je podeljen na trećine i ROI je postavljan na spojevima trećina ispod nivoa insercije ili očekivane insercije zuba. Na zadnjem delu alveolarnog nastavka, ROI je postavljan na distanci od 1cm i 2cm iza foramena mentale, a iznad mandibularnog kanala. Prosečna vrednost CT broja je izračunata za svaku navedenu poziciju.



Sl. 1. Pozicija postavljanja kružnog ROI radi merenja CT broja (1-8); foramen mentale (vrh strelice).

Analiza koštanih trabekula je načinjena vizuelnom analizom sheme pružanja njihove dominantne komponente u aksijalnoj ravni u odnosu na kortikalnu kost. Analiziran je pravac pružanja trabekula u prednjem i zadnjem delu mandibule. U odnosu na njihov pravac pružanja određeno je postojanje dve moguće orijentacije: trabekule formiraju ugao sa kortikalnom kosti od 1) 70-90° i 2) manji od 70°. U skladu sa ovim kriterijumom ispitanici su razvrstani u grupe.





Sl. 2. Shema 1 – trabekule se dominantno pripajaju na korteks pod uglom između 70 i 90°. Shema 2 – trabekule se dominantno pripajaju za korteks pod uglom manjim od 70°.

### 3. REZULTATI

U tabeli 1 date su prosečne vrednosti HU po mernim pozicijama.

Pozicija	Denzitet (HU)
1	126
2	221
3	374
4	361
5	320
6	394
7	220
8	162

Tabela 1. Prosečan denzitet na mernim pozicijama.

Značajno veća numerička vrednost gustine kosti je dobijena na centralnim mernim pozicijama (3, 4, 5, 6), gde je izmerena gustina u intervalu od 320 do 394 HU, u odnosu na periferne pozicije (1, 2, 7, 8), čiji denzitet je u intervalu od 120 HU do 221 HU.

U tabeli 2 dati su intervali vrednosti dominantne orijentacije trabekula medule kosti u odnosu na kortikalnu kost.

	dominantna angulacija trabekula u odnosu na korteks	udeo ispitanika
ispred foramena mentale	70 -90°	84%
	0-70°	16%
iza foramena mentale	70 -90°	4%
	0-70°	96%

Tabela 2. Dominantna orijentacija trabekula u pre- i postforaminalnoj regiji.

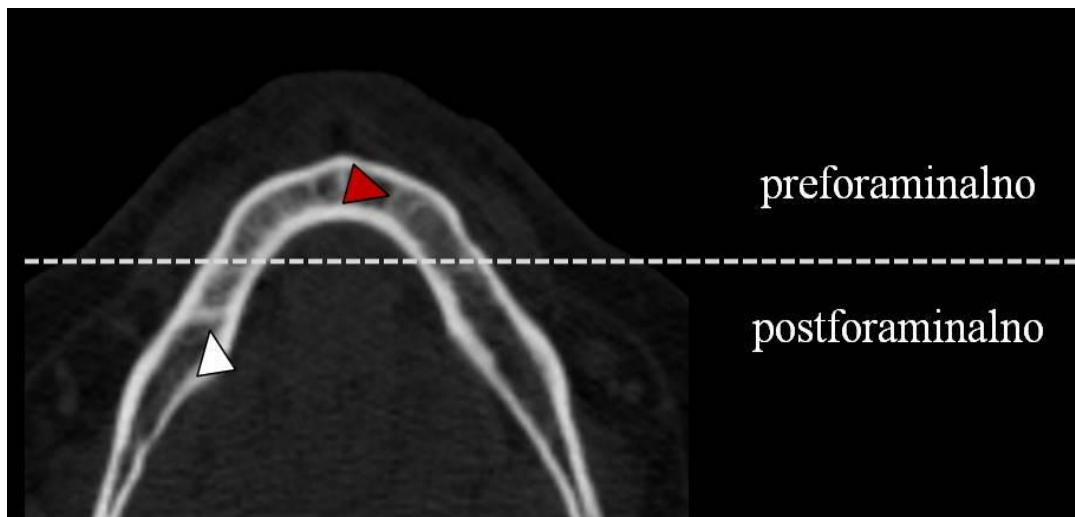
### 4. DISKUSIJA

Čvrstina kosti se može indirektno predvideti na osnovu njene mineralizacije i trabekularne anizotropije [3].

CT broj je precizna kvantifikaciona metoda koja omogućava analizu koeficijenta apsorpcije X zraka po jedinici zapremine [4]. U regiji kavernozone kosti mandibule ovo u praksi znači da će njena kalcijumska mineralizacija biti linearno proporcionalno određena, te se iz dobijenih CT brojeva korišćenjem matematičke formule može izračunati koštana mineralna gustina izražena u koncentraciji kalcijum hidroksiapatita [2]. Merenje mineralne gustine kosti, u apsolutnim vrednostima moguće je na svim MSCT aparatima, dok u osnovnoj opremi Cone Beam CT aparata (CBCT), prema aktuelnim saznanjima autora, ova mogućnost nije dostupna. Postoje određeni matematički algoritmi koji iz CBCT snimka mogu aproksimirati CT broj određene zapremine, ali je većina ovih procedura još uvek u fazi istraživanja [5].

Rezultati dobijeni u ovoj studiji su u skladu sa rezultatima ranijih istraživanja u kojima je zaključeno da je mineralizacija trabekularne kosti izraženija u regiji ispred foramena mentale, nego u regiji iza njega [2].

Trabekularna anizotropija mandibule je predmet aktuelnih istraživanja, u prvom redu, kao posledica povećanog interesovanja za strukturu kosti usled razvoja implantologije [3]. Rezultati ove studije su pokazali da je u preforaminalnoj regiji dominantan pravac pružanja trabekula kavernozone kosti u odnosu na kortikalnu kost pod uglom veoma bliskim 90 stepeni (u intervalu 70-90 stepeni u 84% ispitanika). Sa druge strane, u regiji iza foramena mentale ovaj ugao je dosta manji i uglavnom iznosi oko 45 stepeni (manje od 70 stepeni u 96% ispitanika). Ovakve različite sheme pripoja mogu



Sl. 3. Dominantna orijentacija trabekula kavernozone kosti. Vrh crvenestrelice: trabekule u preforaminalnoj regiji se pripajaju za korteks praktično pod uglom od  $90^\circ$ . Vrh bele strelice: trabekule u postforaminalnoj regiji se dominantno pripajaju za korteks pod značajno manjim uglom (u ovom slučaju oko  $50^\circ$ )

### 5. ZAKLJUČAK

biti uzrokovane različitim tipom mastikatornih pokreta u ovim regijama. Mulder i saradnici navode da različit mehanički pritisak u regiji mandibule između ostalog ima efekat na anizotropiju pružanja trabekula spongiozne kosti (pružanje u različitim pravcima) [6]. Razlike u arhitektici kavernozone kosti u pre- i postforaminalnoj regiji bi mogle inicirati potrebu dizajniranja implanata sa različitim morfološkim karakteristikama usidrujuće regije za potrebe implantacije u ovim strukturno različitim regijama. Ovaj koncept bi, po mišljenju autora, mogao biti tema daljih istraživanja.

Dalji značaj evaluacije trabekularne strukture kosti može se uočiti i iz analize njenog uticaja na čvrstoću kosti. Kod mandibula sa slabom trabekularnom strukturom sile intenziteta 0 N do 70 N dovode do deformacije spongiozne kosti, koja nastaje dominantno kao posledica elastičnog savijanja trabekula. Sile koje prevazilaze ovu vrednost imaju za posledicu destrukciju trabekula i gubitak njihove elastičnosti [7]. Može se pretpostaviti, dakle, da što je očuvanija trabekularna struktura mandibule, sila koja dovodi do destrukcije njenih trabekula mora biti veća.

Eventualnim ograničenjem ove studije može se smatrati činjenica da je trabekularna arhitektika analizirana na MSCT aparatu. Spacijalna rezolucija MSCT-a ( $0,5\text{mm}$ ) je niža u odnosu na spacijalnu rezoluciju Cone BeamCT aparata ( $0,2\text{mm}$ ), te bi se kvalitetnija analiza trabekularne anizotropije mogla očekivati na CBCT-u [8].

Studija podržava zaključak da je mineralna gustina trabekularne kosti mandibule veća u regiji ispred u odnosu na regiju iza foramena mentale.

Arhitektonika i ugao pripoja trabekula kavernozone kosti za korteks u dve merne regije u ovoj studiji se, takođe, međusobno razlikuju, te je dominantan ugao pripoja trabekula za kortikalnu kost u preforaminalnoj regiji bliži pravom uglu, a postforaminalno češće iznosi manje od  $70^\circ$ . Evaluacija mineralne gustine kavernozone kosti i njene trabekularne anizotropije su značajan korak u planiranju i predikciji uspeha protetičko-implantološke rekonstrukcije.

### 6. REFERENCE

- [1] Haaga JR, Lanzieri CF, editors. Computed tomography and magnetic resonance imaging of the whole body 4th ed. St.Louis: Mosby; 2003.
- [2] Lindh C, Nilsson M, Klinge B, Petersson A. Quantitative computed tomography of trabecular bone in the mandible. Dentomaxillofac. Radiol 1996., Vol. 25, No. 3, pp. 146-150.
- [3] Yi WJ, Heo MS, Lee SS, Choi SC, Huh KH. Comparison of trabecular bone anisotropies based on fractal dimensions and mean intercept length determined by principal axes of inertia. Med Bio Eng Comput 2007; 45:357-364.
- [4] Spasić A, Movrin D, Budak I, Vučaj Ćirilović V, Govorčin M, Till V. Kompjuterizovana tomografija u izradi dentalnih nadoknada. ETIKUM 2013.
- [5] Reeves TE, Mah P, McDavid WD. Deriving Hounsfield units using grey levels in cone beam

CT: a clinical application. Dentomaxillofacial Radiology (2012) 41, 500–508.

- [6] Mulder L, Koolstra JH, de Jonge HW, van Eijden TMGJ. Architecture and mineralization of developing cortical and trabecular bone of the mandible. Anat Embryol 2006 211: 71–78.
- [7] Lakatos E, Magyar L, Bojtár I. Material Properties of the Mandibular Trabecular Bone. Journal of Medical Engineering 2014, Article ID 470539.
- [8] Marc Kachelrieß. Fundamentals of Cone-Beam CT Imaging [Internet]. German Cancer Research Center (DKFZ) Heidelberg, Germany. [Citirano 26.05.2016.]. Dostupno na: [https://www.dkfz.de/en/medphysrad/workinggroups/ct/ct\\_conference\\_contributions/FundamentalsOfConeBeamImaging\\_RC\\_Kachelrie.pdf](https://www.dkfz.de/en/medphysrad/workinggroups/ct/ct_conference_contributions/FundamentalsOfConeBeamImaging_RC_Kachelrie.pdf)

**Autori: Aleksandar Spasić, dr med<sup>1</sup>, dr Tijana Lainović<sup>2</sup>, Marjana Bogdanović, dr med<sup>3</sup>, Prof. dr Larisa Blažić<sup>2</sup>, M.Sc. Mario Šokac<sup>4</sup>, Prof dr. Viktor Till<sup>1,2</sup>**

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

2. Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet, Hajduk Veljkova 3, Novi Sad, Tel.: 021 420 677.

3. Zavod za zdravstvenu zaštitu studenata Niš, dr Zorana Đinđića 52a, Niš, Tel.: 021 45 000 56

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

E-mail: [a\\_spasic@yahoo.com](mailto:a_spasic@yahoo.com)  
[tijana.lainovic@gmail.com](mailto:tijana.lainovic@gmail.com)  
[marjana.sagric@gmail.com](mailto:marjana.sagric@gmail.com)  
[larisa.blazic@gmail.com](mailto:larisa.blazic@gmail.com)  
[marios@uns.ac.rs](mailto:marios@uns.ac.rs)  
[vtill@nscable.net](mailto:vtill@nscable.net)

**Skoric, B., Schrittwieser, R.****NANOMATERIALS IN MEDICAL APPLICATIONS**

**Abstract:** *Nanotechnology is an extremely powerful emerging technology, which is expected to have a substantial impact on medical technology now and in the future. In this paper are presented analysis of the types of nanomaterials, methods of production and their properties. Below is an example of artificial hip, application of new materials. In the experimental work has been synthesized thin films, nano-sized, and made characterization by application of modern devices*

**Key words:** *nanomaterials, hip, thin films, characterization*

**1. INTRODUCTION**

Nanotechnology is science, engineering, and technology conducted at the nanoscale, which is about 1 to 100 nanometers. Nanoscience and nanotechnology are the study and application of extremely small things and can be used across all the other science fields, such as chemistry, biology, physics, materials science, and engineering. It was a technological development is a unique feature of the twentieth century, and experts have agreed that the most important technological development in the latter half of the last century is the invention of electronics, has led development to the emergence of the so-called slices Micro (Microchips), which in turn led to the scientific and technical revolution in all areas. Until the fifties of the last century, there was no non-white television and black, did not exist only ten computers in the world almost, and there were no mobile phones or digital watches or the Internet, all these inventions where credit is due after the Almighty God, to those segments, and which resulted in increased demand for them to lower their prices in an easy entry into the manufacturing of all consumer electronics that surround us today.

**2. NANOMATERIALS**

We can define nanomaterials as those distinct category of advanced materials that can be produced so that the ranging measurements dimensions or the dimentions of the particles of interior between 1 nm and 100 nm, has led the small size and measurements of these materials that behave different from the materials of conventional large sized with dimentions greater then 100nm and are available by the gualties and characteristics of the severe discrimination can not

exist together in the traditional materials. The nano materials are the building materials for the twenty – century a theist daughters and their mother basic pillar of the pillars of technologies century atheist twenty, which is considered a benchmark for progress civilization of nations and an indication of the renaissance .

This varied nanomaterials in terms of the source, where the proportions vary depending on, if materials are organic or inorganic material, or natural or synthetic, this is all kinds of engineering materials such as known metallic elements and their alloys (metal and metal alloys) ,semi conductors, metals oxides, as well as in this century and enhance performance in unique way unprecedented.

Preparing nanomaterials on different from, including

- Quantum dots
- Alfoloren
- Nanoparticles
- Nanoballs
- Nanotubes
- Nanowires
- Nanofibers
- Nanocomposites
- Graphene

**3. HIP REPLACEMENT MATERIALS**

A hip replacement involves replacing the hip joint with an artificial version. The hip joint is a ball and socket joint. A hip replacement provides a long-term solution for worn or damaged hip joints, which can cause severe pain and loss of mobility. Hip replacement is a surgical procedure in which the hip joint is replaced by a prosthetic implant. Hip replacement surgery can be performed as a total replacement or a hemi (half) replacement. Such joint replacement orthopedic surgery is

generally conducted to relieve arthritis pain or fix severe physical joint damage as part of hip fracture treatment [1].

There are a large number of hip implant devices on the market. Each manufacturer has different models but each style falls into one of four basic material categories [2] :

- Metal or plastic (polyethylene or UHMWPE).
- Metal on metal (MOM).
- Ceramic on plastic (UHMWPE).
- Ceramic on ceramic (CoC).

The most common type of hip replacement implant is the metal-on-polyethylene prosthesis, which consists of a ball and stem made of metal and a socket made of polyethylene, a type of plastic (figure 1).

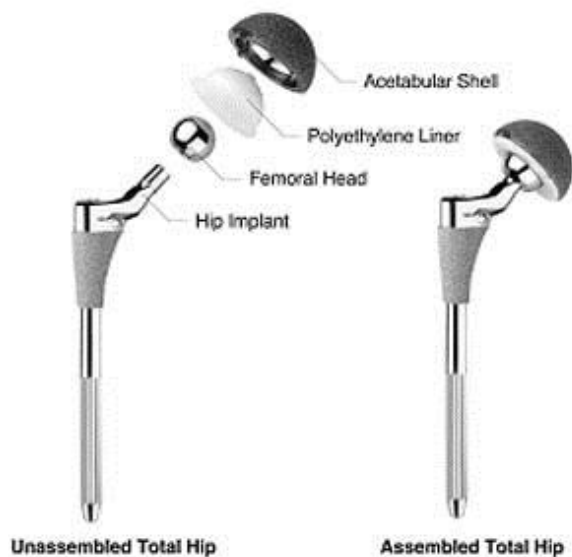


Fig. 1. Metal on plastic hip joints. [2]

#### 4. EXPERIMENTAL

The substrate material used was high speed steel type M2. Prior to deposition the substrate was mechanically polished to a surface roughness of  $0.12 \mu\text{m}$  (Ra).

The specimens were first austenized, quenched and then tempered to the final hardness of 850 HV. In order to produce good adhesion of the coating, the substrates were plasma nitrided at low pressure ( $1 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ ), prior to deposition of the coating.

All coatings were produced by DC magnetron sputtering in an industrial unit CC800/9 (CemeCon). The deposition system is equipped with four unbalanced planar magnetron sources arranged in the corners of a chamber (fig. 2). The nanostructured TiAlSiN coating was deposited

from one pair of TiAl and one pair of TiSi segmental targets (dimensions  $88 \times 500 \text{ mm}$ ) as shown in fig (2).

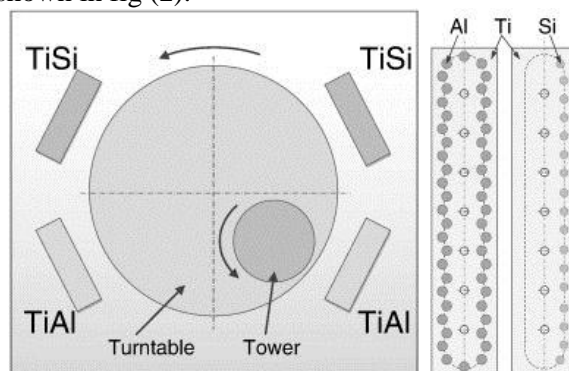


Fig. 2. Schematic of substrate holder and target configuration of the CC800/9 system.

Substrates were mounted on a two-fold rotating substrate holder. By using double rotation it is possible to produce nanolayered coatings with uniform thickness of constituting layers. High speed steel (100Cr6), Cold work tool steel AISI D2 and cemented carbide (WC-Co)-hard metal, were used as substrate materials. The steel samples were ground and polished by a  $3 \mu\text{m}$  diamond polishing paste.

All samples were ultrasonically cleaned and sputter-etched prior to coating deposition. Mid-frequency ion etching with bias on turntable of 650 V was conducted for 45 min in mixed argon (flow rate 180 ml/min) and krypton (flow rate 50 ml/min) atmosphere, under the pressure of 0.35 Pa. After loading, the vacuum chamber was evacuated to a base pressure of  $3.0 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ . The total operating pressure was maintained at 0.6 Pa, with flow rates of nitrogen, argon and krypton of 100, 160 and 110 ml/min, respectively. Krypton is introduced to reduce target poisoning by suppressing the growth of nitride islands. Prior to coating, the deposition chamber was heated to 450 °C. For deposition of the nanolayered TiAlSiN coating rotation speed of the substrate holder was set to 3 rpm. Prior to deposition the substrate was mechanically polished.

Additional analyze the thickness of coatings, the ball crater method (calo-test), allows prompt and sufficiently precise results to be obtained.

This master thesis describes use of the nanoindentation technique for determination of hardness and elastic modulus [3]. In the nanoindentation technique, hardness and Young's modulus can be determined by the Oliver and Pharr method, where hardness (H) can be defined as:  $H = P_{\text{max}}/A$ , where  $P_{\text{max}}$  is maximum applied load, and A is contact area at maximum load. In nanoindentation, the Young's Modulus, E, can be obtained from:  $1/E_r = (1-\nu_2)/E + (1-\nu_1)/E_r$ , where



$\nu_i$ =Poisson ratio of the diamond indenter (0.07) and  $E_i$ =Young's modulus of the diamond indenter. Therefore, in recent years, a number of measurements have been made in which nanoindentation and AFM have been combined. Indentation was performed with Agilent Nanohardness Tester. The results are analyzed in terms of load-displacement curves, hardness, Young's modulus, unloading stiffness and elastic recovery. The nanohardness of coating was measured by Berkovich indenter. The analysis of the indents was performed by Atomic Force Microscope.

## 5. RESULTS

### Carbon coating (aC+C 100Cr6 )

The nanohardness values are shown in Table 1., the nanohardness values-load of indentation (figure 3), Back deformation coefficient  $nIT$  (figure 4).

High hardness of the TiSiN coating is attributed to formation of stable nanostructure with strong interfaces. It is well known that hardness increases with grain size reduction.

Table 1 Surfacenanoindentation (load- 5 to 1000mN).

F	HVpl	$EIT/(1-\nu_s^2)$	$nIT$
5	1190.59	129.68	65.907
10	1224	149.67	61.995
25	1207.91	191.06	54.633
50	1368.81	231.03	52.558
100	1588.49	257.87	54.036
200	1795.94	270.8	55.096
300	1809.84	265.39	53.852
500	1363.43	248.36	40.632
1000	983.76	237.22	30.696

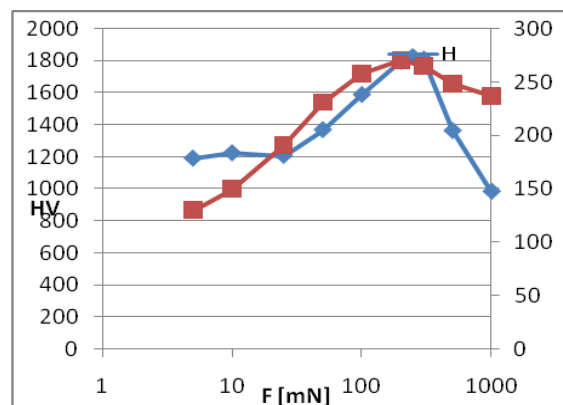


Fig. 3. The nanohardness values - load of indentation.

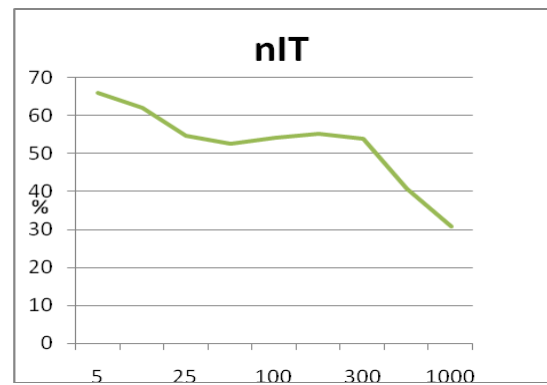


Fig. 4. Back deformation coefficient  $nIT$ .

High hardness of the TiSiN coating is attributed to formation of stable nanostructure with strong interfaces. It is well known that hardness increases with grain size reduction.

We attribute the high hardness of the nanolayered TiAlSiN coating to the absence of/or limited dislocation activity in nanocrystals whose size is around 5 nm. The possible softening effect by grain boundary sliding is suppressed by the presence of partially amorphous TiSiN layers.

Surface roughness prior and after the deposition was measured by VEECO di-CPII atomic force microscope (AFM). All images were acquired in contact AFM mode using a symmetrically etched silicon-nitride probe (figure 5).

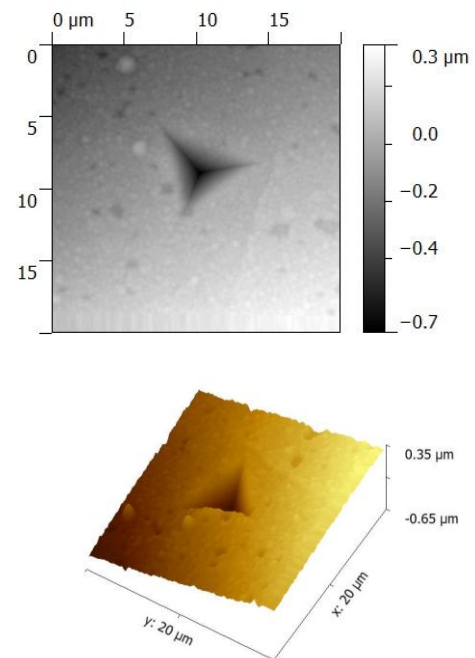


Fig. 5. AFM image of craxk paths from nanoindentation. (CNx-HSS)

Figure 6 presents SEM cross-sectional images of the AC and nanolayered TiAlSiN coatings. The coatings adhere well to base material, they are

uniformly thick and free of structural defects like cracks and voids. Columnar growth is observed in the TiAlN coating. The dense structure indicates that the applied bias was sufficiently high to provide adequate adatom mobility.

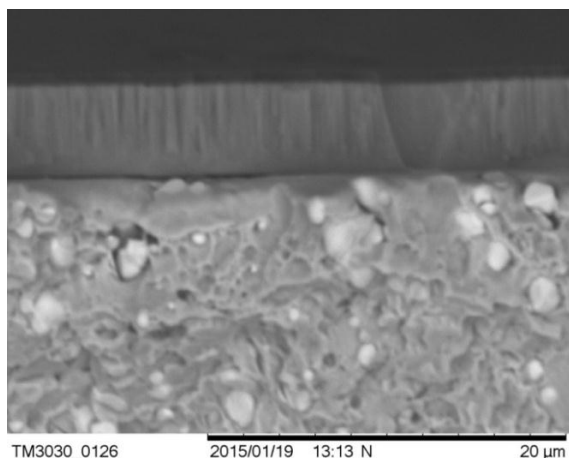


Fig. 6. SEM of coating cross- section AC-HSS (5000x)

Energy dispersive analyze with X-ray (EDAX), is an analytical technique used for the elemental analysis or chemical characterization of a sample. It relies on an interaction of some source of X-ray excitation and a sample. In this cases the layer showed that composition of the layer consists of Carbon Titanium and Aluminium (figure 7 and figure 8).

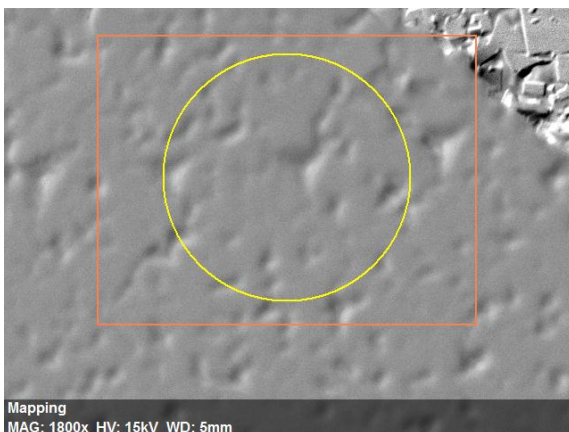


Fig. 7. SEM micrograph of simple surface.

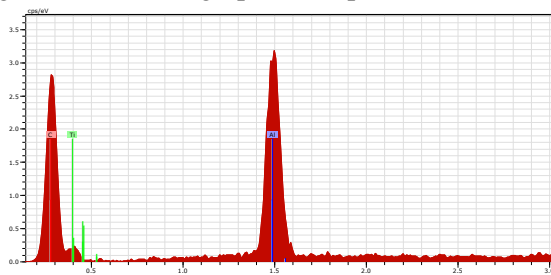


Fig. 8. EDAX image of the surface.

Table 2. Chemical composition of the surface.

Element	AN Series	Net un.	C norm.	C Atom.	C
	[wt.%]	[wt.%]	[at.%]		
Carbon	6 K-series	3228	55.18	58.57	81.78
Titanium	22 K-series	4854	26.15	27.76	9.72
Aluminium	13 K-series	4608	12.89	13.68	8.50
-----					
Total: 94.22 100.00 100.00					

## 6. FINAL REMARKS

Nanotechnology is considered as the key technology of the 21st century. It can offer solutions to many current problems by means of smaller, lighter, faster and better performing materials, components and systems. Nanotechnology opens up new market opportunities and can also make some essential contributions to environmental and health protection.

TiAlN and TiSiN layers were deposited alternatively to form nanolayered TiAlSiN coating.

As a result columnar structure observed in single-layer TiAlN coating almost disappears. Limited dislocation activity in nanocrystals and hindering of grain boundary sliding resulted in high hardness.

TiAlSiN coatings is characterized by high values of the hardness, which implies high fracture toughness of this coating and should be beneficial in tribological application.

Further investigation will be focused on studying other combination of materials in nanolayered-nanocomposite design.

## 7. REFERENCES

- [1] N. Fedullo, E. Sorliera, M.Sclavons, C. Bailly, J.M. Lefebvre, J.Devaux. Polymer-based nanocomposites. Prog. Org. Coatings, 2006.
- [2] D.R. Paul, L.M. Robertson, Polymer nanotechnology:Nanocomposites, Volume 49, Issue 15, 2008, Pages 3187-3204.
- [3] P.K. Mitra, Characterization of Materials, PHI Learning, Delhi, India, 2014.

**Authors: Prof. Dr. Branko Skoric**, 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

**Milutinović, M., Lendel, R., Potran, M., Vilotić, D., Skakun, P., Santoši, Ž.**

**RAZVOJ NOVOG POSTUPKA IZRADE METALNE BAZE TOTALNE ZUBNE  
PROTEZE**

***Rezime:** U ovom radu prikazan je novi postupak za izradu metalne baze totalne zubne proteze baziran na tehnologiji inkrementalnog deformisanja lima sa kontaktom alata u jednoj tački. Radi se o integrisanom postupku koji objedinjuje različite CAx tehnike, procedure reverzibilnog inženjerstva i aditivne tehnologije. Realni model baze proteze izrađen je od nerđajućeg (bio-kompatibilnog) čelika EN X6Cr17 (Č.4174) od lima debljine 0,5mm.*

***Ključne reči:** inkrementalno deformisanje lima, metalna baza zubne proteze, reverzibilne inženjerstvo*

**1. UVOD**

Potreba za pojedinačnom ili proizvodnjom u malim serijama dovela je do razvoja novih metoda tehnologije plastičnog deformisanja, kao što su postupci obrade sa parcijalnim (inkrementalnim) zahvatom alata. Jedna od takvih metoda je i inkrementalno deformisanje lima (IDL).

Prvi rezultati vezani za istraživanje inkrementalnog deformisanja lima objavljeni su 1978. godine [1], da bi sama metoda zaživela 90-tih godina prošlog veka kao alternativna fleksibilna tehnologija koja se koristi za proizvodnju obradaka složenog oblika, ali bez potrebe za korišćenjem specijalnih skupih alata. Ideja je bila da se iskoriste kretanja koje alat može da ostvari na CNC mašinama za izradu delova u malim serijama ili za izradu prototipova [2]. Tehnologija inkrementalnog deformisanja primarno je razvijena za potrebe auto i avio industrije, ali zbog mogućnosti primene u malim serijama ili u pojedinačnoj proizvodnji primena ove metode se koristi i u reparaciji i održavanju, izradi prototipova, u medicini, građevini itd. Primena u medicini je posebno interesantna jer omogućava izradu tzv. "custom made" delova, tj. delova prilagođenih individualnim potrebama i anatomiji pojedinačnih pacijenata.

Prva istraživanja vezana za mogućnost aplikacije tehnologije IDL u medicini počela su pre 10-tak godina, a do sada je ova tehnologija uspešno primenjena za proizvodnju različitih usko prilagođenih ortopedskih pomagala u rehabilitaciji pacijenta (npr. za povrede nastale na zglobovima ili donjim ili gornjim udovima), zatim medicinskih implanata i proteza u rekonstruktivnoj hirurgiji, kao i zubnih nadoknada u stomatologiji [3]. U oblasti medicine, tehnologija inkrementalnog deformisanja veoma često se kombinuje sa

kompjuterom podržanim tehnologijama (CAD, CAE, CAM), aditivnim tehnologijama, kao i naprednim imidžing tehnologijama (MRI, CT). Na taj način poboljšava se ne samo tehnološki postupak izrade odgovarajućeg dela, već i fleksibilnost i efikasnost čitavog postupka (dizajn proizvoda, automatizacija proizvodnje, skraćenje vremena izrade) i obezbeđuje kvalitetnija medicinska usluga i ugodniji tretman pacijenta.

**2. KONVENCIONALNI POSTUPCI IZRADE  
BAZE PROTEZE**

Mobilnim zubnim nadoknadama - protezama nadoknađuju se izgubljeni zubi i delovi alveolarnog grebena radi postizanja funkcionalne i estetske rekonstrukcije stomatognatog sistema pacijenta.

Konvencionalan način izrade mobilnih zubnih nadoknada obuhvata komplikovan i vremenski zahtevan laboratorijski postupak. Baza proteze totalnih i parcijalnih pločastih proteza najčešće se izrađuje od toplo i hladno-polimerizujućih akrilata. Postupak izrade akrilatih proteza sastoji se iz 5 kliničkih i laboratorijskih faza.

U posebnim indikacijama (bruksizam, epilepsija, nepovoljan oblik rezidulanog alveolarnog grebena) baza totalne proteze može da se pravi od legura metala. Izrada počinje dubliranjem radnog modela u model od vatrostalne mase. To se postiže otiskivanjem radnog modela reverzibilnim hidrokoloidom (agarom) ili silikonom, posle čega se isti izliva u vatrostalnoj masi. Nakon očvršćavanja vatrostalnog radnog modela, baza proteze se modeluje pomoću voštanih profila. Voštani model buduće baze spaja se sa ulivnim kanalima po istim principima kao kod akrilata, s tim što se za izradu kalupa koristi vatrostalna masa. Voštani profil se

predgrevanjem (obično 60min na 250°C) uklanja iz vatrootalnog kalupa, nakon čega sledi livenje u centrifugalnoj ili vakumskoj peći obično od Co-Cr-Mo legure. Mehaničko-hemijske karakteristike koje moraju zadovoljiti materijali koji se koriste za izradu metalnih baza proteze livenjem definisane su standardima poput DIN EN ISO 6871-1:1996 [5]. Kalup se posle hlađenja otvara, baza proteze se čisti, dodatno obrađuje, završno polira i upasuje na model. Na dobijenu metalnu bazu stavljaju se zagrižajni bedemi. Dalji klinički postupak izrade proteze ostaje isti kao kod postupka izrade akrilatne proteze.

Izrada baze proteze od metala ima niz prednosti u pogledu karakteristika materijala i kliničkog postupka izrade. Metalna baza ima veću čvrstoću, što smanjuje mogućnost frakture proteze. Visoka čvrstoća metalne legure omogućava izradu tanje baze proteze, što doprinosi povećanju komfora za pacijenta. Metalna baza proteze omogućava bolje prenošenje toplote, pa se tokom konzumiranja toplih napitaka i tople čvrste hrane toplota bolje prenosi na noseća tkiva proteze. Baza proteze od metalne legure ima veći stepen biokompatibilnosti, smanjenju adhezencu dentalnog plaka i veću dimenzionu postojanost u odnosu na akrilate koji apsorbuju vodu iz okoline.

### 3. PRIKAZ NOVOG POSTUPKA

Novi postupak izrade metalne baze (metalnog skeleta) totalne proteze zasnovan je na tehnologiji inkrementalnog deformisanja lima sa kontaktom u jednoj tački. Varijanta procesa sa kontaktom alata i obratka u jednoj tački izabrana je na bazi tehničkih zahteva vezanih za geometriju finalnog dela (deo malih dimenzija i male dubine zbog čega efekat „springback-a“ nije izražen), odnosno težnje da se postigne što veći stepen univerzalnosti alata-pribora.

U cilju automatizacije i povećanja fleksibilnosti novog postupka izrade baze proteze svi segmenti tehnološkog procesa integrisani su u jedinstveni CAD/CAE/CAM/RE/FP sistem i realizovani u digitalnom okruženju.

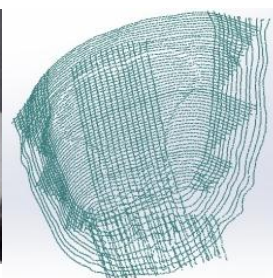
#### 3.1 Kreiranje CAD modela baze totalne proteze

Osnovu za razradu postupka inkrementalnog oblikovanja metalne baze totalne proteze predstavlja 3D CAD model finalnog dela. U konkretnom slučaju, polazište za kreiranje virtuelnog CAD modela predstavljao je polirani metalni odlivak (skeleton) baze totalne gornje (maksilarne) proteze dobijen konvencionalnim postupkom prema proceduri opisanoj u poglavlju

2, i čija geometrija je digitalizovana korišćenjem postupka reverzibilnog inženjerstva.

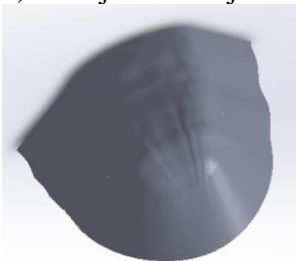
Ovakav pristup za formiranje CAD modela je izabran u cilju efikasnije komparacije mehaničko-geometrijskih karakteristika „originala“ (baze proteze dobijene livenjem) i „kopije“ (baza proteze (izrađena IDL), tj. verifikacije novog postupka. Za buduću kliničku praksu predviđeno je da se CAD model baze proteze formira na bazi digitalizovanog otiska dobijenog skeniranjem kliničkog master modela proteze (radni model sa voštanom nadogradnjom), koji se koristi u standardnoj kliničkoj proceduri.

Prvi korak u kreiranju CAD modela baze odnosio se na skeniranje geometrije gornje površine baze proteze dobijene klasičnim postupkom. Skeniranje je izvršeno na koordinatnoj mernoj mašini Contura 2G pomoću kontaktnog mernog pipka (sl.1-a), prema unapred definisanom algoritmu (sl.1-b).



a) Skeniranje originala

b) Putanje skeniranja



c) CAD model

d) STL model

Sl. 1. Kreiranje CAD modela baze proteze

Sledeći etapa u razradi CAD modela obuhvatala je aktivnosti vezane za obradu rezultata skeniranja. Pomoću programskog paketa Pro/ENGINEER izvršen je uvoz, editovanje i prevođenje dobijenog oblaka tačaka (rezultata merenja) u odgovarajući solid model. Međutim, da bi se dobila kontinualna forma objekta bilo je neophodno doraditi solid model. Koristeći standardne rutine u okviru SOLIDWORKS-a, izvršeno je korigovanje i dopuna solid modela, a rezultat toga je 3D CAD model baze proteze (sl.1-c). Izvoz CAD modela u ostale module sistema (CAM/CAE/FP) vršen je preko STL formata (sl.1-d).



### 3.2 Definisanje materijala i priprema

Kao polazni materijal korišćeni su kvadratni iseći lima dimenzija 155x155x0,5mm od nerđajućeg (bio-kompatibilnog) čelika EN X6Cr17 (Č.4174). Treba naglasiti da u slučaju baze proteze potpuna bio-kompatibilnost materijala nije ključni faktor. Debljina lima od 0,5mm bila je manja je od debljine polazne livene baze izrađene od legure Cr-Co (prosečna debljina je 0,8mm). Smanjenjem debljine, tj. mase metalne baze proteze dodatno se poboljšavaju funkcionalne karakteristike proteze, u prvom redu udobnost nošenja za pacijenta.

### 3.3 Alat i mašina

Postupak inkrementalnog deformisanja baze proteze realizovan je na CNC vertikalnoj glodalici HAAS TM1 pomoću žiga sa sferičnom glavom i fiksnog držača lima (sl.2). Žig je bio izrađen od čelika EN X210Cr12 (Č.4150), kaljen i otpušten na tvrdoću od 60HRC. Nakon termičke obrade, žig je fino brušen i poliran. Primenjen je fiksni držač lima zbog niza tehno-ekonomskih prednosti, a jedan deo njegove konstrukcije (potporna ploča) izveden je od drveta u cilju ubrzanja i pojeftinjenja proizvodnje.



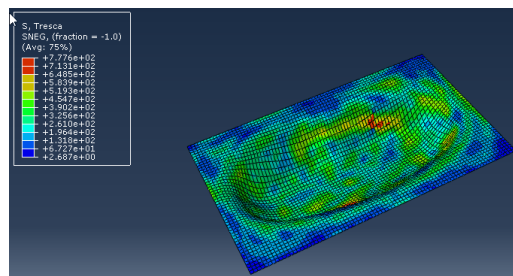
Sl. 2. Izrada baze proteze inkrementalnim deformisanjem

### 3.4 Generisanje tehnoloških parametara procesa i numerička simulacija procesa

Sličnost procesa inkrementalnog deformisanja sa postupkom glodanja omogućava primenu klasičnih CAM softvera (u konkretnom slučaju korišćen je EdgeCAM softver) za generisanje putanje alata i NC koda, odnosno verifikaciju selektovanih parametara procesa. Strategija oblikovanja programirana je „profile milling“ sa helikoidnom putanjom alata-žiga, horizontalnim pomakom od 3000mm/min, vertikalnim korakom od 0,02mm i brzinom rotacije od 100min-1.

Postupak izrade baze proteze simuliran je i pomoću CAE softverskog paketa Abaqus baziranog na Metodi Konačnih Elementa (MKE). MKE analiza sprovedena je u cilju provere naponsko-deformacionog stanja u obratku i

finalne geometrije. Kako se sa slike 3 vidi vrednosti efektivnog napona na većem delu zapremine obratka manji od 500 MPa (max. oko 780 MPa), što je znatno manje od zatezne čvrstoće materijala (1150 MPa). Simulacije su pokazale da neželjene pojave poput elastičnog vraćanja i „pillow“ efekta nisu izražene, te da su razlike između MKE i željenog (CAD) profila minimalne i kao takve prihvatljive.



Sl. 3. Efektivni napon

### 3.5 Eksperimentalna verifikacija novog postupka

Praktična realizacija-verifikacija postupaka izrade metalne baze totalne proteze inkrementalnim deformisanjem lima izvedena je u skladu sa ranije navedenim parametrima procesa na većem broju uzoraka. Pored toga, na istoj mašini i na određenom broju uzoraka izvedeno je bušenje otvora u predelu sedla.

Na slici 4 dat je uporedni prikaz metalne baze proteze dobijene livenjem (originalni deo) i postupkom inkrementalnog deformisanja. Nakon izrade prvo je izvršena vizuelna kontrola uzoraka radi indentifikacije eventualnih oštećenja strukture materijala i provere kvaliteta površine. Dobijena struktura bila je bez oštećenja sa veoma finom površinom (niskom hrapavošću) na većem delu konture zahvaljujući, u prvom redu, izuzetno maloj vrednosti vertikalnog koraka alata. Neznatno povećanje hrapavosti registrovano je samo na delu unutrašnje površine - zoni koja je pretrpela najveće deformacije. Povećana hrapavost, u slučaju da se iskaže potreba, može se lako ukloniti postupkom poliranja. Povećanje hrapavosti na spoljnoj površini, odnosno efekat „pomorandžine kore“ koji se veoma često javlja u slučaju kontakta alata i materijala samo sa jedne strane, nije uočeno.

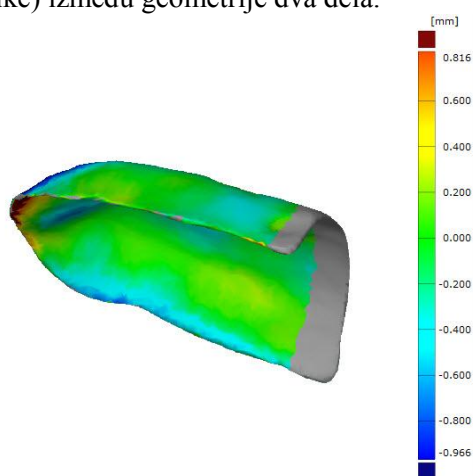


Sl. 4. Baza proteze dobijena novim (levo) i klasičnim (desno) postupkom



Osnovna kontrola tačnosti izrađenih baza proteza izvršena je proverom naleganja istih u ranije izrađeni RP kalup. Ova kontrola pokazala je da baze od obe vrste materijala fino naležu u kalup, što je značilo da se njihove geometrije dobro slažu sa geometrijom originala.

Detaljna kontrola dimenzija i provera tačnosti delova dobijenih inkrementalnim deformisanjem izvršena je pomoću softvera GOM Inspect. U postupku kontrole dimenzija prvo je izvršeno skeniranje geometrije baze proteze i formiranje odgovarajućeg CAD/STL modela na ranije opisan način. U sledećem koraku, ovaj STL model je kompariran sa STL modelom originala u okviru GOM Inspect softvera. Direktnim preklapanjem modela dobijena je tzv. "mapa (ne)slaganja" duž čitavog 3D profila (sl.5) koje pokazuju odstupanja (razlike) između geometrije dva dela.



Sl. 5. CAD Inspekcija

Kao što se može videti sa slike 5 maksimalna odstupanja geometrije ne prelaze 1mm, i koja su za ovu vrstu proizvoda potpuno prihvatljiva. Osim toga, najveće razlike javljaju se na spoljnim ivicama koja se dodatno tretiraju u smislu nanošenja akrilatnog sloja i samih zuba. Takođe se uočava da je u najvećem delu profila, a naročito u centralnoj zoni podudarnost geometrija vrlo dobra (odstupanja ranga  $\pm 0,2\text{mm}$ ).

#### 4. ZAKLJUČAK

Novi postupak izrade metalne baze totalne zubne proteze baziran je na tehnologiji inkrementalnog deformisanja lima sa kontaktom alata u jednoj tački. Postupak je kreiran na principu integrisanog razvoja proizvoda i procesa primenom savremenih kompjuterskih tehnika CAD/CAE/CAM/RE/RP. Glavne prednosti novog postupka jesu fleksibilnost, tačnost, skraćanje vremena izrade, pojednostavljena procedura kao i u velikoj meri eliminacija manuelnog laboratorijskog rada u procesu modelovanja i

izrade. Modelovanjem baze proteze u digitalnom okruženju i uvođenjem virtuelnog CAD modela umesto ručno izrađeno fizičkog (voštanog) modela olakšava postupak modelovanja, a tačnost modela diže na viši nivo. Pored toga, ovakav pristup omogućava brže i efikasnije sprovođenje eventualnih korekcija i dorada na modelu.

Sam postupak izrade (mašinska operacija) traje veoma kratko, zajedno sa pripremom i naknadnom obradom ne duže od 30min. Razvijeni postupak dozvoljava istovremenu izradu dve proteze npr. gornje i donje u slučaju totalne bezubosti ili izradu jedne baze u dve varijante. Primena CEA i CAM softvera obezbeđuje izbor optimalnih parametara procesa izrade, dok primena numerički kontrolisane mašine eliminiše uticaj ljudskog faktora. Tehnologija inkrementalnog deformisanja omogućava visoku tačnost izrade u zahtevanim granicama. Eventualna mala odstupanja geometrije dela od željene mogu se brzo korigovati manuelnim radnjama pomoću jednostavnog pribora.

#### 5. REFERENCE

- [1] Mason, B.: *Sheet Metal Forming for Small Batches*, Bachelor Thesis, University of Nottingham, 1978.
- [2] Kršulja M.: *Unapređenje procesa inkrementalnog preoblikovanja u jednoj tački*, Doktorska disertacija, Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet, 2013.
- [3] Jorge, L., et al.: *Single Point Incremental Forming of a Medical Implant*, Faculdade de Engenharia da University, Portugal, 2011.
- [4] Ambrogio, G., De Napoli, L., Filice, L., Gagliardi, F., Muzzupappa, M.: *Application of Incremental Forming process for high customized medical product manufacturing*, Journal of Materials Processing Technology 162–163, 2005, pp. 156–162.
- [5] <http://www.vetmetal.com/LinkClick.aspx?fileticket=9%2BkLi4KQfYM%3D&tabid=64>.  
Pristupljeno: 15.05.2016

**Autori:** Doc. Dr. Mladimir Milutinović, PhD student Robert Lendel, Doc. dr Plavka Skakun, PhD student Željko Santoši, Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2347, Fax: +381 21 454-495.

PhD Michal Potran, Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet, Katedra za stomatologiju, Hajduk Veljkova 12, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 661-33-62, Fax: +381 21 526-120.

**Movrin, D., Tabaković, S., Plančak, M., Hadžistević, M.**

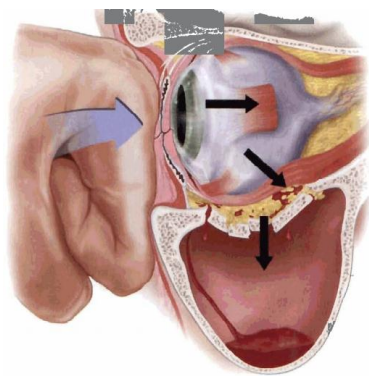
**PRIMENA VEZIVNE 3D ŠTAMPE PRI REKONSTRUKCIJI BLOWOUT PRELOMA  
PODA ORBITA**

**Rezime:** Sa svojim rapidnim razvojem, koji je naročito vidljiv poslednjih deset godina, aditivne tehnologije nalaze sve veću primenu u biomedicinskom inženjerstvu. Prvenstveno su se koristile za izradu 3D modela koji su hirurzima omogućavali bolji uvid u stanje pacijenta i na taj način olakšavali preoperativne aktivnosti. Međutim, sa razvojem biokompatibilnih i biodegradibilnih materijala, aditivne tehnologije se u sve većoj meri koriste za izradu kalupa za implantate kao i samih implantata koji se koristi pri rekonstrukcijama. U radu je prikazana tehnologija izrade kalupa za pripremu implantata pri rekonstrukciju blowout preloma pod orbitu. Na osnovu CT snimka pacijenta detektovan je oblik i veličina frakture i izrađen je kalup tehnologijom vezivne 3D štampe. Dobijeni kalup je korišćen za dobijanje finalnog implantata od pločice izrađene od biodegradibilnog polidioksan laktida (PDLLA).

**Ključne reči:** Blowout, PDLLA, Vezivna 3D štampa

**1. UVOD**

Izolovani prelomi pod orbitu, tzv. blowout frakture, nastaju kao posledica snažnog, kratkotrajnog dejstva tupe sile na predeo očne jabučice (udarac pesnice, grudve, kamena, teniske lopte) i tom prilikom dolazi do naglog povećanja hidrostatičkog pritiska u orbiti. Očni bulbus je veoma otporan, ali je zato tanki pod orbitu osetljiv i često dolazi do njegovog rasprskavanja i prolapsa orbitalnog sadržaja u maksilarni sinus (slika 1). Rekonstrukcija pod orbitu se može vršiti na više različitih načina: (i) koštanim graftovima, (ii) žicom ili (iii) pločicama [1].



Sl. 1. Blowout prelom pod orbitu [2]

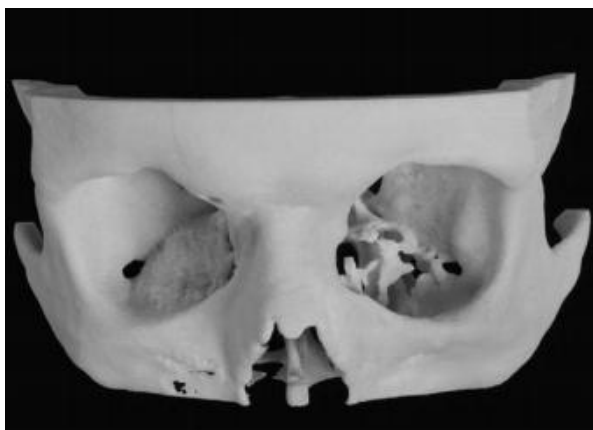
Kod rekonstrukcije pomoću koštanih graftova se mora praviti dodatni zahvat na pacijentu kojim se sa određenog dela kosti (rebra, bedrene kosti, poglavine, prednjeg zida maksile, itd.) uzima graft odgovarajuće veličine. Ovakvim pristupom operativni i postoperativni period se produžavaju. Sa razvojem novih biokompatibilnih materijala sve više se koriste rekonstrukcije korišćenjem

implanata (pločica) izrađenih od takvih materijala. U današnje vreme sve češća je primena resorptivnih biomaterijala kao što su polidioksan (PDS), polyglycolic acid (PGA), poly-L-lactid acid (PLLA), polidioksan laktida (PDLLA) koji se koriste za nadoknadu tkiva kako iz zdravstvenih tako i iz estetskih razloga. Svi biomaterijali moraju biti biokompatibilni, netoksični, da nisu kancerogeni i da ne stvaraju bilo kakvu vrstu imunog odgovora. Međutim, priprema samog implantata se može izvršiti tek prilikom hirurškog zahvata, odnosno nakon vizuelne identifikacije veličine povrede (frakture). Kako bi se priprema (izrada) implanata vršila pre operacije, a na taj način smanjilo vreme same operacije, poslednjih godina se koristi kombinacija kompjuterizovane tomografije (CT), CAD tehnologija i aditivnih tehnologija u pripremi operativnog zahvata. Ako se posmatra generalna upotreba pomenutih tehnologija pri rekonstruktivnoj hirurgiji, može se definisati više pravaca njihovog korišćenja.

Prvi pravac detaljno su u svom istraživanju opisali Williams i Revington, koji su su korišćenjem dva tipa aditivnih tehnologije, selektivnog laserskog sinterovanja (SLS) i stereolitografije (SLA), na osnovu CT snimka pacijenta izradili 3D model lobanje (slika 2) koji je služio kao kalup za pripremu titanijumske mrežice [3].

Sa druge strane Drstvenšek i ostali su u svojim istraživanjima [4] SLS tehnologiju koristili za izradu modela implantata tačnih dimenzija i oblika, koji je korišćen kao pozitiv za izradu silikonskog kalupa. U kalup je ulivena biokompatibilna smesa koja je nakon sušenja predstavljala implantat tačnog oblika i dimenzija,

koji odgovaraju povredi (frakturi) pacijenta. U istom istraživanju prikazana je i izrada titanijumskog dela vilice korišćenjem DLMS tehnologije koji je predstavljao i finalni implantat spreman za imlementaciju. Istraživanja direktne i indirektno izrade implanata poslednjih godina su veoma popularna i mogu se naći u velikom broju [5, 6]



Sl. 2. Model lobanje sa blowout prelomom dobijen SLS postupkom [3]

Treći vid korišćenja je izrada određenih pribora, npr. raznih vrsta hirurških vodica, koji se obično koriste u operativnim zahvatima za pozicioniranje i pravilno vođenje burgija, raznih vrsta vijaka, klinova, implanata itd. [7]. Navedeni pribori moraju biti izrađeni od biokompatibilnih ili delimično biokompatibilnih materijala i često su vrlo složenog oblika. Zbog složenosti pribora, aditivne tehnologije nemaju konkurenciju pri njihovoj izradi.

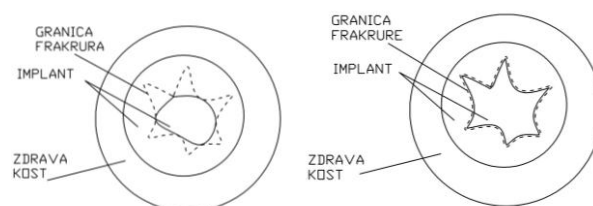
U istraživanju u prikazanom u radu biće detaljno objašnjena procedura dobijanja kalupa tehnologijom vezivne 3D štampe za izradu implantata za rekonstrukciju kod blowout preloma pod orbite. Procedura je sprovedena na šest pacijenata ali će kroz rad biti prikazana na primeru jednog pacijenta.

## 2. IZRADA KALUPA

### 2.1 Definisane oblika implantata

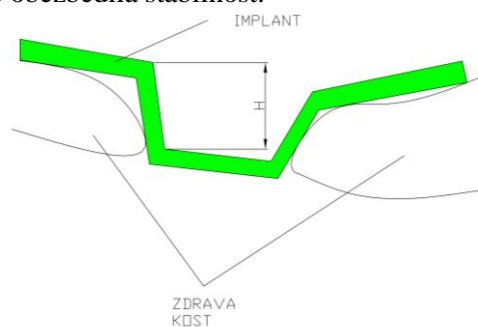
Kalup izrađen tehnologijom vezivne 3D štampe, predstavlja negativ oštećenja (preloma) pod orbite. Na početku istraživanja razmotrena su dva pristupa za izbor oblika implantata (slika 3). U prvom slučaju, koji se odnosi na složene prelome, implantat ne naleže celom ivicom na zdravu kost nego samo na pojedinim (najjačim) mestima. U drugom slučaju oslonac bi bio celom ivicom frakture ali u tom slučaju implantati su vrlo složenog oblika. S obzirom da se za izradu kalupa koristi vezivna 3D štampa, ne postoje limiti

oblika, pa je izabran drugi slučaj oslanjanja implantata. Na ovaj način je mogućnosti njegovog pomeranja u postoperativnom periodu, usled spoljašnjih uticaja i pokreta bulbusa, svedena na minimum.



Sl. 3. Definisane načina oslanjanja implantata na zdravu kost

Vrlo bitan parametar prilikom izrade kalupa jeste dubina koja mora biti definisana tako da obezbedi stabilnost implantata odnosno, onemogući njegovo pomeranje usled pomeranja bulbusa u postoperativnom periodu. Po svojoj dubini donja površina implantata (do sinusne šupljine) mora minimalno biti u ravni sa donjom površinom zdravog dela poda orbite (slika 4) kako bi se obezbedila stabilnost.



Sl. 4. Definisane dubine implantata

### 2.2 Izrada kompjuterskog modela kalupa

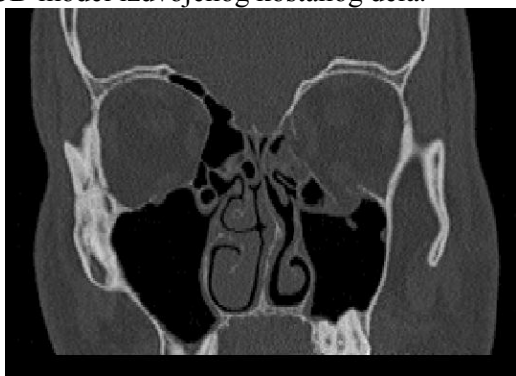
Glavni problem pri izradi kompjuterskog 3D modela kalupa je dobijanje oblika frakture na osnovu CT snimka. Usled male debljine poda orbite i pri slučajevima kada se sinusna šupljina ispuni sa tečnošću, postoji problem razlikovanja koštanog od mekog tkiva ili tečnosti. Zbog toga je bitno u slučaju blowout preloma proceduru snimanja izvesti sa dobrim setapom uređaja i na savremenijim uređajima visoke rezolucije.

Kao izlaz sa CT uređaja dobija se DICOM datoteka (Digital Imaging and Communications in Medicine) koja predstavlja set tomograma (slika 5). Korišćenjem softvera za konverziju DICOM se konvertuje u fajl (npr. STL) koji je moguće importovati u neki od komercijalnih CAD programa.

Za konverziju DICOM datoteke u STL, korišćen je softver Able 3D Doctor. Izdvajanjem oblasti interesovanja (ROI), koja je u ovom

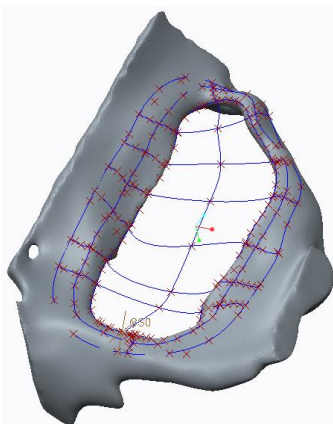


slučaju pod orbite sa prelomom, podešavanjem praga osetljivosti i parametara konverzije, dobija se 3D model izdvojenog koštanog dela.



Sl. 5. Sniimak pacijenta sa karakterističnim blowout prelomom levog poda orbite

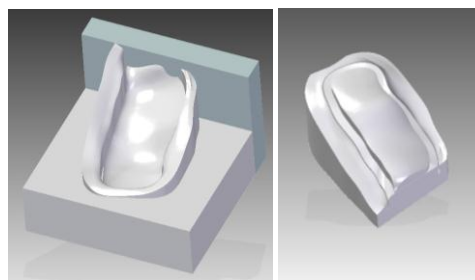
Izdvojeni koštani deo eksportovan u STL fajl služi kao osnova za izradu modela kalupa korišćenjem nekog od dostupnih CAD softvera (npr. Creo, Solid Edge...). Najpre je prostornim krivama potrebno odrediti spoljašnje (maksimalne) dimenzije implantata, njegovu dubinu i prirodno zakrivljenje nedostajućeg dela kosti (slika 6). Sa slike 6 se može videti da je površina oslonca implantata na zdravu kost varijabilna duž ivice, kako implantat ne bi narušio prirodnu anatomiju očne duplje.



Sl. 6. Model blowout preloma sa prostornim krivama koje definišu oblik implantata

Kada je oblik površine implantata definisan, mogu se izraditi 3D kompjuterski modeli gornjeg i donjeg kalupa pri čemu treba voditi računa o debljini korišćene PDLLA pločice, kako bi se obezbedili tačni zazor između gornjeg i donjeg kalupa i nesmetano dobio željeni oblik implantata. Pločice korišćene pri operativnim zahvatim su bile dimenzija 32x32x0.9 mm proizvođača Resorb x KLS MARTIN, Germany.

3D kompjuterski modeli gornjeg i donjeg kalupa prikazani su na slici 7.



Sl. 7. Kompjuterski 3D model gornjeg i donjeg kalupa

### 2.3 Izrada kalupa tehnologijom vezivne 3D štampe

Tehnologija vezivne 3D štampe je jednostavan i brz postupak, dok je oprema relativno jeftina, što utiče na veliku rasprostranjenost ovog sistema. Može da koristi širok spektar različitih materijala (metalni, keramički, polimerni prah i dr.) što omogućava dobijanje željenih mehaničkih osobina.

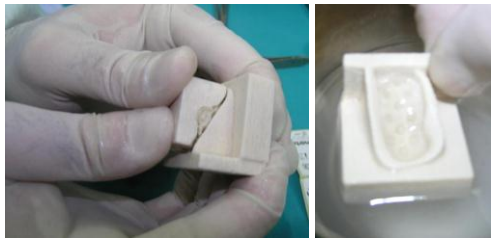
Pri izradi kalupa potrebno je ispoštovati dva bitna zahteva: (i) rezistentnost na temperaturu sterilizacije (110°C) i (ii) dobre mehaničke osobine koje omogućavaju izradu implantata bez oštećenja kalupa. Zbog specifičnosti zahteva korišćen je komercijalni prah zp131 na bazi gipsa kao osnova, dok je za infiltraciju korišćena epoksidna smola otporna na povišene temperature proizvođača R&G, Germany. Njene mehaničke osobine su ispitane u istraživanju [8]. Debljina sloja prilikom štampanja iznosila je 0.1 mm. Na slici 8 prikazani su izrađeni kalupi za svih šest pacijenata (kalup za slučaj prikazan kroz rad je u gornjem redu levo).



Sl. 8. Kalupi izrađeni tehnologijom vezivne 3D štampe

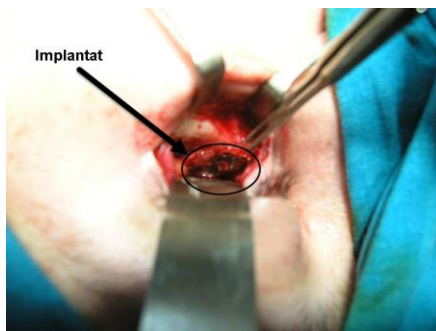
### 2.4 Izrada i implementacija implantata

Pre upotrebe u operacionoj sali kalupi se moraju podvrgnuti sterilizaciji u autoklavu na temperaturi od 110°C. Pločica od PDLLA se prethodno zagreva u fiziološkom rastvoru na 50°C kako bi omekšala i lakše oblikovala pomoću prethodno izrađenih kalupa. Na taj način je moguće ručno izvršiti pritisak na kalupe i dobiti željenu formu implantata (slika 10).



Sl. 10. Izrada implantata korišćenjem kalupa

Kada je ohlađen na sobnu temperaturu PDLA otvrdnjava i višak koji se nalazi van kalupa se iseče posebnim hirurškim alatima i tada je implantat spreman za implementaciju na mesto preloma orbite (slika 11). Nakon određenog perioda pločica od PDLA se resorbuje, a zamenjuje je fibrozno tkivo koje nadomešćuje nedostatak poda orbite.



Sl. 11. Pločica postavljena na mesto preloma orbite

Hirurški zahvati kod svih šest pacijenata izvedeni su na Klinici za maksilofacijalnu hirurgiju Stomatološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu.

### 3. ZAKLJUČAK

Postupak rekonstrukcije poda orbite kod blowout preloma primenom tehnologije vezivne 3D štampe predstavlja novu proceduru koja je uspešno sprovedena na Klinici za maksilofacijalnu hirurgiju u Beogradu. Opravdanost primene ovakvog pristupa leži u tome što operativni postupak traje kraće od klasičnih postupaka rekonstrukcije kod ovakvih povreda. Kompletna priprema implanata se vrši neposredno pre hirurške intervencije, što omogućava kraće dejstvo anestezije na pacijenta.

Implantat su izrađeni od pločice od polidioksan laktida (PDLA), a oblik je definisan pomoću kalupa dobijenih tehnologijom vezivne 3D štampe. Kalupi su dobijeni na osnovu CT snimka pacijenta i kreiranog kompjuterskog 3D modela. U slučaju manjih fraktura, jedna PDLA pločica se može upotrebiti za izradu više implanata što daje i ekonomsku opravdanost za primenu razvijenog postupka. Sa razvojem novih materijala koji se

koriste u aditivnim tehnologijama, raste i mogućnost njihove primene pa će buduća istraživanja biti bazirana na direktnoj izradi implanata primenom ovih tehnologija.

### 4. REFERENCE

- [1] Pišečević, A., Gavrić, M., Sjerobabin, I.: *Maksilofacijalna hirurgija*, Draganić, Beograd 1995.
- [2] Brown, M.S., Ky, W., Lisman, R.D.: *Concomitant ocular injuries with orbital fractures*, The Journal of Cranio-maxillofacial Trauma, Vol. 5, No 3, pp. 41-46, 1999.
- [3] Williams, J. V., Revington, P. J.: *Novel use of an aerospace selective laser sintering machine for rapid prototyping of an orbital blowout fracture*, Int. J. Oral Maxillofac. Surg. No 39, pp 182–184, 2010.
- [4] Drstvenšek, I., Ihan Hren, N., Strojnik, T.: *Rapid Prototyping as Communication and Implantation Tool in Medicine*, Proceedings of the 1st WSEAS International Conference on VISUALIZATION, IMAGING and SIMULATION, pp. 185-190, 2008.
- [5] Parthasarathy, J.: *3D modeling, custom implants and its future perspectives in craniofacial surgery*, Ann Maxillofac Surg. Vol. 4, No. 1, pp 9–18, 2014.
- [6] <http://www.xilloc.com/patients/stories/total-m-andibular-implant/>
- [7] Merc, M., Drstvenšek I., Vogrin, M., Brajlilj T., Rečnik G.: *Use of rapid prototyping drill guide template for pedicle screw placement*, Zdravniški vestnik, Vol. 82, No. 6, pp. 395-401, 2013.
- [8] Lužanin, O., Movrin, D., Plančak, M., Toth-Tascau, M.: *Using factorial design to assess the influence of epoxy brand and preheating on the tensile strenght of 3D printed specimens*, KOD, Balatonfüred, Hungary, pp. 431-434, 2012.

**Autori: Dejan Movrin, Prof. dr Miroslav Plančak, Prof. dr Miodrag Hadžistević**, Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2350.

**Dr Saša Tabaković**, Univerzitet u Prištini, Medicinski fakultet Kosovska Mitrovica, odsek za stomatologiju, Anri Dinana bb., Kosovska Mitrovica, Tel: +381 28 498 296

E-mail: [movrin@uns.ac.rs](mailto:movrin@uns.ac.rs)  
[sasataba@yahoo.com](mailto:sasataba@yahoo.com)  
[plancak@uns.ac.rs](mailto:plancak@uns.ac.rs)  
[miodrags@uns.ac.rs](mailto:miodrags@uns.ac.rs)



**SCIENTIFIC CONFERENCE WITH INTERNATIONAL  
PARTICIPATION  
NOVI SAD, SERBIA, JUNE 23-25, 2016**

**Vasiljevic D., Kojic S., Medic D., Pivas B., Tadic A., Mirkovic S., Radovanovic M.**

**COST-EFFECTIVE INTERDIGITATED CAPACITIVE SENSOR FOR  
MEASUREMENT OF STAPHYLOCOCCUS AUREUS CONCENTRATION IN SALINE**

**Abstract:** Design, fabrication and characterization of non-invasive capacitive sensor for measuring different concentrations of staphylococcus aureus are described in this paper. The sensor was fabricated in PCB technology and it consists of a pair of interdigitated electrodes. Measurement and testing setup for characterization has been developed in laboratory conditions. The characteristics of sensor - the capacitance as a function of frequency for a different concentrations of staphylococcus aureus are presented. The results demonstrate different resonant frequencies for each dilution of staphylococcus aureus in physiological saline.

**Key words:** capacitive sensor, staphylococcus aureus detection, oral health, PCB technology

## 1. INTRODUCTION

Microorganisms change their properties very fast, increase the virulence and pathogenic potential and because of all this, their recognition and identification is still a big challenge.

Bacteria, as one kind of microorganisms, have great potential for division and 24-hour changes 100 generations, and thus gain some new features which are primarily related to their resistance

*Staphylococcus aureus* is a Gram-positive bacteria, facultative anaerobic, by morphology coccoid, with characteristic arrangement in the form of clusters or combs. It is an important human pathogen responsible for a variety of diseases, due to its high pathogenic potential [1]. Can cause wide range of diseases such as local infections, pneumonia, generalized infection and type of bacteremia sepsis [2]. It also has an ability of colonization [1]. *Staphylococcus aureus* belongs to the realm of Bacteria.

The most common causes of diseases and infections such as bacteremia, meningitis, serious infections in neonates, hospital infections, endocarditis, nosocomial infections, formation of dental caries, urinary infections, infections of wounds and burns to septicemia, etc. are *Streptococcus pneumoniae*, *Streptococcus agalactiae*, *Streptococcus viridans*, *Enterococcus*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Klebsiella pneumoniae* [3-6].

One of the major goal in human health care is the rapid identification of bacteria from biological samples. Now days, there are two main methods for identification of bacteria presence: I the traditional culture associated with biochemical identification and II the polymerase chain

reaction. The first one is time consuming, while the second requires specialized personnel training and expensive equipment [7].

In previous published papers sensors for detection same or similar microorganisms were developed.

Lee et. al. have developed an integrated direct loop-mediated isothermal amplification (Direct LAMP) micro- device incorporated with an immunochromatographic strip (ICS) to identify bacteria contaminated in real samples. On the integrated Direct LAMP-ICS micro device, they have analyzed *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* [8].

Tang et. al. introduced a new interdigitated array microelectrode-oxide-silicon (IDAMOS) sensor with label-free high sensitivity and specificity for fast detection of *Staphylococcus aureus* [9].

Liu, Marrakchi, Xu, Dong and Andreescu reported the use of modularly designed and site-specifically oriented synthetic antimicrobial peptides as novel recognition agents enabling detection and quantification of *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* and *Staphylococcus epidermidis* [10].

This paper aims to present interdigitated capacitive sensor (IDC sensor) which is fabricated in cost-effective and easily accessible Printed Circuit Board (PCB) technology. This type of sensor has a high sensitivity for detection of *Staphylococcus aureus* concentration from human isolates. In house measurement setup tool was developed for testing and characterization purposes. The results show that sensor is able to detect different concentration of *Staphylococcus aureus*.

## 2. DESIGN AND FABRICATION

The sensor is designed as an IDC composed of eight electrodes with dimensions presented in Fig. 1. The length of each electrode was 6 mm, while the width and the gap were 1.50 mm and 0.75 mm, respectively. The overall dimension of the sensor's design was 21.75 mm x 9.75 mm.

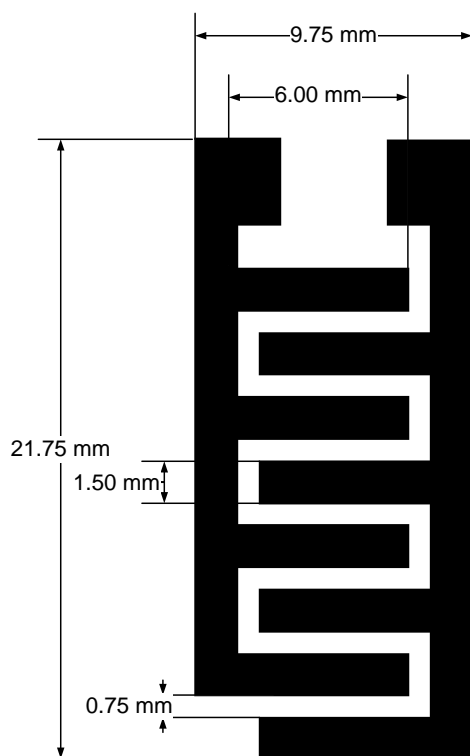


Fig. 1. Schematic of the sensor

The sensor presented in this paper is fabricated in commonly used cost-effective PCB technology.

After the fabrication, contacts on sensor were made and sensor was medically sterilized to avoid any possibilities of impurities which could make slightly influence on the measurements. The sensor after making contact and sterilization, wrapped in sterile bag is shown in Fig. 2.

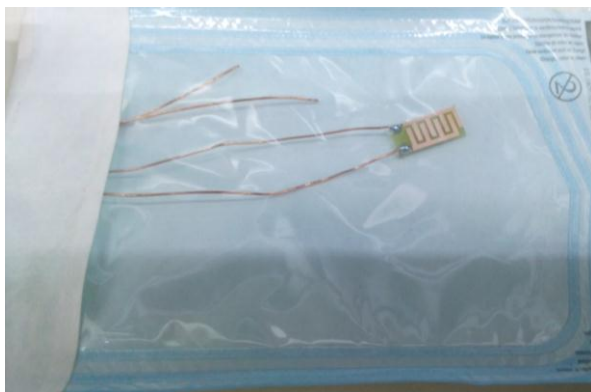


Fig. 2. Sensor after making contacts and after sterilizing

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

Measurements were performed using laboratory measurement setup, shown in Fig. 3a. It consists of a sterile test tube filled with different concentration of *Staphylococcus aureus*, test tube holder and Hewlett and Packard 4194A Impedance/gain-phase analyzer connected to PC. As can be seen from Fig. 3. sensor is dipped inside of solution in test tube and connected to Impedance analyzer.



Fig. 3. Laboratory measurement setup

As testing material human isolate of *Staphylococcus aureus* from materials which is routinely arrived for treatment in the Centre for Microbiology, Institute of Public Health of Vojvodina is used. From colonies of 24-hour cultures on blood agar (HiMedia, India) for mentioned bacteria, in sterile tubes, suspensions with density 0.5 MCF were made in 4.5 ml of physiological saline using EUCAST standard [11]. Furthermore, this suspension was diluted to the 6 concentrations in range of  $10^{-1} \div 10^{-6}$  from initial concentration (*Staphylococcus aureus* suspensions with density 0.5 MCF in 4.5 ml of physiological saline).

For each dilution a new sterile sensor (of the same design) is used to avoid contamination caused by the previous measurement. All measurements were done in sterile conditions at the room temperature.

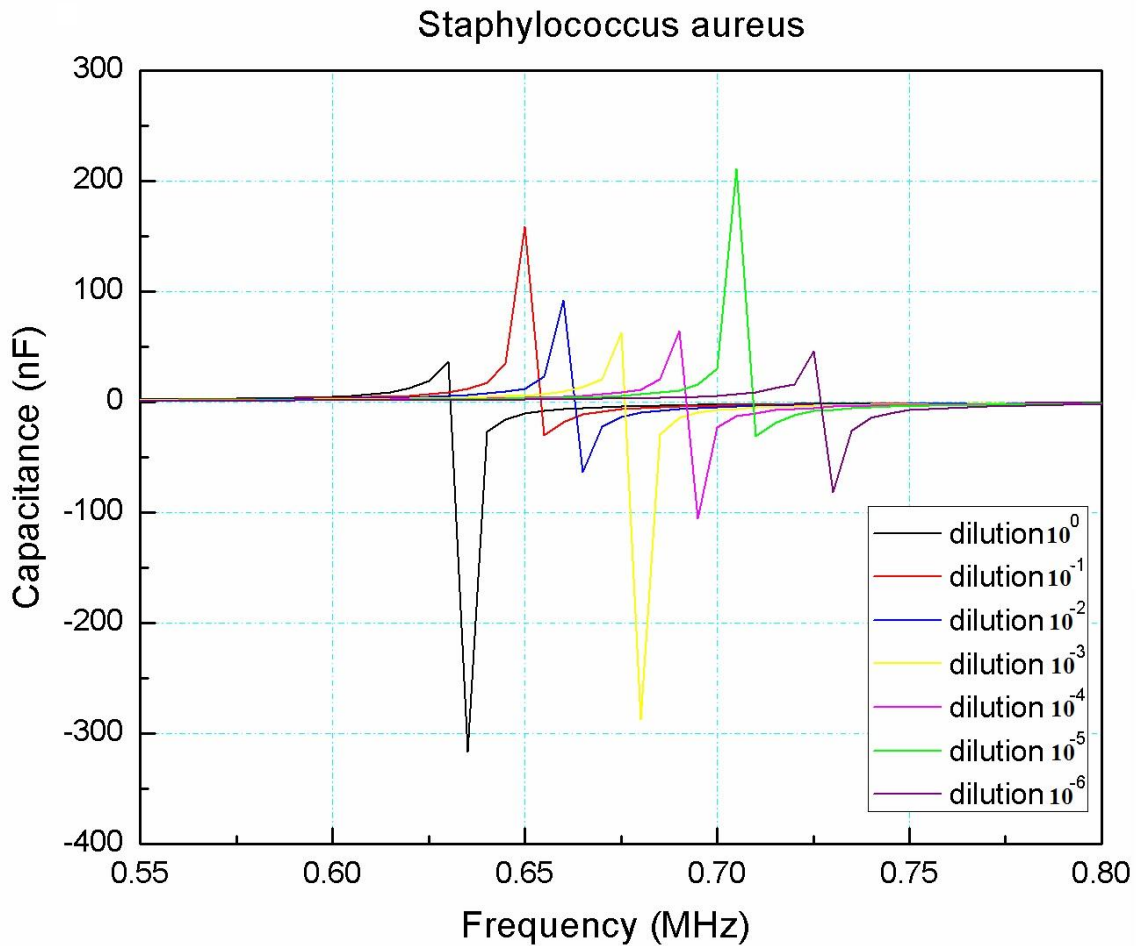


Fig. 4. Capacitance change of the sensor with different concentration of *Staphylococcus aureus*

Fig. 4. displays the test results of the capacitance versus the frequency for all measured dilutions. It can be seen that each dilution has its own resonant frequency which makes it easily recognizable one from each other. In this way the concentration of *Staphylococcus aureus* presence can be easily differentiated and an adequate treatment can be applied.

<i>Staphylococcus aureus</i>	
Dilution	Resonance frequency (MHz)
$10^0$	0.6297
$10^{-1}$	0.6403
$10^{-2}$	0.6602
$10^{-3}$	0.6748
$10^{-4}$	0.6899
$10^{-5}$	0.7053
$10^{-6}$	0.7255

Table 1. Resonance frequency of dilutions of *Staphylococcus aureus* in physiological saline

As it can be seen from the Table 1. each bacteria dilution has its own resonant frequency value which makes them easily recognizable.

Following the values from the Table 1. it can be seen that resonant frequency of diluted *Staphylococcus aureus* increases as the concentration of bacteria in solution decreases.

#### 4. CONCLUSION

In this paper capacitive sensor of an IDC design has been fabricated in frequently used PCB technology. The capacitance changes as a function of a frequency were examined by exposing sensors to different concentration of solution of human isolate of *Staphylococcus aureus*. Presented sensor design showed an excellent sensitivity to bacteria concentration in physiological saline. The sensor can be used for low-cost, accurate and fast detection of *Staphylococcus aureus* concentration in mouth of patients. This method of bacteria concentration detection can help in immediate determination of therapy and in that way improvement of the oral health of the whole human population.

## 5. ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the Project no. 114-451-833/2015-01 founded by the Provincial Secretariat for Science and Technological Development of The Province of Vojvodina and partially supported by Ministry of Education, Science and Technological Development within the Project no. TR32016.

## 6. REFERENCES

- [1] Mihajlović-Ukropina M., Medić D., Jelesić Z., Dautović R., Stefan-Mikić S., Sević S., *Frequency of methicillin-resistant Staphylococcus aureus strains in clinical specimens obtained from hospitalized patients in 2007*, Med Pregl. 61(Suppl 1), p.p. 27-30, 2008.
- [2] Tang J, Hu J, Kang L, Deng Z, Wu J, Pan J. *The use of vancomycin in the treatment of adult patients with methicillin-resistant Staphylococcus aureus (MRSA) infection: a survey in a tertiary hospital in China*. Int J Clin Exp Med, 8(10), p.p. 19436-19441, 2015.
- [3] DeSimone D. C., Tleyjeh I. M., Correa de Sa D. D., Anavekar N. S., Lahr B. D., Sohail M. R., Steckelberg J. M., Wilson W. R., Baddour L. M., *Incidence of infective endocarditis due to viridians group streptococci before and after the 2007 American Heart Association's Prevention guidelines: an extended evaluation of the Olmsted county, Minnesota, population and nationwide inpatient sample*, Mayo Clin Proc; 90(7), p.p. 874-881, 2015.
- [4] Shelburne S. A., Chafitari A. M., Jamal M., Al Wohoush I., Jiang Y., Abughazaleh S., Cairo J., Raad S., Debiante L., Raad I., *Identification and characterization of catheter-related bloodstream infections due to viridians group streptococci in patients with cancer*, Am J Infect Control, 42(10), p.p. 1127-1129, 2014.
- [5] Chen X., Song Y. Q., Xu H. Y., Menghe B. L., Zhang H. P., Sun Z. H., *Genetic relationships among Enterococcus faecalis isolates from different sources as revealed by multilocus sequence typing*, J Dairy Sci, 98(8), p.p. 5183-5193, 2015.
- [6] Crum-Cianflone N. F., Wang X., Weintrob A., Lalani T., Agan Bavaro M., Okulicz J. F., Mende K., Ellis M., B. K., *Specific behaviors predict Staphylococcus aureus colonization and skin and soft tissue infections among human immunodeficiency virus-infected persons*, Open Forum Infect Dis, 2(2), 2015.
- [7] Mannoor M. S., Tao H., Clayton J. D., Sengupta A., Kaplan D. L., Naik R. R., Verma N., Omenetto F. G., McAlpine M. C., *Graphene-based wireless bacteria detection on tooth enamel*, Nature Communications, 3, p.p. 763, 2012.
- [8] Lee D., Kim Y. T., Lee J. W., Kim D. H., Seo T. S., *An integrated direct loop-mediated isothermal amplification micro device incorporated with an immunochromatographic strip for bacteria detection in human whole blood and milk without a sample preparation step*, Biosensors and Bioelectronics, 79, p.p. 273–279. 2016.
- [9] Tang X., Flandre D., Raskin J-P., Nizet Y., Hagelsieb L. M., Pampin R., Francis L. A., *A new interdigitated array microelectrode-oxide-silicon sensor with label-free high sensitivity and specificity for fast bacteria detection*, Sensors and Actuators B: Chemical, 156(2), p.p. 578–587, 2011.
- [10] Liu X., Marrakchi M., Xua D., Dong H., Andreescu S., *Biosensors based on modularly designed synthetic peptides for recognition, detection and live/dead differentiation of pathogenic bacteria*, Biosens Bioelectron, 80, p.p. 9-16, 2016.
- [11] The European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing (EUCAST). Version 6.0, 2016.

**Authors:** Assoc. researcher Dragana Vasiljević, Assis. researcher Sanja Kojić, Assoc. researcher Milan Radovanović, University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Phone.: +381 21 485 23552.

E-mail: [vdragana@uns.ac.rs](mailto:vdragana@uns.ac.rs)  
[sanjakojic@uns.ac.rs](mailto:sanjakojic@uns.ac.rs)  
[rmilan@uns.ac.rs](mailto:rmilan@uns.ac.rs)

**Assoc. researcher Bojana Pivaš, Asist. dr Ana Tadić, prof. dr Siniša Mirković**, University of Novi Sad Faculty of Medicine, Hajduk Veljkova 3, 21000 Novi Sad, Serbia

E-mail: [bojanapivas@gmail.com](mailto:bojanapivas@gmail.com)  
[ana.tadic@mf.uns.ac.rs](mailto:ana.tadic@mf.uns.ac.rs)  
[sinisa.mirkovic021@gmail.com](mailto:sinisa.mirkovic021@gmail.com)

**Assis. prof. dr Deana Medić**, The Institute for Public Health of Vojvodina, Futoška 121, 21000 Novi Sad, Serbia

E-mail: [deana.medic@gmail.com](mailto:deana.medic@gmail.com)

SCIENTIFIC CONFERENCE WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION  
ETIKUM 2016

PROCEEDINGS

**Session 3:**  
**METROLOGY AND QUALITY IN THE FIELD OF**  
**ENVIRONMENTAL PROTECTION**

Novi Sad, 23 – 25 June 2016.





**Cansu Ertem, F., Wang, L., Mattsson, M.**

**ANALYZING THE IMPACTS OF INOCULUMS TO SUBSTRATE RATIO AND  
PRETREATMENT METHODS ON THE ANAEROBIC BIOGAS PRODUCTION FROM  
SUGAR BEETS**

**Abstract:** *This study evaluates the impacts of three different pretreatment methods on the biogas production from sugar beet, when it is anaerobically digested with a variety of inoculum mixing ratios. In this context, this research focuses on the influences of different pretreatment methods and inoculum on the digestibility on the digestibility. Sugar beet was anaerobically digested at 37°C. Actively digested cow manure slurry, vegetable and fruit residues mix was used as inoculum. The series of laboratory experiments using 32 digesters (each 1 L) were performed in batch operation mode. The results prove that inoculum and pretreatments could either enhance the biogas potential or totally inhibit the digestion.*  
**Key words:** *sugar beet, inoculum, pretreatment methods, biogas production*

## **1. INTRODUCTION**

The European Union (EU) has acknowledged to boost the renewable energy share in total energy consumption up to 20 % and reduce the greenhouse gas (GHG) emissions 20% until 2020 [1]. Moreover, G7 summit 2015 pledged to phase out fossil fuels by the end of the century [2]. The production of energy based on agricultural biomass, agro-industrial by-products and/ or wastes play a notable role in the energy road map of the EU [3]. However, the availability of biomass creates one of the biggest issues in energy production field. Therefore, advanced biofuels will likely to substitute first and second generation biofuels. However, their production combined with synthetic biology is a young research area and its commercialization will need longer years. Therefore, in order to meet the given targets, a special attention should be given to methodologies to enhance the bioenergy production yields from biomass.

Inspired by the fact, this paper evaluates the impacts of inoculum to substrate ratio and different pretreatment methods on the digestibility of the variety of substrates by means of cumulative biogas production. For that reason sugar beet was selected for further investigation, since it is easily reachable on Swedish market. Chemical, thermal and ultrasound pretreatments were applied. The paper tries to demonstrate that not every pretreatment methods have the same impact for the enhancement of biogas production.

## **2. MATERIALS AND METHODS**

### **2.1. Sample preparation**

Sugar beet was supplied from various places in Halmstad, Sweden. Inoculums is a biological active liquid or partially digested organic waste medium, rich in micro-organisms[4]. In the experiments, actively digested cow manure slurry, vegetable and fruit residues mix were used as inoculum, which was obtained from the Plönninge biogas plant (The plant is located 20 km away from Halmstad).

### **2.2. Experimental apparatus set up and design**

The experiment structure contains thirty two, 1 L duplicated glass flasks with latex stoppers, which functions as a biogas digester as illustrated in fig 1. Two bottles were used as control. The flasks were located in a thermostat where the temperature was retained at 37°C. The latex stoppers have a hole, where a pipe is attached by using epoxy. The pipe goes from flasks to another cap, which stands on a U-tube holding water at a specified level. Gas production was measured by a water replacement method. When gas is produced in the flask, the water in column increases through the U-tube and finally reaches to infrared photo-electrode. Each gas bubble is recorded by a counter. After each bubbling, the water returns to the start level. The counter records the bubbles with date, time, temperature, air pressure and the volume of the produced gas. The data are taken at the end of the experiment and then compiled. Before beginning the experiments, calibration is completed by

pumping air through the pipe into the U-tube. During the experiments, the monitoring is undertaken by a web camera. The web camera enables the records to be checked after the experiments and make comparison between the real bubbles and the recorded bubbles. Therefore, the margin of error is very small.

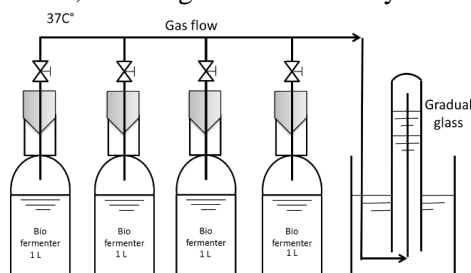


Fig. 1. Experimental set up.

## 2.3. Experimental procedures

### 2.3.1. Inoculum to substrate ratio

The substrate was chopped into pieces by a processor to increase the surface area of organic matter and degradability. The particle size was around 4.0 mm. Later, the inoculum was mixed with the substrate to create a variety of inoculum: substrate (I:S) mixing ratios; 85/15, 90/10, 95/5 based on their volatile solid (VS) contents. During the digestion, biogas yields and biogas quality by means of methane content were measured and compared. In the first step, the effects of I:S mixing ratio without any pretreatments on the biogas yields of sugar beet have been tested during lab-scale experiments.

### 2.3.2. Pretreatments

Pretreatments helps to break down the complex organic structure of the substrates into simpler molecules, which are then more susceptible to microbial degradation and also are assumed to increase the methane yield in the anaerobic digestion process [5]. In this study, three different pretreatment methods; thermal, ultrasound and chemical were tested on each mixture ratio of the I:S as shown in Table 1.

Thermal pretreatment: Milled and dry samples were slurred for 5 min with distilled

water in a 1L screw cap bottle in a solid:liquid ratio of 1:10 w/w, and then autoclaved at 170 °C for 60 min to solubilize lignocellulose and lignin. Ultrasound pretreatment: In this method, the substrates were put into an ultrasound machine (type J.P. Selecta Ultrasons 110W) for 30 minutes. A high alternating voltage was generated by ultrasonic energy which causes cavitation (40 kHz). Due to an internal negative pressure formed by ultrasonic waves, the formation of small bubbles of gas takes place during the cell disruption process. The cell membrane was destructed by the stunning pressure and temperature [6]. Chemical pretreatment: In pretreatment, lime and water were added to the feedstock at 130°C temperatures (0.07 g/g DM) for 20 days in a sealed box. This methodology breaks down the structural links between lignin and carbohydrates that makes substrate more accessible for enzymes and bacteria.

## 2.4. Analytical analysis

Biogas production was monitored daily. The total solids (TS) and volatile solids (VS) were measured according to the APHA standard methods [7]. C/N (Carbon and nitrogen) contents of the substrate were determined by Elemental Analyzer (Flash EA 1112 Series NC Soil Analyzer). The pH of the substrates was measured with a pH meter. The gas concentrations that were produced during the digestion were measured with a gas chromatograph (Varian CP- 3800). Galaxie Work Station Software (Varian Ltd, Oxford, UK) was used to classify the gas components.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

Fig 2 illustrates the cumulative biogas productions depending on the ratio of inoculum: sugar beet under different pretreatment methods. When the impacts of I:S ratio are considered, it is seen that the 95/5 I:S resulted in the highest biogas production.

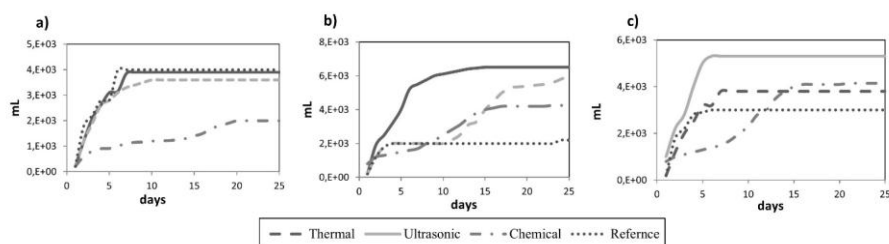


Fig. 2. Cumulative biogas productions during 25 days depending on the ratio of inoculum: sugar beets under different pretreatment methods: a) 95/5 mixture ratio of I:S, b) 90/10 mixture ratio of I:S and c) 85/15 mixture ratio of I:S.

Compared to 95/5 I:S untreated controls, the I:S of 85/15 and 90/10 resulted in lower biogas production and methane content, which can be explained by the alkalinity problem caused by the increased amount of sugar beet. Sugar beet comprises simple sugars, which are broken down swiftly. This swift break down leads to quick hydrolysis and acidogenesis [8], which gives inadequate time for the methanogenic bacteria to consume the organic acids produced during acidogenesis. Accumulation of acid starts and it provokes serious drop in pH value, which may inhibit the entire digestion process [9]. The

nitrogen rich substrate may solve this challenge: when nitrogen is degraded into ammonia, which reacts with carbon dioxide to create ammonium bicarbonate, it results in higher alkalinity [10]. Furthermore, as inoculum, chicken or pig manure with high nitrogen content might be better choice rather than cow manure [11]. Another way is adding some chemicals such as ammonium hydrogen carbonate ( $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ ), ammonium chloride ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ), sodium hydrogen carbonate ( $\text{NaHCO}_3$ ), potassium hydrogen carbonate ( $\text{KHCO}_3$ ) or potassium hydroxide ( $\text{KOH}$ ) as buffering agents [12].

<i>Experiments</i>	<i>I:S</i>	<i>Inoculum g</i>	<i>Sugar beets g</i>
1	95:5	332	18
2	90:10	315	35
3	85:15	297	53

Table 1. The pretreatment methods applied to the substrate comprising a variety of inoculum: substrate mixing ratio (values are based on VS).

<b>Inoculum:sugar beets – 95:5</b>						
<b>Pretreatment</b>	<b>pH</b>	<b>TS ( % FM)</b>	<b>VS (% TS)</b>	<b>C/N</b>	<b>CH<sub>4</sub> (%)</b>	<b>Methane yields mL g<sup>-1</sup> VS</b>
Thermal	7.9	3.3	66	9.6	71.5	575
Ultrasonic	7.8	2	62	9.5	73	707
Chemical	8.1	2.2	48	10.3	66	361
reference	7.7	2.5	67	8.6	53	579
<b>Inoculum:sugar beets – 90:10</b>						
<b>Pretreatment</b>	<b>pH</b>	<b>TS %FM</b>	<b>VS %TS</b>	<b>C/N</b>	<b>CH<sub>4</sub> (%)</b>	<b>Methane yields mL g<sup>-1</sup> VS</b>
Thermal	7.8	4.6	72	10.4	73.5	661
Ultrasonic	7.8	2.1	62	11	53.5	427
Chemical	8	3.1	51	9.7	78.3	461
reference	7.2	2.1	63	11.8	3	10
<b>Inoculum:sugar beets – 85:15</b>						
<b>Pretreatment</b>	<b>pH</b>	<b>TS %FM</b>	<b>VS %TS</b>	<b>C/N</b>	<b>CH<sub>4</sub> (%)</b>	<b>Methane yields mL g<sup>-1</sup> VS</b>
Thermal	5.2	3.3	75	9.8	1	3
Ultrasonic	5.1	2.4	67	9.8	1	5
Chemical	7.9	4.4	54	10.6	77.7	513
reference	5.1	3	76	9.7	1.5	4
<b>Substrate</b>						
Inoculum	7.8	1.6	63	8.9	4	-
Sugar beets	-	22	98	36	-	-

Table 2. Characteristics of variety of inoculum and sugar beets ratio under different pretreatments

When the impacts of pretreatment are taken into account, it is seen that pretreatment can prevent inhibition occurring during digestion by

fixing the alkalinity problem (85/15 and 90/10 I:S). However, pretreatment can also show negative impacts like what happened with the

bottle of 95/5 I:S. It was resulted due to the high pH value caused by CaO used for chemical pretreatment caused, which slowed down the acidogenesis stage: as a result, the low biogas production rates during the first 10 days.

Despite of the bottle of 95/15 I:S; in the bottle of 90/10 I:S ratio, although the chemical treatment caused biogas production to stop, after 20 days, methanogenic bacteria regained the convenient environmental conditions for reproduction and gas production restarted. The highest methane content (78.3%) was found also in the same bottle (Table 2), although total biogas production was low. However, among all experiments done with sugar beet, thermal pretreatment on the bottle with the 90/10 I:S resulted the highest methane.

#### 4. CONCLUSIONS

The pH is an important parameter affecting the anaerobic digestion, since the methanogenic bacteria are sensitive to changes. The optimum I:S ratio cannot be generalized. Regarding to pretreatments, chemical pretreatment decreased the methane yields. Ultrasonic pretreatment created positive impacts by means of increased methane and biogas production. Thermal pretreatment showed the highest impact on sugar beet by means of 2 times higher biogas from the bottle with 90/10 I:S. Thermal pretreatment enhances hydrolysis, which results in an increased biogas production. However, it creates an inadequate time for methanogenic bacteria to acclimatize, as a result low methane content. However, the ratios used in the batch studies in order to analyze biogas potential of different substrate are not directly applicable for continuous process optimization in full scale.

#### 5. REFERENCES

- [1] EEA. EUROPE 2020 TARGETS: climate change and energy. European Environment Agency) 2014.
- [2] The Group of 7 G. G7 summit. The Federal Government of Germany; 2015.
- [3] Capponi S, Fazio S, Barbanti L. CO<sub>2</sub> savings affect the break-even distance of feedstock supply and digestate placement in biogas production. *Renewable Energy*. 2012;37:45-52.
- [4] Maishanu S, Maishanu H. Influence of inoculum age on biogas generation from cow dung. *Nig J. Renewable Energy*. 1998;6:21-6.
- [5] Sreekrishnan T, Kohli S, Rana V. Enhancement of biogas production from solid

substrates using different techniques—a review. *Bioresource technology*. 2004;95:1-10.

- [6] Carrère H, Dumas C, Battimelli A, Batstone D, Delgenès J, Steyer J, et al. Pretreatment methods to improve sludge anaerobic degradability: a review. *Journal of hazardous materials*. 2010;183:1-15.
- [7] Apha A. Wpcf. Standard methods for the examination of water and wastewater. 1998;20.
- [8] Weissbach F. Gas production potential of fresh and ensiled sugar beets in biogas production. *Landtechnik*. 2009;64:394-7.
- [9] Gerardi M. *The Microbiology of Anaerobic Digesters*, Waste Water Microbiology Series, A John Wiley & Sons. Inc, Hoboken, New Jersey. 2003.
- [10] Chynoweth DP. *Anaerobic digestion of biomass*. 1987.
- [11] Samir KK. *Anaerobic Biotechnology for Bioenergy Production: Principles and Applications*. Editorial W. Blackwell, USA; 2008.
- [12] Demirel B, Neumann L, Scherer P. Microbial community dynamics of a continuous mesophilic anaerobic biogas digester fed with sugar beet silage. *Engineering in Life Sciences*. 2008;8:390-8.

**Authors: Cand. Dr. Funda Cansu Ertem\*, Dr. Liqian Wang, Ass. Prof. Marie Mattsson,** Halmstad University, School of Business and Engineering (SET), Biological and Environmental Systems (BLESS), Sweden. \*Chair of Bioprocess Engineering, Institute of Biotechnology, Technische Universität Berlin, Ackerstr. 76, ACK24, 13355 Berlin, Germany

E-mail: [fcertem@mailbox.tu-berlin.de](mailto:fcertem@mailbox.tu-berlin.de)  
[Liqian.Wang@uniroma2.it](mailto:Liqian.Wang@uniroma2.it)  
[marie.mattsson@hh.se](mailto:marie.mattsson@hh.se)



**NAUČNA KONFERENCIJA SA MEĐUNARODNIM  
UČEŠĆEM  
ETIKUM 2016  
NOVI SAD, SRBIJA, 23-25 JUN, 2016**

Goletić, Š., Imamović, N.

**ANALIZA KVALITETA TEHNOLOŠKIH OTPADNIH VODA IZ PROCESA  
PROIZVODNJE I PRERADE MLIJEKA**

***Abstrakt:** U radu su opisani postupci nastanka tehnoloških otpadnih voda iz pogona proizvodnje i prerade mlijeka industrije mlijeka Zenica. Da bi se ocijenio uticaj ovih voda na kvalitet prijemnika, pristupilo se određivanju pojedinih parametara kvaliteta otpadnih voda iz ove industrije mlijeka, nakon čega je izvršena ocjena istih spram nadležnih propisa. Shodno dobijenim rezultatima i analizi istih, predložene su odgovarajuće mjere za smanjenje pojedinih parametara kvaliteta otpadnih voda, te su otvoreni pravci konceptijskih rješenja sistema za prečišćavanje.*

***Ključne riječi:** parametri kvaliteta, tehnološke otpadne vode, proizvodnja i prerada mlijeka.*

## 1. UVOD

Mljekarska industrija troši velike količine vode u raznim tehnološkim obradama i preradama, te za čišćenje i pranje tehnološke opreme i prostorija. U mnoge proizvode voda se dodaje, vodom se pere. Isto tako, ova industrija proizvodi velike količine tehnoloških otpadnih voda koje imaju visok sadržaj zagađujućih materija zbog čega mogu značajno uticati na kvalitet vodnog okoliša. Zavisno od proizvodnog programa otpadne vode mljekarske industrije sadrže ostatke sirovog i pasterizovanog mlijeka, sirutke, maslaca, sira, jogurta, dijelova ambalaže, sredstva za pranje i čišćenje, ostatke raznih proizvoda koji su se nalazili na ispitivanju u laboratoriju, mehanička ulja i masti, ulja za loženje i druge nečistoće [1].

U ovom radu su analizirane kvantitativno-kvalitativne karakteristike tehnoloških otpadnih voda iz mlijeka u Zenici na bazi rezultata višegodišnjeg monitoringa. Monitoringom je konstatovano da osnovni reprezentativni neki pokazatelji kvaliteta otpadne vode prekoračuju dozvoljene vrijednosti i to su: organsko opterećenje iskazano kroz HPK i BPK<sub>5</sub>, suspendovane materije, pH vrijednost.

U procesu proizvodnje mlijeka i mliječnih proizvoda nastaju slijedeće otpadne vode:

- tehnološke otpadne vode od pranja i dezinfekcije tehnoloških linija i opreme, radnih prostorija i površina, te prosipanja mlijeka i mliječnih proizvoda i sl., koje su obično opterećene organskim materijama, deterdžentima, uljima, mastima i drugim štetnim materijama,

- procesne otpadne vode od hlađenja agregata i grijanja prostorija (iz kotlovnice),
- atmosferske otpadne vode koje nastaju kao posljedica padavina po površinama u industrijskom krugu u kojima se mogu naći krupni otpaci (lišće, papiri, plastika...), materije organskog i neorganskog porijekla, te primjese ulja, goriva i drugih materija,
- sanitarno-fekalne otpadne vode iz sanitarnih čvorova i kuhinje, koje su opterećene organskim materijama, deterdžentima i drugim zagađujućim materijama.

Zbog visokog opterećenja otpadnih voda iz mljekarske industrije i njihovog značajnog uticaja na kvalitet vodnog okoliša, neophodno je osigurati njihovo prečišćavanje prije ispuštanja u recipijent do zahtjevanog kvaliteta. Prečišćavanje otpadnih voda najvažniji je element zaštite površinskih i podzemnih voda. Efekat prečišćavanja ovisi o izabranom postupku i načinu vođenja procesa prečišćavanja otpadnih voda. Svaki postupak za prečišćavanje otpadnih voda ima posebne karakteristike i zbog toga izbor i primjena tehnologije za prečišćavanje otpadnih voda treba da ima specifičan pristup kako bi se postigli najbolji rezultati [2, 3].

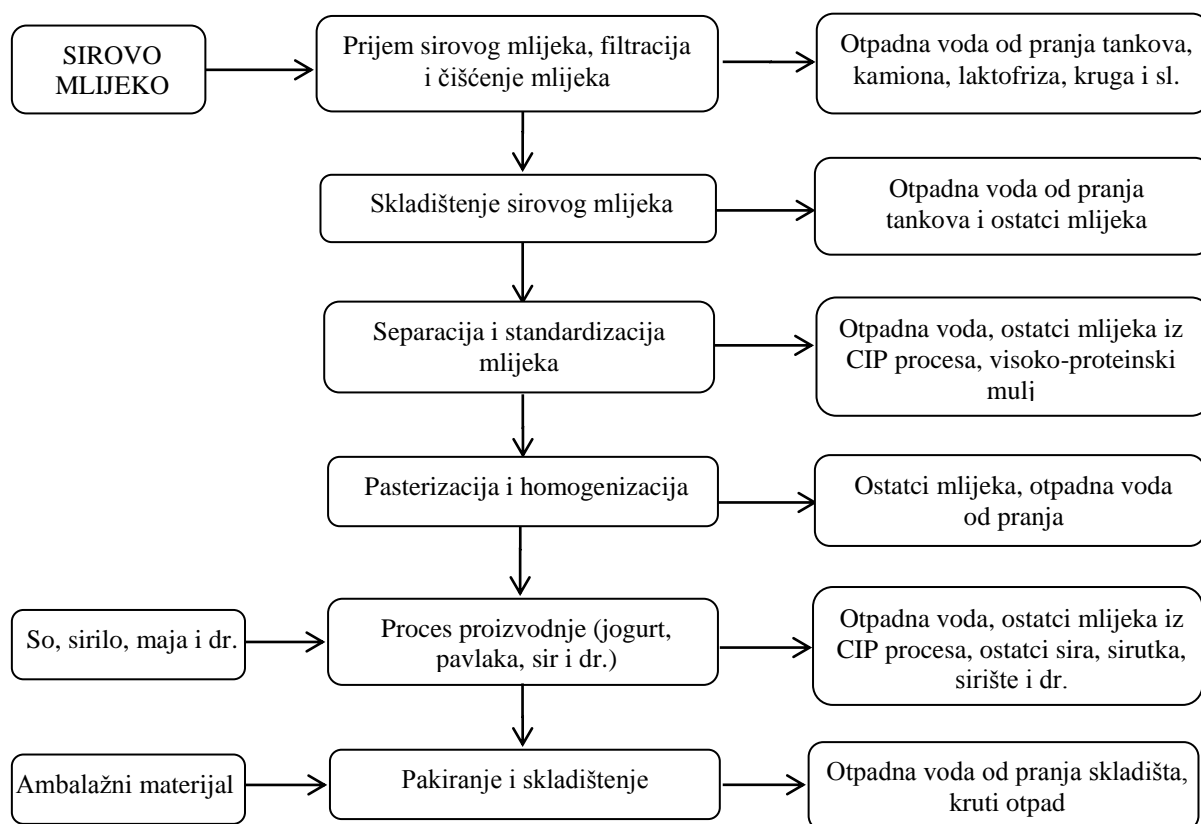
## 2. METODOLOGIJA RADA

U cilju utvrđivanja kvantitativno-kvalitativnih karakteristika tehnoloških otpadnih voda iz pogona mljekare u Zenici, njihovog uticaja na kvalitet recipijenta (rijeka Bosne) i izrade konceptijskog rješenja prečišćavanja otpadnih voda, uzeteta je serija uzoraka na ispustu u rijeku Bosnu u jednakim vremenskim intervalima između dva uzrokovanja/mjerenja od 60 minuta. U isto vrijeme je izvršeno određivanje količine ispuštenih otpadnih voda u cilju definiranja odnosa nivo vode - protok vode (linije protoka). Mjerenje protoka i uzimanje uzoraka je izvršeno u šahtu za monitoring u vrijeme trajanja tehnološkog procesa.

Fizičko-hemijska ispitivanja parametara kvaliteta tehnoloških otpadnih voda izvršena su primjenom standardizovanih analitičkih metodama u skladu sa ISO standardima i drugim metodama koje daju ekvivalentne rezultate u pogledu preciznosti i pouzdanosti.

## 3. PORIJEKLO I NASTANAK OTPADNIH VODA U MLJEKARSKOJ INDUSTRIJI

Na blok dijagramu prikazan je tehnološki



Sl. 1. Blok dijagram tehnološkog procesa prerade mlijeka i mjesta nastanka otpadnih voda

proces proizvodnje i prerade mlijeka, sa mjestima nastanka tehnoloških otpadnih voda (Slika 1.).

Tehnološke otpadne vode nastaju pranjem skladišnih tankova, tehnoloških linija, opreme i uređaja, te podova i površina, kao i kamiona i industrijskog kruga. Otpadne vode sadrže ostatke mlijeka, sirutke, sira, proteinskog mulja, suspendovane čestice i dr.

Generalno se može reći da otpadne vode iz pogona za preradu mlijeka karakteriše visok sadržaj organskih materija (HPK 1.000-6.000 mg/l), masti i ulja (posebno otpadnih voda iz proizvodnje maslaca), azota i fosfora (uglavnom potiču iz sredstava za pranje i dezinfekciju), veoma promjenjiva vrijednost pH (pH 2-11), visoka provodljivost (posebno sira koji sadrži natrijum hlorid) i variranje temperature koja zavisi od svrhe upotrebe vode. Otpadne vode iz mljekara su opterećene mlijekom i ostacima proizvoda od mlijeka, što utiče na povećanje BPK<sub>5</sub> (do 110.000 mg O<sub>2</sub>/l) i HPK (do 210.000 mg O<sub>2</sub>/l). Gubici mlijeka tokom proizvodnje su prosječno 0,5-2,5% od količine zaprimljenog mlijeka (a u najnepovoljnijim slučajevima 3-4%), što značajno utiče na količinu polutanata u otpadnoj vodi [4].

#### 4. KVALITATIVNE I KVANTITATIVNE KARAKTERISTIKE TEHNOLOŠKIH OTPADNIH VODA MLJEKARE U ZENICI

Otpadne vode iz pogona za proizvodnju i preradu mlijeka predstavljaju glavni okolinski problem zbog velike količine i visokog opterećenja zagađujućim materijama. One tipično imaju visoku BPK<sub>5</sub>, posebno otpadne vode iz procesa izrade pavlake, maslaca, sira i sirutke, te visoku HPK i visoke koncentracije suspendovanih materija, kao i prisustvo ostalih zagađujućih

materija kao što su fosfor, azot i kloridi. Također može se javiti i problem širokog raspona pH i temperature tehnoloških otpadnih voda. Koncentracija zagađujućih materija u otpadnim vodama zavisi od efikasnosti upravljanja vodom u pogonu (npr. ponovno korištenje vode, odvajanje, dobro upravljanje procesima itd.) [5, 6].

Rezultati ispitivanja kvaliteta efluenta iz mljekare u Zenici u periodu 2013. - 2015. godina dati su u narednoj tabeli.

Parametar	Mjerna jedinica	Granična vrijednost (Javna kanalizacija)	Granična vrijednost (Površinske vode)	Izmjerena vrijednost (30.04.2013)	Izmjerena vrijednost (13.03.2014)	Izmjerena vrijednost (04.12.2015)
Temperatura vode	°C	40	30	20,12	15,8	12,7
pH vrijednost		6,5-9,5	6,5-9,0	10,57	5,85	6,95
Alkalitet	mg/l CaCO <sub>3</sub>	-	-	425	180	145
Elektroprovodljivost	μS/cm	-	-	794	740	390
Isparni ostatak	mg/l	-	-	1396	715	560
Gubitak žarenjem	mg/l	-	-	552	496	359
Suspendovan materije	mg/l	400	35	57	38	186
Hemijska potrošnja kisika, HPK-Cr	mgO <sub>2</sub> /l	700	125	196	121	172,8
Biološka potrošnja kisika BPK <sub>5</sub>	mgO <sub>2</sub> /l	250	25	59	23	50,8
Amonijačni azot NH <sub>4</sub> -N	mg/l	40	10	3,49	0,53	1,01
Nitrati, NO <sub>3</sub> -N	mg/l	50	10	2,67	0,72	0,94
Nitriti azot, NO <sub>2</sub>	mg/l	10,0	0,5	0,40	0,21	0,09
Ukupni azot, N	mg/l	100	15	6,56	1,46	2,04
Ukupni fosfor, P	mg/l	5,0	2,0	0,37	0,24	4,77
Ukupna ulja i masti	mg/l	100	20	4,2	3,6	5,1
Protok, Q	m <sup>3</sup> /dan			24,00	22,88	41,30

Tabela 1. Rezultati ispitivanja kvantitativno-kvalitativnih karakteristika otpadne vode iz Mljekare u Zenici u periodu 2013.- 2015. godine

Rezultati ispitivanja kvaliteta efluenta Mljekare u Zenici ne zadovoljavaju maksimalno dozvoljene vrijednosti prema Uredbi o uslovima ispuštanja otpadnih voda u površinske vode i sistem javne kanalizacije FBiH. Izmjerene vrijednosti pH, suspendovanih materija, HPK i BPK<sub>5</sub> su veće od maksimalno dozvoljenih vrijednosti za kvalitet voda koje se ispuštaju u površinska vodna tijela, a otpadne vode ove mljekare se ispuštaju u rijeku Bosnu bez predhodnog prečišćavanja. Rijeka Bosna je na mjestu ispusta otpadnih voda iz pogona mljekare raspoređena u III klasu kvaliteta prema Uredbi o kategorizaciji vodotoka. Ispuštanje zagađenih voda u kategorisani vodotok može se vršiti samo

na način kojim se obezbjeđuje da se ne pogoršava utvrđena kategorija tog vodotoka ili drugog prijemnika.

Shodno navedenom, efluent iz pogona za proizvodnju i preradu mlijeka zahtijeva obavezno prečišćavanje otpadnih voda prije njihovog ispuštanja u površinske vode u cilju zaštite vodnih resursa.

#### 5. ZAKLJUČAK

Potrošnja tehnološke vode i prečišćavanje otpadnih voda je najznačajniji ekološki problem u preradi i proizvodnji mlijeka. Zbog toga je

veoma važno primjeniti efikasne i ekonomske mjere za smanjivanje emisija u otpadne vode i količina otpadnih voda, te izvršiti izbor efikasne i ekonomske tehnologije prečišćavanja otpadnih voda prije njihovog ispuštanja u recipient, posebno površinske vode.

Otpadne vode iz procesa proizvodnje i prerade mlijeka tipično sadrže ostatke sirovog i pasterezovanog mlijeka, sirutke, maslaca, sira, jogurta, dijelova ambalaže, sredstva za pranje i čišćenje, ostatke raznih proizvoda koji su se nalazili na ispitivanju u laboratoriji, mehanička ulja i masti i druge nečistoće. One najčešće imaju visoke koncentracije BPK<sub>5</sub>, HPK i suspendovanih materija, te ostalih zagađujućih materija kao što su fosfor, azot i sl.

## 6. LITERATURA

- [1] Arsenović, B.: Prečišćavanje industrijskih otpadnih voda sa posebnim aspektom na otpadne vode galvansko-hemijskih procesa, Nezavisni fakultet Banja Luka (Fakultet za ekologiju), 2014.
- [2] Goletić, Š., Petković, D.: Application of modern cleaning proceedings for hospital effluent water, PSU-UNS International Conference on Engineering and Environment - ICEE-2005, Novi Sad, Serbia & Montenegro, 19-21 May, 2005.
- [3] Sustainability in Food Industry 2012, Dostupno na:  
[http://projects.tempus.ac.rs/attachments/project\\_resource/879/1159\\_Sustainability%20in%20Food%20Industry-158989-2009.pdf](http://projects.tempus.ac.rs/attachments/project_resource/879/1159_Sustainability%20in%20Food%20Industry-158989-2009.pdf), pristupljeno: januar 2016
- [4] Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries, European Commission, August 2006.
- [5] Tehničke upute (2008): Prehrambena industrija: Sektor - Proizvodnja i prerada mlijeka (dokument prema BREF dokumentu EU tj. „Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries, EC, August 2006“), Sarajevo.
- [6] Šišić, I., Perviz, O., Kozlica, S. (2009): Principijelno rješenje praćenja sistema obrade otpadnih voda nastavnog centra «Grmeč», 6. Naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem »Kvalitet 2009«, Neum, B&H, 04. - 07 juni 2009.
- [7] Goletić, Š., Imamović, N., Avdić, N. (2014): Obrada otpadnih voda, Univerzitet u Zenici, Zenica.

**Autori: Prof. Dr. Šefket Goletić, i Doc. dr. sc. Nusret Imamović,** Univerzitet u Zenici, Mašinski fakultet u Zenici, Fakultetska 1, 72000 Zenica, BiH, Telefon: +387 32 449 130, Fax: +387 32 246 612

E-mail: [goletic@mf.unze.ba](mailto:goletic@mf.unze.ba)  
[nimamovic@mf.unze.ba](mailto:nimamovic@mf.unze.ba)

**Klos, Z., Koper, K.**

**ENVIRONMENTAL AND QUALITY ISSUES IN INNOVATING  
THE ENGINEERS' EDUCATION**

***Abstract:** Increasing role of engineers in the society, when needs for resources and keeping natural environment are opposed, forces changing education paradigm. To fulfill this demand, the Faculty of Machines and Transport at Poznan University of Technology introduced "Product Engineering", where the master level students get an opportunity to develop knowledge and skills in the field of life cycle-oriented technical objects design and management, with a strong quality approach. This three semester program is intended for candidates who want to broaden their education by issues connected with creating and managing an industrial product in its whole life cycle. A strong focus in the course is put on the marketing approach to a product, understanding that not only technical requirements stated by potential customers are the source of a products' market status. Overview of past activities at FMT and the first experiences from the introduction of Product Engineering in education process are presented in the paper.*

***Key words:** product engineering, quality, life cycle, education, Poznan*

## **1. INTRODUCTION**

The competition among higher education institutions forces universities to improve the quality of teaching and ability to recruit students. The third and also very important part plays the economy, in case of technical universities – mainly industry, expecting ready-to-work, practice-oriented graduates. This is what awaits students at the Faculty of Machines and Transport (FMT) at Poznan University of Technology (PUT). Some activities are obligatory, like four week internship, while others are not, like "International Summer School of solving technical problems in mechanics, material sciences and transport" (ISS). These are dedicated for different group of students because of their specific education profiles. They are also highly related with companies, e.g. the main objective of ISS is the improvement of products and technologies by solving complex problems presented by companies.

The benefits for the university are also very important. The popularity of these initiatives among the students confirms the need for their continuation. On the basis of these experiences, the FMT has taken next steps to improve the learning process. New forms of instructions have been introduced like common university-industry cooperative projects with the substantial students' participation. They lead students mostly to preparation of their master theses'. Another activity had started to increase the number of

lectures and exercises with the participation of industry representatives. The details of a completely new initiative are presented in the paper and the possible implementations of this initiative in the education process are considered.

## **2. FACULTY OF MACHINES AND TRANSPORT (FMT)**

In the year 1919 The State Higher School of Mechanical Engineering was founded in Poznan. The Higher School was given the status of a university in 1945. Finally, during a number of transformations the university received the present name in 1955. At the beginning, Poznan University of Technology had 3 faculties: Electrical, Civil Engineering and Mechanical. Those faculties were transformed and the last one was split in 1953 and one of faculties that had arisen was the Faculty of Agricultural Mechanization. The research was dedicated to agricultural machinery. Within the years this faculty was changing its profile considerably and the name change reflected that. In the year 1967 it was renamed as the Faculty of Machines and Vehicles and its present name – the Faculty of Machines and Transport - was given in 2000. The fields of study which students can study are 'Mechanical Engineering', and 'Transport'. The education lasts seven semesters to reach Bachelor of Science in Engineering and three extra semesters to reach Master of Science in Engineering.



A growing number of students interested in studying at the FMT have been observed. At the beginning of 90's the number was about 600 and today there are around 2200 students at FMT. This tendency remains stable for the whole Poznan University of Technology.

### **3. SELECTED EDUCATIONAL INITIATIVES REALIZED AT THE FMT**

Students' growing interest with various fields of studies becomes a challenge for any technical university. There is an observed trend directed to logistics aspects, industrial ecology and new solutions in mechanics and mechatronics. As the result, the number of specializations among fields of studies is still changing. Today at FMT there are 11 specializations under Mechanical Engineering and 8 specializations under Transport.

There is also a strong need for increasing cooperation with the industry. This is tightened thanks to obligatory summer internships organized for the students, mainly during summer break. To make the FMT even more attractive, some periodic events for students have been organized, which are as follows:

- Mechatronics Design Seminar,
- Academic Working Group in Mechanics,
- "International Summer School of solving technical problems in mechanics, material sciences and transport".

Summer internships, Academic Working Group in Mechanics and ISS are dedicated for students from both fields of studies. The first above mentioned summer internship lasts at least 4 weeks. Students are delegated to industrial companies where they are introduced to mechanical technologies and to familiarize with an organizational structure of the company, its management methods, etc. The last summer practice is connected with the subject of a student's master thesis. This experience is usually a beginning of the cooperation between the company and the student, and this is also a base of a professional development of most graduates.

The Academic Working Group in Mechanics consists of 3 sections, dedicated to transport science, solving technical problems by computational methods and operation and maintenance of machines. The main activities are concentrated on the monthly sessions where presentations of students' work are delivered. There is also a Students' Research Review Session organized on a regular basis. In this meeting, the participants present results of their research. Those presentations are reviewed and the best ones are

rewarded. Selected results of the research, prepared in form of papers, are published in the Faculty's Scientific Quarterly.

The project called "International Summer School of solving technical problems in mechanics, material sciences and transport" (also called a "project-week") is an annual 5-days workshop, organized in last week of September. The idea of the ISS is concentrated on cooperation between students and different companies. The main objective is quality improvement of different areas of those companies through solving real technical problems by students. ISS started in 2000 and up to now it attracts each year an attention of some 30-40 students from Poland and abroad (a. o. Czech Republic, Slovakia, Germany, Hungary, Slovenia, Portugal).

### **4. PRODUCT ENGINEERING**

At the FMT, to meet contemporary and complex problems of industrial companies, among Mechanics and Mechanical Engineering specializations a new one has been established: Product Engineering. It gives an opportunity to develop knowledge and skills of in the field of life cycle-oriented technical products design and management and it is a chance to become a specialist for whom there will be a growing demand in the market, an engineer for the future needs of industry and economy.

Why? Today one of the main issues on the market is the "product". It is defined as an item that ideally satisfies a market's wants or needs or is described as a deliverable or set of deliverables that contribute to a business solution. In economy and commerce, products belong to a broader category of goods.

Product engineering refers to the process of designing and developing a device, assembly, or system such that it can be produced as an item for sale through production process. Product engineering usually entails activity dealing with issues of cost, quality, performance, reliability, serviceability and user features. These product characteristics are generally all sought in the attempt to make the resulting product attractive to its intended market and a successful contributor to the business of the organization that intends to offer the product to that market. It includes design, development and transitioning to manufacturing of the product. The term encompasses developing a concept of the product and a design and development of its mechanical, electronics and software components. In his broadest scope product engineering comprises of the process of innovating, designing, developing, testing and

deploying a product [1].

A product engineer is a person that can design, develop, and manage new product ideas for corporations. Being an engineer is not always required, but the person must be familiar with all phases of the product development cycle and keep up with the latest technologies. Also, the product engineer has to combine technical knowledge, human factors, and creativity in order to make a product successful in the marketplace.

## **5. OVERVIEW OF PRODUCT ENGINEERING SPECIALIZATION**

Product engineering (PE) is a master cycle course extending over 930 hours of lectures, desk and laboratory exercises, project sessions and seminars. Most of it is concentrated in the first two semesters, while the third (and last) one is devoted mainly to the preparation of students' master theses'.

First semester starts with introduction to marketing aspects of product management, showing students the complex process of preparing, executing and communicating the value to potential customers. This lecture is also important as an entry point for quality management, stressing out the importance of proper customer requirements analysis. Foundations of innovation explain the central role of innovation process in developing new products and services. Two subjects: Ecotechnologies and Ecological Evaluation Tools address the environmental aspect of sustainable development, the latter being conducted as a course to teach Life Cycle Assessment (LCA) theory and practice. Students learn how to provide ecological evaluation using different software. Computer aided realization of mechanics and flow issues is also performed on different other subjects: Programming Languages, Technical Thermodynamics, Strength of Mechanical Constructions and Surface Engineering. The education on the first semester of PE is complemented with analytical mechanics, applied mathematics and review on newest achievements in physics.

Second semester introduces Life Cycle Management, a practical implementation of sustainable development issues on a product level, presenting an integrated concept of product management. Services Engineering extends students' knowledge on how to manage the market outcomes of 'tertiary sector of industry', nowadays accounting for about 70% of GDP in most developed economies. Ecodesign, Computer Aided Design (CAD), Machine Technology,

Modern Engineering Materials and Fluid Mechanics are all subjects introduced into the PE program for extending qualifications of students in their major area – Mechanical Engineering. Quality Engineering introduces important aspects of products' conformance to customer and/or user requirements, while Intellectual Property and Customer Protection explains the role of legal aspects of product development and manufacturer's responsibilities.

Subjects taught on the last semester of the PE program focus on implementation of gained knowledge into everyday business practice. Modern Management Systems presents how and why should various system-based management frameworks (quality, environment, health & safety) be introduced and how they contribute to product management. Project Management puts students' expertise of New Product Development (NPD) process into practice, while Corporate Culture and Communication explains how to create organizational culture and how to communicate in companies. There is also a complementary course on Life Cycle Costing (LCC) methodology, useful for students who want to base their thesis on LCM of chosen product. On the third semester vocational lectures can also be chosen, in the previous PE editions these covered the tribology, fuels and lubricants issues. Finally, there is the diploma seminar, which helps the master level candidates refine their scientific writing skills.

## **6. SOME EXPERIENCES FROM INTRODUCTION OF PRODUCT ENGINEERING SPECIALIZATION**

First edition of PE started in March 2014, with a small group of six students, out of which three were PUT students that graduated from the first cycle with engineer degree, and three foreign students, from India, Iran and Nigeria. Recruitment for the second edition was more successful, totaling at fourteen candidates, with four foreign students, from Iran, Iraq and Turkey. This year's edition (as of march 2016) has already thirteen students attending the classes, with a few candidates still handling the visa procedures. Also, the recruitment for the 3<sup>rd</sup> edition of PE was most successful up to date when it comes to obtaining international candidates. There are seven of them, coming from Republic of Congo, India, Iraq and Turkey. As can be seen, some countries are represented more often, and it can be addressed to PUT's abroad marketing and the importance of recommendations of previous PE students.

The only lecturing language for all the PE

subjects is English and some issues arise because of that. First of all, there is a need for lecturers qualified not only in fields of science they follow, but also the ability to provide education in foreign language at sufficient level. Because of that, lecturers for some of the subjects had been found not only at FMT, but also other faculties at PUT. This is in line with current policy of the University not to tie fields of study and specializations with distinct organizational departments (chairs, divisions), but rather find the best lectures among PUT scientific employees for a given subject. Another important issue concerns the language level of students. One of the recruitment criteria for PE is a proven record of English use at B2 level. In reality, certificates issued at different countries seem to confirm slightly different language competencies. For this reason, additional classes on 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> semester for improvement and compensation of those differences are available.

After two editions of PE (the 2<sup>nd</sup> one at its finish in June 2016) it can be safely assumed that students find the program and courses interesting and useful for their future careers. They don't seem to have major problems with strictly technical subjects (mechanics, design, and thermodynamics) and they seem to grasp the life cycle thinking and its practical approach (LCM, LCA, ecodesign etc.) very well.

Popular diploma topics among PE students from the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> PE editions include LCA of selected objects for the need of setting ecodesign criteria, use of quality-oriented tools and methodologies for product development and in some cases students' own propositions coming from own interests' or previous education (first cycle studies).

Students, especially those from abroad, integrate with their colleagues and the university life very well and are able to get support in various administrative issues and practical matters. For this reason, an office of Coordinator for Foreign Students has been established. His main role is to connect international students with university activities and also support policies and procedures regarding recruitment and course of study that foreigners at FMT undertake.

## 7. FINAL REMARKS

Initiatives that the Faculty of Machines and Transport undertakes and direction it is taking in innovating engineers' education are accepted by the students and university authorities with contentment. These mostly voluntary forms of activity attract students who want to extend their

curriculum, expand knowledge beyond the study program and be able to put their competencies into practice.

Fitting into modern trends of product innovation paradigm and popularity of Product Engineering specialization among candidates gives a positive outlook on the future of education on FMT. General, rather than object class specific approach (in contrast to »traditional« specialization topics like: combustion engines, mass transport vehicles, food industry equipment etc.) at PE creates a convenient entry point for potential candidates that want to expand their engineering knowledge with issues connected to life cycle management, quality engineering and marketing of various products in various industries.

As a conclusion to the sources of PE popularity, increasing number of candidates on year-to-year basis can be related to such factors as:

- regulations in the field of sustainable production and consumption,
- finding new directions and paradigms of product innovation,
- students' interest in expanding general, universal knowledge in engineering,
- possibility to expand curriculum by studying in foreign universities or by studying and performing scientific work in English.

Next years and editions of the Product Engineering initiative should give answers to the questions about the direction in which the expansion of the program should follow.

## 8. REFERENCES

- [1] Fathi, M. (ed.), *Integrated Systems, Design and Technology*, Springer, 2010
- [2] Talaba, D., Roche, T. (ed.), *Product Engineering: Eco-Design, Technologies and Green Energy*, Springer, Dordrecht 2004
- [3] Product Engineering program homepage <http://prodeng.put.poznan.pl>
- [4] International Summer School homepage <http://mls.put.poznan.pl>

**Authors: Prof. Dr. Hab. Eng. Zbigniew Klos, MSc. Eng. Krzysztof Koper** Poznan University of Technology, Faculty of Machines and Transport, Piotrowo 3, 60-965 Poznan, Poland, Phone +48 61 665-2110, Fax: +48 61 665-2736

E-mail: [zbigniew.klos@put.poznan.pl](mailto:zbigniew.klos@put.poznan.pl)  
[krzysztof.koper@put.poznan.pl](mailto:krzysztof.koper@put.poznan.pl)

**SCIENTIFIC CONFERENCE WITH INTERNATIONAL  
PARTICIPATION  
NOVI SAD, SERBIA, JUNE 23-25, 2016**

**Muránsky, J.**

**MECHANICAL ENGINEERING AND THE COP 21 CLIMATE SUMMIT**

***Abstract:** According to the Paris Agreements, during the next years, mechanical engineering works would have to produce products made and delivered with the highest quality, and the last cost, with lowest possible consumption of resources. Formal expression of the individual items of the greenhouse gas emissions production in connection to the automotive industry are formalized. Similar procedures can be applied during the whole environmental assessment in the mechanical engineering works.*

***Key words:** COP 21 Climate Summit, Production of greenhouse gas emissions and its formal expression, Mechanical engineering works, Automotive industry*

## **1. INTRODUCTION**

This introduction has been written according to the authors and their stand-points to the COP 21 Climate Summit – see references [1, 2, 3, 4]. COP 21 – **Conference of the Parties**, referring to the countries that have signed up to the 1992 United Nations Framework Convention on Climate Change. The COP in Paris is the 21<sup>st</sup> such conference – in an international treaty now signed almost by 190 parties, with the aim of reducing global greenhouse gas emissions to rein in climate change. This is the short official explanation.

Formally it seems quite well, but the reality can be absolutely other. According to lot of activists against climatic changes, the real situation is the following:

- self-imposed emissions limitation without demand,
- self-imposed announcement, how the self-imposed aims are fulfilled,
- self-imposed contributions to the milliards climatic fund,
- parties will evaluate each five years intervals, what a rules have been realized to the emissions reduction, and the increment of renewable energies application.
- The Climate Action Network warns German economists criticize – Paris Agreement has not any control and reviewing mechanism.
- According to Paris agreements the final target is non-overstep the global warming more than 1.5 °C. It is a sci-fi, according to the opinion of the well qualified environmental scientists.

## **2. PARIS AGREEMENTS AND THE MECHANICAL ENGINEERING WORKS**

According to the vision book “Through Engineering – Our Vision” [8], mechanical engineering is all about taking science and using it to produce things. It’s about translating theoretical research into practical solutions and applications which are used by society. According to the Paris Agreements during the next years mechanical engineering works would have to produce products made and delivered with the highest quality at the least cost **with lowest possible consumption of resources**. The last six words in this sentence are the most important in connection with the Paris Agreements. The model of the MEW and its structure is illustrated in **Fig.1**. There the quantification and financial expression of the individual items can be determined. While in [5] the model of the MEW has been concentrated to the waste management as a multilateral system, model in Fig.1 is concentrated to the energy and material consumption, and production of harmful extracts having global influences as global greenhouse gas emissions.

## **3. FORMAL EXPRESSION OF THE INDIVIDUAL ITEMS OF THE GREENHOUSE GAS EMISSIONS**

Let a MEW is orientated to the passenger car-vehicle production. Its weight is about 1200 kg and consists from 9654 components. Car production volume per year is 200 000 cars. The following material structure in (%) is: Ferrous 62, Aluminium and other light alloys 14, Plastics 14, Rubber 4, Glass 4, Zinc 1.5, Copper and its alloys 0.5. Weight

of applied materials per a car in (kg) is the next ones : Ferrous 744,

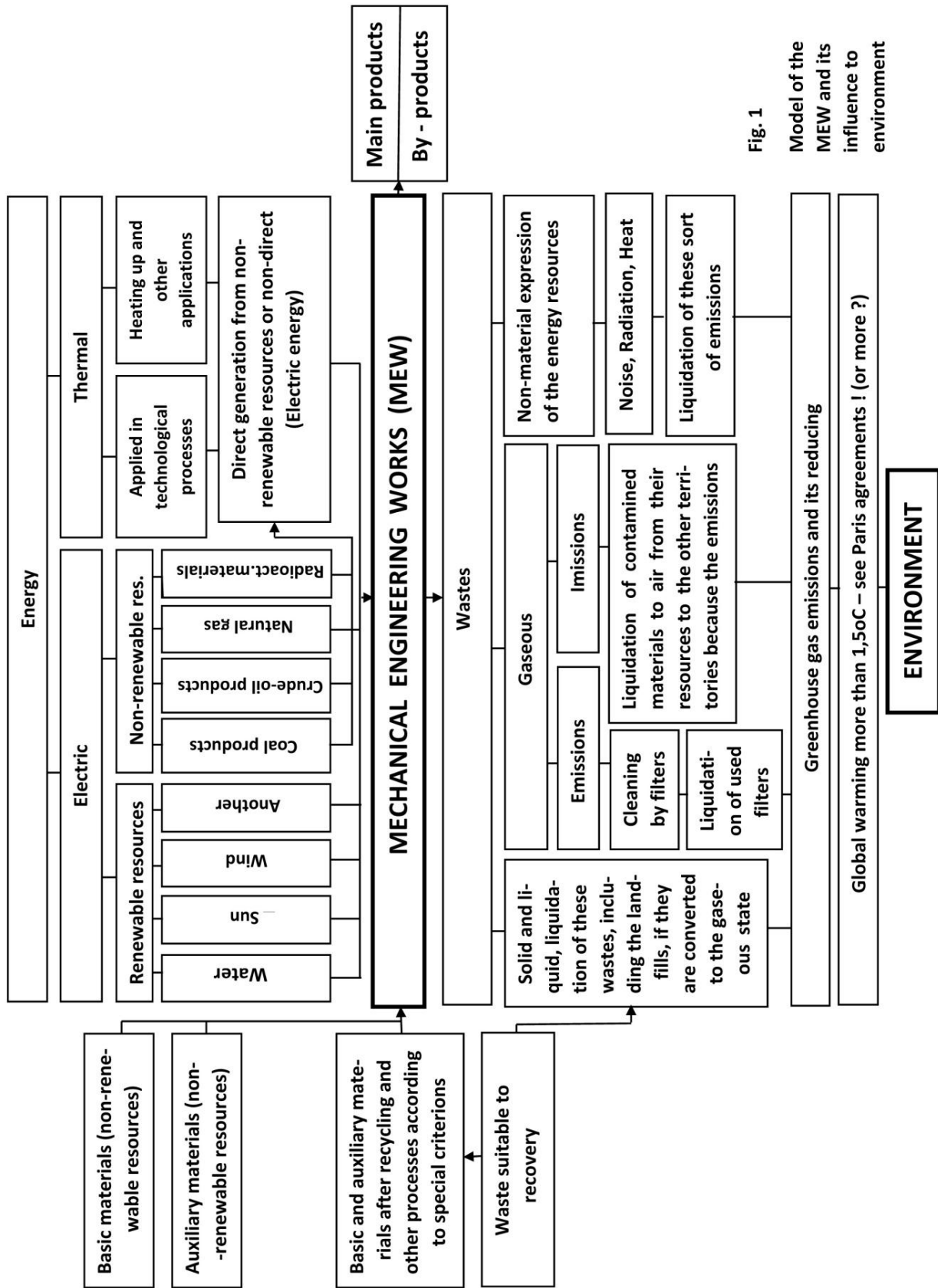


Fig. 1 Model of the MEW and its influence to environment

Fig. 1. Mechanical Engineering Works (MEW)



Aluminium and other light alloys 168, Plastics 168, Rubber 48, Glass 48, Zinc 18, Copper and its alloys 6.

Production of basic materials (including the recycled ones) – see Fig.1, and emissions, during this processes too, is demonstrated according to iron and steel production [9].

- Ferrous (according to the material flow in the network), it is necessary to provide the input and output data fore each transition.
- Taking some data from [9], and there applied computing procedures, the input / output vector  $\mathbf{a}_{bf}$  and  $\mathbf{b}_{bf}$  of the blast furnace transition result are in equation (1). All items in this equation and the next ones are in [kg].

$$\begin{bmatrix} \mathbf{a}_{bf} \\ \mathbf{b}_{bf} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Iron} \\ \text{Iron ore} \\ \text{Coal} \\ \text{Limestone} \\ \text{CO}_2 \\ \text{CO} \\ \text{SO}_2 \\ \text{Slags} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ -1.503 \\ -0.646 \\ -0.162 \\ 0.663 \\ 0.0217 \\ 0.0016 \\ 0.238 \end{bmatrix} \quad (1)$$

bf – blast furnace transition

The distinction between economically advantageous inputs and outputs and the environmental inputs and outputs is indicated by the use of two sub-vectors  $\mathbf{a}_i$  and  $\mathbf{b}_i$ , here  $\mathbf{a}_{bf}$  and  $\mathbf{b}_{bf}$  for the blast furnace process. The accordance with the conventions of material flow networks, outputs and transition are positive, while inputs are negative. The input / output vector  $\mathbf{a}_{oc}$  and  $\mathbf{b}_{oc}$  of the oxygen converter transition is set up in the same way equation (2), but now vector  $\mathbf{a}_i$  contains two components since the transition has the input of iron and the output of steel.

$$\begin{bmatrix} \mathbf{a}_{oc} \\ \mathbf{b}_{oc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Steel} \\ \text{Iron} \\ \text{Scrap} \\ \text{Limestone} \\ \text{CO}_2 \\ \text{CO} \\ \text{SO}_2 \\ \text{Slags} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ -0.84 \\ -0.108 \\ -0.026 \\ 0.117 \\ 0.0148 \\ 0.0004 \\ 0.114 \end{bmatrix} \quad (2)$$

oc – oxygen converter transition

With these vectors an  $\mathbf{p}$  the specific amount it is possible to build the network system matrix. The corresponding set of equations in the notation of the example and the solution is given by equation (3).

$$\begin{bmatrix} \mathbf{A} \\ \mathbf{B} \end{bmatrix} \mathbf{p} = \begin{bmatrix} \mathbf{a}_{bf} & \mathbf{a}_{oc} \\ \mathbf{b}_{bf} & \mathbf{b}_{oc} \end{bmatrix} \mathbf{p} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\alpha} \\ \boldsymbol{\beta} \end{bmatrix} \quad \text{with } \boldsymbol{\beta} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{p}, \mathbf{p} = \mathbf{A}^{-1} \cdot \boldsymbol{\alpha}$$

Vector (3) on the right side contains the solution for both the overall economically advantageous inputs and outputs ( $\alpha_i$ ) and those to the environment ( $\beta_i$ ). If the material shape and process information on a certain part is available, the amount of the economically advantageous inputs and outputs follows from this calculating the parts volume with any process specific additions. With these boundary conditions, the set of equations is solved by the matrix operations depicted in the other two expressions (equation 3). To obtain some results for the exemplary steel network, a vector for the two economically advantageous items is provided. With an assumed demand for 2 kg of steel and no iron, the complete system matrix and the solution is given in the next figure (4).

Steel	0	0
2		
Iron	1	-0.84
0		
Iron ore	-1.503	0
2.52504		
Coal	-0.646	0
1.108528		
Limestone	-0.162	-0.026
0.32416		
Scrap	0	-0.108
0.216		
CO <sub>2</sub>	0.653	0.117
1.33104		
CO	0.0217	0.0148
0.066056		
SO <sub>2</sub>	0.0016	0.0004
0.003488		
Slag	0.238	0.114
0.62784		

Table 1. System matrix of the example network and solution (input (-), output (+))

In the third column of numbers (contains the solution vector ( $\beta_i$ )) and shows the resulting inputs and outputs to the environment. In this case the production of 2 kg steel requires 2.52504 kg iron ore, 1.108528 kg coal, etc., to be taken as resources and causes **emissions of 1.33 kg CO<sub>2</sub>, 0.07 kg CO**, etc.. After repeating this procedure for all parts of a product, these data are ready for the **assessment**. It shows that the main expense with the described procedure is the set-up of the initial vectors given in eq.(1) and (2). The difficulty consists in getting the correct data values of all inputs and outputs to quantify the model for all production processes. This computing procedures has been applied in [ 9 ] too, (Abele at al), and similarly Mareš [12].

The same and similar numeration can be applied for the determination of carbon emissions and imissions in connection with solid and liquid wastes, gaseous wastes, non-material ones, and their liquidation.

#### 4. GREENHOUSE GAS EMISSIONS PRODUCTION IN CONNECTION TO THE IRON AND STEEL PRODUCTION

Outputs (gas emissions), except of the 2 kg steel production - see Fig.4, are : CO<sub>2</sub> , CO and SO<sub>2</sub> . For a car it is 795 kg CO<sub>2</sub> , 245 kg CO and 1.1 kg SO<sub>2</sub> , and for the 200 000 cars/year it is an enormous number. And this quantity of the greenhouse gas emissions is transformed to the environment! And it was only one item. The MEW model in the Fig.1 has four other outputs and their corresponding greenhouse gas emissions. The limited spread of this contribution indulging not it. The computing procedures given above are similar.

According to the Paris agreements, during the next five years these greenhouse gas emissions must be reduced. This reality has direct connection with the global warming!

#### 5. CONCLUSION

Every big technological leap forward is thanks to mechanical engineering. Progressive MEW is all about making people healthier, and from capture devices addressing carbon emissions to mapping the human genome. This philosophy is in accordance with the COP 21 conclusions.

#### 6. REFERENCES

- [1] Available from <http://ecowatch.com/2015/12/03/mohamed/nashed/cop21/>
- [2] Available from: <http://twitter.com/kuminaidoo?lang=en>
- [3] Available from: <http://twitter.com/mattmcgrathbbc/status/676386461290229760/>
- [4] Available from: <http://sustainabilityseminar.wordpress.com.../greek-crisis-hans-werner-sinn/>
- [5] Muránsky J., : Environmental Evaluation of Mechanical Engineering Works. In: Transactions of The Universities of Košice, No.4/2014, pp.32-38, ISSN 1335-2334
- [6] Muránsky, J., : Quality of Environment and its Quantitative Determination in Mechanical Engineering. In : Proc. of Int. Scientific Conf. ETIKUM 2015, Novi Sad, 19<sup>th</sup> – 20<sup>th</sup> June 2015, ISBN 978-86-7892-616-7
- [7] Muránsky, J.,: Environmental Compatibility of the Mechanical Engineering Products (in Slovak).SD(VLK), 2008, p.300, ISBN 978-80-96988-9-2
- [8] IMPROVING THE WORLD, THROUGH ENGINEERING - OUR VISION. 2015 Institution of Mechanical Engineers. IMechE is a registered charity in England and Wales, number 206882
- [9] Abele, E. at al : Environmentally – Friendly Product Development. Springer – Verlag, London, Berlin, Heidelberg. 2005, ISBN 1-85233-903-9, 319p.
- [10] Ghasemieh, E. : Materials in Automotive Application, State of the Art and Prospects. University of Sheffield, 2012, Sheffield, UK
- [11] Nieuwehenhuis, P., Wels, P.,: The Automotive Industry and the Environment. 2003, Woodhead Publishing in Environmental Management, Cambridge, UK, ISBN-0-8493-2072-0
- [12] Mareš, A.: Assembly workplace analysis for purpose of increase productivity. In: Transfer Inovácií, No. 32 (2015), pp. 246-248. – ISSN 1331-3377-094, [http://www.sjf.tuke.sk/transfer\\_inovacii/pages/archive/transfer/32-2015/pdf/246-248.pdf](http://www.sjf.tuke.sk/transfer_inovacii/pages/archive/transfer/32-2015/pdf/246-248.pdf)

**Author: Prof. Ing. Juraj Muránsky, PhD.,** External specialist of the Slovak Ministry of Environment, working place: Rožňavská 15, 04011 Košice, Slovakia, phone: 0944 160 860, e-mail: [jurmur@netkosice.sk](mailto:jurmur@netkosice.sk)

Chandran, A., Stojanovic, G.

**SYNTHESIS OF NANO MATERIALS FOR SENSORS APPLICATION IN ENVIRONMENTAL MONITORING**

**Abstract:** *In this paper we present synthesis, fabrication and characterization of metal oxide and graphene oxide thick films intended to be used for gas sensing application in environmental monitoring. The following structures will be described: (1) sensor based on SnO<sub>2</sub>; (2) sensor based on In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; (3) nano composite of SnO<sub>2</sub>/In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; (4) graphene oxide based sensors; (5) reduced graphene oxide/SnO<sub>2</sub> hybrid sensors and (6) reduced graphene oxide/In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hybrid sensors. Characterization was performed using SEM, XRD, Raman spectroscopy and Impedance spectroscopy. These techniques revealed that interdigitated electrode system coated with above-mentioned nanostructured materials can be used for detection of pollutants in our environment.*

**Key words:** *graphene oxide, metal oxide, interdigitated capacitor, SEM, XRD*

**1. INTRODUCTION**

Since many decades scientists and researchers have started solving different problems caused by environmental pollution. An idea about sensors for different application arises in [1]. For more than five decades it has been known that electrical conductivity of metal oxide semiconductors varies with the composition of the gas atmosphere surrounding them. Gas sensors have great influence in many areas such as environmental monitoring, domestic safety, automotive applications, etc. [2]. The efficiency of the sensing material is highly influenced by the surface morphology and electron accepting donating property of sensing material. Extensive studies have been reported to improve the gas sensing, such as adding promoters, doping additives, decreasing grain size, controlling pore and surfaced effects [3], etc. The SnO<sub>2</sub> semiconducting nanomaterial is the one of the widely explored metal oxide semiconductors because of its spacious properties [4]. SnO<sub>2</sub> is an intrinsic n-type semiconductor with a band gap around 3.6 eV [5-6] and have rutile tetragonal crystal structure [7]. Because of these unique properties SnO<sub>2</sub> semiconductors have obtained enormous attention in the field of sensors [8], electronics, and catalysis [9], by reducing crystallite size in the nanometer range [10]. Thus, we can achieve right proportion in the number surface atoms. In the case of metal oxide sensors, a number of surface atoms can increase their sensing performances. Electron transfer mechanism is the most valuable property in metal oxide semiconductors in the electronics and optics applications. Crystallite size, nature of the surface,

crystal geometry are the main parameters which can determine electron transport through the material. Furthermore, it is important to develop inexpensive, user-friendly and small sized devices for convenient use in its application. Thus, in the recent period many researchers have been invested efforts on development and fabrication of cost efficient and small sized structures with excellent performance and stability to be used as sensors and other application. Method and procedure of synthesis has a significant role in controlling particle size to improve the performance of metal oxide semiconductors. In this paper, we are focusing on synthesis and fabrication procedure of metal oxide based sensor's structures as well as analysis of their performances.

**2. EXPERIMENTAL PROCEDURE AND METHODS****2.1 Synthesis of Graphene oxide/Metal chloride powder**

Graphene oxide/Metal chloride sheets were synthesized by using previously synthesized graphene oxide sheets, which is synthesized by using Hummer's method. Graphene oxide (GO) sheets were sonicated for 45 minutes by using water and Iso-propanol as the solvent system in 50:50 ratio. Additionally, precursor metal chlorides (M-Cl) was added to the GO dispersion with continues stirring. Stirring was continued at room temperature about 30 minutes. The resulting solution has been dried in a drier at 60 °C. GO/M-Cl powders were obtained after overnight drying process as illustrated in Figure 1.



Fig. 1. Synthesis of Graphene oxide/Metal chloride solution

## 2.2 Synthesis of Graphene/Metal oxide composites by UV treatment

Graphene/Metal oxide composites of  $\text{SnO}_2$  and  $\text{In}_2\text{O}_3$  were obtained by green chemistry route by treating GO/M-Cl powders under U-V light (400 W, 360-380 nm), as can be seen in Figure 2. This treatment were continued about 10 minutes for each mixtures and temperature was raised up to 90 °C. After the treatments we have observed that, color of the GO-M-Cl powders were changed from brown to black color. It indicates the reduction of graphene oxide. A pungent smell obtained during UV light treatment is a sign for the elimination chlorine from the powder mixture.

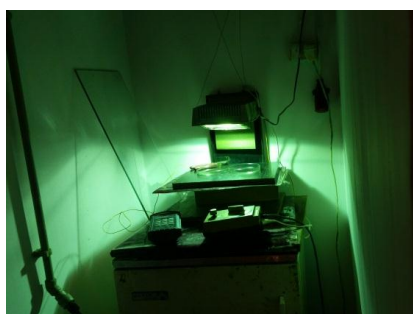


Fig. 2. Synthesis of Graphene/Metal oxide hybrid powder using UV light treatment

## 2.3 Processing of Indium oxide /Tin oxide Nano composite powder

Processing of  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$  has been done by using  $\text{SnO}_2$  and  $\text{In}_2\text{O}_3$  powder which are prepared by synthetic route. Nano composites of  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$  were processed by grinding  $\text{SnO}_2$  and  $\text{In}_2\text{O}_3$ . The amount of  $\text{In}_2\text{O}_3$  powder was changed from 2 to 15 weight percentages. The grinding process of powder mixtures have been done by using planetary ball-mill (Figure 3). Powders were weighed in a milling jar and silica balls with 3 mm diameter were weighed and added in milling jar and 4 gram of Iso-Propanol was added as solvent medium for milling process. Six cycle of milling is continued at 400 rpm. Powder mixtures were collected and powder solution kept for overnight evaporation at room temperature.



Fig. 3. Planetary ball mill used for mixing and milling of nano powder

## 2.4 Preparation of paste from nano metal oxide and graphene oxide materials

Preparation of different paste of metal oxide and graphene based materials has been done by using mixture of ethyl cellulose and terpeniol (1:9 ratios) as a binder agent. Mixing of nano powder and binder mixtures were mixed manually in a mortar. Mixing is continued about 40 minutes to obtain homogeneous mixing of powder paste as it is shown in Figure 4.



Fig. 4. Preparation of metal oxide and graphene oxide based paste for screen printing

## 2.5 Screen printing of electrode and sensitive layer

Inter Digitated Capacitive (IDC) structure and sensitive layer over the IDC circuit were printed by screen printing technology using commercially available conductive paste and paste of synthesized nano powder. IDC has been printed on alumina substrate by using Ag/Pd ESL 9695 conductive paste. Printed electrodes were sintered at 850 °C. Printing of sensitive coatings has been accomplished by using synthesized nano powder. The following sensor structures have been fabricated and presented in Figure 5: (1) sensor based on  $\text{SnO}_2$  nano structured materials; (2) sensor based  $\text{In}_2\text{O}_3$  nano structured materials; (3) nano composite of  $\text{SnO}_2/\text{In}_2\text{O}_3$  nano material (quantity of indium oxide is varies from the range of 2 to 15 wt.%); (4) graphene oxide based sensors; (5) reduced graphene oxide/ $\text{SnO}_2$  hybrid sensors and (6) reduced graphene oxide/ $\text{In}_2\text{O}_3$  hybrid sensors.



Fig. 5. Screen printing of IDC electrode system and sensitive coatings

### 2.6 Sintering process of screen printed sensing layer

Sintering process of sensing layers has been completed by using electrical furnaces in the atmospheric oxygen in the air. We have done the sintering process at temperature range from 600 to 800 °C. Fabricated structures after screen printing can be seen in Figure 6.



Fig. 6. Screen printed sensitive layer after sintering in furnace

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

This section will present characterization and testing of fabricated samples using the following techniques: Scanning Electron Microscopy (SEM), X-Ray Diffraction analysis (XRD), Raman spectroscopy and Impedance spectroscopy.

### 3.1 Scanning Electron Microscopy

Surface morphology and thickness of screen printed SnO<sub>2</sub> thick films have been studied by using SEM analysis. SEM micrographs can be seen in Figure 7. Surface of the screen printed SnO<sub>2</sub> thick films have very dense surface with grains with size of nano meter range. Thickness of the screen printed SnO<sub>2</sub> thick films, for samples SnO<sub>2</sub>-600 and SnO<sub>2</sub>-800, are in the range from 8.5 to 10 microns.

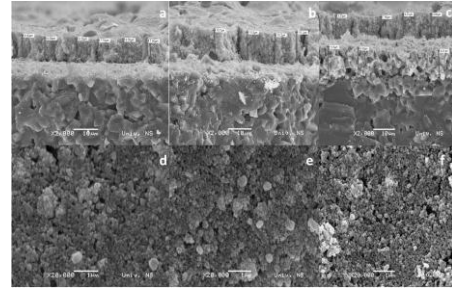


Fig. 7. SEM images of SnO<sub>2</sub> thick films (SnO<sub>2</sub>-600 and SnO<sub>2</sub>-800)

### 3.2 X-Ray Diffraction analysis (XRD)

X-ray diffraction of samples SnO<sub>2</sub>-600 and SnO<sub>2</sub>-800 have been performed by using X-ray diffractometer (XRD, Rigaku, MiniFlex 600, USA). XRD pattern of each sample shows all characteristics peaks of SnO<sub>2</sub> nanopowder, as can be seen in Figure 8. These peaks are indexed to the formation of rutile tetragonal phase of SnO<sub>2</sub> powder (JCPDS No. 21-1250). X-ray Diffraction spectra of SnO<sub>2</sub>-600, and SnO<sub>2</sub>-800 thick films are depicted in Figure 8.

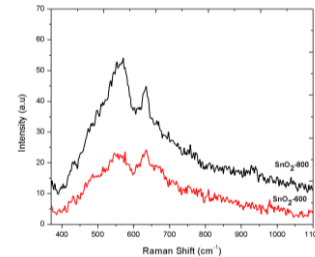


Fig. 8. XRD spectra of SnO<sub>2</sub> thick films

### 3.3 Raman Spectroscopy analysis

Raman spectra analysis of SnO<sub>2</sub> powder has been also performed and results presented in Figure 9. From the spectra, we can confirm the formation of SnO<sub>2</sub> phase, and we can observe all characteristic major peaks of SnO<sub>2</sub> single crystal. Observed peaks have a mode of vibration at Eg mode of vibration at 474 cm<sup>-1</sup>, A1g mode of vibration at 632 cm<sup>-1</sup>, and B2g mode of vibration is at 774 cm<sup>-1</sup>. These major peaks confirm that the SnO<sub>2</sub> powder is nanocrystalline, and it has pure rutile tetragonal SnO<sub>2</sub> phase without any secondary phase.

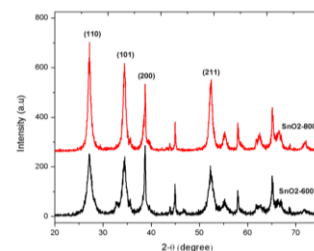


Fig. 9. Raman spectra of SnO<sub>2</sub> thick films sintered at 600 and 800 °C



### 3.4 Impedance Spectroscopy analysis

The capacitance behavior and resistance behavior as a function of frequency, for samples SnO<sub>2</sub>-600 and SnO<sub>2</sub>-800 have been done using HP-4194A complex impedance analyzer and all measurements have been conducted at room temperature (Figure 10). It can be concluded that capacitance and resistance of SnO<sub>2</sub> thick films increase with increasing sintering temperature. Obtained capacitance of SnO<sub>2</sub> thick films were in the range of 7.9 pF to 8.4 pF in the analyzed frequency range and resistance is in the range from 1.7 kΩ to 3.5 kΩ.

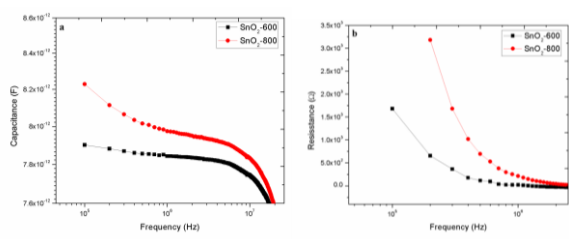


Fig. 10. Behavior of (a) capacitance and (b) resistance as a function of frequency for SnO<sub>2</sub>-600 and SnO<sub>2</sub>-800 thick films

## 4. CONCLUSION

Composite preparation and paste preparation of previously synthesized SnO<sub>2</sub> and In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> powders have been successfully accomplished and UV-irradiated synthesis of GO/SnO<sub>2</sub> and GO/In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> was accomplished. Printing of sensitive layer on IDC electrode structure was done by using screen printing technology. Structural characterization of SnO<sub>2</sub> is indexing to the formation of rutile tetragonal structure of SnO<sub>2</sub>. Measuring results of capacitance and resistance as a function of frequency have demonstrated opportunity for using described structures as sensors for detection and monitoring different gas pollutants in our environment.

## 5. REFERENCES

- [1] Wang, L., Dou, H., Lou, Z., Zhang, T.: *Encapsulated nano reactors (Au@SnO<sub>2</sub>): a new sensing material for chemical sensors*, *Nanoscale*, 5, p.p. 2686-2691, 2013.
- [2] Simon, I., Bârsan, N., Bauer, M., Weimar, U.: *Micromachined metal oxide gas sensors: opportunities to improve sensor performance*, *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 73, p.p. 1-26, 2001.
- [3] Gupta, S., Roy, R.K., PalChowdhury, M., Pal, A.K.: *Synthesis of SnO<sub>2</sub>/Pd composite films by*

*PVD route for a liquid petroleum gas sensor*, *Vacuum*, vol. 75, p.p. 111-119, 2004.

- [4] Wang, H.C., Li, Y., Yang, M.J.: *Fast response thin film SnO<sub>2</sub> gas sensors operating at room temperature*, *Sensors and Actuators B*, vol. 119, p.p. 380-383, 2006.
- [5] Choi, Y.J., Hwang, I.S., Park J.G., Choi, K.J., Park, J.H., Lee, J.H.: *Novel fabrication of an SnO(2) nanowire gas sensor with high sensitivity*, *Nanotechnology*, 19(9):095508, 2008.
- [6] Chiadini, N., Paleari, A., DiMartino, D., Spinolo, G.: *SnO<sub>2</sub> nanocrystals in SiO<sub>2</sub>: A wide-band-gap quantum-dot system*, *Applied physics letters*, vol. 81, 1702, 2002.
- [7] Jiang, L., Sun, G., Zhou, Z., Sun, S., Wang, Q.: *Size-Controllable Synthesis of Monodispersed SnO<sub>2</sub> Nanoparticles and Application in Electrocatalysts*, *J. Phys. Chem. B*, vol. 109 (18), p.p. 8774-8778, 2005.
- [8] Zhao, Q., Gao, Y., Bai, X., Wu, C., Xie Y.: *Facile Synthesis of SnO<sub>2</sub> Hollow Nanospheres and Applications in Gas Sensors and Electrocatalysts*, *Eur. J. Inorg. Chem.*, p.p. 1643-1648, 2006.
- [9] Liu, Z., Hao, J., Fu, L., Zhu, T., Li, J., Cui, X.: *Promoting effect of sol-gel method and pre-treatment on the activity of SnO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst for NO reduction by propene*, *Reaction Kinetics and Catalysis Letters*, vol. 80, no. 1, p.p. 45-52, 2003.
- [10] Pinna, N., Neri, G., Antonietti, M., Niederberger, M.: *Nonaqueous Synthesis of Nanocrystalline Semiconducting Metal Oxides for Gas Sensing*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, vol. 43, pp. 4345-4349, 2004.

**Authors: Akhil Chandran, Prof. Dr. Goran Stojanović**, University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Phone.: +381 21 485 2552, Fax: +381 21 4750572.

E-mail: [akhisreekuttan@gmail.com](mailto:akhisreekuttan@gmail.com)  
[sgoran@uns.ac.rs](mailto:sgoran@uns.ac.rs)

**ACKNOWLEDGEMENT:** This work has been done in the framework of the EU funded SENSEIVER project no. 289481 as well as project no. 114-451-2044/2016 supported by the Provincial secretariat for science and technological development. Additionally, authors would like to thank to staff from the Institute of Electron Technology Krakow, Poland for support and help during experimental fabrication.

**Krivokapić, Lj., Ilić, N., Miljojković, J., Milutinović, S.**

## **PROCENA DELA FARMACEUTSKOG OTPADA U REPUBLICI SRBIJI**

**Rezime:** U radu su prikazani rezultati istraživanja vezani za procenu broja doza lekova koji se nalaze u posedu stanovnika Republike Srbije a kojima je istekao rok upotrebe. Na osnovu rezultata posmatranog uzorka od 30 ispitanika čime je obuhvaćeno 106 članova njihovih porodica došlo se do centrirane procene i intervala u kojem se kreće broj doza nezbrinutog medicinskog otpada. Veliki broj nezbrinutih doza lekova ukazuje na aktuelnost problematike i potrebu da se i sa ekonomskog i sa bezbedonosnog aspekta na nivou Republike Srbije preduzmu adekvatne mere.

**Ključne reči:** doze lekova, medicinski otpad, aktuelnost problematike, bezbedonosni aspekt

### **1. UVOD**

Savremeni svetski trendovi medicinski i farmaceutski otpad stavljaju u posebne tokove upravljanja otpadom. Posebnu specifičnost ovoj vrsti otpada daje kompozicija, jer za razliku od ostalih vrsta otpada, medicinski i farmaceutski proizvodi mogu postati neupotrebljivi kako zbog gubitka svojstava osnovne lekovite materije, tako i zbog gubitka svojstava ambalaže. Po prirodi, medicinski i farmaceutski otpad spadaju u posebne tokove otpada. Razlog za to je što on ima specifičnosti u svakoj fazi tretmana: sakupljanja, klasifikovanja, transporta i skladištenja. Sa druge strane, ova vrsta otpada ima nizak reciklažni potencijal i samim tim, tretman do konačnog zbrinjavanja mora imati jasnu ekonomsku opravdanost [1,6].

Iz gore navedenih razloga postoje različiti pristupi-modeli rešavanja upravljanja ovom vrstom materijala. Zbog specifičnosti materijala, načina generisanja i količina, ne postoji uniformnost (carbon copy), već se prema generatoru definiše i način upravljanja. Medicinski otpad je skup različitih materijala čije generičko poreklo definiše i hazardnost samog otpada. U toj grupi, farmaceutski otpad čini posebnu vrstu otpada [2,8].

Farmaceutski otpad je otpad koji nastaje u toku proizvodnje, distribucije i primene farmaceutskih sredstava. On obuhvata transportnu ambalažu, kao i proizvode sa isteklim rokom trajanja. Farmaceutski otpad u širem smislu podrazumeva otpad koji nastaje u proizvodnji i prometu lekova i medicinskih sredstava. Tu spadaju farmaceutski proizvodi, lekovi, vakcine i serumi sa isteklim rokom trajanja, neupotrebljeni ili kontaminirani, kao i oprema koja se koristi pri njihovoj upotrebi boce, kutije, rukavice, maske, epruvete.

Procenjuje se da je u Srbiji trenutno lagerovano oko 200 tona farmaceutskog otpada, odnosno lekova kojima je istekao rok upotrebe [3,9].

Farmaceutski otpad nastaje u [4,7]:

- zdravstvenim ustanovama: apoteke, bolnička odeljenja, lekarske ordinacije, stomatološke ordinacije, domovi zdravlja, institute, zavodi.
- vanzdravstvenim ustanovama: proizvođači, veledrogerije, prosvetne ustanove, domaćinstva.

Sortiranje farmaceutskog otpada:

- Prema karakteristikama aktivne supstance: Kontrolisani lekovi Narkotici - Psihotropne supstance, antiinfektivni lekovi, citotoksični lekovi, antiseptici i dezinficijensi.
- Prema formi doziranja: čvrsti, polučvrsti, praškovi, tečnosti, aerosoli [5].

Bojeći se nestašica, mnogi stvaraju kućne zalihe lekova, međutim, sve je više onih građana koji se leče na svoju ruku. Nekonrolisano uzimanje lekova stvara zavisnost, a ti lekovi mogu da oštete želudac i otežaju postavljanje dijagnoze, što može imati i kobne posledice po čoveka.

Uzimanjem leka bez recepta, pacijent kviri kliničku sliku i time nam odmaže da otkrijemo uzrok bolesti. Konkretno, antibiotici izazivaju rezistenciju i poremećaj crevne flore, a tako nastaju i gljivične infekcije. Među najčešće korišćenima su i antireumatici, koji oštećuju sluznicu želuca, a mogu da izazovu i krvarenje želuca.

Nekonrolisanoj upotrebi su doprineli pacijenti podjednako koliko i lekari kada su počeli da propisuju tablete "za svaki slučaj".

Pored samolečenja, stvaranja kućnih zaliha, pritiska na lekare da prepisuju što više lekova, i farmaceutske kuće imaju svoj deo odgovornosti s

obzirom na to da kroz farmaceutski marketing utiču na lekare da propisuju što veći broj određenih medikamenata, a sve u cilju ostvarivanja većeg profita.

U RZZO apeluju na racionalnu potrošnju lekova i zbog svih nas, koji iz zajedničke kase plaćamo potrošnju lekova kako bi se obezbedila veća sredstva za finansiranje i drugih savremenih

lekova.

## 2. METODOLOGIJA

Prikupljanje podataka za formiranje uzorka izvršeno je u KBC Kragujevac pri čemu je uzorak obuhvatio  $n=30$  ispitanika i  $N=106$  članova njihovih porodica.

Redni broj	Zalihe lekova	Vrste lekova	U roku	Istekao rok	Broj članova porodice
1	ima	antidepresiv	da	ne	4
2	nema	-----	----	----	3
3	ima	antihipertenziv	da	ne	5
4	ima	antibiotik	da	ne	2
5	ima	antipiretik	da	ne	3
6	ima	analgetik	da	ne	5
7	ima	bronhodilatator	da	ne	3
8	nema	redovna terapija	da	ne	3
9	nema	redovna terapija	da	ne	5
10	nema	-----	----	----	3
11	nema	-----	----	----	2
12	ima	antireumatik	da	ne	5
13	ima	ne pije više	da	ne	2
14	ima	ne pije više	ne	da	4
15	ima	antibiotici i analgetik	da	ne	3
16	ima	protiv proliva	da	ne	4
17	nema	-----	----	----	5
18	ima	protiv kiseline	da	ne	3
19	ima	ne pije	ne	da	3
20	ima	antireumatik	da	da	4
21	ima	više vrsta	da	da	2
22	ima	više vrsta	da	ne	3
23	ima	više vrsta	da	ne	5
24	nema	-----	----	----	3
25	ima	redovna terapija	da	ne	4
26	ima	redovna terapija	da	ne	2
27	ima	antidepresiv	da	ne	5
28	ima	ne pije više	da	ne	3
29	ima	analgetik	da	ne	3
30	ima	redovna terapija	da	ne	5
Ukupno:106					

Tabela 1. Rezultati ankete

U tabeli 1. prikazani su rezultati ankete pri čemu je:

- broj porodica koje poseduju zalihu lekova kojima je istekao rok važenja  $M=4$ ,
- broj porodica koji poseduje zalihu lekova ali nije istekao rok trajanja  $N - M=102$ .

Na osnovu tabele 1. i prethodnih napomena može se izračunati verovatnoća  $p$  da bilo koji element prikazanog uzorka od  $N=106$  poseduje lekove kojima je istekao rok upotrebe, odnosno:

$$p = M / N = 4 / 106 = 0,037 \quad (1)$$

Protivna verovatnoća, odnosno verovatnoća da bilo koji član uzorka od  $N=106$  ispitanika ne poseduje zalihu lekova kojima je istekao rok je:

$$q = (N - M) / N = 102 / 106 = 0,96 \quad (2)$$

Disperzija statističke verovatnoće  $p$ , odnosno standardno odstupanje jednako je:

$$\sigma = ((p \cdot q) / N)^{1/2} = ((0,035) / 106)^{1/2} = 0,018 \quad (3)$$

Na osnovu izračunatih verovatnoća i disperzije može se izračunati interval poverenja odnosno interval u kome se kreće verovatnoća da bilo koji građanin Republike Srbije poseduje zalihu lekova kojima je istekao rok upotrebe preko obrazca:

$$p - 1,96 \cdot \sigma < p < p + 1,96 \cdot \sigma \quad (4)$$

$$0,037 - 1,96 \cdot 0,018 < p < 0,037 + 1,96 \cdot 0,018$$

$$0,00172 < p < 0,0722$$

Na osnovu izloženog, može se, sa verovatnoćom od 95% zaključiti da se interval poverenja kreće u intervalu od 0,172% do 7,22%. Pri čemu je najverovatnije, centrirana procena vrednosti  $p=3,7$  %.

Na osnovu izloženog i statističkih podataka o broju stanovnika Republike Srbije može se izračunati ukupan broj lekova kojima je istekao rok a nalaze se u domaćinstvima kao nezbrinuti medicinski otpad, tj.:

$$NMO = p \cdot BSRS \quad (5)$$

gde je:

- $NMO$  - količina doza nezbrinutog medicinskog otpada,
- $BSRS$  - broj stanovnika Republike Srbije.

pri čemu je:

$$NMO = 0,037 \cdot 7186000 = 265882$$

Treba naglasiti da je dobijeni interval veoma širok iz razloga usvojene verovatnoće od 95%. Takođe treba naglasiti da je najrealnija očekivana vrednost broja doza kojima je istekao rok upotrebe približno jednaka 265882.

### 3. ZAKLJUČAK

Na osnovu pregleda literaturnih izvora može se zaključiti da je zbrinjavanje medicinskog i farmaceutskog otpada veoma aktuelna problematika. Istraživanja prikazana u radu ukazuju na činjenicu da u Republici Srbiji u posedu stanovništva postoji veliki broj nezbrinutog farmaceutskog otpada.

Nezbrinuti farmaceutski otpad pored toga što predstavlja nepotreban finansijski izdatak jeste i potencijalna opasnost sa javno zdravstvenog aspekta.

U tom smislu svakako treba preduzeti aktivnosti neophodne za racionalno korišćenje i zbrinjavanje farmaceutskog otpada ove vrste.

### 4. REFERENCE

- [1] Bera, M.: *Održivo upravljanje medicinskim otpadom*, NIS Naftagas, Poslovna politika, Novi Sad, 2007.
- [2] *Bezbedno upravljanje medicinskim otpadom*, Ministarstvo zdravlja RS, Beograd, 2008.
- [3] Stepaović, M., Ivanović, S., Stanković, D., Jovanić, P.: *Pharmaceutical waste final solution - fixed or mobile incinerators*, Case study Serbia, Proceedings, IWWG Annual meeteng, Venezia, 2012.
- [4] Jakšić, B., Ilić, M., Balaban, M.: *Upravljanje medicinskim otpadom*, Urbanistički zavod Republike Srpske, ISBN 86-7440-008-6, Banja Luka, 2001.
- [5] Ilić, M., Stevanović-Čarapina, H., Jovović, A., Fešić, R., Tanasković, M., Jovanović, S., Petković, G.: *Strateški okvir za politiku upravljanja otpadom*, Regionalni centar za životnu sredinu za Centralnu i Istočnu Evropu, Beograd, 2002.
- [6] Albadvi, A., Chaharsooghi, S.K., Esfahanipour, A.: *Decision making in stock trading: An application of PROMETHEE*, European Journal of Operational Research, 177 (2), p.p. 673–683, 2007.
- [7] Guedenhou S., et al., "2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; Chapter 5: Incineration and Open Burning of Waste," IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, p.5.5, 2006.

- [8] J.P. Brans, Ph. Vincke, B. Mareschal, *How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method*, European Journal of Operational Research 24 (2) (1986) 228-238.
- [9] Barik T.K., Sahu B., Swain V.: *Nanosilica – From medicine to pest control*, Parasitology Research, 103 (2), pp. 253-258, 2008.

**Autori:** Master org. zdr. nege Ljubica Krivokapić, dr Nada Ilić, master inženjer menadžmenta Jasmina Miljojković, master

**org. zdr. nege Suzana Milutinović.**

Visoka medicinska škola strukovnih studija,  
Ćuprija, Bulevar Vojske bb, KBC Kragujevac,  
Zmaj Jovina br. 30.

E- mail: [krivokapicljupka73@yahoo.com](mailto:krivokapicljupka73@yahoo.com)  
[drnadailic@gmail.com](mailto:drnadailic@gmail.com)  
[jasmine.miljojkovic@mfgk.rs](mailto:jasmine.miljojkovic@mfgk.rs)  
[suzana.milutinovic@gmail.com](mailto:suzana.milutinovic@gmail.com)



**NAUČNA KONFERENCIJA SA MEĐUNARODNIM  
UČEŠĆEM  
NOVI SAD, SRBIJA, 23-25 JUN, 2016**

**Nakomčić-Smaragdakis, B., Čepić, Z.**

**ENERGETSKI POTENCIJAL I ZNAČAJ KORIŠĆENJA BIOMASE IZ ŠUMARSTVA,  
VOĆARSKE I VINOGRADARSKE PROIZVODNJE U AP VOJVODINI**

***Rezime:** Relativno visoka stopa rasta potrošnje energije u AP Vojvodini i istovremeno visoka cena energenata, upućuje na nužnost za racionalnijim korišćenjem energetske resursa sa kojima Vojvodina raspolaže. Navedene okolnosti jasno nalažu potrebu za stvaranje povoljnih uslova za veće učešće čvrste biomase u proizvodnji korisnih oblika energije. AP Vojvodina iako izrazito poljoprivredna regija, takođe raspolaže sa značajnim potencijalima biomase iz šumarstva, voćarske i vinogradarske proizvodnje. Njihova upotreba ima značaj, ne samo sa aspekta stabilnog snabdevanja energijom, već i za dugoročno rešavanje problema zaštite životne sredine. Cilj ovog rada jeste da se da pregled energetske potencijala biomase iz šumarstva, voćarske i vinogradarske proizvodnje na teritoriji AP Vojvodine, sa naglaskom na značaj njihovog korišćenja u energetske sektoru Vojvodine.*

***Ključne reči:** energetske potencijal, šumska biomasa, voćarska biomasa, vinogradarska biomasa*

## **1. UVOD**

Smanjenje rezervi i nestabilnost u snabdevanju fosilnim gorivima, kao i klimatske promene prouzrokovane efektom staklene bašte, pokrenuli su brojne mere na svetskom nivou. Jedna od njih jeste veće učešće obnovljivih izvora energije (OIE) u proizvodnji energije. Evropska Unija je Direktivom o obnovljivim izvorima energije (zvaničan naziv 2009/28/EC), detaljno definisala ciljeve u ovoj oblasti. Direktiva obavezuje sve zemlje članice EU da do 2020. godine od ukupno potrošene energije najmanje 20% bude dobijeno iz OIE. Rad na ostvarenju ciljeva Direktive obaveza je i za one zemlje koje žele da postanu zemlja članica EU. U Republici Srbiji je 2010. godine donesen Akcioni plan za biomasu, kome je definisana strategija za njeno korišćenje, kao obnovljivog izvora energije. Takođe, ratifikacijom Ugovora o osnivanju energetske zajednice R. Srbija se obavezala da donese i realizuje plan primene direktive 2003/30/EC o promovisanju primene biogoriva.

U Autonomnoj Pokrajini Vojvodini obnovljiv izvor energije sa najvećim potencijalom je čvrsta biomasa [1]. Ostaci biomase iz šumarstva, voćarske i vinogradarske proizvodnje predstavljaju značajan izvor energije, a najčešći oblik energije koji se dobija korišćenjem ove biomase je toplotna energija nastala njenim sagorevanjem. Na današnjem nivou tehničko-tehnološkog razvoja od uređaja za sagorevanje biomase očekuje se pre svega pouzdanost i stabilnost u radu, širok opseg mogućnosti upotrebe kada je reč o kvalitetu goriva, visok stepen

automatizacije i naravno zadovoljenje vrlo strogih ekoloških normi. Takođe, treba naglasiti da je prilikom sagorevanja biomase neophodno voditi računa da celokupan proces bude usaglašen sa tri osnovna uslova: efikasnost procesa, zaštita životne sredine i održivi razvoj [2].

Korišćenje ostataka biomase iz šumarstva, voćarske i vinogradarske proizvodnje u energetske svrhe bi trebalo biti najzastupljenije na izvoru ovog tipa biomase, odnosno u ruralnim sredinama i u malim preduzećima koja se bave proizvodnjom i preradom (proizvodnja rezane građe i nameštaja, prerada i sušenje voća, proizvodnja vina), za grejanje objekata i slično. Međutim i pored značajnog potencijala, trenutno korišćenje biomase u energetske svrhe u AP Vojvodini još uvek je slabo zastupljeno, sporadično i zasnovano na pojedinačnim inicijativama. Glavni razlog je neodrživo niska cena električne energije i istovremeno komfor njenog korišćenja kao finalnog oblika energije, kao i nepostojanje konkretne systemske podrške za intenziviranje korišćenja biomase u energetske svrhe [3, 4].

U radu će biti prikazan energetske potencijal i značaj korišćenja biomase iz šumarstva, voćarske i vinogradarske proizvodnje u AP Vojvodini.

## **2. ZNAČAJ KORIŠĆENJA BIOMASE U ENERGETSKE SVRHE**

Udeo biomase u energetske bilansu AP Vojvodine je zamenariv i iznosi oko 1,5% finalne potrošnje. Korišćenje biomase u energetske svrhe je sporadično, zasnovano na pojedinačnim inicijativama, bez primesa planskih aktivnosti. Ne

postoji konkretna sistemska podrška od strane države za intenziviranje korišćenja biomase u energetske svrhe. To su razlozi zbog kojih su ulaganja u ovu oblast vrlo nesigurna, a samim tim i neznatna. Takođe, nepostojanje tržišta biomase odvraća potencijalne investitore od ulaganja u ovu oblast, jer je rizik prevelik. Činjenica da nema sigurnosti u nabavci i snabdevanju biomasom je razlog što se u praksi izbegavaju rešenja za zadovoljenje energetske potreba korišćenjem ovog resursa [5].

Vrste proizvoda iz kojih nastaje biomasa na teritoriji Vojvodine su u priličnoj meri ustaljene. Voćarstvo, vinogradarstvo i šumarstvo su izrazitije zastupljeni u pojedinim regionima Vojvodine i zbog toga su prisutne teritorijalne razlike u nastalim količinama ove biomase. Raspoloživa otpadna biomasa iz ovih vrsti proizvodnje se uglavnom tretira kao nužno nastali otpad koji prvenstveno treba da se ukloni, dok je potpuno u drugom planu njeno sistematsko korišćenje. Ovakva situacija može efikasno da se poboljša samo sistemskom podrškom države. Podrška treba da bude usmerena ka:

- izradi sistemskih podsticaja za realizaciju projekata,
- formiranju tržišta biomase i stvaranje uslova za dugoročno sigurno poslovanje i
- širenju znanja iz oblasti korišćenja biomase u energetske svrhe.

Korišćenje biomase u energetske svrhe ima višestruki socio-ekonomski i ekološki značaj: smanjenje zavisnosti od uvoza fosilnih goriva, razvoj čitavog niza delatnosti (proizvodnja i prikupljanje otpadne biomase, proizvodnja opreme za prikupljanje i korišćenje biomase u energetske svrhe, proizvodnja finalnih formi biomase za korišćenje u energetske svrhe), povećanje zaposlenosti (pogotovo u najnerazvijenijim sredinama), zadovoljenje lokalnih potreba za finalnom energijom, razvoj uslužnih i trgovačkih aktivnosti, stvaranje dobrog izvoznog artikla, sniženje emisije GHG gasova [5].

### 3. ENERGETSKI POTENCIJAL BIOMASE IZ ŠUMARSTVA, VOĆARSKE I VINOGRADARSKE PROIZVODNJE AP VOJVODINE

Autonomna Pokrajina Vojvodina iako dominantno poljoprivredna regija raspolaže značajnim potencijalima biomase iz šumarstva, voćarske i vinogradarske proizvodnje. Procenjuje se da je njena godišnja količina nešto preko 447 hiljada tona, odnosno 352 hiljada tona iz

šumarstva i 95 hiljada tona iz voćarske i vinogradarske proizvodnje.

Zastupljenost šuma, šumskog zemljišta i zaštitnog zelenila iznosi 8,33% u odnosu na ukupnu površinu Vojvodine, a stvarna šumovitost 6,79% [6]. Šume u Srbiji zauzimaju 27%, a u Sloveniji, koja je veličine Vojvodine, 60% ukupne teritorije, što implicira da bi se šumske površine u Vojvodini morale najmanje udvostručiti. U Vojvodini se u toku godine proizvede šumskog ostatka i ostataka u preradi drveta u proseku 352 hiljada tona (Tabela 1).

Na teritoriji Vojvodine prevladavaju lišćari, tj. najviše meko drvo (topola, vrba i dr.). Potrebno je da se u Vojvodini na lošijim zemljištima uzgajaju energetske brzorastući zasadi, radi korišćenja za proizvodnju toplotne i električne energije. Treba imati u vidu da je drvo lišćara pogodno za loženje, dok četinara nije, zbog povećane količine smolastih materija.

Vrsta	Površina	Posečeno drveća	Ukupno ostatak
	[ha]	[t/god]	[t/god]
Lišćari	156.200	341.517	-
Četinari	6.830	30.361	-
Mešavina	112	4.203	-
Ukupno	163.062	367.676	352.048

Tabela 1. Proizvodnja biomase u šumarstvu Vojvodine (2003.-2007. god) [4]

Kada je reč o biomasi iz voćarske proizvodnje, njena količina je dvostruko porasla, a količina vinogradarske biomase se smanjila, zbog iskopavanja vinograda. Navedena dvostruko veća količina biomase iz voćarske proizvodnje ne znači da je stvarno i ostvarena, već je to rezultat loše procene prinosa biomase u prethodnom periodu od 10 i više godina [4]. Prinos orezina iz voćarstva dobijen je na osnovu prosečne mase orezina stabala jabuka, šljiva i bresaka po jednom hektaru pri skladišnom sadržaju vlage (14%) i iznosi 3,4 t/ha. Masa orezina vinove loze iznosi 2,94 do 3,10 t/ha, pri skladišnom sadržaju vlage. Za proračun je korišćena srednja vrednost orezina vinove loze od 3,02 t/ha [5].

U voćarskoj i vinogradarskoj proizvodnji Vojvodine godišnje nastane 62.500 tona, odnosno 32.500 tona orezine, respektivno (Tabela 2). Ostaci biomase iz voćarstva i vinogradarstva bi svakako mogli i trebali da se koriste za proizvodnju toplotne i električne energije.

Vrsta	Površina	Prinos orezina	Masa orezina
	[ha]	[t/ha]	[t/god]
Voćke	18.402	3,40	62.548
Vinova loza	10.793	3,02	32.595
Ukupno	29.195	3,26	95.143

Tabela 2. Proizvodnja biomase u voćarstvu i vinogradarstvu Vojvodine (2003.-2007. god) [4]

U nizu mogućih načina korišćenja šumske i voćarsko-vinogradarske biomase kao goriva, je njeno sagorevanje u cilju transformacije hemijske energije ove materije u korisne oblike energije. To su uglavnom razni vidovi namenske toplotne energije (zagrevanje objekata, sanitarna topla potrošna voda i sl.) i električna energija kao vid energije pogodan za najširu upotrebu.

Osnovne gorive karakteristike drveta su: toplotna moć, sadržaj volatila, odnos masenog udela volatila i koksnog ostatka, količina i sastav pepela, gustina, vlažnost, itd.

Upotrebna vrednost drveta kao goriva može se dobro proceniti ukoliko se zna ili može izračunati njegova gornja toplotna moć, međutim stvarni energetske efekti, koji bi se dobili sagorevanjem, su uvek manji od energetskog potencijala i zavise od više faktora. Na prvom mestu je svakako vlažnost potencijalnog biogoriva. Kako se u praksi biomasa nikad ne koristi suva, treba imati u vidu da sa porastom vlage njena toplotna moć opada.

U tabeli 3 uporedo su dati podaci o količini toplote koja se realno može iskoristiti iz 1 kg drveta za različite vlažnosti. Pri tome su uzeti u obzir i vlažnost drveta i odgovarajući stepen iskorišćenja ložišta pri sagorevanju drveta.

Vlažnost drveta	Gornja toplotna moć	Stepen iskorišćenja ložišta	Korisna toplota
%	MJ/kg	%	MJ/kg
0	19,8	80	15,8
10	17,8	78	13,9
40	14,5	74	12,1
70	12,0	72	8,6

Tabela 3. Uticaj vlažnosti na energetske efekat drveta [7]

Toplotne moći biomase su znatno niže od tečnih ili gasovitih fosilnih goriva, rukovanje biomasom je znatno teže, ali je bez obzira na to njena upotreba značajna.

Brkić i dr. u svojoj studiji [7] na osnovu izračunatih masa vlažnog drveta i kore, i odgovarajućih toplotnih moći dobijaju okvirne

podatke o raspoloživoj energetskoj vrednosti šumske biomase. Sračunati energetske potencijal šumskog ostatka (panjevinja i korenje, sitna granjevinja, okrajci i piljevina) iznosi 3.293 TJ godišnje. Ova količina energije je energetske ekvivalentna sa 80 hiljada tona lakog ulja za loženje.

Gvozdenac i dr. u svom elaboratu [5] navode donju toplotnu moć od 14 MJ/kg za voćarske i vinogradarske orezine pri ravnotežnom sadržaju vlage. Ovako sračunat godišnji energetske potencijal voćarske i vinogradarske biomase iznosi 1330 TJ, odnosno 32 hiljade tona lakog ulja za loženje.

Energetske efikasnost uređaja za sagorevanje biomase je manja u odnosu na uređaje na fosilna goriva što takođe treba imati u vidu kada se vrednuje potencijal. Zato korišćenje biomase u energetske svrhe, mora biti planski urađeno, od faze prikupljanja, skladištenja pa sve do njenog sagorevanja i održavanja opreme i postrojenja, sa što je moguće većim stepenom automatizacije sistema.

#### 4. ZAKLJUČAK

Korišćenje biomase u energetske svrhe je mnogobrojnim direktivama veoma podržana i samim tim vrlo rasprostranjena praksa u zemljama Evropske Unije. Proizvodnja toplotne i električne energije dobijene iz biomase je subvencionisana, a fond za ove subvencije formiran je iz povišenih cena izvora energije koja koriste fosilna goriva. Republika Srbija za sad ima Zakon o energetici, ali nema propratne propise neophodne za inteziviranje korišćenja biomase u energetske svrhe. U tom smislu, domaće propise treba unaprediti i prilagoditi propisima EU, u kojoj je korišćenje biomase u energetske svrhe zastupljenije i ima dužu tradiciju.

Energetske potencijal šumske i voćarsko-vinogradarske biomase od 112.000 tona ekvivalentne nafte godišnje nije zanemarljiv i njenom upotrebom doprinelo bi se efikasnijem korišćenju sopstvenih potencijala u proizvodnji energije i istovremeno vodilo računa o zaštiti životne sredine.

Tehnologije za njeno korišćenje su raspoložive na domaćem tržištu, ekološki prihvatljive i ne spadaju u red visokih tehnologija. Međutim, glavni razlog za nekorisćenje biomase u energetske svrhe je to što ne postoji organizovano tržište i konkretna sistemska podrška države i pokrajine za inteziviranje korišćenja biomase, kao i dovoljan broj korisnika koji bi prepoznali značaj njenog korišćenja, imajući u vidu trenutno važeće paritete cena električne energije i drugih

energenata. Ali, bez obzira na navedeno, ona se može smatrati značajnim izvorom energije.

Takođe, treba istaći da primarna prednost biomase kao izvora energije nije u njenom potencijalu, već u obnovljivosti. Upravo obnovljivost daje suštinsku prednost biomasi nad konvencionalnim, fosilnim gorivima koja su neobnovljiva i samim tim ne mogu biti osnov za planiranje održivog razvoja koji podrazumeva racionalno korišćenje energije.

Ono što bi svakako trebalo da bude zajednički interes države, pokrajine, regionalnih i lokalnih zajednica je intenziviranje korišćenja biomase kao načina za smanjenje zavisnosti od uvoza fosilnih goriva, unapređenje zaštite životne sredine kao i razvoja ruralnih sredina i povećanja zaposlenosti u tim sredinama.

## 5. REFERENCE

- [1] Nakomčić-Smaragdakis, B., Čepić, Z., Dragutinović, N.: *Proces sagorevanja pšenične slame i njegov uticaj na zagađenje vazduha*, Savremena poljoprivredna tehnika, Vol. 40, No. 1, str. 55-62, 2014.
- [2] Erić, A.: *Termomehanički procesi pri sagorevanju baliranog sojinog ostataka u potisnom ložištu*, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd, 2010.
- [3] Repić, B., Dakić, D., Mladenović, R., Erić, A.: *Analiza mogućnosti i načina korišćenja slame u industrijskoj energetici*, Regionalna konferencija „Industrijska energetika i zaštita životne sredine u zemljama jugoistočne Evrope“ IEEP'08, str.1-8, Društvo termičara Srbije, Zlatibor, 24-28 jun 2008.
- [4] Brkić, M., Janić, T.: *Nova procena vrsta i količina biomasa vojvodine za proizvodnju energije*, Savremena poljoprivredna tehnika, Vol. 36, No. 2, str. 178-188, 2010.
- [5] Gvozdenac, D., Petrović, J., Brkić, M., Marić, M., Kljajić, M., Gvozdenac Urošević, B., Đaković, D.: *Elaborat: Razvoj tržišta biomase u Vojvodini*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2010.
- [6] Danon, G., Bajić, V., Isajev, V., Bajić, S., Oreščanin, S., Rončević, S.: *Ostaci biomase u šumarstvu i preradi drveta i mogućnost gajenja „energetskih šuma“*, poglavlje 2 studije: „Energetski potencijal i karakteristike ostataka biomase i tehnologije za njenu primenu i energetska iskorišćenje u Srbiji“, Šumarski fakultet, Beograd, JP „Srbijašume“, Beograd, Institut za topolarstvo, Novi Sad, 2003, str. 25 – 56.
- [7] Brkić, M., Tešić, M., Furman, T., Martinov, M., Janić, T.: *Studija: Potencijali i mogućnosti briketiranja i peletiranja otpadne biomase na teritoriji Pokrajine Vojvodine*, Poljoprivredni fakultet - Novi Sad, 2007.

**Autori:** Prof. dr Branka Nakomčić-Smaragdakis, M.Sc. Zoran Čepić, 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 21 485-2395, Fax: +381 21 455-672.

E-mail: [nakomcic@uns.ac.rs](mailto:nakomcic@uns.ac.rs)  
[zorancepic@uns.ac.rs](mailto:zorancepic@uns.ac.rs)

**Napomena:** Rad predstavlja deo istraživanja na Projektima III-42004, III-42006, III-46009, koje finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

**Adamović, S., Prica, M., Velimirović, M., Pavlović, Ž., Tričković, J., Maletić, S.**

**SOLIDIFIKACIONO/STABILIZACIONI TRETMAN OTPADNIH  
PROCESNIH OFSET BOJA**

**Rezime:** U radu je sproveden solidifikaciono/stabilizacioni tretman otpadnih procesnih (cijan, magenta, žuta i crna) ofset boja sa glinama bentonitom i kaolinom kao imobilizacionim agensima. Efikasnost solidifikaciono/stabilizacionog tretmana je praćena primenom standardnog nemačkog testa izluživanja sa jednim ekstrakcionim fluidom tokom određenog vremena. Procenjena je i efikasnost glina kao imobilizacionog agensa za teške metale u cilju sigurnijeg i ekološki prihvatljivijeg odlaganja otpadnih ofset grafičkih boja u životnu sredinu.

**Ključne reči:** solidifikaciono/stabilizacioni tretman, otpad, procesne ofset boje

**1. UVOD**

U grafičkoj industriji koriste se različiti proizvodi (grafičke boje, rastvarači, fiksatori, razvijajući i dr.) koji mogu da ugroze zdravlje radnika u štampariji, a nepravilnim odlaganjem i životnu sredinu. Opasnosti od grafičkih boja za životnu sredinu su brojne, jer najčešće sadrže isparljiva organska jedinjenja i teške metale.

Otpadna grafička boja se definiše kao boja koja izlazi iz svog rezervoara u štamparskoj mašini i koja je kontaminirana sredstvom za čišćenje, papirnom prašinom ili drugim aditivima za štampu. Kontaminacija utiče na fizička svojstva, ton i konzistenciju grafičke boje, čineći je potencijalno neupotrebljivom za štampu. U tom trenutku takva boja postaje otpadni produkt i tehnički je registrovana kao "industrijski otpad" [1].

Kod boja za ofset štampu, postoje tri područja zabrinutosti [2]:

1. isparljiva organska jedinjenja (eng. Volatile Organic Compounds, VOCs), koja se emituju pri sušenju otiska boje;

2. teški metali, koji se nalaze u određenim pigmentima, pre svega u metalik bojama i mogu štetno da deluju na zdravlje radnika u štampariji, kao i na životnu sredinu;

3. neobnovljivi izvori, odnosno ulja na bazi nafte koja se nalaze u bojama. Nije moguće generalizovati opasnosti ovih boja, jer njihov sastav zavisi od štamparskog procesa, podloge i namene. Ipak, opasnost je manja ako se deo ulja na naftnoj bazi zameni biljnim uljem.

Metali se koriste u procesnim grafičkim bojama za dobijanje određene nijanse boje i u rastvaračima da bi ubrzali proces sušenja. Zbog svoje upotrebe u procesu štampe, metali postepeno povećavaju svoju koncentraciju u prirodi [3].

Metali mogu u obliku finih čestica prašine da uđu u atmosferu, odakle se talože u vodama i zemljištu. Takođe, metali imaju sklonost ka bioakumulaciji, jer tokom vremena povećavaju svoju koncentraciju i u živim organizmima.

Uzimajući u obzir ofset štampu, kao najrasprostranjeniju tehniku štampe, štetnosti koje potiču iz ofset grafičkih boja ne treba da budu zanemarene. Sa jedne strane, razvoj tehnologije doprineo je i razvoju "zelenih" tehnologija u domenu ofset štampe. Proizvođači su kreirali ekološke grafičke boje koje supstituišu konvencionalne boje čineći ih manje opasnim. Sa druge strane, jedno od rešenja problema opasnosti od otpadnih grafičkih boja je primena solidifikaciono/stabilizacionog tretmana otpada sa imobilizacionim agensima.

Pojam solidifikacije/stabilizacije (S/S) je opšti pojam koji se koristi za opisivanje širokog spektra tehnika koje služe da transformišu otpad u oblike koji će biti manje problematični po životnu sredinu [4,5,6]. Cilj S/S tretmana je postizanje ili održavanje željenih fizičkih osobina i hemijska stabilizacija ili permanentno vezivanje polutanata.

Stabilizacija se odnosi na postupak primene različitih aditiva i/ili veziva sa osnovnim ciljem da se opasni konstituenti otpada prevedu u manje toksičan, rastvoran i/ili pokretan oblik. Ovo se postiže hemijskim i/ili fizičkim procesima. Jedna od uobičajenih metoda stabilizacije podrazumeva dodatak hemijskog sredstva koje smanjuje rastvorljivost opasnih konstituenata u otpadu i na taj način u znatnoj meri smanjuje njihovo izluživanje u životnu sredinu [7].

Solidifikacija podrazumeva primenu aditiva, veziva i primesa koji transformišu otpad u čvrst oblik koji ne sadrži slobodnu tečnost. Obično je glavni cilj solidifikacije da se otpad pretvori u oblik koji je lakši za rukovanje i odlaganje, uz



istovremeno minimiziranje štetnog potencijala smanjivanjem površine otpada koja je u kontaktu sa životnom sredinom. Ne implicira se hemijska reakcija. Sem toga, solidifikovan otpad smanjuje rizik od rasipanja čestica otpada tokom rukovanja, čuvanja, transporta i odlaganja. Takođe, solidifikacija doprinosi povećanju čvrstine otpada i smanjenju permeabilnosti u odnosu na netretirani otpad. Čvrsti oblik koji se dobija solidifikacijom može biti u formi monolitnog bloka ili čvrstih peleta (kuglica) [8].

S/S tretman se izvodi sa materijama na bazi [9]:

1. silikata i cementa (portland cement, leteći pepeo, šljaka topioničkih peći i vodeno staklo);
2. kreča;
3. termoplastičnih materijala (bitumen, polietilen, parafin i voskovi);
4. organskih polimera (od ureaformaldehida do poliuretanske pene, poliestarske i polivinilne smole).

Najveći deo otpadnih materijala koji se deponuju nije bezbedan po životnu sredinu i nije geohemijski stabilan. Zbog toga je neophodno izvršiti procenu i predviđanje oslobađanja kontaminanata iz otpada tokom različitih faza njegove ekspozicije uslovima životne sredine. Smatra se da je glavni mehanizam oslobađanja kontaminanata u životnu sredinu koji predstavlja i najveći potencijalni rizik upravo izluživanje rastvornih konstituenata iz otpada u kontaktu sa vodom. Ovo stvara potrebu za sprovođenjem testova izluživanja u interpretiranju rezultata kako bi uspešno procenili rizik otpada po ljudsko zdravlje i životnu sredinu [10].

Osnovni ciljevi testova izluživanja su [7,8]:

1. Klasifikacija opasnog i neopasnog otpada;
2. Procena potencijala izluživanja polutanata iz otpada u uslovima životne sredine;
3. Simulacija uslova pod kojim dolazi do izluživanja;
4. Dobijanje uzorka koji će reprezentovati kvalitet procedne vode nastale na deponiji;
5. Procena efikasnosti tretmana otpada;
6. Identifikacija pogodnog scenarija za upravljanje otpadom;
7. Utvrđivanje kinetičkih parametara u svrhu modelovanja transporta kontaminanata.

Cilj rada je utvrđivanje mogućnosti primene imobilizacionih agenasa u S/S tretmanu otpadnih procesnih ofset boja. Za imobilizacione agense uporebljeni su bentonit i kaolin, a za praćenje efikasnosti tretmana i glina primenjen je standardni nemački test izluživanja (DIN 3841-4 S4).

## 2. EKSPERIMENTALNI DEO

### 2.1. Karakterizacija imobilizacionih agenasa

Za tretman otpadnih CMYK ofset boja odabrani su imobilizacioni agensi kaolin (K) i bentonit (B) hemijskog sastava prikazanog u tabeli 1 [8]:

Jedinjenja	Sastav (% maseni)	
	K	B
SiO <sub>2</sub>	45,90	58,90
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	37,20	22,70
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,34	4,83
MgO	1,40	1,40
CaO	0,25	1,85
K <sub>2</sub> O	0,14	0,24
Na <sub>2</sub> O	0,10	0,12
Gubitak žarenjem	13,30	10,60

Tabela 1. Hemijski sastav kaolina i bentonita

Specifična površina, zapremina pora i veličina pora određeni su adsorpcijom azota na 77 K i dobijene upotrebom analizatora za karakterizaciju poroznih i praškastih materijala (Autosorb iQ<sub>2</sub>, Quanta-chrome Instruments, USA). Specifične površine imobilizacionih agenasa određene su primenom Brauner-Emmett-Teller (BET) metode, a poroznosti primenom Barret-Joyner-Halenda (BJH) metode i t-t metode. Gline su okarakterisane sa aspekta kapaciteta izmene katjona (eng. Cation Exchange Capacity, CEC). Fizičke i strukturne karakteristike imobilizacionih agenasa (tabela 2) određene su na Departmana za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu.

Parametar	K	B
BET (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	13,8	39,6
BJH (cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup> )	0,031	0,032
t-test (cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup> )	0	0,007
CEC (meq/100g)	19,1	70,4

Tabela 2. Fizičke i strukturne karakteristike kaolina i bentonita

### 2.2. Priprema S/S smeša

Pre izvođenja testa izluživanja izvršena je priprema uzoraka S/S smeša otpadnih CMYK ofset boja i odgovarajućeg imobilizacionog agenasa. Po 2 g odgovarajuće otpadne CMYK ofset boje homogeno je izmešano sa 2 g bentonita ili kaolina. Dakle, odnos dve čvrste faze je 50:50. Potom je S/S smešama dodat optimalni sadržaj dejonizovane vode prema ASTM D1557-00 proceduri [11]. Uzorci neimobilisanih otpadnih CMYK ofset boja i uzorci S/S smeša otpadnih ofset boja i imobilizacionog agenasa ostavljeni su da stoje 28 dana na sobnoj temperaturi. Na

pripremljene uzorke primenjen je ravnotežni DIN 3841-4 S4 test izluživanja sa jednim ekstrakcionim fluidom. U odgovarajućim ekstraktima DIN 3841-4 S4 testa određen je sadržaj teških metala.

### 2.3. Standardni nemački test izluživanja

DIN 3841-4 S4 test izluživanja odgovara EN 12457/2 testu, koji je propisan Odlukom Saveta Evropske unije [12], kao standardni test izluživanja pri utvrđivanju opštih karakteristika otpadnih materijala i muljeva. Takođe, DIN 3841-4 S4 test izluživanja se koristi i u našem Pravilniku o kategorijama, ispitivanju i klasifikaciji otpada [13].

Nakon 28 dana uzorci otpadnih CMYK ofset boja i uzorci S/S smeša otpadnih ofset boja i imobilizacionog agensa usitnjeni su do maksimalne veličine čestica od 10 mm. Odnos dejonizovane vode i uzorka je 10:1, odnosno 2 g uzorka otpadne CMYK ofset boje je ekstrahovano sa 20 ml dejonizovane vode, dok je 3 g uzorka odgovarajuće S/S smeše otpadne ofset boje i imobilizacionog agensa ekstrahovano sa 30 ml dejonizovane vode. Izluživanje je urađeno sa dejonizovanim vodom tokom 24 sata mešanja na kontinualnoj mešalici u plastičnim kivetama zapremine 45 ml. Posle 24 sata mešanja, tečna faza je odvojena od čvrste faze (samo otpadna ofset boja ili imobilizacioni agens + otpadna ofset boja) filtracijom preko kvantitativnog filter papira (MACHEREY-NAGEL, Nemačka). Potom su alikvoti zakišeljani sa koncentrovanom azotnom kiselinom, a koncentracije teških metala u pripremljenim alikvotima određene su na atomskom absorpcionom spektrofotometru (Thermo Scientific - SOLAAR S serije AA spectrometer), plamenom tehnikom u skladu sa USEPA 7000b metodom [14].

### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

Koncentracije detektovanih teških metala (bakra, cinka, nikla i olova) u uzorcima neimobilisanih otpadnih CMYK ofset boja i S/S smeša otpadnih boja sa bentonitom (CB, MB, YB i KB) i kaolinom (CK, MK, YK i KK) prema DIN 3841-4 S4 testu prikazane su u tabeli 3.

Rezultati DIN 3841-4 S4 testa interpretirani su korišćenjem nacionalne regulative za testiranje i klasifikaciju otpada na inertan, neopasan i opasan [13] i na osnovu vrednosti za otpad koje propisuje Evropska Unija [12].

Rezultati za teške metale pokazuju da se svi ispitivani uzorci mogu okarakterisati kao inertan i neopasan otpad prema nacionalnoj regulativi za testiranje i klasifikaciju otpada na inertan, neopasan i opasan [13]. Takođe, S/S smeše na

osnovu LAGA kriterijuma koje propisuje nemačka Državna radna grupa za otpad [15] zadovoljavaju propisanu vrednost i mogu se koristiti.

Uzorak	Koncentracije (mg/kg)			
	Cu	Zn	Ni	Pb
Cbez	0,42	0,07	0,07	0,01
CK	0,30	0,06	0,06	0,00
CB	0,17	0,06	0,06	0,00
Mbez	0,33	0,19	0,16	0,01
MK	0,29	0,15	0,09	0,00
MB	0,25	0,06	0,07	0,00
Ybez	0,19	0,09	0,07	0,01
YK	0,15	0,05	0,05	0,00
YB	0,13	0,05	0,05	0,00
Kbez	0,31	0,08	0,06	0,04
KK	0,28	0,06	0,05	0,03
KB	0,20	0,05	0,04	0,03
A*	2,0	4,0	0,4	0,5
B*	50 - 100	50 - 200	10 - 40	10 - 50
LAGA Z2*	2,0	4,0	1,0	1,0
A* - maksimalno dozvoljena koncentracija prihvatanja otpada kao <b>inertnog</b> L/S=10 (L/kg) [13]				
B* - maksimalno dozvoljena koncentracija prihvatanja otpada kao <b>neopasnog</b> L/S=10 (L/kg) [13]				
Z2* - gornja preporučena vrednost korišćenja [12,15]				

Tabela 3. Koncentracije teških metala u neimobilisanim otpadnim CMYK ofset bojama i S/S smešama otpadnih ofset boja sa bentonitom i kaolinom prema DIN 3841-4 S4 testu

Bakar je pokazao veći potencijal ka izluživanju u poređenju sa ostalim metalima za sve otpadne CMYK ofset boje. Cink, nikal i olovo su ispoljili veoma malu tendenciju ka izluživanju i sve S/S smeše otpadnih CMYK ofset boja sa imobilizacionim agensima bentonitom i kaolinom sa aspekta ova tri metala mogu se smatrati inertnim. Poredeći rezultate ekstrakcione procedure polaznih otpadnih CMYK ofset boja i imobilizacionih smeša otpadnih CMYK ofset boja sa bentonitom i kaolinom, uočava se smanjenje sadržaja svih teških metala u rastvornoj fazi. Kod svih uzoraka otpadnih CMYK ofset boja i S/S smeša, za bakar je bolji imobilizacioni agens bentonit u odnosu na kaolin, jer su koncentracije u rastvornoj fazi niže. Efikasnost imobilizacionih agensa bentonita i kaolina za cink i nikla su u odnosu: B = K za cijan, B > K za magentu, B = K za žutu i B > K za crnu ofset boju. Dok su efikasnosti imobilizacionih agensa bentonita i kaolina za olovo izjednačene, verovatno zbog njegove niske koncentracije. Dakle, priroda ofset boje i osobine metala utiču na efikasnost imobilizacionog agensa.

#### 4. ZAKLJUČAK

Prema rezultatima DIN 3841-4 S4 testa može se zaključiti da su otpadne CMYK ofset boje i njihove S/S smeše sa imobilizacionim agensima neopasne i bezbedne za odlaganje u životnu sredinu. Poređenjem rezultata ekstrakcione procedure polaznih otpadnih ofset boja i imobilizacionih S/S smeša, uočeno je smanjenje sadržaja teških metala u rastvornoj fazi. Bentonit je u odnosu na kaolin efikasniji imobilizacioni agens, jer ima veću BET specifičnu površinu, poroznost i sadrži mikropore. Međutim, i priroda ofset boje i osobine metala utiču na efikasnost imobilizacionog agensa.

Dobijeni rezultati ovog eksperimenta su od važnosti za ekološki prihvatljivo upravljanje opasnim industrijskim otpadom, ali je neophodno da se istraživanje proširi primenom drugih imobilizacionih agenasa i testova izluživanja.

#### 5. LITERATURA

- [1] Canadian Printing Ink Manufacturers' Association (CPIMA), Online: [http://www.cpima.org/TechnicalBulletins/Scrap\\_Ink2010.pdf](http://www.cpima.org/TechnicalBulletins/Scrap_Ink2010.pdf), [Accessed 29.04. 2016].
- [2] Chauhan, A.K.: *Environmental impacts of offset printing*, International Journal of Engineering Research and Technology, 6, p.p. 31-41, 2013.
- [3] Rothenberg, S., Toribio, R., Becker, M.: *Environmental Management in Lithographic Printing*, Printing Industry Center at Rochester Institute of Technology, Rochester, New York, 2002.
- [4] Singh, T.S., Pant, K.K.: *Solidification/stabilization of arsenic containing solid wastes using portland cement, fly ash and polymeric materials*, Journal of Hazardous Materials, 131, p.p. 29-36, 2006.
- [5] Zhou, Q., Milestone, N.B., Hayes, M.: *An alternative to Portland Cement for waste encapsulation - The calcium sulfoaluminate cement system*, Journal of Hazardous Materials, 136, p.p. 120-129, 2006.
- [6] Chen, Q.Y., Tyrer, M., Hills, C.D., Yang, X.M., Carey, P.: *Immobilisation of heavy metal in cement-based solidification/stabilisation: A review*, Waste Management, 29, p.p. 390-403, 2008.
- [7] Prica, M.: *Efekti primene razlicitih postupaka remedijacije na imobilizaciju teških metala u sedimentu*, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, 2008.
- [8] Kerkez, Đ.: *Potencijal upotrebe piritne izgoretine u tretmanu otpadnih voda i mogućnost njene dalje sanacije primenom imobilizacionih agenasa*, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, 2014.
- [9] U.S. Environmental Protection Agency (USEPA): *Contaminated Sediment Remediation Guidance for Hazardous Waste Sites*, EPA-540-R-05-012 Office of Solid Waste and Emergency Response OSWER 9355.0-85 December 2005.
- [10] Twardowska, I., Allen, H.E., Kettrup, A.F., Lacy, W.J.: *Solid Waste: Assessment, Monitoring and Remediation*, Elsevier, 2004.
- [11] ASTM D1557-00 Method, *Standard test method for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort* American Society for Testing Materials, Annual Book of ASTM standards: ASTM D1557-91, vol. 4.08. Philadelphia, P: ASTM, 2000.
- [12] Official Journal of the European Communities, L11 (2003): Council Decision 2003/33/EC of 19 December 2002 establishing criteria and procedures for the acceptance of waste at landfills pursuant to Article 16 of and Annex II to Directive 1999/31/EC.
- [13] Službeni glasnik („Sl. glasnik RS“, br. 56/2010): *Pravilnik o kategorijama, ispitivanju i klasifikaciji otpada*, 2010.
- [14] EPA 7000B Method, *Flame Atomic Absorption Spectrophotometry*, 2007.
- [15] LAGA, *Cooperation of the German federal authorities on waste*, Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen. 5th September 1995, Berlin, Erich Schmidt Verlag, 1996.

**Autori:** Asistent mr Savka Adamović, Van. prof. dr. Miljana Prica i Doc. dr Živko Pavlović, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za Grafičko inženjerstvo i dizajn, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2634. Dr Milica Velimirović, University of Vienna, Department of Environmental Geosciences, Althanstrasse 14 UZAI, 1090 Vienna, Austria. Van. prof. dr. Jelena Tričković i Doc. dr Snežana Maletić, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju biohemiju i zaštitu životne sredine, Trg Dositeja Obradovića 3, 21000 Novi Sad, Serbia.

E-mail: [adamovicsavka@uns.ac.rs](mailto:adamovicsavka@uns.ac.rs)  
[miljana@uns.ac.rs](mailto:miljana@uns.ac.rs)  
[milica.velimirovic@univie.ac.at](mailto:milica.velimirovic@univie.ac.at)  
[zivkopvl@uns.ac.rs](mailto:zivkopvl@uns.ac.rs)  
[jelena.trickovic@dh.uns.ac.rs](mailto:jelena.trickovic@dh.uns.ac.rs)  
[snezana.maletic@dh.uns.ac.rs](mailto:snezana.maletic@dh.uns.ac.rs)

**Kragulj Isakovski, M., Tričković, J., Prica, M., Molnar Jazić, J., Maletić, S., Velimirović, M.,  
Dalmacija, B.**

**ISPITIVANJE MEHANIZMA DESORPCIJE TRIHLORBENZENA NA SEDIMENTU  
DUNAVA**

***Rezime:** U ovom radu ispitan je mehanizam desorpcije 1,2,3- i 1,2,4-trihlorbenzena na sedimentu Dunava. Neslaganje između sorpcione i desorpcione izoterme naziva se sorpciono-desorpciona histereza. Histereza je kvantifikovana izračunavanjem indeksa histereze (HI) korišćenjem Freundlich-ovih parametara koji su dobijeni za sorpciju i desorpciju za tri ravnotežne koncentracije sorbata ( $C_e=1\%$ ,  $5\%$  i  $50\%$  rastvorljivosti u vodi). Dobijene HI vrednosti, za oba ispitivana trihlorbenzena, bile su u opsegu od 1,75-7,21. Za oba molekula trihlorbenzena indeksi histereze pokazuju rastući trend sa porastom ravnotežnih koncentracija. Dobijeni rezultati desorpcije i izračunati indeksi histereze su pokazali da je ona izraženija za 1,2,4-trihlorbenzen za sve koncentracione nivoe.*

***Ključne reči:** trihlorbenzen, sediment, mehanizam desorpcije*

**1. UVOD**

Istraživanje reverzibilnosti sorpcije može pružiti dodatan uvid u mehanizam sorpcije i desorpcije, kao i dati dodatne informacije o strukturnim osobinama sorbenata odgovornim za specifično ponašanje u sorpciji hidrofobnih organskih jedinjenja. Neslaganje između sorpcione i desorpcione izoterme se naziva sorpciono-desorpciona histereza (pseudohistereza, kinetička histereza, prividna ireverzibilnost) [1]. Razumevanje mehanizma desorpcije je ključni korak ka proceni rizika od oslobađanja polutanata sorbovanih na sedimentu što je bitno u proceni rizika od oslobađanja polutanata u akvatičnu sredinu.

Cilj ovog rada bio je odrediti sorpciono-desorpcione karakteristike sedimenta Dunav za dva odabrana trihlorbenzena.

**2. MATERIJAL I METODE**

**2.1 Karakterizacija sedimenta Dunav**

Karakterizacija sedimenta obuhvatila je određivanje sadržaja organskog ugljenika (OC), organske materije (OM) i granulometrijskog sastava. Sadržaj OC određen je primenom TOC analizatora (liquiTOCII, Elementar, Germany) nakon tretiranja sedimenta rastvorom hlorovodonične kiseline kako bi se uklonio neorganski ugljenik. Granulometrijski sastav određen je metodom mokrog sejanja primenom sita (Sieve Shaker mod. PR. 09, CISA) i primenom pipet metode [2]. Sadržaj organske materije određen je gravimetrijski nakon sušenja

sedimenta do konstantne mase na  $105^{\circ}\text{C}$  i žarenja na  $550^{\circ}\text{C}$  u toku 6 h.

**2.2 Sorpciono-desorpcione izoterme**

Sorpcione izoterme su postavljene u vijale tako što je odmerena određena masa sedimenta, a zatim dodat osnovni rastvor tako da zapremina slobodnog prostora u vijalu bude minimalna. Potom je u svaki vijal dodata određena zapremina osnovnog metanolnog rastvora ispitivanog trihlorbenzena koncentracije  $\sim 1000 \mu\text{g/ml}$ . Početne koncentracije trihlorbenzena bile su u opsegu od  $50\text{-}1000 \mu\text{g/l}$ , a koncentracija dodatog metanola u konačnom rastvoru bila je  $< 0,1\%$  (v/v).

Vijali su zatim podvrgnuti kontinualnom mešanju tokom 7 dana, a vreme potrebno za uspostavljanje sorpciono-desorpcione ravnoteže je određeno na osnovu preliminarnih eksperimenata kinetike. Količina sedimenta u svakom eksperimentu je podešena tako da dobijeni odnos sediment/rastvor rezultuje sorpcijom organskog jedinjenja u opsegu od  $20\text{-}80\%$ . Nakon završenog uravnotežavanja, sadržaj vijala je centrifugiran na  $3000 \text{ rpm}$  15 minuta, nakon čega su uzimani uzorci bistrog supernatanta određene zapremine za analizu organskih jedinjenja. Uz svaku seriju vijala postavljen je i kontrolni vijal bez sorbenta i tretiran je na isti način kao i uzorci, pri čemu je konstatovano da su gubici bili manji od  $5\%$ . Nakon sorpcionog eksperimenta izvršena je desorpcija primenom metode dekantovanja-dopunjavanja. Proces desorpcije izvršen je na sledeći način: nakon završenog procesa sorpcije odliveno je oko  $80\%$  izdvojenog supernatanta i

data ista zapremina svežeg osnovnog rastvora. Nakon dodatka svežeg rastvora ponovljena je identična procedura kao i kod sorpcionog eksperimenta (mešanje 7 dana, centrifugiranje i uzimanje uzoraka za analizu).

### 2.3 Analiza trihlorbenzena

Analiza ispitivanih trihlorbenzena podrazumevala je primenu tečno-tečne ekstrakcije heksanom na sledeći način: određena zapremina supernatanta ekstrahovana je sa 1 ml heksana, a zatim je heksanski ekstrakt prenet u vijal i analiziran primenom gasne hromatografije sa detektorom sa zahvatom elektrona (Agilent Technologies 6890 sa 63Ni  $\mu$ ECD).

### 2.4 Obrada podataka

Sorpciono-desorpciona histereza je kvantifikovana za svaki par sorpcione i desorpcione izoterme koristeći indeks histereze ( $HI$ ) koji predstavlja odnos koncentracija sorbata u čvrstoj fazi za jedan određeni ciklus sorpcije i desorpcije, i može se izračunati prema sledećoj formuli [3]:

$$HI = \frac{q_e^D - q_e^S}{q_e^S} \Bigg|_{T, C_e} \quad (1)$$

gde su:

$q_e^S$  – koncentracija sorbata na sorbentu izračunata iz eksperimentalnih podataka za sorpciju ( $\mu$ g/g),  
 $q_e^D$  – koncentracija sorbata na sorbentu izračunata iz eksperimentalnih podataka za desorpciju ( $\mu$ g/g),  
 $T$  i  $C_e$  – parametri koji se odnose na uslove konstantne temperature i ravnotežne koncentracije sorbata u rastvoru. Pozitivna vrednost  $HI$  ukazuje na to da histereza postoji, a što je vrednost  $HI$  viša, histereza je izraženija.

## 3. REZULTATI I DISKUSIJA

### 3.1 Karakterizacija sedimenta Dunav i fizičko-hemijske osobine trihlorbenzena

Sadržaj OC i OM u sedimentu Dunava iznosili su 1,21 i 5,61%, redom. Granulometrijskom analizom utvrđeno je da se sediment Dunava sastoji uglavnom od peska (<180  $\mu$ m: 76,1%; 180-63  $\mu$ m: 20,1%). Sadržaj praha i gline iznosili su 8,17% (2-63  $\mu$ m) i 0,78% (<2  $\mu$ m), redom. Na osnovu dobijenih rezultata karakterizacije može se zaključiti da je u pitanju peščani materijal akvifera sa malim sadržajem organskog ugljenika.

Osnovne karakteristike odabranih trihlorbenzena date su u tabeli 1. Na osnovu vrednosti za koeficijent raspodele oktanol-voda ( $\log K_{ow}$ ) može zaključiti da su u pitanju relativno hidrofobna organska jedinjenja ( $\log K_{ow} = 4,06$ ). Polarizabilnost ispitivanih molekula ( $S_i$ ) bila je u opsegu od 0,81-0,86, dok je zapremina molekula bila u opsegu od 1,45-1,45 g/cm<sup>3</sup>.

Jedinjenje	MW (g/mol) <sup>a</sup>	$\log K_{ow}$ <sup>a</sup>	$S_i$ <sup>a</sup>	$S_w$ <sup>a</sup> (mg/l)	$V_i$ <sup>a</sup>
1,2,3-TCB	181,45	4,06	0,86	30,85	1,08
1,2,4-TCB	181,45	4,06	0,81	37,80	1,08

*MW*: molekulska težina (g/mol); *K<sub>ow</sub>*: koeficijent raspodele oktanol/voda; *S<sub>i</sub>*: polarizabilnost molekula; *S<sub>w</sub>*: rastvorljivost u vodi (mg/l); *McGowan-ova zapremina u jedinicama* (cm<sup>3</sup>/mol)/100

<sup>a</sup>Niederer i sar. 2007 [4].

Tabela 1. Osnovne karakteristike ispitivanih trihlorbenzena

### 3.2 Sorpciono-desorpciona histereza

U tabeli 2 prikazane su vrednosti  $HI$  za svaki par sorpcione i desorpcione izoterme primenom izraza (1) za tri ravnotežne koncentracije,  $C_e$ , sorbata ( $C_e=1\%$ ,  $5\%$  i  $50\%$  rastvorljivosti u vodi odnosno  $0,01$ ;  $0,05$  i  $0,5 S_w$ ). Iz rezultata datih u tabeli 2 može se uočiti da sorpciono-desorpciona histereza postoji, manje ili više izražena, za oba ispitivana trihlorbenzena na sedimentu Dunava.

Jedinjenje	$HI$		
	$C_e(mg/l) S_w$		
	$0,01S_w$	$0,05S_w$	$0,5S_w$
1,2,3-trihlorobenzen	1,75	1,77	1,81
1,2,4-trihlorobenzen	4,85	5,73	7,21

Tabela 2. Indeksi histereze za ispitivane trihlorbenzene na sedimentu Dunava

Dobijene  $HI$  vrednosti, za oba ispitivana trihlorbenzena, bile su u opsegu od 1,75-7,21. Za oba molekula trihlorbenzena indeksi histereze pokazuju rastući trend sa porastom ravnotežnih koncentracija. Stoga se uočena histereza kod oba molekula trihlorbenzena može objasniti na sledeći način: pri nižim koncentracijama trihlorbenzena, sorpcija može biti rezultat hidrofobnih interakcija sa organskom materijom sedimenta. Međutim, sa porastom koncentracije sorbata, povećani koncentracijski gradijent prouzrokuje da molekuli trihlorbenzena prodiru dublje u pore sedimenta i organske materije izazivajući stvaranje pora u



kojima ostaju zarobljeni, što izaziva izraženiju histerezu. S obzirom da se sediment sastoji od pora prosečnog prečnika oko 114 Å, zapremina pora se može izračunati i ona iznosi  $6,20 \cdot 10^6 \text{ Å}^3$ . Zapremine jednog molekula 1,2,3-trihlorbenzena i 1,2,4-trihlorbenzena su 200 i 187 Å<sup>3</sup>, redom, što znači da ireverzibilno zarobljavanje može biti uzrok uočene sorpciono-desorpcione histereze.

#### 4. ZAKLJUČAK

Dobijeni rezultati desorpcije i izračunati indeksi histereze su pokazali da je ona izraženija u slučaju 1,2,4-trihlorbenzena za sve koncentracione nivoe, što ukazuje na slabiju desorpciju ovog jedinjenja u odnosu na 1,2,3-trihlorbenzen. Međutim, za donošenje konačnih zaključaka dalja istraživanja treba usmeriti na detaljniju karakterizaciju organske materije sedimenta.

#### 5. REFERENCE

- [1] Pan, B., Lin, D.H., Mashayekhi, H., Xing, B. (2008) Adsorption and hysteresis of bisphenol A and 17  $\alpha$ -ethinyl estradiol on carbon nanomaterials. *Environ. Sci. Technol.* 42, 5480–548.
- [2] EN ISO 13317-2:2001: Determination of particle size distribution by gravitational liquid sedimentation methods (2001).
- [3] Huang, W., Yu, H., Weber Jr., W.J. (1998) Hysteresis in the sorption and desorption of hydrophobic organic contaminants by soils and sediments. A comparative analysis of experimental protocols. *J. Con. Hyd.* 31, 129-148.
- [4] Niederer, C., Schwarzenbach, R.P., Goss, K.U. (2007) Elucidating differences in the sorption properties of 10 humic and fulvic acids for polar and nonpolar organic chemicals. *Environ Sci Technol.* 41, 6711–6717.

**Autori:** Doc. dr Marijana Kragulj Isakovski<sup>1</sup>, Vanr. prof. dr Jelena Tričković<sup>1</sup>, Vanr. prof. dr Miljana Prica<sup>2</sup>, Doc. dr Jelena Molnar Jazić<sup>1</sup>, Vanr. prof. dr Snežana Maletić<sup>1</sup>, dr Milica Velimirović<sup>3</sup>, M., Prof. dr Božo Dalmacija<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, Trg Dositeja Obradovića 3, 21000 Novi Sad, Republika Srbija

<sup>2</sup>Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za grafičko inženjerstvo i dizajn, 21000 Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6, Republika Srbija

<sup>3</sup>University of Vienna, Department of Environmental Geosciences, Althanstrasse 14 UZAI, 1090 Vienna, Austria

**Zahvalnica:** Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (Projekti III43005 i TR37004) i Pokrajinskom sekretarijatu za nauku i tehnološki razvoj AP Vojvodine u okviru realizacije projekta COST ES 1205.



**Novaković, M., Mihajlović, I., Đogo, M., Bežanović, V., Vojinović Miloradov, M.**

**SEPARACIJA ANTIIFLAMATORNOG LEKA – NAPROKSENA IZ VODENOG  
RASTVORA PRIMENOM AKTIVNOG UGLJA**

**Rezime:** *Svakodnevnom upotrebom u zdrastvene svrhe, naproksen, nesteroidni antiinflamatorni analgetik (C<sub>14</sub>H<sub>14</sub>O<sub>3</sub>), jedan je od najfrekventijih detektovanih emergentnih mikropolutanta u komunalnim otpadnim i površinskim vodama. Adsorpcija sa aktivnim ugljem (praškastim i granulisanim) pokazala se kao efikasna tehnika u terciarnom tretmanu organskih polutanata iz akvatičnog sistema. Cilj rada je utvrđivanje efikasnosti uklanjanja naproksena korišćenjem komercijalnog aktivnog uglja tipa Norit SA2. U radu su obrađeni teorijski kinetički modeli pseudo prvog reda, pseudo drugog reda, Elovičev model i model međučestične difuzije. Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da separaciju naproksena iz vodenih rastvora najbolje opisuje model pseudo drugog reda ukazujući na favorizaciju procesa hemisorpcije.*

**Ključne reči:** *otpadna voda, farmaceutici, adsorpcija, naproksen*

## **1. UVOD**

Aktivne komponente lekova predstavljaju složene hemijske supstance koje poseduju različite fizičko-hemijske i biološke osobine. Na osnovu njihove namene i biološke aktivnosti, farmaceutici se dele na antibiotike, analgetike, antipiretike, antiinflamatorne lekove i druge. Strukturna promena lekova se dešava u samom organizmu čoveka pri čemu nastaju metaboliti. Lekovi se ne metabolisu u potpunosti, zbog toga kontinualnim izlučivanjem dospevaju u akvatične medijume gde podležu različitim hemijskim reakcijama koje vode do potpune ili delimične degradacije prvobitnog jedinjenja. Nastali produkti mogu biti stabilniji od polaznih supstanci. Sorpcija farmaceutika zavisi od fizičko-hemijskih karakteristika aktivnih supstanci, ali i od prisustva jonskih vrsta. S obzirom na to da se pojavljuju u vodenoj sredini u mikrogramskim (µg/l) i nanogramskim (ng/l) koncentracijama, farmaceutici se definišu kao emergentni mikropolutanti. Iako je vreme poluzivota većine farmaceutika u vodenoj sredini kratko, njihova konstantna upotreba i kontinualni unos u životnu sredinu, definišu ih kao pseudoperzistentne supstance [1].

Najznačajniji izvor farmaceutskih rezidua u vodenim medijumima su kanalizacioni sistemi i postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda. Prilikom tretmana otpadnih voda, dva najznačajnija procesa transformacije farmaceutika predstavljaju adsorpcija na čvrstoj fazi (najčešće na mulju) i biodegradacija. Farmaceutici iz grupe nesteroidnih antiinflamatornih lekova gde se

ubrajaju ibuprofen, acetilsalicilna kiselina, naproksen, diklofenak imaju vrednosti konstante disocijacije, pKa, između 4,9 i 4,1 te se u vodi nalaze u obliku jona u neutralnoj sredini. Antiinflamatorni lekovi su pokazali slabu tendenciju sorpcije na aktivnom mulju [2,5].

Naproksen (C<sub>14</sub>H<sub>14</sub>O<sub>3</sub>), derivat propionske kiseline, jedan je od najčešće nesteroidnih antiinflamatornih lekova koji se koristi za ublažavanje reumatskih bolova i zapaljenja. Naproksen je detektovan u površinskim i komunalnim otpadnim vodama u opsegu 0,01–0,1 µg/l i 0,1–2,6 µg/l, respektivno, što implicira da konvecionalni tretmani otpadnih voda nisu dovoljno efikasni za njegovu eliminaciju [1,3].

Adsorpcija predstavlja složeni fizičko-hemijski proces koji se odvija na čvrstoj fazi okarakterisanoj energetskim aktivnim mestima. U zavisnosti od prirode sila koje učestvuju, razlikuje se hemijska i fizička adsorpcija. Hemisorpcija je okarakterisana vezivanjem molekula na površini hemijskim, kovalentnim vezama, dok je fizesorpcija definisana Van der Valsovim silama.

Adsorpcija je površinska pojava, tako da je površina adsorbenta jedna od ključnih parametara. Inženjerski adsorbenti su visoko porozni materijali sa površinom između 10<sup>2</sup> do 10<sup>3</sup> m<sup>2</sup>/g. Najčešće primenjivan komercijalni adsorbent je aktivni ugalj. Epitet efikasnog adsorbenta duguje svojoj visokoj vrednosti specifične površine, raspodeli pora, kao i sposobnosti da neselektivno i u značajnoj meri adsorbuje mnogobrojne štetne sastojke iz zagađene vode [4].

Cilj rada je utvrđivanje efikasnosti uklanjanja naproksena iz vodenog rastvora korišćenjem

komercijalnog aktivnog uglja tipa Norit SA2. Mehanizam procesa uklanjanja selektovanog farmaceutika ispiti van je teorijskim modelima adsorpcije.

## 2. KINETIČKI MODELI ADSORPCIJE

Kako bi se razumeo mehanizam adsorpcije, neophodno je odrediti brzinu odvijanja procesa, a ona se najbolje opisuje kinetičkim modelima adsorpcije [4]. Četiri modela se najčešće analiziraju:

- Model pseudo-prvog reda;
- Model pseudo-drugog reda;
- Model međučestične difuzije i
- Elovičev model.

Model pseudo prvog reda, takođe poznat kao Lagrenova jednačina se izražava u lineranom obliku kao:

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \left(\frac{k_1}{2,303}\right)t \quad (1)$$

gde  $q_e$  i  $q_t$  predstavljaju ravnotežno adsorbovanu količinu adsorbata, odnosno količinu adsorbata, u mg/g, adsorbovanu u vremenu  $t$  u min. Veličina  $k_1$  (g/ mg·min) je konstanta brzine adsorpcije pseudo-prvog reda, a  $t$  (min) je vreme kontaktiranja rastvora i adsorbensa.

Matematički izraz pseudo drugog reda je:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 \cdot q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (2)$$

gde veličina  $k_2$  (g/mg·min) je ravnotežna konstanta brzine adsorpcije pseudo-drugog reda.

Uticaj intračestične difuzije je zasnovan na Fikovom drugom zakonu:

$$q_t = k_{id} \cdot t^{1/2} + C_i \quad (3)$$

gde je  $q_t$ (mg/g) količina adsorbata adsorbovana u vremenu  $t$ ,  $k_{id}$ (mg/g·min<sup>1/2</sup>) konstanta brzine intračestične difuzije,  $C_i$  konstanta koja pruža uvid u debljinu graničnog sloja.

Elovičev model se izražava preko jednačine:

$$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha\beta) + \frac{1}{\beta} \ln t \quad (4)$$

pri čemu je  $\alpha$  (mg/g ·min) početna sorpciona brzina, a parametar  $\beta$  (g/mg) izražava opseg pokrivenosti površine i aktivacione energije hemisorpcije.

Kinetička studija je važan faktor u procesu adsorpcije kojom se utvrđuje potrebno kontaktno vreme kako bi se postigla ravnotežna koncentracija analiziranog polutanta ( $C_e$ ). Efikasnost uklanjanja polutanta se izražava pomoću sledeće jednačine:

$$R (\%) = \frac{c_0 - c_t}{c_0} \cdot 100$$

gde  $C_0$  (mg/l) predstavlja početnu koncentraciju, a  $c_t$  (mg/l) koncentraciju polutanta nakon određenog vremena.

## 3. METODOLOGIJA

### 3.1 Priprema standardnog rastvora naproksena

Standardni rastvor naproksena (NAP) pripremljen je rastvaranjem 5 mg standarda u 25 ml acetonitrila. Kao tečni medijum korišćena je destilovana voda.

### 3.2 Eksperiment adsorpcije

Eksperiment je izveden u šaržnom sistemu. Za kinetičku obradu podataka, korišćena je početna koncentracija od 5 mg/L.

Kao adsorbent korišćen je aktivan ugalj, tipa Norit SA2. Optimalna doza aktivnog uglja iznosila je 10 mg. Prema sprovedenim eksperimentima, najveća efikasnost uklanjanja naproksena je na nižim pH vrednostima, tako da su dalja istraživanja sprovedena na pH=5. Za podešavanje pH vrednosti, korišćen je razblaženi rastvor hlorovodonične kiseline (0,1% HCl).

Nakon podešavanja pH vrednosti, uzorak je postavljen na mehaničku mešalicu (šejker). Elikvoti od 5 ml uzimani su u intervalima od 5, 10, 20, 30, 40, 50 i 60 minuta. Svaki od uzoraka je profiltriran kroz kvantitativni filter papir kako bi se izdvojio preostali aktivni ugalj.

### 3.3. Analitička procedura detekcije naproksena

Identifikacija naproksena je sprovedena na uređaju za tečnu hromatografiju pod visokim pritiskom (HPLC), Agilent 1260 sa diodnim detektorom.

Kao mobilna faza korišćena je smeša 0,1% sirćetne kiseline i acetonitrila (50:50). Razdvajanje naproksena je sprovedeno u izokratskom režimu na reverznoj stacionarnoj fazi tipa Exlipse C18. Protok mobilne faze je 0,8 ml

min<sup>-1</sup>, dok je temperatura kolone iznosila 25 °C. Retenciono vreme je iznosilo 5,4 min.

Iako se naproksen u otpadnim vodama javlja u niskim dozama, radi detaljnog proučavanja procesa adsorpcije naproksena na površini aktivnog uglja, korišćene su veće koncentracije u opsegu 1 – 10 mg/l. Naproksen je detektovan na talasnoj dužini od 230 nm.

Standardni rastvori naproksena različitih koncentracija korišćeni su za dobijanje kalibracione krive. Koncentracije nakon adsorpcije su preračunate pomoću kalibracione krive sa koeficijentom korelacije  $r^2=0,9998$ .

#### 4. REZULTATI I DISKUSIJA

Eksperiment je sproveden sa ciljem da se utvrdi potrebno ravnotežno vreme raspodele ciljane zagađujuće materije između čvrste i tečne faze. Pre utvrđenog kontaktnog vremena, analiziran je i uticaj pH i mase adsorbenta. Prethodnim istraživanjima su utvrđene optimalne vrednosti za pH (pH=5) i masu aktivnog uglja (10 mg).

Nakon utvrđivanja kontaktnog vremena, može se zaključiti da je vreme mešanja od 30 minuta dovoljno da se uspostavi ravnoteža. U tabeli 1. prikazana je promena koncentracije rastvora naproksena u zavisnosti od vremena. Na osnovu dobijenih podataka, može se ustanoviti da sa porastom vremena mešanja, značajno opada početna koncentracija od 5 mg/l. Efikasnost separacije naproksena na aktivnom uglju je veoma visoka i dostiže i do 98 %.

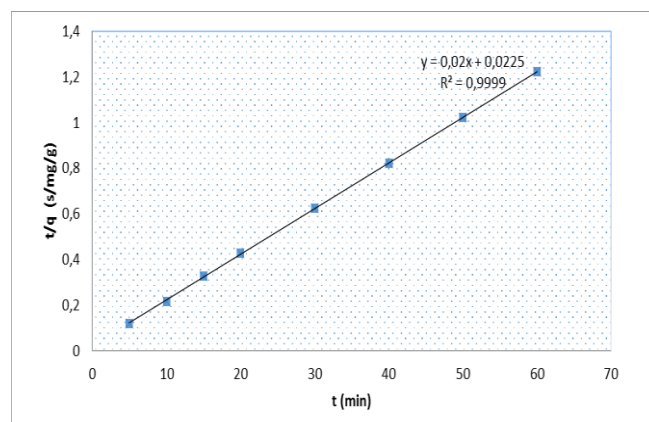
Vreme (min)	Koncentracija nakon adsorpcije (mg/L)	Količina adsorbata (mg/g)	Procenat uklanjanja (%)
5	0,84	41,5	83,2
10	0,41	45,9	91,9
15	0,39	46,1	92,2
20	0,38	46,7	93,4
30	0,19	48,1	96,1
40	0,14	48,6	97,3
50	0,11	48,9	97,9
60	0,09	49,1	98,2

Tabela 1. Rezultati adsorpcije naproksena na komercijalnom aktivnom uglju Norit SA2

Teorijski kinetički modeli pseudo prvog reda, pseudo drugog reda, Elovičev model i model međučestične difuzije korišćeni su za obradu rezultata procesa adsorpcije naproksena na aktivnom uglju Norit SA2. Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da separaciju naproksena iz vodenih rastvora najbolje opisuje

model pseudo drugog reda ukazujući na favorizaciju procesa hemisorpcije.

Na slici 1. prikazan je grafik modela pseudo drugog reda. Postignut je visok koeficijent korelacije koji iznosi  $R^2=0,9999$ .



Sl. 1. Model pseudo-drugog reda adsorpcije naproksena

#### 5. ZAKLJUČAK

U okviru ovog rada ispitivana je separacija antiinflamatornog leka-naproksena na aktivnom uglju Norit SA2. Četiri kinetička modela su primenjena u cilju ispitivanja mehanizma adsorpcije naproksena iz vodenih rastvora. Prema dobijenim podacima, model pseudo drugog reda najbolje opisuje adsorpciju naproksena ukazujući na fenomen hemisorpcije.

Prema procentualnom uklanjanju naproksena, koje je iznad 95%, može se zaključiti da je Norit SA2 zadovoljavajući inženjerski adsorbent za uklanjanje farmaceutskih rezidua antiinflamatornih lekova iz akvatičnih medijumima.

Advekatnim projektovanjem postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, adsorpcija kao tericijarna faza prečišćavanja, može predstavljati obećavajući tretman izdvajanja emergentnih mikropolutanta iz komunalnih otpadnih voda.

#### 6. REFERENCE

- [1] Ziylan A., Incee N.H: *The occurrence and fate of anti-inflammatory and analgesic pharmaceuticals in sewage and fresh water: Treatability by conventional and non-conventional processes*, Journal of Hazardous Materials, 187, p.p. 24 – 36, 2011.
- [2] Domínguez J.R., González T., Palo P., Cuerda-Correa E.M. *Removal of common pharmaceuticals present in surface waters by Amberlite XAD-7 acrylic-ester-resin: Influence of pH and presence of other drugs*. Desalination, 269(1-3), p.p. 231-238, 2013.



- [3] Vargas J. R. D., Gonzalez T., Palo P., Cuerda-Correa E. M., (2012) Removal of Carbamazepine, Naproxen, and Trimethoprim from Water by Amberlite XAD-7: A Kinetic Study. *Clean Soil Air Water*, DOI: 10.1002/clen.201200245.
- [4] Worch E. *Adsorption technology in water treatment*, Walter de Gruyter GmbH & Co. KG, Berlin/Boston, 2012.
- [5] Verlicchi P., Al Aukidy M., Zambello E., (2012) Occurrence of pharmaceutical compounds in urban wastewater: Removal, mass load and environmental risk after a secondary treatment—A review. *Science of the Total Environment*, 429, 123–155.
- Autori:** **M.Sc. Mladenka Novaković, doc.dr. Ivana Mihajlović, M.Sc. Maja Đogo, M.Sc. Veselin Bežanović, Prof.Dr. Mirjana Vojinović Miloradov**, Departman za inženjerstvo zaštite životne sredine i zaštite na radu, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel: +381 21 485 2458, Fax: +381 21 6350 696.
- E-mail: [mladenkanovakovic@uns.ac.rs](mailto:mladenkanovakovic@uns.ac.rs)  
[ivanamihajlovic@uns.ac.rs](mailto:ivanamihajlovic@uns.ac.rs)  
[majadjogo@uns.ac.rs](mailto:majadjogo@uns.ac.rs)  
[veselinbezanovic@uns.ac.rs](mailto:veselinbezanovic@uns.ac.rs)  
[miloradov@uns.ac.rs](mailto:miloradov@uns.ac.rs)

**NAUČNA KONFERENCIJA SA MEĐUNARODNIM  
UČEŠĆEM  
NOVI SAD, SRBIJA, 23-25 JUN, 2016**

**Obrovski, B., Mihajlović, I., Bajić, J., Vojinović Miloradov, M, Batinić, B., Živanov, M**

**ODREĐIVANJE KLJUČNIH FIZIČKO-HEMIJSKIH PARAMETARA „LOW-COST“  
UREĐAJEM NA BAZI OPTIČKIH VLAKANA**

***Rezime:** Nove tehnologije na bazi senzora sa optičkim vlaknom predstavljaju inovativnu tehniku za sprovođenje optimalnog monitoring programa za praćenje kvaliteta odabranog vodnog tela. Usled ograničavajućih faktora koje poseduju standardne laboratorijske metode došlo je do naglog razvoja senzora koji omogućavaju brzo merenje ispitivanih fizičko-hemijskih parametara u akvatičnom medijumu životne sredine. U radu je prikazan razvoj i kalibracija senzora sa optičkim vlaknima koji na osnovu HSV (nijansa (H), zasićenje (S), vrednost (V)) modela boja određuje koncentracije ključnih parametara u površinskoj vodi. Na osnovu dobijenih rezultata potvrđena je mogućnost upotrebe uređaja kao „low-cost“ rešenja u laboratorijski kontrolisanim uslovima kao zamena za skupu standardnu laboratorijsku opremu.*

***Ključne reči:** senzor, optička vlakna, površinske vode*

## **1. UVOD**

Praćenje kvaliteta površinskih voda u koje se direktno ispuštaju otpadne vode je izuztno značajan sa aspekta zaštite životne sredine. Ispitivanja u oblasti monitoringa vodnih tela su usmerene na razvoju novih i inovativnih metoda koje bi obezbedile kontinualne, pouzdane i pravovremene podatke o trenutnom stanju ispitivanog akvatičnog sistema. Senzori sa optičkim vlaknima (SOV) predstavljaju novu, ekonomski isplativu i pouzdanu tehniku za praćenje kvaliteta površinskih voda. Standardne laboratorijske metode su opšte prihvaćene metode za dobijanje podataka o stanju vodnog tela. Međutim, one poseduju određene ograničavajuće faktore koji se odnose na nemogućnost dobijanja trenutnih i realnih podataka o stanju posmatranog vodnog tela, upotreba skupih hemikalija i složenih hemijskih analize kao i mogućnost pojave greške pri određivanju u procesu uzorkovanja, transporta, ekstrakciji i skladištenja uzorka.

Senzori sa optičkim vlaknima (SOV) poseduju određene prednosti u odnosu na standardne laboratorijske metode zbog čega se sve više upotrebljavaju za monitoring vodnih tela. Prednosti SOV su: male dimenzije uređaja, jednostavna upotreba, otpornost na elektromagnetne uticaje i koroziju, mogućnost upotrebe u hemijski opasnim sredinama, bez opasnosti po ljude zbog odsustvo električne energije na mestu uzorkovanja, mogućnost povezivanja više senzora u mrežu čime bi se proširila lokalitet izučavanja [1,2,3]. Navedene karakteristike omogućavaju SOV da se upotrebljava kao terenski uređaj. SOV obezbeđuje pravovremene i pouzdane podatke što je veoma

važno ukoliko dođe do kontaminacije vodnog tela jer je pravovremena i brza reakcija izuzetno važna da bi se sprečilo dalje zagađenje i otklonio uzrok kontaminacije. Prednosti koje poseduju SOV omogućavaju upotrebu i primenu u različitim oblastima (medicini, industriji, saobraćaju, itd.). U zaštiti životne sredine mogu da se upotrebljavaju za monitoring pijaće vode, podzemne i površinske vode, otpadne vode, procedne vode sa deponija i ispitivanje kiselih kiša [4].

U prošlosti, razvoj SOV je bio ograničen zbog cene komponenata za izradu uređaja i ne mogućnosti da svojim performansama pariraju konvencionalnim metodama. Zbog toga su se upotrebljavali isključivo u oblastima gde ne postoje odgovarajuće tehnike i uređaji za merenje parametara u akvatičnom medijumu [5,6]. Prilagođavanje uređaja za širu upotrebu na terenu je izuzetno teško zbog troškova izvođenja analiza u realnoj sredini i potreban je dug vremenski period da se sprovedu istraživanja. Zbog svega navedenog, većina razvijenih SOV je upotrebljavana isključivo u laboratorijski kontrolisanim uslovima, dok je razvoj terenskog uređaja izostao.

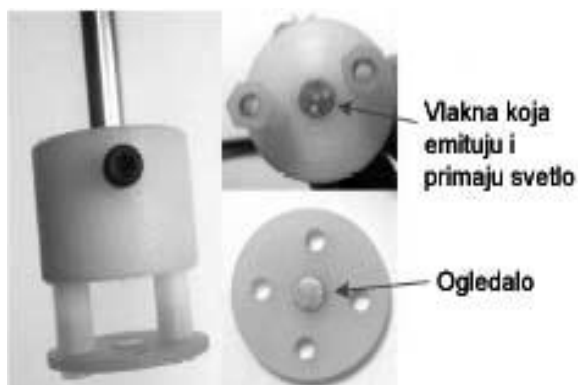
U radu je prikazano trenutno stanje u oblasti SOV kao i razvoj i kalibracija senzor sa optičkim vlaknima koji pretvara RGB (red-green- blue) model boja u HSV model boja i određuje koncentracije fizičko-hemijskih parametara na osnovu boje uzorka. Ispitivani parametri u površinskoj vodi su: ortofosfati, nitriti, ukupni hlor i hrom (VI). Paralelno sa površinskom vodom, ispitivana je procedna otpadna voda sa deponije. Koncentracije definisanih parametara su određene na UV- vis spektrofotometru i sa SOV i urađena je komparacija dobijenih rezultata, da bi

se dokazala efikasnost uređaja kao i mogućnost upotrebe SOV kao „low-cost“ laboratorijski uređaj koji može da zameni skupe komercijalne laboratorijske uređaje.

## 2. METODOLOGIJA

Uzorci površinske vode iz reke Dunav u blizini Novom Sadu su prikupljeni za laboratorijsku analizu. Uzorci vode su smešteni u plastične boce od 1 L i transportovani u laboratoriju u ručnom frižideru na 4 °C. Uzorci procedne otpadne vode sa deponije u Zrenjaninu su prikupljene i transportovane na identičan način. Analize su sprovedene u akreditovanoj Laboratoriji za monitoring deponija, otpadnih voda i vazduha na Departmanu za inženjerstvo zaštite životne sredine i zaštite na radu, Univerziteta u Novom Sadu.

Analize fizičko-hemijskih parametara ortofosfata i nitrita urađene su primenom EPA metoda (EPA 365.3 za ortofosfate i EPA 354.1 za nitrite), dok su hrom (VI) i ukupni hlor urađeni HACH metodama (HACH 8023 za hrom (VI), i HACH 8167 za ukupan hlor). Koncentracije svih parametara su merene na UV-VIS spektrofotometru (DR 5000, HACH, Nemačka).



Sl. 1. Senzor primenjen za ispitivanje kvaliteta površinske vode reke Dunava

Primenjeni SOV meri koncentracije definisanih parametara na osnovu boje u ispitivanom uzorku površinske vode. Princip rada SOV se zasniva na apsorpciji svetla. Kada svetlo prođe kroz rastvor, određene talasne dužine će se propustiti dok će se druge apsorbovati. SOV detektuje boju uzorka i konvertuje RGB model boja u HSV model boja. Upotrebljeni senzor određuje V i S vrednost i proračunava koncentraciju parametara od interesa. Senzor se sastoji od tri plastična optička vlakna (POV) koja emituju crvenu, zelenu i plavu komponentu smeštenu oko centralnog optičkog vlakna koje prikuplja reflektovanu svetlost ogledala (Slika 1). Diode koje emituju crveno, zeleno i plavo svetlo su podešene na različite frekvencije. Na ovaj način detekcija reflektovanog

signala je dostižna sa samo jednim fotodetektorom i tri pojasna filtera.

## 3. REZULTATI

Krajem prošlog veka je došlo do ekspanzije razvoja SOV koji se upotrebljavaju za merenje organskih i neorganskih parametara u različitim medijumima životne sredine. Prepoznate su prednosti koje pružaju SOV, zbog čega je u ovom trenutku veliki broj istraživanja usmeren na razvoj senzora koji funkcionišu na drugačijim principima. Veliki broj novih uređaja je razvijen i kalibrisan za monitoring različitih akvatičnih sistema. Multiparametarski uređaji su konstruisani za upotrebu u laboratorijski kontrolisanim uslovima jer njihovo prilagođavanje za upotrebu na terenu je veoma složeno i zahteva visoka ulaganja. Razvijeni su SOV koji predstavljaju multiparametarske uređaje za merenje temperaturu, pH i jone kalijuma u pijaćoj vodi [7], cijanida, fosfata, sulfata, nitrita, nitrata u vodenim uzorcima [4], merenje katjona metala  $Mn^{n+}_{(aq)}$ :  $Co^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$  i  $Hg^{2+}$  u različitim vodnim telima [8]. Takođe su razvijeni i uređaji za merenje nitrata i amonijaka u vodenom rastvoru [9], kao i prototip terenskog uređaja za merenje organskih polutanata u podzemnoj vodi [10]. Međutim veliki broj uređaja je razvijen i dizajniran za merenje jednog parametra u različitim akvatičnim medijumima. SOV su konstruisani za merenje niskih koncentracija nitrata [11], natrijuma [12], pH [13], bakar [14], kalijuma [15] u vodnim medijuma.

Senzor boje sa optičkim vlaknima je primenjen za merenje koncentracije odabranih parametara u površinskoj vodi reke Dunava i procednoj vodi sa deponije u Zrenjaninu. Kalibracija senzora je sprovedena sa četiri standardna rastvora sa različitim koncentracijama za svaki parametar. Standardni rastvor sa najnižom koncentracijom za ortofosfate je bio svetlo plave boje, kod nitrita i hroma (VI) svetlo ružičaste boje, a kod ukupnog hlora svetlo ljubičaste boje. Sa povećanjem koncentracije standardnog rastvora se povećava intenzitet boje za sve parametre.

Koncentracije posmatranih parametara su određivane na osnovu S i V vrednosti. Ortofosfati su jedini parametar koji je određen na osnovu S i V, dok su koncentracije nitrita, šestovalentnog hroma i ukupnog hlora određeni na osnovu S vrednosti. V vrednost za navedena tri parametra je konstantna zbog čega njihova koncentracija u površinskoj i procednoj vodi nije mogla da se odredi.

Parametar	UV-vis	SOV	Posmatrana vrednost
Nitriti	0,23	0,24	S
Šestovalentni hrom	0,076	0,074	S
Ukupan hlor	0,48	0,51	S
Ortofosfati	0,63	0,66	S
Ortofosfati	0,63	0,61	V
Nitriti	0,062	0,06	S
Šestovalentni hrom	0,124	0,129	S
Ukupni hlor	0,165	0,171	S
Ortofosfati	0,788	0,81	S
Ortofosfati	0,788	0,762	V

Tabela 1. Komparacije rezultata dobijenih sa UV-vis spektrofotometrom i primenjenim SOV za površinsku vodu reke Dunava (prvo i drugo merenje).

Za površinsku vodu su određena dva merenja, prvo da bi se dokazala efikasnost uređaja (Tabela 1) i drugo da bi se dokazala primenljivost uređaja, ponovljivost rezultata i mogućnost primene SOV u monitoringu kvaliteta površinskih voda (Tabela 1).

Odstupanje rezultata dobijenih sa senzorom su manja od 10 %, što je prihvatljivo a dokazana je efikasnost i ponovljivost uređaja kao i mogućnost upotrebe u laboratoriji kao zamena za standardnu skupu opremu.

Uparedo sa površinskom vodom posmatrana je i procedna voda sa deponije. Rezultati dobijeni sa primenjenim SOV imaju odstupanja veća od 10 %, nakon čega je utvrđeno da SOV u ovom trenutku ne može da se upotrebljava za procedne vode kao i druge otpadne vode. Glavni razlog ne mogućnosti upotrebe SOV je visoka zamućenost i obojenost uzorka, kao i pojava interreakcija između kontaminiranog uzorka i reagensa.

#### 4. ZAKLJUČAK

Dalja istraživanja će biti usmerena na poboljšanje performansa SOV. Bolji izbor kvalitetnijih LED dioda bi omogućio veću pouzdanost, tačnost i ponovljivost podataka. Takođe, pokušaće da se poveća osetljivost primenjenog senzora čime bi se omogućila merenja niskih koncentracija u površinskim vodama. Glavne prednosti primenjenog senzora su izuzetno niska cena komponenti za izradu uređaja i mogućnost praćenja pet parametara sa SOV. Daljim razvojem senzora povećaće se opseg ispitivanih fizičko-hemijskih parametara i omogućiti upotrebu uređaja za merenje koncentracije hemijskih parametara od interesa u

otpadnim vodama. Da bi se obezbedila upotreba SOV za otpadne vode, potrebno je primeniti način uklanjanja boje i zamućenosti ali bez promene koncentracija određivanih parametara. Krajnji cilj istraživanja je razvoj terenskog uređaja i njegova primena u realnoj sredini za praćenje kvaliteta različitih vodnih tela.

#### 5. LITERATURA

- [1] Klainer, S., Thomas, R., Francis, J.: *Fiber-optic chemical sensors offer a realistic solution to environmental monitoring needs*, Sensors and Actuators, 11, 81-86, 1993.
- [2] Ghong, S.S., Abdul Aziz, A. R., Harun, S.W.: *Fibre Optic Sensors for Selected Wastewater Characteristics*, Sensors, 13, 8640-8668, 2013.
- [3] Ahmad, A.B.H.: *Development of a portable optical fibre chemical sensor measuring instrument*, Department of Instrumentation and Analytical Science, UMIST, Manchester, 1994.
- [4] Klainer, S.M., Thomas J.R., Francis J.C.: *Fiber-optic chemical sensors offer a realistic solution to environmental monitoring needs*, Sensors and Actuators B, 11, 1993, 81-86.
- [5] Kersey, A.D.: *A Review of Recent Developments in Fiber Optic Sensor Technology*, Optical fiber technology, 2, 291-317, 1996.
- [6] Grattan, K.T.V., Sun, T.: *Fiber optic sensor technology: an overview*, Sensors and Actuators, 82, 40-61, 2000.
- [7] Dybko, A., Wroblewski, W., Rozniecka, E., Pozniakb, K., Maciejewski, J., Romaniuk, R., Brzozka, Z.: *Assessment of water quality based on multiparameter fiber optic probe*, Sensors and Actuators B, 51, 1998, 208-213.
- [8] Malcik, N., Oktar, O., Ozser, M.E., Caglar, P., Bushby, L., Vaughan, A., Kuswandi, B., Narayanaswamy, R.: *Immobilised reagents for optical heavy metal ions sensing*, Sensors and Actuators B, 53, 1998, 211-221.
- [9] Kumar, P.S.: *Design and development of fiber optic sensor for trace detection of certain environmental pollutants*, PhD Thesis, Cochin University of Science and Technology, 2003.
- [10] Steiner, H., Jakusch, M., Kraft, M., Karlowatz, M., Mizaikoff, B., Baumann, T., Niessner, R., Konz, W., Brandenburg, A., Michel, K., Boussard-Pledel, C., Bureau, B., Lucas, J., Reichlin, Y., Katzir, A., Fleischmann, N., Staubmann, K., Allabashi, R., Bayona, J.M.: *In Situ Sensing of Volatile Organic Compounds in Groundwater: First*

- Field Tests of a Mid-Infrared Fiber-Optic Sensing System*, Society for Applied Spectroscopy, 57, 2003, 124-130.
- [11] Kumar, P.S., Vallabhan, C.P.G., Nampoore, V.P.N., Pillai, V.N.S., Radhakrishnan, P.: *A fibre optic evanescent wave sensor used for the detection of trace nitrites in water*, Journal of Optics A: Pure and Applied Optics, 4, 2002, 247-250.
- [12] Buchholz, F., Buschmann, N.: *A fibre-optical sensor for the determination of sodium with a reversible response*, Sensors and Actuators B, 9, 1992, 41-47.
- [13] Nguyen, T.H., Venugopalan, T., Sun, T., Grattan, K.T.V.: *Development of intrinsic optical fiber pH sensor for industrial applications*, IEEE Sensor Conference, 2009, 89-94.
- [14] Ojeda, C.B., Rojas, F.S.: *Recent Development in Optical Chemical Sensors Coupling with Flow Injection Analysis*, Sensors, 6, 2006, 1245-1307.
- [15] Narayanaswamy, R.: *Current developments in optical biochemical sensors*, Biosensors and Bioelectronics, 6, 1991, 467-475.

**Autori: M.Sc. Boris Obrovski, Assist. Prof. Dr. Ivana Mihajlović, Prof. Dr. Mirjana Vojinović Miloradov**, Univerzitet Novi Sad, 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 2405, Fax: +381 21 6350 696.

E-mail: [borisobrovski@uns.ac.rs](mailto:borisobrovski@uns.ac.rs)  
[ivanamihajlovic@uns.ac.rs](mailto:ivanamihajlovic@uns.ac.rs)  
[miloradov@uns.ac.rs](mailto:miloradov@uns.ac.rs)

**Dr. Jovan Bajić, M.Sc. Branislav Batinić, Prof. Dr. Miloš Živanov**, Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Departman za energetiku, elektroniku i telekomunikacije, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2555, Fax: +381 21 475 0572

E-mail: [bajic@uns.ac.rs](mailto:bajic@uns.ac.rs)  
[batinicbb@yahoo.com](mailto:batinicbb@yahoo.com)  
[zivanov@uns.ac.rs](mailto:zivanov@uns.ac.rs)

**Napomena:** Istraživanje je finansijski podržano od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, Republike Srbije u okviru projekta br. III43008, „Razvoj metoda, senzora i sistema za monitoring kvaliteta vode, vazduha i zemljišta“.



**NAUČNA KONFERENCIJA SA MEĐUNARODNIM  
UČEŠĆEM  
ETIKUM 2016  
NOVI SAD, SRBIJA, 23-25 JUN, 2016**

Šunjević, M., Vojinović-Miloradov, M., Reba, D., Zeković, M., Konstantinović, D., Obrovski, B.

**MODEL ODRŽIVOG RAZVOJA ZA VOJVODINU**

**Rezime:** U potrazi za novim alternativnim izvorima energije, sve više pažnje se posvećuje inovacijama, očuvanju energije, održivosti i očuvanju okoline (vazduha, vode, bio sfere i zemlje), kao i finansijskoj održivosti. Pošto je Srbija u procesu pridruživanja Evropskoj Uniji, Srbija mora biti spremna na energetske uštede, održivi razvoj, povećanje energije dobijene iz obnovljivih izvora, koji su zahtevani u Evropskoj energetske strategiji 2020, što bi trebalo da dovede do smanjenja zagađenosti okoline. Ovo istraživanje predstavlja model za Vojvodinu, da kroz održivi eko dizajn, energetske uštede i inovativne metode korišćenja obnovljivih izvora energije zahtevani nivo održivosti može biti postignut. Model održivog razvoja može se funkcionalno definisati sledećom relacijom:  $MOR=f \sum (En, Kl, Geo k, Prost k, Ek k, PO...nk)$ .

**Ključne reči:** Održivost, energetska efikasnost, inovativnost

## 1. UVOD

Autonomna pokrajina Vojvodina, locirana je u Panonskoj niziji. Geografski celo područje Vojvodine pripada centralnoj Evropi, sa površinom 21.500 km<sup>2</sup>. Populacija u Vojvodini od 2 miliona je visoko multi-etnička i multi-jezična. Usled svog multi-kulturalnog i multi-etničkog identiteta u Vojvodini se govori šest zvaničnih jezika. Glavni grad je Novi Sad sa brojem stanovnika od oko četvrtine miliona.

AP Vojvodina je članica Skupštine Evropskih Regija, kao prva i jedina regija koja je postala član bez da je njena zemlja članica Evropske Unije ili Evropskog Saveta. Vojvodina je koosnivač regionalnog saveta Evro regiona DKMT (Dunav-Kereš-Mureš-Tisa), sa misijom u regionalnoj saradnji u ekonomskom, kulturnom i ekološkom razvoju.

Novi Sad je važan regionalni centar i lider u mnogim delatnostima. On je regionalni ekonomski centar sa sedištem mnogih međunarodnih banaka, edukativni centar, sa razvijenim školskim sistemom podeljenim u tri nivoa i četvrtim univerzitetskim nivoom. Univerzitet u Novom Sadu se sastoji od četrnaest različitih fakulteta. Turizam je veoma razvijena privredna grana. Ekonomija Vojvodine se bazira na razvijenoj prehrambenoj industriji i plodnom poljoprivrednom zemljištu. Poljoprivreda je prioritetan sector i tradicionalno je uvek bila značajan deo lokalne ekonomije i generator pozitivnih i bogatih rezultata, pre svega zbog obilnog i plodnog zemljišta koje čini 84% teritorije. Industrijske oblasti koje su takođe

razvijene: hemijska industrija, elektro industrija, naftna industrija i građevinska industrija. U poslednoj deceniji, IT sektor je naglo porastao i zauzeo značanu ulogu u ekonomskom razvoju Vojvodine, uz softverski razvoj koji predstavlja značajan izvor finansijskih prihoda.

Vojvodina posvećuje posebnu pažnju interregionalnim ekonomskim saradnjama, kao i implementaciji prioriteta definisanih EU strategijom za Dunavski region. Saobraćajnice u Vojvodini povezuju vojvođanski region sa centralnom, istočnom i južnom Evropom. Tri najveće reke u Vojvodini imaju plovni tok. Dunav je najveći sa svojih 588 kilometara, i njene pritoke Tisa (168km), Sava (206) i Begej (75km). Između rečnih tokova iskopana je duga mreža irigacionih kanala, drenaža i transporta, sa ukupnom dužinom od 939 kilometara od kojih je 673km plovljivo. Kanal Dunav-Tisa-Dunav je kanalni sistem sa svojom jedinstvenim hidro inženjerskim sistemom za kontrolu poplava i za hidrotehnički menadžment, melioracije, šumskim zelenim pojasom, snabdevanje vodom, evakuacija otpadnih voda, plovidbu, turizam, pecanje, lov...[1] Iako je Vojvodina ravnica okružena je blagim padinama Fruške gore. Padine Fruške gore su savršene za gajenje grožđa, zbog čega je cela regija poznata po svojim vinima. Osim vina na Fruškoj gori se nalazi i veliki broj pravoslavnih manastira, zbog čega je poznata još kao Srpska Sveta Gora.

Kao regionalni lider u mnogim oblastima, Vojvodina mora da nađe način kako da koristi svoje energetske potencijale i mora biti spremna da preuzme vodeću ulogu u održivom razvoju.

## 2. TENDENCIJE ODRŽIVE ENERGIJE

Korišćenje održive energije je veoma siromašno u celoj Srbiji (posebno u AP Vojvodini). Obnovljivi izvori energije učestvuju sa svega 13% primarne energetske proizvodnje. Najveći deo je u formi hidro energije proizvedene u hidroelektranama u južnoj i centralnoj Srbiji. Dok se u Vojvodini održiva energija tek pojavljuje u formi energije vetra proizvedene u vetrenjačama.[2]

Prosečno solarna radijacija u Srbiji je oko 40 % veća od evropskog proseka, ali Srbija i dalje koristi ovaj vid energije u proizvodnji mnogo slabije nego zemlje Evropske Unije, što čini njen potencijal skoro u potpunosti ne iskorišćen. Energija vetra je takođe daleko ispod svojih mogućnosti. Srbija je veoma bogata vetrovima, posebno u Vojvodini gde pored vetrova, postoji i dobra infrastruktura. Iako su potencijal i mogućnosti energija vetra prepoznati, još uvek nisu uzeli zamah. Takođe postoje i bogati termalni izvori, koji su posebno cenjeni u svetu.

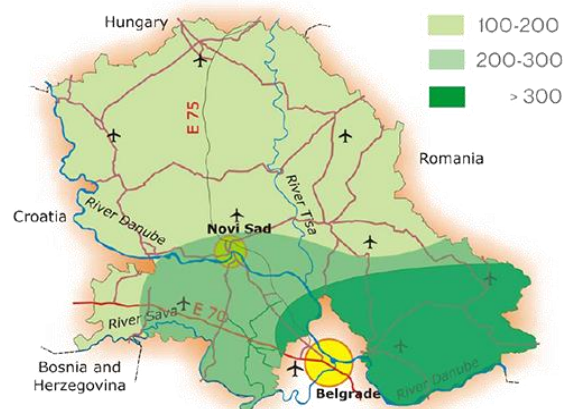
U skladu sa Evropskom energetsom strategijom 2020 i drugih regulative, usvojen je dekret za podršku razvoja proizvodnje energije iz održivih izvora energije.

## 3. ENERGETSKI POTENCIJALI VOJVODINE

Vojvodina je energetski veoma bogata. Osim neobnovljivih energetskih izvora, Vojvodina ima potencijal da postane regionalni lider u korišćenju obnovljivih izvora energije. Sa tri glavna izvora energije: energija vetra, solarna energija i geotermalna energija.

### 3.1 Potencijal vetra

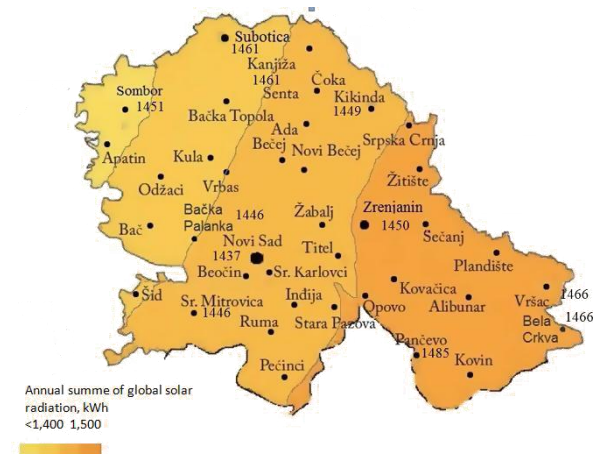
Potencijal energije vetra u AP vojvodini je bio u fokusu brojnih istraživača različitih institucija još od 1984. godine. Rezultati većine projekata su dokazali da je energetski potencijal vetra značajan posebno zbog snage vetra koji je između 100 i 400 W/m<sup>2</sup>. Uprkos tome, uzimajući u obzir i druge bitne aspekte za upotrebu potencijala energije vetra (pristupačnost, električnu mrežu, putne i železničke infrastrukture, itd.), jugo-istočni predeo AP Vojvodine privlači najviše pažnje. To je bila motivacija za dalje istraživačke napore potencijala vetra.



Sl. 1. Prosečna snaga vetra na visini od 100m

Publikovan je „Atlas vetrova AP Vojvodine“, koji je potvrdio prethodne rezultate, ali sa više preciznosti i tačnosti. Studija je izvedena koristeći mnogo preciznije podatke vetra sa osam meteoroloških stanica sa šire teritorije AP Vojvodine, na visinama od 10m, 25m, 50m, 100m i 200m iznad zemlje u periodu od 10 godina. Potencijal vetra je značajan posebno za visinu od 100m i iznad, što odgovara visini stuba moderne turbine vetra snage 1-5 MW.[3] Uprkos tome što postoje dobri uslovi za eksploataciju ove vrste obnovljive energije, potencijal vetra još uvek nije dovoljno iskorišćen.

### 3.2. Solarni potencijal



Sl. 2. Godišnja letnja solarna radijacija

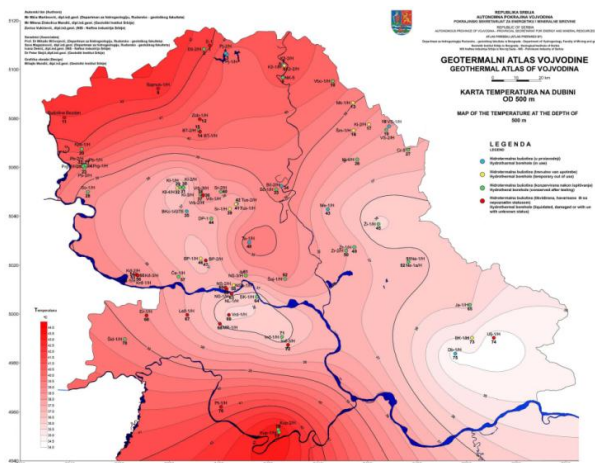
U Vojvodini solarni potencijal je iznad evropskog proseka. Prosečna solarna ozračenost je 40% veća od proseka u Evropskoj uniji, ali upotreba je i dalje veoma u zaostatku za zemljama EU. Vojvodina ima 267 sunčanih dana godišnje, sa prosečnih 1400 kWh/m<sup>2</sup>. Ovaj veliki potencijal čini Vojvodinu idealnom za korišćenje solarne energije, dajući joj još jedan obnovljivi izvor energije na raspolaganje.

Jedna od bitnih pogodnosti vezanih za korišćenje solarne energije je konstantno napredovanje i razvoj industrije vezane za

produkciju panela u samoj Vojvodini. Što dovodi do pristupačnosti i dostupnosti panela građanima.

### 3.3. Geotermalni potencijal

Prvo sistematsko i organizovano istraživanje geotermalne energije u Vojvodini je počelo 1969. i do današnjeg dana izvedena su mnoga istraživanja. Sva istraživanja su dokazala veliki geotermalni potencijal. Na relativno malim dubinama (500 m do 1000m) pojavljuje se geotermalna voda toplote 60-80°C. Zahvaljujući različitim istraživanjima deo potencijala geotermalne energije je iskorišćen. Sve do skoro veliki ne iskorišćeni potencijal geotermalnih voda bio je u zaboravu. Komercijalna upotreba geotermalnih pumpi i njihova pristupačnost privatnim licima omogućila je da ovaj vid energije ponovo bude u fokusu.



Sl. 3. Geotermalni potencijal na dubini od 500m



Sl. 4. Model održivog energetskog sistema

## 4. MOGUĆNOSTI OČUVANJA ENERGIJE U PROCESU DIZAJNIRANJA OBJEKATA

Uzimajući u obzir sve prednosti obnovljivih izvora energije i njihovih mogućnosti u Vojvodini u sferi dizajniranja manjih samostojećih objekata

najviše mogućnosti pružaju geotermalna i solarna energija. U ovom trenutku energija vetra i njen veliki potencijal ostaju van dometa privatnih korisnika, jer potencijal ne može biti direktno iskorišten i inkorporiran u dizajn. Energija vetra ostaje kao predmet daljih mogućnosti i istraživanja. Trenutno postoje indikacije novih tehnologija koje se razvijaju za direktno korišćenje energije vetra, ali su one trenutno previše skupe da bi se mogle nazvati održivim.

Region Vojvodine bi se trebao za sada koncentrisati na korišćenje najjeftinijih i najlakših načina dobijanja energije koje su mu na raspolaganju da može biti implemetirana u objekte da bi ih načinila više održivim, do nivoa potpune održivosti. Zahvaljujući velikim istraživačkim iskoracima u održivoj industriji, načini korišćenja solarne i geotermalne energije su jeftiniji i efikasniji svakog dana.

Solarna energija može biti u komercijalnom smislu prikupljena u vidu fotovoltaznih i solarnih panela. Solarni paneli proizvode toplu vodu i grejanje za domove, dok fotovoltazni paneli proizvode električnu energiju. Geotermalne i vodene toplotne pumpe su u mogućnosti da greju, hlade i ako su opremljene da snabdeju kuću sa toplom vodom. Neki modeli geotermalnih sistema su dostupni sa više brzina kompresora i ventilator radi veće udobnosti i uštede energije. Pumpe su tiše, traju duže i sa minimalnim potrebama održavanja, a da ne zavise od temperature spoljnog vazduha.

Iako geotermalne pumpe štede dosta energije, ipak moraju biti priključene na električnu mrežu. Da bi se mogli osloboditi zavisnosti od električnih mreža, geotermalne pumpe će biti povezane u sistem sa fotovoltaznim panelima. Ovaj vid sistema bi trebalo da pruži zatvoreni energetski sistem koji radi autonomno i koji ne zahteva dodatne izvore energije. Sistem bi trebalo da pruži samoodrživost, da nema emisiju gasova staklene bašte i da sa velikim energetskim uštedama isplati sam sebe nakon svega par godina, što je jedan od osnovnih ciljeva svakog optimalnog modela održivosti (MOR).

## 5. UMEMTO ZAKLJUČKA

Implementirajući benefite, jeftine i održive vidove dobijanja i očuvanja energije u dizajnu objekata je jedan od najvažnijih ciljeva i mogućih modela održivog razvoja. Da bi se razvio optimalni model održivog razvoja moraju se poznavati: specifičnosti okruženja, klimatske karakteristike, geohemijske i ostale prostorne karakteristike i načini na koje ovi parametric mogu biti iskorišćeni. Na taj način model



održivog razvoja može se funkcionalno definisati sledećom relacijom:

$$MOR=f \sum(En, Kl, Geo k, Prost k, Ek k, PO...nk)$$

En- Karakteristike okruženja,  
Kl- Klimatske karakteristika  
Geo k- Geološke karakteristike  
Prost k- Prostorne karakteristike  
Ek k- Ekonomske karakteristike  
PO- Pravni okviri  
nk- i druge relevantne karakteristike

U Vojvodini tri najbolja načina dobijanja energije su od vetra, sunca i geotermalnih voda. Trenutno energija vetra još nije spremna za to, ali uskoro možemo očekivati velike pomake u ovom polju ( u vidu malih vetro turbina instaliranih na fasade građevina i implementiranih u same građevine). Geotermalna i solarna energija su benifitni obnovljivi izvori energije, koji kombinovanjem mogućnosti i sposobnosti dva predložena sistema, može se stvoriti zatvoreni i održivi energetski system, koji će predstavljati model održivog razvoja.

U narednih par godina Vojvodina/Srbija u procesu pridruživanja Evropskoj uniji moraće da poveća procenat održivih i obnovljivih energenata u proizvodnji i očuvanju.

Urbane i industrijske konstruktivne aktivnosti moraju biti u saglasnosti i harmoniji sa okruženjem i prirodom, posebno u slučajevima alternativnih-zelenih izvora energije.

Model održivog razvoja sadrži efektivno korišćenje energije, zemljišta i materijala kao važnog ključnog i kritičnog faktora u realizaciji održivog razvoja. Od vitalnog je značaja shvatiti efikasnost resursa kroz celokupan ciklus koji energenti prolaze od izvora, kroz distributivni process do stanja upotrebe. Rezultati održivosti analiza modela moraju biti integrisani u rani proces dizajniranja objekata da bi se osigurala potpuna i dugoročna održivost modela MOR-a.

## 6. REFERENCE

- [1] Podatci preuzeti sa zvanične prezentacije AP Vojvodine: [www.vojvodina.gov.rs](http://www.vojvodina.gov.rs)
- [2] *REN21 UNECE Renewable Energy Status Report 2015*. ISBN 978-3-9815934-8-8
- [3] Katić, V. A. et al.: Potential and Market Prospects of Wind Energy in Vojvodina THERMAL SCIENCE, Year 2012, Vol. 16, Suppl. 1, pp. S141-S157

Slika1. Preuzeta sa: <http://www.vip.org.rs>

Slika2. Preuzeta sa: <http://www.vip.org.rs>

Slika3. Iz Geotermalnog atlasa Vojvodine

Slika1. Preuzeta sa: <http://www.rehau.rs>

**Autori:** M.Sc. Miljan Šunjević, Prof. Dr. Miljana Zeković, Prof. Dr. Dragana Konstantinović, Prof. Dr. Darko Reba  
Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Departman za arhitekturu i urbanizam, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel: +381 21 455 587

E-mail: [msunjevic@uns.ac.rs](mailto:msunjevic@uns.ac.rs)

[miljana\\_z@uns.ac.rs](mailto:miljana_z@uns.ac.rs)

[konstan\\_d@uns.ac.rs](mailto:konstan_d@uns.ac.rs)

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

**Prof. Dr. Mirjana Vojinović Miloradov, M.Sc. Boris Obrovski**, Univerzitet Novi Sad, 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 2405, Fax: +381 21 6350 696.

E-mail: [miloradov@uns.ac.rs](mailto:miloradov@uns.ac.rs)

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

**Agarski, B., Budak, I., Ilic Micunovic, M., Imamovic, N., Kosec, B., Kljajin, M., Vukelic, D.**

**INTERNAL NORMALIZATION IN LIFE CYCLE ASSESSMENT USING THE MULTI-CRITERIA ANALYSIS APPROACH**

**Abstract:** *Mandatory and optional elements can be distinguished in life cycle impact assessment. The focus of this research is on the optional step of normalization. External and internal normalization approaches can be performed in order to normalize the impact categories results. Internal normalization is based on multi-criteria decision analysis, where the alternatives values are compared to other alternatives values without using the external reference. In this paper, different approaches for internal normalization in life cycle impact assessment have been investigated and compared through the comparative example of different materials production phase. The results show that internal normalization is a good practice to visually display the characterization results. Internal normalization has lower uncertainty level, and its use is recommended in uncertain cases, where similar rankings result in difficult interpretation of results.*

**Key words:** *normalization, life cycle assessment, multi-criteria analysis*

**1. INTRODUCTION**

Life cycle assessment (LCA) is the most comprehensive and credible method for assessing the environmental impact of processes during their entire life cycle. In order to consider environmental, technical, economic, and social aspects in LCA, comprehensive evaluation methods are required and multi-criteria analysis (MCA) methods present a suitable tool for sustainability and LCA [1, 2, 3, 4, 5].

Considering the benefits of using both MCA and LCA methods in sustainability assessments, several applications of MCDM and LCA are described below. Simple Additive Weighting (SAW), one of the simplest MCA methods, was used in Ecoindicator 99, ReCiPe and other Life Cycle Impact Assessment (LCIA) methods for obtaining the life cycle total environmental impact [6]. The possibility of combining LCA and MCA was discussed by Hermann et al. [7]. Myllyviita et al. [8] applied MCA in LCA to identify and weigh impact categories in order to assess the environmental impacts of biomass production. On the other hand, Milani et al. [1] applied MCA on LCA results in order to select the optimal material. Domingues et al. [9] presented a methodology for classification of light-duty vehicles according to their environmental impacts; their classification was based on Life-Cycle Impact Assessment indicators and vehicle operation indicators which were aggregated with a MCA method. Herva and Roca [10] conducted a comprehensive review of combined approaches where multi-criteria

analysis was combined with environmental evaluation tools: ecological footprint, LCA and environmental risk assessment. In this respect, they reviewed the applicability of multi-criteria analysis in decision support systems in the particular areas of application.

LCA consists of mandatory and optional elements. Within this research the focus is on the optional step of normalization. In general, normalization methods allow different impact categories to be compared to each other. While there are several approaches in order to normalize impact categories results, external and internal normalization can be distinguished. The most common practice for normalization in life cycle impact assessment is external normalization where the results of the impact categories from the study are compared with the reference value (for example environmental impacts in the region of interest). Internal normalization is based on MCA, where the idea is to compare the one alternative value to other alternatives instead of using the external reference. Here, different approaches for normalization in life cycle impact assessment have been investigated and compared through comparative example of different materials production phase. This research aims to help the decision makers in interpretation phase of LCA encouraging them to use different approaches for normalization in order to achieve several perspectives of life cycle impact assessment normalization results.



## 2. METHODS AND MATERIALS

### 2.1 Methods

Figure 1 shows the connections between the LCA and MCA methods in order to provide internal normalization in life cycle impact assessment.

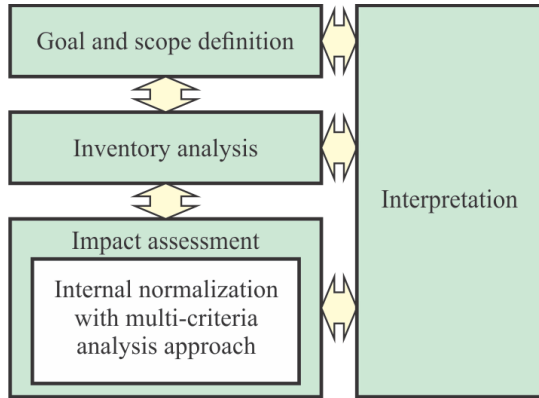


Fig. 1. Internal normalization in LCA using the MCA approach

Although the proposed MCA approach could be applied on every LCIA method, in this research, CML 2001 [11] was selected as LCIA method. For normalization of characterization results the following equations (equations 1, 2, 3, 4) for external and internal normalization (linear 1, linear 2, vector) were used, respectively:

$$N_{ij}^{Ext} = CF_j \cdot a_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, m; \quad (1)$$

$$N_{ij}^{Int,L1} = 1 - \frac{\max_i a_{ij} - a_{ij}}{\max_i a_{ij}} \quad (2)$$

$$N_{ij}^{Int,L2} = 1 - \frac{\max_i a_{ij} - a_{ij}}{\max_i a_{ij} - \min_i a_{ij}} \quad (3)$$

$$N_{ij}^{Int,V} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n a_{ij}^2}} \quad (4)$$

where are:  $N^{Ext}$  – external normalization results,  $CF$  – characterization factor,  $N^{Int}$  – internal normalization results ( $L1$  – linear 1,  $L2$  – linear 2,  $V$  - vector),  $a_{ij}$  – characterization results,  $n$  – number of compared products/processes,  $m$  – number of impact categories.

### 2.2 Materials

The following numerical example shows the comparison of LCA results of four similar paper production, each with mass of one kilogram: newsprint paper without deinking, newsprint paper with deinking, recycled paper without deinking, recycled paper with deinking. Production of these products include European production of newsprint or recycled paper with or without the use of deinked pulp. Included processes are: transports to paper mill, wood handling, mechanical pulping and bleaching, deinking of waste paper (depending on the product), paper production, energy production on-site, and internal waste water treatment. The data for the inventory of these products were obtained from Ecoinvent Database v2.0 [12].

## 3. RESULTS

For LCA calculations SimaPro 8.0 software was used. Figures 2, 3, 4, and 5 show LCA results: external normalization, internal normalization - linear 1, linear 2 and vector.

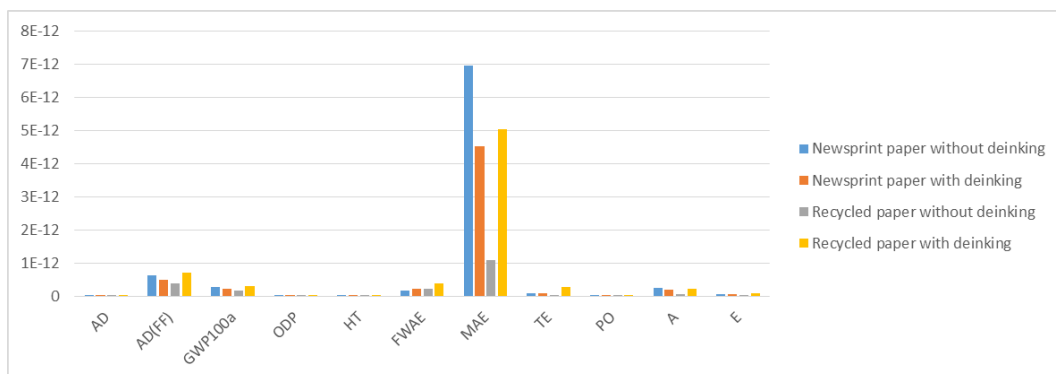


Fig. 2. External normalization

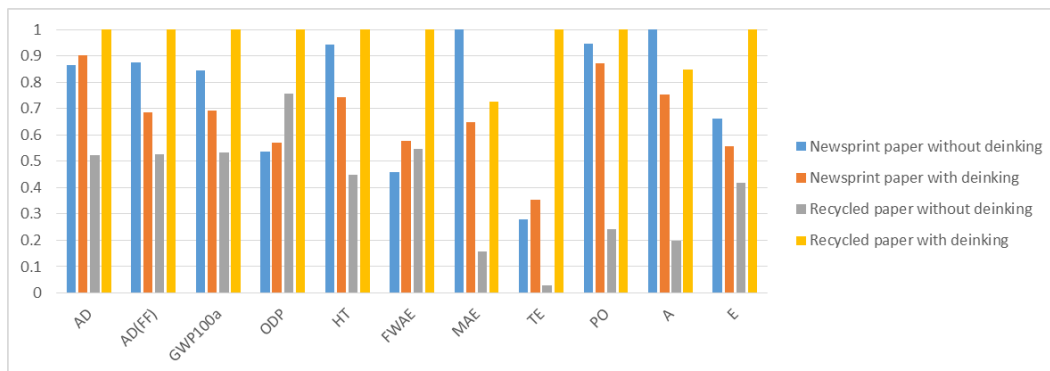


Fig. 3. Internal normalization – linear 1

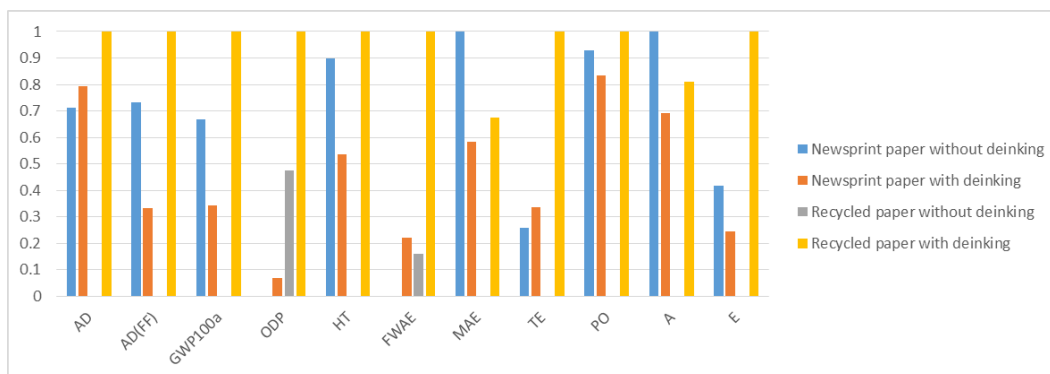


Fig. 4. Internal normalization – linear 2

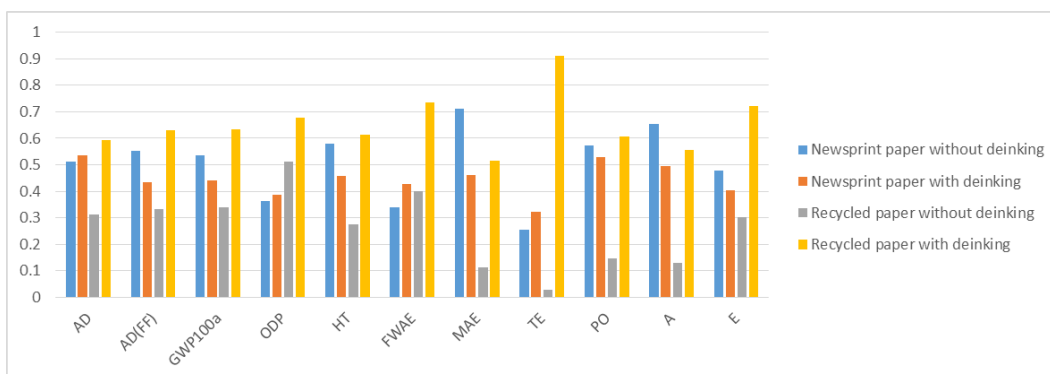


Fig. 5. Internal normalization - vector

Considered impact categories in CML 2001 are: Abiotic depletion (AD), Abiotic depletion - fossil fuels (AD(FF)), Global warming (GWP100a), Ozone layer depletion (ODP), 5. Human toxicity (HT), Fresh water aquatic ecotoxicity (FWAE), Marine aquatic ecotoxicity (MAE), Terrestrial ecotoxicity (TE), Photochemical oxidation (PO), Acidification (A), and Eutrophication (E).

#### 4. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

In life cycle assessment, normalization can be understood as an interpretation aid because it serves to better understand the relative magnitude of an environmental impact. The overall results for the presented normalization approaches,

considering all the impact categories, show that the recycled paper with deinking has the highest environmental impact, while the recycled paper without deinking has the lowest environmental impact.

External and internal normalization approaches provide completely different results and can not be interpreted on the same manner. When characterized results from life cycle impact assessment are presented without normalization, interpretation may not be transparent. Therefore, internal normalization, based on multi-criteria decision analysis, is often used in LCA software's for more understandable visualization of characterization results. The external normalization provides information about the impact on the specific geographic area or

population, however, this results have larger uncertainties because of the use of normalization factors. Internal normalization is good practice to visually display the characterization results. Internal normalization has lower uncertainty level, and it's use is recommended in uncertain cases, where similar rankings result in difficult interpretation of results.

## 5. REFERENCES

- [1] Milani, A.S., Eskicioglu, C., Robles, K., Bujun, K., Hosseini Nasab, H.: *Multiple criteria decision making with life cycle assessment for material selection of composites*, Express Polymer Letters, 5, p.p. 1062–1074, 2011.
- [2] Rogers, K., Seager, T.P.: *Environmental Decision Making Using Life Cycle Impact Assessment and Stochastic Multiattribute Decision Analysis: A Case Study on Alternative Transportation Fuels*, Environmental Science & Technology, 43, p.p. 1718–1723, 2009.
- [3] Agarski, B., Kljajin, M., Budak, I., Tadic, B., Vukelic, D., Bosak, M., Hodolic, J.: *Application of multi-criteria assessment in evaluation of motor vehicles' environmental performances*, Tehnički Vjesnik, 19, p.p. 221–226, 2012.
- [4] Hsu, C.W., Kuo, R.J., Chiou, C.Y.: *A multi-criteria decision-making approach for evaluating carbon performance of suppliers in the electronics industry*, International Journal of Environmental Science and Technology, 11, p.p. 775–784, 2014.
- [5] Agarski, B., Budak, I., Vukelic, Dj., Hodolic, J.: *Fuzzy Multi-criteria-based impact Category Weighting in Life Cycle Assessment*. Journal of Cleaner Production, 112, p.p. 3256–3266, 2016.
- [6] Rowley, H.V., Peters, G.M.: *Multi-criteria Methods for the Aggregation of Life Cycle Impacts*, 6. Australian Conference on LCA, ALCAS - Australian Life Cycle Assessment Society, Melbourne, 2009.
- [7] Hermann, B.G., Kroeze, C., Jawjit, W.: *Assessing environmental performance by combining life cycle assessment, multicriteria analysis and environmental performance indicators*, Journal of Cleaner Production, 15, pp. 1787–1796, 2007.
- [8] Myllyviita, T., Holma, A., Antikainen, R., Lahtonen, K., Leskinen, P.: *Assessing environmental impacts of biomass production chains e application of life cycle assessment (LCA) and multi-criteria decision analysis (MCDA)*, Journal of Cleaner Production, 29–30, pp. 238–245, 2012.
- [9] Domingues, A.R., Marques, P., Garcia, R., Freire, F., Dias, L.C.: *Applying Multi-Criteria Decision Analysis to the Life-Cycle Assessment of vehicles*. Journal of Cleaner Production, 107, p.p. 749–759, 2015.
- [10] Herva, M., Roca, E.: *Review of combined approaches and multi-criteria analysis for corporate environmental evaluation*, Journal of Cleaner Production, 39, p.p. 355–371, 2013.
- [11] Guinee, J.B., Gorree, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., de Koning, A. van Oers, L., Wegener Sleswijk, A., Suh, S., Udo de Haes H.A., de Bruijn, H., van Duin, R., Huijbregts, M.A.J., Lindeijer, E., Roorda, A.A.H. Weidema B.P.: *Life cycle assessment: An operational guide to the ISO standards; Parts 1, 2, and 3*. Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment (VROM) and Centre of Environmental Science (CML), Den Haag and Leiden, The Netherlands, 2001.
- [12] Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H.-J., Doka, G., Dones, R., Heck, T., Hellweg, S., Hischer, R., Nemecek, T., Rebitzer, G., Spielmann, M.: *The ecoinvent database: Overview and methodological framework*, International Journal of Life Cycle Assessment 10, 3–9, 2005.

**Authors: Assis. prof. dr Boris Agarski<sup>1</sup>, Assoc. prof. dr Igor Budak<sup>1</sup>, M.Sc. Milana Ilic Micunovic<sup>1</sup>, Assis. prof. dr Nusret Imamovic<sup>2</sup>, Prof. dr Borut Kosec<sup>3</sup>, Assoc. prof. dr Djordje Vukelic<sup>1</sup>, Prof. dr Milan Kljajin<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Phone.: +381 21 485 2350, Fax: +381 21 454-495.

<sup>2</sup> Univerzitet u Zenici, Mašinski Fakultet u Zenici, Fakultetska 1, 72000 Zenica, Tel: +387 (0)32 449 141.

<sup>3</sup> University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenia, Phone.: +386 1 2000410, Fax: +386 1 4704560.

<sup>4</sup> Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, Strojarski fakultet u Slavanskom Brodu, Slavonski Brod, Trg Ivane Brlić Mažuranić 2 , tel. +385 35 446 188, fax. +385 35 446 446

E-mail: [agarski@uns.ac.rs](mailto:agarski@uns.ac.rs)  
[budaki@uns.ac.rs](mailto:budaki@uns.ac.rs)  
[milanai@uns.ac.rs](mailto:milanai@uns.ac.rs)  
[nimamovic@mf.unze.ba](mailto:nimamovic@mf.unze.ba)  
[borut.kosec@omm.ntf.uni-lj.si](mailto:borut.kosec@omm.ntf.uni-lj.si)  
[mkljajin@sfsb.hr](mailto:mkljajin@sfsb.hr)  
[vukelic@uns.ac.rs](mailto:vukelic@uns.ac.rs)

**NAUČNA KONFERENCIJA SA MEĐUNARODNIM  
UČEŠĆEM  
ETIKUM 2016  
NOVI SAD, SRBIJA, 23-25 JUN, 2016**

Savić, D., Hadžistević, M.

**PREGLED I ISPITIVANJE USLOVA RADNE OKOLINE I OPREME ZA RAD U  
STOLARSKOJ RADIONICI "ZAMSTOL" SENTA**

**Rezime:** U stolarskoj radionici "Zamstol" izvršen je pregled i ispitivanje uslova radne okoline za letnji period i pregled opreme koja se koristi za obavljanje radnih aktivnosti. Pregled uslova radne okoline je izvršen na jednom mernom mestu. Lokacija mernog mesta se nalazi u prostoru stolarske radionice za ručnu obradu. Pregled je podrazumevao merenje sledećih parametara: osvetljenost, mikroklimu, hemijske štetnosti. Pored toga izvršen je i pregled i ispitivanje opreme za rad. Sa aspekta bezbednosti i zdravlja na radu pregledane su sledeće mašine: kombinovana stolarska mašina, frez-mašina glodalica, trakasta testera.

**Ključne reči:** uslovi radne okoline, oprema za rad, bezbednost i zdravlje na radu

## 1. UVOD

Preventivnim i periodičnim ispitivanjem uslova radne okoline proverava se i utvrđuje da li su na radnom mestu i u radnoj okolini primenjene mere bezbednosti i zdravlja na radu utvrđene propisima u oblasti bezbednosti i zdravlja na radu, tehničkim propisima i standardima.

Ispitivanja uslova radne okoline obuhvataju:

1. Mikroklimu (temperatura, brzina strujanja vazduha i relativna vlažnost vazduha);
2. Hemijske štetnosti (gasovi, pare, dimovi i prašine);
3. Fizičke štetnosti (buka, vibracije i štetna zračenja, osim jonizujućih);
4. Osvetljenost;
5. Biološke štetnosti.

Ispitivanja se obavljaju analizom svih elemenata uslova radne okoline tako da se daje jedinstvena ocena obavljenog ispitivanja. Ispitivanja se vrše u uslovima kada rade svi tehnološki kapaciteti (oprema za rad, instalacije za klimatizaciju, provetravanje i sl.) [1].

Ispitivanje mikroklimе se obavlja u skladu sa Pravilnikom o preventivnim merama za bezbedan i zdrav rad na radnom mestu [2]. Pored tog pravilnika obavlja se u skladu sa standardima i preporukama. Standardi koji se koriste tom prilikom zavise od kriterijuma ocenjivanja i to:

1. Za toplotni komfor PMV I PPD: ISO 7730 [6];
2. Za velika toplotna opterećenja WBGT: ISO 7243 [7];
3. Za rad po hladnoći: ISO 11079 ISO 9920 [8,9];

Ispitivanje hemijskih štetnosti vrše se na radnom mestu u radnoj okolini gde se u

tehnološkim i radnim procesima pojavljuju hemijske štetnosti. Ispitivanja se vrše uzimanjem najmanje jednog uzorka na radnom mestu najbližem izvoru štetnosti. U koliko je u tom slučaju koncentracija iznad dozvoljene vrednosti onda se uzorak uzima i na ostalim radnim mestima na kojima se očekuju štetnosti [1]. Ispitivanje se obavlja i u skladu sa Pravilnikom o preventivnim merama pri izlaganju hemijskim materijama koji propisuje granične vrednosti izloženosti na radnom mestu GVI [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ] [10].

Utvrđenost faktora kvaliteta osvetljenosti kao posledica stanja dnevnog i električnog osvetljenja u skladu sa SRPS U.C9.100/62 [4] podrazumeva određivanje nivoa ravnomernosti osvetljenja i ocenu poređenja sa dozvoljenim vrednostima u zavisnosti od vidnog zahteva i vrste delatnosti [11]. Pored ovog navedenog standarda koristi se i međunarodni standard EN 12464 [12].

## 2. PREGLEDI USLOVA RADNE OKOLINE I OPREME ZA RAD

Preventivna ispitivanja uslova radne okoline obavljaju se u roku od šest meseci od početka rada radnog, odnosno tehnološkog procesa, rekonstrukcije objekta u kom se obavlja radni proces (uređaja za grejanje, ventilaciju ili klimatizaciju, i sl.) ili zamene tehničkih kapaciteta kojima se menjaju uslovi rada. Periodična ispitivanja uslova radne okoline obavljaju se na radnom mestu u radnoj okolini u roku od 3 god. od dana prethodnog ispitivanja.

Preventivni pregledi i provera opreme za rad obavljaju se pre početka korišćenja, odnosno pre davanja na upotrebu zaposlenima, posle rekonstrukcije ili havarije, kao i pre početka rada

na novom mestu rada ako je oprema premeštena sa jednog na drugo mesto. Preventivni pregledi i provere oprema za rad ne obavljaju se za opremu za rad koju, prilikom prvog stavljanja u upotrebu, nije poterbno sklapati, sastavljati ili monitorirati ili opremu za rad koju je proizvođač stavio u pogon i predao na korišćenju poslodavcu. Periodični pregledi se obavljaju najkasnije u roku od 3 godine, od dana prethodnog pregleda i provere [1].

## 2.1 Oprema za rad

Oprema za rad je mašina, uređaj, postrojenje, instalacija, alat i sl. koja se koristi u procesu rada. Opšti zahtevi koji moraju biti ispunjeni [3]:

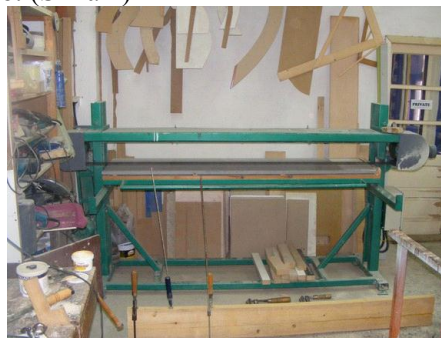
1. Upravljački uređaji koji moraju da budu izvan područja opasnosti tako da njihova upotreba ne prouzrokuje dodatnu opasnost;
2. Pokretanje opreme mora biti omogućeno samo namernim aktiviranjem komandi za pokretanje;
3. Oprema mora biti opremljena uređajem za zaustavljanje u slučaju opasnosti;
4. Oprema mora biti snabdevena uređajima za odstranjivanje opasnih materija;
5. Zaštitnici na opremi ne smeju da prouzrokuju dodatne opasnosti, ne smeju se lako ukloniti i otkloniti;
6. Sva oprema za rad mora biti odgovarajuća kako bi se omogućila zaštita zaposlenih koji su izloženi opasnosti od direktnog ili indirektnog dodira instalacija i opreme pod naponom.;
7. Oznake na upravljačkim uređajima moraju da odgovoraju nameni a oznake upozorenja moraju da budu jasne, vidljive, nedvosmislene.

Zahtevi za korišćenje opreme za rad u pogledu zaštite od neželjenog dejstva električne energije: [4]

1. Električna oprema mora odgovarati projektovanoj struji, odnosno efektivnoj vrednosti struje za naizmeničnu struju, koja će proticati tokom normalnog rada;
2. Električna oprema, uključujući provodnike i kablove, mora se postaviti tako da se može lako proveravati, održavati i prilaziti njenim priključcima i da se njome može lako rukovati;
3. Izolovani provodnici i kablovi moraju se zaštititi od mehaničkih, termičkih i hemijskih oštećenja odgovarajućim tipom električnog razvoda, načinom postavljanja, položajem ili oblogom.

## 3. REZULTATI

Ispitivanje uslova radne okoline je izvršeno za radno mesto stolara. Zaposleni na radnom mestu obavlja poslove obrade drveta. Pri radu koristi stolarske mašine, ručni alat. Rad se obavlja u stojećem položaju. Prostor u kojem se odvija proces rada se nalazi u prizemnom objektu. Zagrevanje se vrši pomoću centralnog grejanja, provetranje je prirodno a osvetljenje prirodno i veštačko. (Slika 1)



Sl. 1. Merno mesto na kome je izvršen pregled i ispitivanje uslova radne okoline

Rezultati merenja mikroklimatskih parametara prikazani su u sledećoj tabeli. (Tabela 1)

Radno mesto:	Stolar		
Lokacija radnog mesta:	Prostor stolarske radionice-ručna obrada		
Izveštaj o ispitivanju parametara mikroklimе			
Vrsta rada:	Temperatura spoljašnjeg vazduha u letnjem period iznad 25°C		
	Temper. [°C]	Relativna vlažnost [%]	Brzina strujanja [m/s]
Laki rad		28°C→55 26°C→60	max 0,5
Srednji rad (laki fizički rad)	max 28	24°C→65	max 0,7
Teški rad (teški fizički rad)		<24°C→73	max 1
Rezultati merenja:	22,1	52,1	0,09
Ocena:	Zadovoljava		
Korišćena merna oprema	Instrument za merenje parametara mikroklimе, Tip: TESTO 435-1, Serijski br. 01637531/901		
Merna nesigurnost:	±0,6°C, ±1,74%, ± 0,03 m/s		

Tabela 1. Izveštaj o ispitivanju mikroklimе



Rezultati merenja osvetljenosti prikazani su u sledećoj tabeli. (Tabela 2)

Radno mesto:	Stolar
Lokacija radnog mesta:	Prostor stolarske radionice-ručna obrada
Izveštaj o ispitivanju osvetljenosti	
Merno mesto:	Na 0,85m od poda
Vrsta delatnosti:	Radovi na svim vrstama mašina za obradu drveta
Opšti podaci	
Izvor svetlosti	Vrsta osvetljenja
Dnevna i veštačka	Opšte osvetljenje
Tip osvetljenja	Pogonski uslovi rasvete
Užareno vlakno i fluorescentni	Uključeno
Parametri koji su utvrđeni tokom ispitivanja	
Zahtev prema delatnosti:	Veliki
Minimalna prosečna osvetljenost [lx]:	300
Ravnomernost osvetljenja:	0,80
Izmerena osvetljenost na radnom mestu [lx] :	322
Ocena:	Zadovoljava
Korišćenja metoda:	SRPS U.C9.100.
Korišćena merna oprema	LUXMETAR, Tip: TESTO 545, Fabrički br. 01062521/502.
Merna nesigurnost:	4%

Tabela 2. Izveštaj o ispitivanju osvetljenosti

Rezultati merenja koncentracije prašine prikazani su u sledećoj tabeli. (Tabela 3)

Radno mesto:	Stolar
Lokacija radnog mesta:	Prostor stolarske radionice-ručna obrada
Izveštaj o merenju koncentracije prašine	
Merno mesto:	Na visini 1.5m iznad horizontalne ravni
Vrsta hemijske štetnosti:	Prašina biljnog i životinjskog porekla bez SiO <sub>2</sub>
Mesto uzorkovanja:	Zona disanja
Uzorkovana koncentracija (mg/m <sup>3</sup> ):	3,98 3,66 4,15
MDK-	10

ukupna mg/m <sup>3</sup> [5]	
Ocena	Zadovoljava
Korišćena merna oprema	Analizator prašine AEROCET 531, Tip: AEROCET 531, Serijski broj: F6633 Proizvođač: MET ONE, SAD

Tabela 3. Izveštaj o merenju koncentracije prašine

Rezultati pregleda opreme za rad prikazani su u sledećoj tabeli. (Tabela 4)

<b>KOMBINOVANA STOLARSKA MAŠINA</b>		
	Opšti podaci	
	Proizvođač:	Zanatski proizvod
	Rp (Ω):	0,47
	Fabrički broj:	/
	Godina proizvodnje:	/
	Lokacija:	Radionica
	Tehničke karakteristike:	
	Snaga:	3000 W
Napon:	360 V 50 Hz	
<b>FREZ MAŠINA GLODALICA</b>		
	Opšti podaci	
	Proizvođač:	Zanatski proizvod
	Rp (Ω):	0,68
	Fabrički broj:	/
	Godina proizvodnje:	/
	Lokacija:	Radionica
	Tehničke karakteristike:	
	Napon:	360 V 50 Hz
Snaga	/	

<b>TRAKASTA TESTERA</b>		
	Opšti podaci	
	Proizvođač:	Zanatski proizvod
	Rp (Ω):	0,87
	Fabrički broj:	/
	Godina proizvodnje:	/
	Lokacija:	Radionica
	Tehničke karakteristike:	
	Snaga:	4000 W
Napon:	360 V 50 Hz	

Korišćena merna oprema	Višenamensko merilo za proveru mera zaštite u elektrotehnici, Proizvođač: Gossen metrawatt Tip: Profitest 0100SII Serijski broj: OD0924 Godina proizvodnje: 2004
------------------------	--

Tehnička dokumentacija	
Uputstvo za upotrebu i bezbedan rad	√
Uputstvo za održavanje	√
Mehanička i tehnička zaštita-nalaz	
Pregled opreme	
Radni prostor opreme (postavljanje) konstrukcija opreme	√
Mehanička zaštita opasnog radnog prostora	√
Način stavljanja opreme u naponsko stanje	√
Elektro elementi (zaštita od kratkog spoja itd.)	√
Provera opreme	
Provera upravljačkih uređaja	
Konstruktivna i funkcionalna ispravnost upravljačkih uređaja	√
Ispravnost upravljačkih uređaja s' obzirom na oznake namene	√
Usaglašenost namene upravljačkog uređaja sa dejstvom zadane funkcije	√
Provera zaštitnih uređaja i zaštitnih blokada	
Ispravnost zaštitnih blokada	√
Zaštita od pada i nestanka napona	√
Izmerena vrednost otpora zaštitnog strujnog kruga Rp	√

Tabela 4. Izveštaj o pregledu opreme

#### 4. ZAKLJUČAK

Na osnovu obavljenih pregleda i ispitivanja u stolarskoj radionici "Zamstol" možemo da zaključimo da je oprema za rad bezbedna za rukovanje i da su primenjene sve mere u oblasti bezbednosti i zdravlja na radu kao i da se svi parametri nalaze u dozvoljenim granicama što je veoma značajno i sa aspekta zaštite životne sredine.

#### 5. REFERENCE

- [1]Pravilnik o postupku pregleda i provere opreme za rad i ispitivanja uslova radne okoline ("Sl. glasnik RS", br. 94/2006, 108/2006 - ispr., 114/2014 i 102/2015).
- [2]Pravilnik o preventivnim merama za bezbedan i zdrav rad na random mestu ("Sl. glasnik RS", br. 21/2009).
- [3]Pravilnik o preventivnim merama pri korišćenju opreme za rad ("Sl. glasnik RS", br. 23/2009 i 123/2012)
- [4]SRPSU.C9.100/62 Dnevno i električno osvetljenje prostorija u zgradama.
- [5]SRPS Z.B0.001/91 Maksimalno dozvoljene koncentracije štedljivih gasova, para i aerosola u atmosferi radnih prostorija i radilišta.
- [6]ISO 7730, Ergonomics of the thermal environments – Analytic determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.
- [7]ISO 7243, Hot environments - Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature).
- [8]ISO 11079, Evaluation of cold environments- Determination of required clothing insulation (IREQ).
- [9]ISO 9920, Estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble.
- [10]Pravilnik o preventivnim merama za bezbedan i zdrav rad pri izlaganju hemijskim materijama, ("Sl. glasnik RS", br. 101/05).
- [11]Krstić I, Krstić D, Ana Kusalo. Analiza pokazatelja za procenu profesionalog rizika. Inženjerstvo zaštite, Niš.
- [12]EN 12464, Light and lighting - Lighting of work places.

**Autori: M. Sc. Dušica Savić, prof. dr Miodrag Hadžistević**, Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2350, Fax: +381 21 454-495.

E-mail: [dusica.savic@uns.ac.rs](mailto:dusica.savic@uns.ac.rs)  
[miodrags@uns.ac.rs](mailto:miodrags@uns.ac.rs)

SCIENTIFIC CONFERENCE WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION  
ETIKUM 2016

PROCEEDINGS

**Session 4:**  
**MEASUREMENT IN THE FIELD OF**  
**CULTURAL HERITAGE**

Novi Sad, 23 – 25 June 2016.



Karpe, B., Krivec, M., Nagode, A., Sirok, K., Gojic, M., Kern, K., Ivanic, I.,  
Sokovic, M., Bizjak, M., Kosec, B.

## RESTORATION AND CONSERVATION OF I. WORLD WAR RIFLES

**Abstract:** *Within the professional work of the members of the program group 'Synthesis and characterization of materials', in cooperation with the National Museum of Contemporary History of Slovenia significant rifles of World War I. MANNLICHER - CARCANO mod. 91 and MANNLICHER M 1895 were restored and conserved. Conservation - restoration procedure, accomplished in the museum workshop, is described in detail. Material analysis of barrels, bolts and other components and analysis of injuries were made using non-destructive investigation methods in laboratories of the Department of Materials and Metallurgy, Faculty of Natural Sciences, University of Ljubljana and laboratories of authorized institutions. Due to different levels of conservation of the rifles discussed they were treated by different methods.*

**Key words:** *rifle, restoration, conservation, artefact*

### 1. INTRODUCTION

Conservation is an activity of preserving cultural heritage artefacts with minimizing the effects of degradation. It must be distinguished between passive conservation, which prevents artefacts from further damages by means of controlled storage in an appropriate environment (temperature, lighting, and humidity) and active conservation, which covers the procedures in terms of complete isolation of the object from the environment. Conservation is therefore the procedure to reduce the rate of deterioration and the formation of new damages on the artefact. In contrast, restoration is the procedure of the activity which restores all artefacts features and its function [1].

### 2. ABOUT THE ARTEFACTS

MANNLICHER- CARCANO mod. 91 rifle also known as "il novantauno" or M91 was a standard infantry firearm of the Italian Army from 1892 through 1945. It was developed in 1890 by chief technician of Turin Army Arsenal, Salvatore Carcano. Because the magazine system uses 'en bloc' charger clips, which were originally developed and patented by Ferdinand Mannlicher, in some countries is named after both engineers. The M91 employed rotating bolt-handle and was made in rifle and carbine variant. Until 1938 was chambered with rimless 6.5 x 52 mm cartridge and was one of the first firearms, which used smokeless gunpowder ammunition. Italy produced them in armaments factories in Bresa, Turin, Rome, Terni and Tore Annunziata. Almost four million copies were made until the end of the First World War [1,2].

The MANNLICHER M 1895 or M95 rifle was designed by Ferdinand Ritter von Mannlicher. Its originality is in employing straight-pull bolt action with a high rate of fire, as opposed to the more common rotating bolt-handle of other rifles at that time. Originally they were chambered for the round-nosed 8 × 50 mm R cartridge and made in four variants: long and short rifle, carbine and sniper. They were produced from 1895 to 1918 in armaments factories of Austro-Hungarian Empire, Österreichische Waffenfabriksgesellschaft (ÖWG) in Steyer (Austria) and the Hungarian royal arsenal Fegyvergyár in Budapest, where they jointly produced more than three million copies. After W.W.I in the period between 1930 and 1940, almost all were rechambered to accept the more powerful Spitzer 8 × 56 mm R cartridge [3].

### 3. CONSERVATION - RESTORATION ACTIVITIES

The first stage in the conservation-restoration procedure is a detail description and photographing of all features, marks and injuries of the artefact, weighting and dimension measuring, determining the materials from which it is composed and preparing the restoration plan [4].



**Fig. 1. Rifle MANNLICHER – CARCANO mod. 91 (before restoration)**



Artefact rifle MANNLICHER - CARCANO mod. 91 (Figure 1), registered under the National Museum of Contemporary History of Slovenia inventory number 5979 and conservators number 11/14 was manufactured in 1893. The rifle production number is 0 3525 with the stamped number on the barrel RM 1772 (factory inspection number; Rubino Mario, Bologna, 1942).

Its condition was in very poor state. All metal parts were completely corroded. Barrel, magazine and bolt were empty – no bullets and cartridge. The walnut wood stock has been infested with insects (numerous small holes of round shapes from which wooden flavor drop out). On the left side of the stock were two big holes of irregular shapes, which were incurred as a result of timber pests. On the right side of the stock was engraved capital letter H (30 × 20 mm). At individual sites where traces of grey oil paint, which was transferred from the storage rack arms. Varnish was also scaling off from all wooden parts. The rifle was without shoulder belt. All what was left of it was a piece of chapped cowhide leather, 30 × 60 mm in size, which was fastened with brass buckle on the forestock. The brass buckle was also covered with a thick layer of verdigris.

Artefact rifle MANNLICHER M 1895 (Figure 2), registered under the National Museum of Contemporary History of Slovenia inventory number 6312473 and conservator number 11/15 was manufactured in 1918. The rifle production number is 291 F. Barrel has stamped mark Wn XX (National coat of arms) 18 and capital letter S (Spitzer, changed ammunition after 1930).



Fig. 2. Rifle MANNLICHER M 1895 (before restoration)

MANNLICHER M 1895 rifle showed only slight signs of local surface corrosion on the hook, an element that serves for stacking guns in a pyramid on the ground, butt, and upper part of the barrel at the rear sight, where the browning layer was damaged. Barrel, magazine and bolt were empty – no bullets and cartridge. The walnut wood stock has been fully preserved and stable. The rifle has no shoulder belt and the buckle for fastening the shoulder belt was ground off. Spots of grey oil paint transferred from the storage rack arms were visible in some areas of the stock.

According to restoration plan, dismantling the

artefact into individual pieces followed (Figure 3). Dismantling the firearms doesn't require special tools. Screwdrivers with manually adjusted blades to fit the non-standard or damaged screw heads and corrosion product solvents are sufficient. Krown oil and WD-40 were used for easier release of screw connections.



Fig. 3. Rifles separated by components; M91 (above), M95 (below)

The next stage is the removal of corrosion products and dirt from the surface of the object. This is very important and frequent intervention in restoration – conservation procedure and must be done with care and caution. Effective and detail cleaning can be accomplished with the combined use of various mechanical methods (sandblasting, ultrasonic cleaning, grinding and polishing, scalpel and needle scrubbing, etc.) [5].

### Restoration of the metal parts

Heavily corroded MANNLICHER - CARCANO mod. 91 rifle metal parts were roughly cleaned on a rotary polishing machine and sandblasted using aluminium oxide blast media. Sandblasting should be done by an expert to prevent further damages [6,7]. Corrosion and dirt, which remained, were cleaned with scalpel and hand ultrasonic cleaner. After compressed air blowing, ten minutes of cleaning in an ultrasonic bath followed (Figure 4, medium: water). Restoration was continued by treatment with tannin (water-soluble) scrubbing, air drying, deep protection coating using Krown KL – 73 oil and waxing (ANTIKOR tektan). Missing screw on the butt plate was made from a new screw with grinding, trimming, retouching and toning and fitted with a drop of polyurethane adhesive. Completely corroded mainspring in the trigger mechanism was replaced with new one.

MANNLICHER M 1895 rifle metal parts were

locally cleaned with a scalpel, chemically treated with tannin (alcohol soluble), coated with Krown KL – 73 oil and waxed. Brass buckle has been mechanically cleaned with a scalpel, immersed in BIOX solution, brushed and washed under running water, washed in distilled water, submerged in acetone and waxed.



Fig. 4. Ultrasonic cleaning in water

### Wooden parts

Rifles wooden parts were cleaned with brushes of different hardness and length of the bristles, scalpel, needles and compressed air. After extensive coating with insecticide (Biokill, ®Ilirija), all parts were carefully wrapped in aluminium foil to prevent evaporation and stored for three weeks (Figure 5).

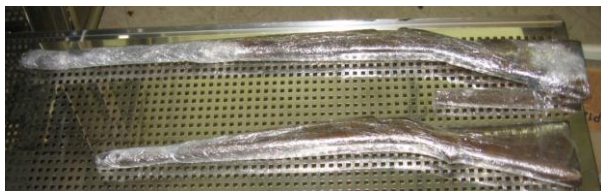


Fig. 5. Insecticide treatment of rifles wooden parts



Fig. 6. Restoration of wooden parts

Deteriorated MANNLICHER – CARCANO mod. 91 wooden parts (Figure 6) were treated as follows:

- first stage hardening (impregnation) with 5% solution of Paroloid B 72,
- second stage hardening with the 15% solution of Paroloid B 72,

- filling the larger holes with a two-component epoxide resin EPOX 210 removing the hardened resin droplets using a scalpel and sandpaper,
- puttying the holes and scratches with a mixture of Unicol putty for wood and pigment, and
- grinding of tinted putty, followed by color retouching and waxing.

Better preserved wooden parts of MANNLICHER M 1895 rifle were after insecticide treatment cleaned by cotton wool tampons using Oronazol (ketokonazol, ®Krka) and ethanol and coated with Tung oil.

### Leather parts

Remained part of the leather shoulder belt was mechanically cleaned with brushes and impregnated with balsam for leather care in the composition of lanolin, beeswax and special additives.

## 4. ARTEFACTS AFTER CONSERVATION – RESTORATION PROCEDURES

Assembly of the artefacts was held in reverse order as disassembly with a feeling that conservation and restoration is not a unique intervention, but the process, where we expose to the deterioration the protective coating, which will lose its function over time and will need to be replaced. In the process of work personal protective equipment is required (gloves, clothing, mask, glasses), which protects both the conservator from toxic effects of the materials used, as an object in front of conservator (exhaled vapor, hands sweat, ...). The artefact must be handled with cotton gloves.

We have to distinguish between procedures which have an emphasis on protecting the artefact (the artefact is kept in the museum depository at relative humidity 55% and 18°C with minimal temperature fluctuations) and procedures, which have an emphasis on aesthetics (the artefact is showed on exhibition).

All operations, which were carried out are documented and documentation stored in the museum depository.

Rifles MANNLICHER – CARCANO mod. 91 and MANNLICHER M 1895 after conservation-restoration procedures are shown in figures 7 and 8.



Fig. 7. Rifle MANNLICHER – CARCANO mod. 91 - after restoration



Fig. 8. Rifle MANNLICHER M 1895 - after restoration

## 5. CONCLUSIONS

The basic objective of this work was complete restoration of the artefacts (rifles) and a feasibility study of the use of various engineering material investigation methods and procedures in restoration-conservation work. We were pursuing two main objectives: protection of the rifles from further deterioration and material investigation of rifles metal components in order to determine the basic metallurgical manufacturing methods at that time. Since restoration-conservation ethics doesn't allow interference with the artefact material, each material analysis was made using only non-destructive methods. Portable XRF spectrometers for chemical analysis and rebound hardness measurement proved to be very suitable for artefacts material analysis since they don't leave any visible marks on the spot of investigation. Replica method for microstructural observation gave us very valuable information about the state of the material and its metallurgical production methods. Despite the fact, that some interference with the artefact material is needed (fine metallographic grinding and polishing), method could be treated as non-destructive, since the visible traces of the investigation can be hidden with proper colour retouching and toning.

## 6. REFERENCES

- [1] von Kromar, K. E.: *Repetier - Automatische Handfeuer Waffen*, Verlag von L. W. Seidel & Sohn, Wien, 1900.
- [2] Riepe, W.: *Il Novantuno Mannlicher - Carcano - Das italienischen Waffensystem Modell 1891*, Verlag VS – BOOKS, Herne, 2006.
- [3] Scarlata, P. S.: *Mannlicher Military Rifles*, Andrew Mowbray Publishers, Lincoln, 2004.

- [4] Krivec, M., Karpe, B., Nagode, A., Sirok, K., Kosec, B., Bizjak, M.: *IRT 3000*, 11 (2016) 62, 165-167.
- [5] Kosec, G., Nagode, A., Budak, I., Antic, A., Kosec, B.: *Engineering Failure Analysis*, 18 (2011) 1, 450-454.
- [6] *Source Book in Failure Analysis*, ASM International, Metals Park Ohio, 1974.
- [7] Dobrzanski, L.A.: *Technical and Economical Issues of Materials Selection*, Silesian Technical University, Gliwice, 1997.

**Authors: Assist. Prof. Dr. Blaž Karpe, Assist. Prof. Dr. Aleš Nagode, Katarina Kern, Prof. Dr. Milan Bizjak, Prof. Dr. Borut Kosec**, University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenia, Phone.: +386 1 2000413, Fax: +386 1 4704560.

**Marko Krivec, Dr. Kaja Širok**, National Museum of Contemporary History, Celovška c. 23, 1000 Ljubljana, Slovenia, Phone.: +386 1 3009610, Fax: +386 1 4338244.

**Prof. Dr. Mirko Gojić, Ivana Ivanić**, University of Zagreb, Faculty of Metallurgy, Aleja narodnih heroja 3, 44103 Sisak, Croatia, Phone.: +385 44 533378, Fax: +385 44 533381.

**Prof. Dr. Mirko Soković**, University of Ljubljana, Faculty of Mechanical Engineering, Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana, Slovenia, Phone.: +386 1 4771214, Fax: +386 1 4771218.

E-mail: [blaz.karpe@omm.ntf.uni-lj.si](mailto:blaz.karpe@omm.ntf.uni-lj.si)  
[ales.nagode@omm.ntf.uni-lj.si](mailto:ales.nagode@omm.ntf.uni-lj.si)  
[katarina.kern@telemach.si](mailto:katarina.kern@telemach.si)  
[milan.bizjak@omm.ntf.uni-lj.si](mailto:milan.bizjak@omm.ntf.uni-lj.si)  
[borut.kosec@omm.ntf.uni-lj.si](mailto:borut.kosec@omm.ntf.uni-lj.si)  
[mare@muzej-nz.si](mailto:mare@muzej-nz.si)  
[kaja.sirok@muzej-nz.si](mailto:kaja.sirok@muzej-nz.si)  
[mgojic@simet.hr](mailto:mgojic@simet.hr)  
[ivanici@simet.hr](mailto:ivanici@simet.hr)  
[mirko.sokovic@fs.uni-lj.si](mailto:mirko.sokovic@fs.uni-lj.si)

Stojaković, V., Obradović, R., Santoši, Ž.

**MODEL ZA KREIRANJE PLANA SNIMANJA  
ZA FOTOGRAMETRIJSKO MERENJE SFM PRISTUPOM**

**Rezime:** *Poslednjih decenija digitalna fotogrametrija se veoma brzo razvija, te komercijalne aplikacije razvijene u poslednjih nekoliko godina automatski generišu oblak tačaka i dostižu veoma visoku tačnost i nivo detaljnosti. Problem koji se često pojavljuje pri korišćenju takvih pristupa je pravljenje seta fotografija koji će biti pogodan ulazni podatak za automatsko generisanje oblaka tačaka, odnosno adekvatan za pravljenje plana snimanja. U ovom radu je plan fotogrametrijskog snimanja pretočen u parametarski model. Cilj parametarske interpretacije je mogućnost automatizacije procesa pripreme plana snimanja u skladu sa relevantnim parametrima.*

**Ključne reči:** *fotogrametrija, plan snimanja, parametarski model.*

## 1. UVOD

Poslednjih decenija digitalna fotogrametrija se veoma brzo razvija. Savremeni pristupi su obezbedili da lako dostupne komercijalne aplikacije razvijene u poslednjih nekoliko godina dostignu tačnost i detaljnost koja je na nivou podataka dobijenih upotrebom laserskog skeniranja. Najveća pogodnost fotogrametrije u odnosu na lasersko skeniranje je drastično manja cena i veća dostupnost [1, 2]. Zbog toga je fotogrametrija našla primenu u raznim oblastima kao što su geonauke, forenzika, arhiviranje i analiza kulturnog i graditeljskog nasleđa, arheologija, arhitektura i urbanizam, dizajn, film i industrija zabave, dizajn video igara i drugo [3-5]. U široko rasprostranjenim fotogrametrijskim pristupima postoje bitne razlike. Najveća razlika je u tome koji tip fotografija se koristi i kakva struktura se očekuje kao izlazni podatak. U ovom radu fokus će biti na pristupima koji koriste *Structure from Motion* (SfM) algoritme i gde su fotografije snimane sa zemlje. SfM aplikacije koriste automatsko generisanje oblaka tačaka, na osnovu simultane orijentacije i kalibracije. Zbog takvog pristupa, učešće korisnika pri generisanju oblaka tačaka je minimalno. Posledica toga je da će kvalitet izlaznih podataka najviše zavisiti od kvaliteta snimaka koji se koriste za generisanje oblaka tačaka.

Problem koji se često pojavljuje kod upotrebe fotogrametrije je upravo problem sa pravljenjem seta fotografija koji će biti pogodan ulazni podatak za automatsko generisanje oblaka tačaka. Stoga je upotreba fotogrametrije i dalje dosta ograničena, naročito u oblastima gde se očekuje visoka tačnost

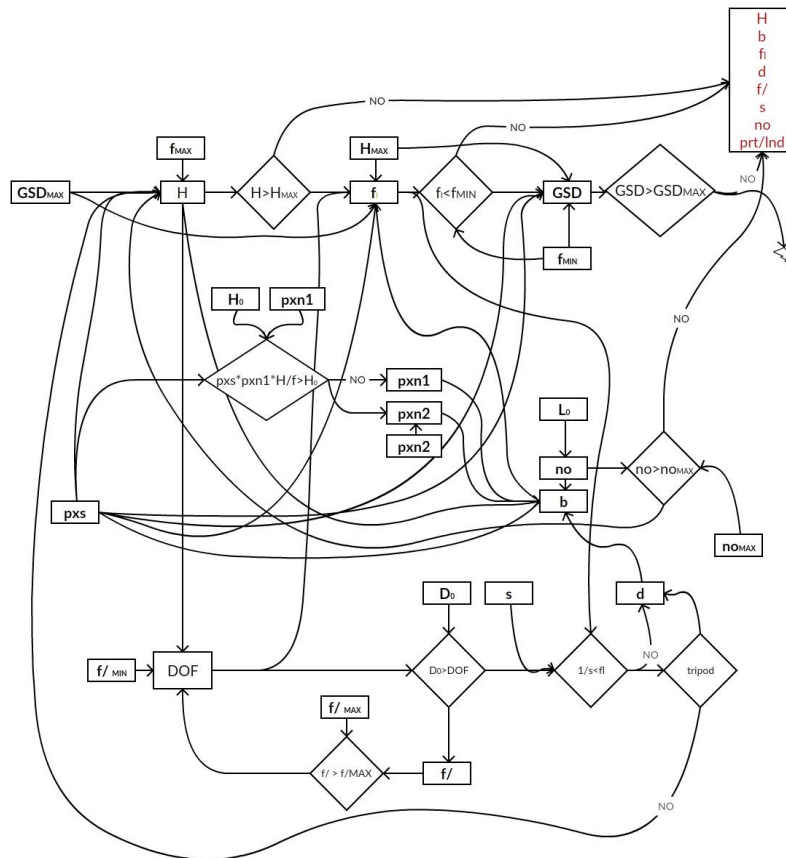
modela. U nekim oblastima kao što su graditeljsko nasleđe, forenzika, arhitektura i slično, pravljenje foto dokumentacije objekata je uobičajeno. Međutim, foto dokumentacija se najčešće pravi samo u svrhu 2D prikaza objekta. Pri kreiranju foto dokumentacije ne vodi se računa o prostornosti oblika i snimanju fotografija tako da se iz njih može rekonstruisati 3D model visoke tačnosti [6]. Automatizacija veze između relevantnih parametara objekta, okoline i fotoaparata i parametara plana snimanja bi omogućila da se lako definiše kako treba napraviti niz fotografija pogodan za fotogrametrijsku rekonstrukciju određenog objekta.

U ovom radu je plan fotogrametrijskog snimanja pretočen u parametarski model. Cilj parametarske interpretacije je mogućnost automatizacije procesa pripreme plana snimanja u skladu sa relevantnim parametrima. Na osnovu tog modela moguće je napraviti aplikaciju koja bi pružila sve potrebne podatke o pravljenju foto-dokumentacije tako da se iz nje naknadno može napraviti 3D model visoke tačnosti.

## 2. PLAN SNIMANJA ZA FOTOGRAMETRIJSKO MERENJE

Da bi plan snimanja odgovarao fotogrametrijskoj rekonstrukciji neophodno je uzeti u obzir oblik i bitne karakteristike objekta, željenu detaljnost modela, uslove snimanja kao što su svetlo i ograničenja prostora oko objekta i kvalitet foto opreme. Proces rada definisan je tako da se vrši variranje parametara dok se ne pronađe rešenje koje zadovoljava sve postavljene uslove. Nakon toga generišu se izlazni podaci koji su





Sl. 1. Proces rada

potrebni za definisanje plana snimanja.

## 2.1 Ulazni parametri

Ulazni parametri su određeni tako da obuhvataju uticaje koji su bitni za planiranje fotogrametrijskog snimanja. Ulazni parametri su sledeći:

- parametri objekta:
  - visina objekta [ $H_0$ ]
  - širina objekta [ $L_0$ ]
  - dubina objekta [ $D_0$ ]
  - željena detaljnost [ $GSD_{MAX}$ ]
- parametri okoline:
  - maksimalna udaljenost od objekta [ $H_{MAX}$ ]
- parametri foto aparata:
  - maksimalna žižna daljina [ $f_{MAX}$ ]
  - minimalna žižna daljina [ $f_{MIN}$ ]
  - veličina pixela [ $pxs$ ]
  - broj piksela na manjoj strani senzora [ $pxn1$ ]
  - broj piksela na većoj strani senzora [ $pxn2$ ]
  - maksimalni f broj (minimalna blenda) [ $f_{MAX}$ ]
  - minimalni f broj (maksimalna blenda) [ $f_{MIN}$ ]
  - brzina zatvarača [ $s$ ]
- parametri postprodukcije
  - maksimalan broj slika [ $no_{MAX}$ ]

Parametri objekta obuhvataju dimenzije objekta i

detaljnost koju korisnik želi da postigne. Uprošćeno može se reći da dimenzija objekta može opisati visinom, širinom i dužinom. Dva osnovna tipa objekata koji su pogodni za fotogrametrijska snimanja su slobodnostojeći objekti i ravni. Slobodnostojeći objekti su oni oko kojih je moguće obići sa svih strana. Ravni objekti najčešće predstavljaju jednu stranu nekog većeg objekta, kao što je na primer fasada. Širina objekta je kod ravnih objekata dužina površi koju treba snimiti, a kod slobodnostojećih je to obim osnove objekta. Dubina objekta predstavlja razliku najbliže i najdalje tačke u pravcu snimanja. Kod slobodnostojećih objekata pravac snimanja je usmeren ka centru objekta a kod ravnih je upravran na tu ravan. Željenu detaljnost definiše korisnik i ona se izražava kao željeni *GSD* (*Ground Sample Distance*). *GSD* predstavlja veličinu piksela u razmeri realnog objekta. Željeni *GSD* se definiše na osnovu nivoa detaljnosti koji korisnik želi da bude merljiv u modelu. Ako, na primer, na objektu postoje neravnine koje su veličine 1mm, *GSD* bi trebalo predvideti 1/2-1/3 od te vrednosti, odnosno 0.3-0.5mm.

Parametar okoline određuje koliko prostora je raspoloživo za postavljanje foto aparata. Najveća udaljenost od objekta predstavlja najmanje rastojanje od objekta do nekog predmeta koji ograničava snimanje. Ostali parametri okoline koji su u vezi sa osvetljenjem biće uvedeni u proračun



putem parametara foto-aparata, kroz one parametre koji su u vezi sa ekspozicijom slike. Parametri foto-aparata određuju bitne karakteristike opreme koja utiče na plan snimanja. Najbitnije je odabrati adekvatnu žižnu daljinu. U proračunu se koristi realna žižna daljina (bez uzimanja u obzir krop faktora). Veličina senzora foto-aparata uzeta je u obzir u proračun unosom veličine piksela i brojem pixela duž obe strane senzora.

Performanse foto-aparata koje figurišu kod fotogrametrije a u vezi su sa osvetljenjem su blenda i brzina zatvarača. Osetljivost senzora (ISO) se kod fotogrametrijskih snimanja može minimalno podići (do 200), a pošto on ne utiče na ostale parametre snimanja, ovaj parametar neće biti korišćen pri planiranju. Maksimalna blenda je ograničenje koje je vezano za najveći otvor blende koji objektiv ima, a minimalna blenda je pri fotogrametrijskom snimanju ograničena potrebom da se izbegne zamućenje slike koje nastaje usled difrakcije. Brzina zatvarača utiče na ukupnu osvetljenost slike, ali i na zamućenje usled nestabilnosti foto aparata. U slučaju posedovanja stativa, ovaj parametar ne dolazi do izražaja, ali ako se slika iz ruke, maskimalna brzina zatvarača mora biti ograničena u relaciji sa žižnom daljinom.

Parametri postprodukcije su vezani za performanse računara na kojem će biti vršeno automatsko kreiranje oblaka tačaka. Ukoliko je računar slabijih performansi ili je potrebno dobiti izlazne podatke za kraće vreme, treba koristi manji broj fotografija. U suprotnom može biti previše zahtevno ili nemoguće kreirati izlazne rezultate.

## 2.2 Proces rada

Proces rada je osmišljen tako da se pretpostavlja da korisnik unosi ulazne podatke kojima se definišu ograničenja snimanja, željeni kvalitet i dostupna oprema. Nakon toga podaci se obrađuju sa ciljem da se pronađu parametri snimanja koji zadovoljavaju sve postavljene uslove. Celokupan proces rada prikazan je na slici 1.

Proces rada se zasniva na:

- uspostavljanju veze između udaljenosti ( $H$ ), žižne daljine ( $f$ ) i detaljnosti snimanja ( $GSD$ ),
- podešavanju faktora osvetljenosti radi postizanja neophodne dubinske oštine,
- ostalim pomoćnim podešavanjima.

Pošto je fotografija centralna projekcija realnog okruženja, moguće je uspostaviti vezu parametara foto aparata, žižne daljine ( $f$ ) i veličine pixela ( $p_{XS}$ ), naspram parametara realnog okruženja,

udaljenosti ( $H$ ) i detaljnosti snimanja ( $GSD$ ) (1):

$$f_l : p_{XS} = H : GSD \quad (1)$$

Od ova četiri parametra tri su promenljiva.  $GSD$  i  $H$  su ograničeni samo sa jedne strane, dok je  $f_l$  parametar koji je ograničen sa obe strane. U procesu rada prvo je pretpostavljeno da je  $H$  nepoznato i da su vrednosti ostalih promenljivih parametara maksimalne, te je  $H$  proračunato (2).

$$H = f_{lMAX} \cdot GSD_{MAX} / p_{XS} \quad (2)$$

Ova vrednost je upoređena sa  $H_{MAX}$  i ako je vrednost  $H$  veća od dozvoljene, menja se parametar  $f_l$  i proračunava se kao u jednačini (3).

$$f_l = H_{MAX} \cdot p_{XS} / GSD \quad (3)$$

Ukoliko je  $f_l$  manje od  $f_{lMIN}$  znači da je foto-aparat preblizu, a pošto je već korišćena maksimalna udaljenost, menja se  $GSD$  i računa se kao u (4).

$$GSD = H_{MAX} \cdot p_{XS} / f_{lMIN} \quad (4)$$

Drugi bitan uslov koji treba obezbediti planom snimanja je postizanje dovoljne dubinske oštine na slici. Čitav objekat koji je potrebno procesirati treba da bude u okviru CoC (*Circle of Confusion*) da bi kvalitet fotografije bio dovoljan za fotogrametrijsku rekonstrukciju. Ključni uslov je da dubina objekta ( $Do$ ) bude manja od dubinske oštine ( $DoF$ ). Na dubinsku oštinu osim senzora utiču blenda, žižna daljina i udaljenost. Dubinska oštrina se proverava pomoću  $DoF$  kalkulatora. U procesu rada predloženo je da se krene sa najotvorenijom blendom ( $f_{MIN}$ ) jer ona ima najmanju dubinsku oštinu. Ako u tom slučaju  $DoF$  nije dovoljna, blenda se povećava do maksimalne dozvoljene vrednosti ( $f_{MAX}$ ). Ako je i tom slučaju  $DoF < Do$  proverava se da li je moguće produžiti ekspanzu (brzinu zatvarača) ( $s$ ) i time povećati količinu svetla u fotoaparatu. Pogodna brzina zatvarača zavisi od žižne daljine, te se recipročna vrednost brzine zatvarača poredi sa njom. Ukoliko se ne može povećati brzina zatvarača treba povećati udaljenost od objekta ( $H$ ), čime se procedura vraća na početak. Ako su ustanovljene pogodna blenda, žižna daljina i udaljenost od objekta, može se pomoću  $DoF$  kalkulatora odrediti vrednost  $d$  koja predstavlja distancu tačke fokusa za sve fotografije u seriji.

Osim prethodno navedenih glavnih delova procesa rada, neophodne su i pojedine prateće

provere. U ovom radu pretpostavlja se snimanje po visini samo jednog niza fotografija, te je potrebno proveriti da li cela visina objekta staje u *landscape* položaj foto-aparata ili ga je potrebno postaviti u *portrait* mod. U zavisnosti od toga će se za proračun razmaka između fotografija i ukupnog broja fotografija koristiti  $pxn1$  ili  $pxn2$ . Da bi fotogrametrijska rekonstrukcija bila moguća neophodno je da svaka tačka objekta bude prikazana na više od jedne fotografije. Od toga zavisi razmak između fotografija ( $b$ ) u planu snimanja (5). Razmak zavisi od željenog preklapanja koje je za SfM algoritme oko 80%.

$$b = 0.2 \cdot pxn1_{(2)} \cdot pxs \cdot H / f_l \quad (5)$$

Ukupan broj fotografija ( $no$ ) može se predvideti (6):

$$no = L_o / b \quad (6)$$

i taj broj potrebno je uporediti sa maksimalno dozvoljenim ( $no_{MAX}$ ). Ukoliko postoji problem potrebno je povećati  $H$ , čime se procedura vraća na početak. Kada su svi parametri usklađeni određuju se parametri potrebni za plan snimanja, a to su: udaljenost ( $H$ ), razmak među slikama ( $b$ ), žižna daljina ( $f_l$ ), tačka fokusa ( $d$ ), blenda ( $f$ ) i brzina zatvarača ( $s$ ) i da li snimati u *portrait* ili *landscape* modu.

### 3. ZAKLJUČAK

Fotogrametrijsko snimanje je lako dostupan način beleženja 3D strukture objekata. Upotreba fotogrametrije je dostupnija u različitim oblastima ukoliko postoji jednostavan način za pravljenje plana snimanja. Planiranje snimanja je iterativan postupak koji se može automatizovati i u ovom radu je pokazan proces rada kojim se na osnovu ulaznih podataka o objektu, okolini i foto-aparatu dobijaju svi podaci neophodni za sprovođenje snimanja.

Ograničenje ovakvog pristupa je što ulazni podaci koji definišu veličinu objekta mogu da budu nereprezentativni u slučaju složenih objekta. Predmet budućih istraživanja je automatizacija ovog pristupa i nadogradnja u smislu dodavanja opcije za pravljenje više visinskih nizova slika i analiza samozaklonjenosti objekta.

### 4. REFERENCE

[1] El-Hakim, S.F., Beraldin, A. J. and Pica, M.. *Detailed 3D Reconstruction of Monuments Using Multiple Techniques*. Proceedings of the International Workshop on Scanning for

Cultural Heritage Recording - Complementing or Replacing Photogrammetry. pp. 13-18, Corfu, Greece, 2002.

- [2] Remondino, F. and El-Hakim, S. *Image-Based 3d Modelling: A Review*. The Photogrammetric Record Journal, Vol. 21, pp. 269–291, 2006.
- [3] Voltolini, F., Remondino, F., Pontin, M. and Gonzo, L. *Experiences and Considerations in Image-Based Modeling of Complex Architectures*, International Archives for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) XXXVI, no. 5, pp. 309-314, 2006.
- [4] Bastanlar, Y., N. Grammalidis, X. Zabulis, E. Yilmaz, Y. Yardimci, and G. Triantafyllidis, *3D Reconstruction for a Cultural Heritage Virtual Tour System*. XXI Congress on the International Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS 2008). pp. 1-6, China, 2008.
- [5] Lingua, A., P. Piumatti, and F. Rinaudo, *Digital Photogrammetry: A Standard Approach to Cultural Heritage Survey*, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIV, pp. 1-6, 2003.
- [6] Grussenmeyer, P., Klaus, H., and Streilein, A. *Architectural photogrammetry*. [ed.] Michel Kasser and Yves Egels. *Digital Photogrammetry*. Taylor & Francis, pp. 300-339, 2002.

**Autori:** doc. dr Vesna Stojaković, prof. dr Ratko Obradović, M.Sc. Željko Santoši, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet Tehničkih Nauka, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2350, Fax: +381 21 454-495.

E-mail: [vesna100@uns.ac.rs](mailto:vesna100@uns.ac.rs)  
[obrad\\_r@uns.ac.rs](mailto:obrad_r@uns.ac.rs)  
[zeljkos@uns.ac.rs](mailto:zeljkos@uns.ac.rs)

**Napomena:** Prikazani rezultati postignuti su u toku realizacije projekta "Razvoj inovativnog sistema za 3D digitalizaciju i kreiranje virtuelnih modela nepokretnog kulturnog nasleđa", koji je finansijski podržan od strane Pokrajinskog sekretarijata za kulturu i javno informisanje AP Vojvodine.

Santoši, Ž., Korolija-Crkvenjakov, D., Stojaković, V., Obradović, R., Budak, I.

### **MODEL SISTEMA ZA IZBOR METODE 3D DIGITALIZACIJE KOD NEPOKRETNOG KULTURNOG NASLEĐA**

**Rezime:** Brzi razvoj digitalnih sistema dokumentacije i sve raširenija primena 3D modela u najrazličitijim oblastima primene nameće potrebu da se sistemi izrade 3D modela prilagođavaju specifičnim potrebama krajnjih korisnika. Model sistema je nastao kao rezultat ukrštanja različitih parametara koji su definisati kroz teorijsko-metodološku analizu, u svetlu odabira najpogodnije metode za određeni predmet kulturnog nasleđa, postavljen u određenom okruženju, sa određenim svetlom i sa manje ili više ograničenim pristupom tom predmetu sa svih strana.

**Ključne reči:** kulturno nasleđe, metode 3D digitalizacije, model sistema

#### **1. UVOD**

Prethodna decenija je obeležena značajnijim razvojem oblasti 3D digitalizacije, kako sa teorijsko-metodološkog, tako i sa aplikativnog aspekta. Značajnu ulogu u tome je imao i ima razvoj računarskih tehnologija kao i odgovarajuće softverske podrške prevashodno u oblasti generisanja 3D virtuelnih modela. Simbioza prethodno pomenutih tehničkih dostignuća je stvorila preduslove za izlazak iz okvira tehničkih nauka i za primenu 3D digitalizacije u ne-tehničkim oblastima poput medicine, umetničkog dizajna, a u poslednje vreme i u oblasti kulture i zaštite pokretnog i nepokretnog kulturnog nasleđa. Specifičnosti pomenutih ne-tehničkih oblasti su često predstavljale prepreke, ali je njihovo prevazilaženje zapravo omogućilo dalji razvoj oblasti 3D digitalizacije [1, 2, 3].

#### **2. TEORIJSKO METODOLOŠKA ANALIZA**

Kulturno nasleđe predstavlja neobnovljivi resurs, a savremena zaštita kulturnog nasleđa je multidisciplinarna aktivnost koja angažuje znanja i veštine stručnjaka iz različitih oblasti. Načini materijalizacije kreativnih ideja su brojni, a kao rezultat su nastali predmeti/objekti sa specifičnim karakteristikama: dimenzijom, oblikom, bojom, teksturom, otpornošću na negativne uticaje sredine i drugo (slika 1). Umetnički predmeti su često i upotrebnih predmeti (u funkciji kulta ili građanske prezentacije), pa su i na taj način izloženi promeni oblika, zameni delova, promeni površinske teksture kroz bojenje ili čišćenje, smešteni u enterijeru ili eksterijeru, što sve ostavlja trag na izvornom izgledu predmeta. Takođe, neki od

predmeta kulturnog nasleđa su dostupni samo delimično sagledavanju iz svih uglova, kao što mogu biti na primer skulpture postavljene u nišama (slika 2).



Sl. 1. Primeri objekata kulturnog nasleđa sa stanovišta različitih materijala

U delatnosti zaštite kulturnog nasleđa važno je dokumentovati predmet na takav način da se što više karakteristika oblika i teksture mogu prepoznati. U tom smislu, savremena tehnologija nudi mogućnost napredne dokumentacije u koju svakako spada i izrada 3D modela [4].



Sl. 2. Statua iznad ulaza u samostan Svetog Jurja, Petrovaradin (18. vek)

Pored osnovnog dokumentovanja, ovakvi modeli pružaju nove mogućnosti proučavanja, prezentacije i popularizacije kulturnog nasleđa. Imajući u vidu da precizni virtuelni 3D modeli predstavljaju najbolje rešenje za prikaz i čuvanje geometrijskih podataka slobodnih formi, koje su često prisutne na objektima kulturnog nasleđa, model sistema predstavlja značajan doprinos njegovom očuvanju i promociji.

## 2.1 Kulturno nasleđe sa aspekta 3D digitalizacije

Kao ključni tehnički preduslovi za realizaciju 3D digitalnih (virtuelnih) modela objekata kulturnog nasleđa se mogu navesti sistemi za 3D digitalizaciju i softverski sistemi za 3D modelovanje na bazi oblaka tačaka [5]. Sistemi za 3D digitalizaciju predstavljaju skupove (dominantno) hardverskih komponenti koji omogućavaju akviziciju podataka o geometrijskim (pre svega dimenzionalnim) karakteristikama fizičkih objekata (slika 3), najčešće u obliku Dekartovih koordinata.



Sl. 3. Primeri uređaja za bezkontaktnu 3D digitalizaciju

Kada je reč o njihovoj primeni u oblasti zaštite kulturnog nasleđa, posebno značajna karakteristika ovih sistema jeste "nivo" interakcije sa objektom koji se digitalizuje.

Zbog toga se u ovoj oblasti, imajući u vidu (često izraženu) osetljivost površina, akcenat stavlja na bezkontaktnu metode [5,6,7]. Tu se pre svega ističu fotogrametrija i svetlosna triangulacija, ali i u slučajevima pokretnih objekata kulturnog nasleđa i kompjuterizovana tomografija. Sledeći značajan aspekt 3D digitalizacije u oblasti kulturnog nasleđa, poštujući značajne gabaritne dimenzije pojedinih objekata, je potreba za dodatnom opremom, odnosno priborom. 3D modelovanje, odnosno rekonstrukcija površina na bazi rezultata 3D digitalizacije, predstavlja softverski problem, ukoliko se izuzme pitanje računarske opreme. Većina savremenih sistema za 3D digitalizaciju sadrži softversku podršku, ali uglavnom osnovnog nivoa. Bolji softveri u ovoj oblasti uglavnom predstavljaju nezavisne platforme koje nude široku paletu alata za modifikacije i poboljšavanje virtuelnih 3D modela. Iako su karakteristike sistema za 3D digitalizaciju značajno unapređene poslednjih godina, sirove rezultate 3D digitalizacije je neophodno dodatno pripremiti ukoliko se želi postići vernija virtuelna reprodukcija. To je u slučaju geometrijski kompleksnijih objekata još izraženije. Pored toga, mogućnost prikaza izvornih (originalnih) tekstura na virtuelnim 3D modelima, ima poseban značaj kod 3D modelovanja u oblasti zaštite kulturnog nasleđa.

## 3. KONCEPT MODELA

Model sistema za izbor najpogodnije metode 3D digitalizacije kod nepokretnog kulturnog nasleđa zamišljen je tako da se sastoji se iz dve osnovne celine:

- baza podataka i
- baza znanja.

U okviru baze podataka definisana su svojstva objekta kulturnog nasleđa sa aspekta metoda 3D digitalizacije kao ulazni parametri u model sistema:

- materijal objekta kulturnog nasleđa,
- gabaritne dimenzije objekta,
- geometrijska složenost,
- stanje površine objekta i
- fizička pokretnost objekta.

Do sada, samo sa jednom metodom 3D digitalizacije nije moguće izvršiti 3D digitalizaciju



svih postojećih objekata kulturnog nasleđa. Razlog tome je različitost u prilazu metoda, načinu funkcionisanja, hardverskom ograničenju. Kao osnovne karakteristike metoda 3D digitalizacije uvrštene u bazu podataka izdvajaju se:

- tačnost,
- veličina mernog prostora,
- lakoća upravljanja, hardverom i softverom i
- mogućnost direktnog apliciranja teksture.

Posebni zahtevi koji se postavljaju pred metode 3D digitalizacije su i:

- cena uređaja za 3D digitalizaciju (hardver-sofтвер),
- vrsta materijala, odnosno stanje površine koje je moguće digitalizovati i
- brzina digitalizacije.

U slučaju da jedna metoda ne može u potpunosti da ispuni sve postavljene zahteve koje diktiraju objekat kulturnog nasleđa i naručilac 3D digitalizacije, često se pribegava kombinovanju najmanje dve metode 3D digitalizacije ili uvođenju dodatne opreme.

Dodatna oprema predstavlja pomoćna sredstva koja omogućavaju 3D digitalizaciju, ako 3D digitalizacija nije izvodljiva sa osnovnim raspoloživim hardverom. Ova oprema se uglavnom koristi zbog ograničenja koja donosi objekat 3D digitalizacije ili se koristi u laboratorijama sa kontrolisanim uslovima u cilju postizanja visoke vizuelne i geometrijske tačnosti 3D modela. Kao dodatna oprema u bazi podataka mogu se okarakterisati (slika 4):

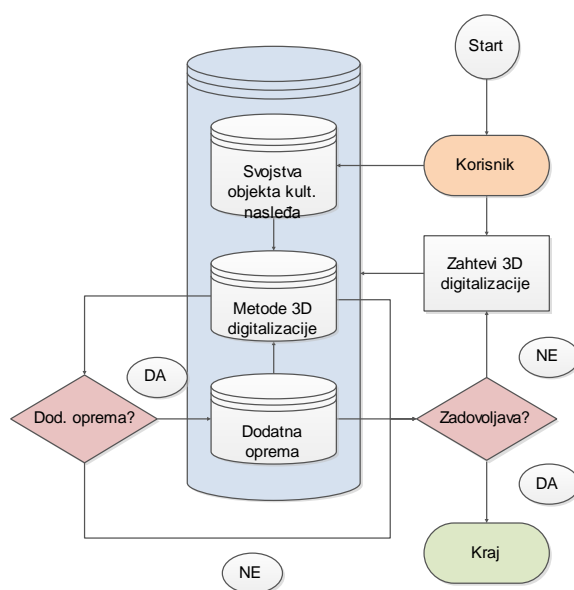


Sl. 4. Primeri dodatne opreme koja omogućava ili olakšava izvođenje 3D digitalizacije

- sve vrste manipulativnih sredstava kako za objekat kulturnog nasleđa tako i za hardverske komponente primenjene metode 3D digitalizacije,
- ravna ogledala za rekonstrukciju teško dostupnih delova,
- obrtni sto za kontrolisanu manipulaciju objektom 3D digitalizacije,
- reflektori sa difuznim osvetljenjem,
- projektori svetlosti (slajd projektori).

Baza znanja predstavlja definisani skup pravila na osnovu kojih je moguće izabrati najpodesniju, odnosno adekvatnu metodu 3D digitalizacije u svakom konkretnom slučaju objekta kulturnog nasleđa. U definisana pravila je ugrađeno ekspertsko znanje, kako iz tehničkog domena, tako i iz domena kulture. Time su stvorene podloge modela za izbor metode 3D digitalizacije kod kulturnog nasleđa, koji počiva na interdisciplinarnom ekspertskom znanju.

Algoritam modela sistema za izbor metode 3D digitalizacije kod kulturnog nasleđa prikazana je na slici 5.



Sl. 5. Model sistema za izbor metode 3D digitalizacije kod kulturnog nasleđa

Ulaz u sistem predstavlja korisnik koji definiše zahteve 3D digitalizacije i unosi podatke o svojstvima objekta kulturnog nasleđa. Takođe definiše osobine dostupnih uređaja za 3D digitalizaciju i unosi podatke o dodatnoj opremi. Nakon toga bi na osnovu ekspertskih podataka u bazi znanja model mogao da da najpogodniju metodu 3D digitalizacije.

Primer: Statua iznad ulaza u samostan Svetog Jurja, Petrovaradin 18. vek (slika 2).



Svojstva objekta kulturnog nasleđa:

- materijal objekta – kamen delimično obojen,
- dimenzije: 1x1x3m,
- geometrijska složenost – objekat je konveksan i postoje delovi koji nisu sagledivi usled samozaklonjenosti,
- tekstura – dinamična,
- fizička pokretnost objekta- teško pristupačan (visina oko 5m iznad tla).

Raspoložive metode 3D digitalizacije:

- struktuirana svetlost,
- laser,
- fotogrametrija.

Dodatna oprema:

- autodizalica,
- fotografski panel ili kišobran.

Izbor najpogodnije metode vršio bi se postavljanjem niza pitanja implementiranih u bazu znanja, po stavkama definisanim u bazi podataka. Metoda koja ispuni sve zahteve 3D digitalizacije, sa aspekta primenljivosti na dati objekat kulturnog nasleđa i sa aspekta potreba krajnjeg korisnika bira se za najpogodniju metodu 3D digitalizacije u datim uslovima. Ako nijedna od raspoloživih metoda 3D digitalizacije ne zadovoljava kriterijume koje je definisao korisnik, potrebno je smanjiti kriterijume u pogledu tačnosti-kvaliteta 3D modela koju treba postići ili razmotriti 3D skeniranje naprednijom opremom i drugim metodama 3D digitalizacije.

#### 4. ZAKLJUČAK

3D digitalizacija kulturnog nasleđa predstavlja značajan pomak u očuvanju, dokumentovanju i kreiranju arhiva prevashodno objekata od izuzetnog kulturološkog značaja. Zbog izuzetno velikog broja različitih objekata kulturnog nasleđa, ovakav model bi pružio krajnjim korisnicima veoma jednostavan način za izbor metode 3D digitalizacije sa mogućnošću stalnog proširenja baze podataka novim podacima o uređajima, ali i aspektima koji u ovom trenutku model ne sadrži, kao što su: uslovi u kojima se odvija 3D skeniranje (spoljni uticaji, uticaji okoline), cena rada operatera sa opremom ili naknadna softverska obrada podataka.

#### 5. REFERENCE

- [1] Gomes, L., Regina Pereira Bellon, O., Silva, L.: *3D reconstruction methods for digital preservation of cultural heritage: A survey*, Pattern Recognition Letters, vol. 50, pp 3-14., 2014.
- [2] Haala, N. & Alshwabkeh, Y.: *Application of Photogrammetric Techniques for Heritage Documentation*, Amman, s.n., pp. 1-7, 2003.
- [3] Koutsoudis, A., Arnaoutoglou, F. & Chamzas, C.: *On 3D reconstruction of the old city of Xanthi. A minimum budget approach to virtual touring based on photogrammetry*, Journal of Cultural Heritage, Osa/vuosikerta 8, pp. 26-31, 2006.
- [4] Letellier, R.: *Recording, Documentation and Information Management for the Conservation of Heritage Places, Guiding principles*, The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 2007.
- [5] Pavlidis, G. ym.: *Methods for 3D digitization of Cultural Heritage*. Journal of Cultural Heritage, Osa/vuosikerta 8, pp. 39-39, 2007.
- [6] Remondino, F.: *Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning*, Remote Sensing, Osa/vuosikerta 3, pp. 1104-1138. 2011.
- [7] Santoši, Ž., Šokac, M., Korolija-Crkvenjakov, D., Kosec, B., Soković, M., Budak, I.: *Reconstruction of 3d models of cast sculptures using close-range photogrammetry*, Metalurgija vol. 54 pp. 695-698, 2015.

**Autori: M.Sc. Željko Santoši**, Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel: +381 21 485 2350, Fax: +381 21 454-495.

**dr Daniela Korolija-Crkvenjakov**, Galerija Matice srpske, Trg Galerija 1, Novi Sad, Srbija, Tel: +381 21 489 9000 Fax: +381 21 489 9023

**doc. dr Vesna Stojaković, prof. dr Ratko Obradović, vanr. prof. dr Igor Budak**, Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel: +381 21 485 2350, Fax: +381 21 454-495.

E-mail: [zeljos@uns.ac.rs](mailto:zeljos@uns.ac.rs)  
[daniela.korolija@gmail.com](mailto:daniela.korolija@gmail.com)  
[vesna100@uns.ac.rs](mailto:vesna100@uns.ac.rs)  
[obrad\\_r@uns.ac.rs](mailto:obrad_r@uns.ac.rs)  
[budaki@uns.ac.rs](mailto:budaki@uns.ac.rs)

**Napomena:** Prikazani rezultati postignuti su u toku realizacije projekta "Razvoj inovativnog sistema za 3D digitalizaciju i kreiranje virtuelnih modela nepokretnog kulturnog nasleđa", koji je finansijski podržan od strane Pokrajinskog sekretarijata za kulturu i javno informisanje AP Vojvodine.