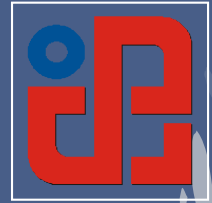




Univerzitet u Novom Sadu
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
DEPARTMAN ZA PROIZVODNO MAŠINSTVO
Novi Sad, Srbija



MEĐUNARODNA NAUČNA KONFERENCIJA

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

ETIKUM 2018

ZBORNIK RADOVA
PROCEEDINGS

NOVI SAD DECEMBAR/DECEMBER 2018



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



ETIKUM 2018

PROCEEDINGS

Novi Sad, 06-08 December 2018

PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
ETIKUM 2018
Novi Sad 2018

Publisher:

**UNIVERSITY OF NOVI SAD, FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES
DEPARTMENT OF PRODUCTION ENGINEERING
CHAIR OF METROLOGY, QUALITY, FIXTURES, TOOLS AND
ECOLOGICAL ENGINEERING ASPECTS
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

Technical treatment and design:

Boris AGARSKI,
Milana ILIĆ MIĆUNOVIĆ,
Željko SANTOŠI.

CIP classification:

CIP - Каталогизacija у публикацији
Библиотека Матице српске, Нови Сад

621:658.562(082)
502.175(082)

INTERNATIONAL Scientific Conference ETIKUM (12 ; 2018 ; Novi Sad)

Proceedings [Elektronski izvor] / [Scientific Conference with International Participation]
ETIKUM 2018, Novi Sad, 06-08 December 2018. - Novi Sad : Faculty of Technical Sciences,
Department of Production Engineering, 2018

Dostupno i na: <http://www.dpm.ftn.uns.ac.rs/index.php/etikum>. - Nasl. sa naslovnog ekrana. -
Opis zasnovan na stanju na dan 28.11.2018. - Radovi na srp. i engl. jeziku. - Tekst štampan
dvostubačno. - Str. [5-6]: Predgovor / Programski i organizacioni odbor = Foreword /
Programme and Organizing Committee. - Bibliografija uz svaki rad.

ISBN 978-86-6022-123-2

a) Производно машинство - Контрола квалитета - Зборници b) Животна средина -
Контрола квалитета - Зборници
COBISS.SR-ID [326951431](#)

ETIKUM 2018

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE NOVI SAD, SERBIA, DECEMBER 06-08, 2018

CONFERENCE ORGANIZER

University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department of Production Engineering
Chair of Metrology, Quality, Fixtures, Tools and Ecological Engineering Aspects

PROGRAMME COMMITTEE

- Aco Antić, University of Novi Sad, Serbia*
Aleksandar Kiralj, University of Novi Sad, Serbia
Aleš Nagode, University of Ljubljana, Slovenia
Bojan Ačko, University of Maribor, Slovenia
Bojana Milekić, University of Novi Sad, Serbia
Boris Agarski, University of Novi Sad, Serbia
Borut Kosec, University of Ljubljana, Slovenia
Branka Nakomčić-Smardak, University of Novi Sad, Serbia
Branka Trifković, University of Belgrade, Serbia
Branko Škorić, University of Novi Sad, Serbia
Branko Tadić, University of Kragujevac, Serbia
Daniela Korolija-Crkvenjakov, Gallery of Matica srpska, Serbia
Danimir Jevremović, University Business Academy, Serbia
Dejan Lukić, University of Novi Sad, Serbia
Dejan Ubavin, University of Novi Sad, Serbia
Dominic Eggbeer, Cardiff Metropolitan University, United Kingdom
Dragana Štrbac, University of Novi Sad, Serbia
Dragiša Vilotić, University of Novi Sad, Serbia
Dražan Kozak, University Josip Juraj Strossmayer of Osijek, Croatia
Dubravka Marković, University of Novi Sad, Serbia
Đorđe Vukelić, University of Novi Sad, Serbia, chair
Ferenc Kiss, University of Novi Sad, Serbia
Funda Cansu Ertem, University of Groningen, Netherlands
Goran Šimunović, University Josip Juraj Strossmayer of Osijek, Croatia
Goran Stojanović, University of Novi Sad, Serbia
Goran Vujić, University of Novi Sad, Serbia
Igor Budak, University of Novi Sad, Serbia
Igor Drstvenšek, University of Maribor, Slovenia
Ilija Ćosić, University of Novi Sad, Serbia
Ivan Kuric, University of Zilina, Slovakia
Jozef Živčák, Technical University of Kosice, Slovakia
Juraj Šebo, Technical University of Kosice, Slovakia
Klara Szita Toth, University of Miskolc, Hungary
Marian Borzan, Technical University of Cluj-Napoca, Romania
Miladin Stefanović, University of Kragujevac, Serbia
Milan Martinov, University of Novi Sad, Serbia
Milan Kljajin, University Josip Juraj Strossmayer of Osijek, Croatia
Miljana Prica, University of Novi Sad, Serbia
Milovan Lazarević, University of Novi Sad, Serbia
Mijodrag Milošević, University of Novi Sad, Serbia
Miodrag Hadžistević, University of Novi Sad, Serbia
Miodrag Manić, University of Nis, Serbia
Mirko Gojić, University of Zagreb, Croatia
Mirko Soković, University of Ljubljana, Slovenia
Miroslav Badida, Technical University of Kosice, Slovakia
Miroslav Trajanović, University of Nis, Serbia
Mladen Šercer, University of Zagreb, Croatia
Nenad Simeunović, University of Novi Sad, Serbia
Nikola Jorgovanović, University of Novi Sad, Serbia
Nusret Imamović, University of Zenica, Bosnia and Herzegovina
Petar Petrović, University of Belgrade, Serbia
Peter Monka, Technical University of Kosice, Slovakia
Robert Čep, Technical University of Ostrava, Czech
Robert Williams, Cardiff Metropolitan University, United Kingdom
Siniša Mirković, University of Novi Sad, Serbia
Slavko Arsovski, University of Kragujevac, Serbia
Stanislaw Legutko, Poznan University of Technology, Poland
Slobodan Mitrović, University of Kragujevac, Serbia
Šefket Goletić, University of Zenica, Bosnia and Herzegovina
Tatjana Puškar, University of Novi Sad, Serbia
Tomaž Brajlj, University of Maribor, Slovenia
Vesna Stojaković, University of Novi Sad, Serbia
Viktor Till, University of Novi Sad, Serbia
Vladimir Koči, University of Chemistry and Technology, Czech
Zbigniew Klos, Poznan University of Technology, Poland
Zdravko Krivokapić, University of Montenegro, Montenegro
Željko Ivandić, University Josip Juraj Strossmayer of Osijek, Croatia
Živana Jakovljević, University of Belgrade, Serbia
Zorana Tanasić, University of Banja Luka, Bosnia and Herzegovina

ORGANIZING COMMITTEE

- Bojana Milekić, University of Novi Sad, Serbia*
Boris Agarski, University of Novi Sad, Serbia, chair
Branislava Petronijević, University of Novi Sad, Serbia
Branko Štrbac, University of Novi Sad, Serbia
Đorđe Vukelić, University of Novi Sad, Serbia
Igor Budak, University of Novi Sad, Serbia
Ivan Matin, University of Novi Sad, Serbia
Mario Šokac, University of Novi Sad, Serbia
Milana Ilić Mićunović, University of Novi Sad, Serbia
Miodrag Hadžistević, University of Novi Sad, Serbia
Zorana Lanc, University of Novi Sad, Serbia
Željko Santoši, University of Novi Sad, Serbia, secretary

ETIKUM 2018

**INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
NOVI SAD, SERBIA, DECEMBER 06-08, 2018**

ACKNOWLEDGEMENT

Organisation of International Scientific Conference ETIKUM 2018 was made possible with understanding and financial help of following sponsors:

- **PROVINCIAL SECRETARIAT FOR HIGHER EDUCATION AND SCIENTIFIC RESEARCH OF AP VOJVODINA – Novi Sad**
- **FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES - Novi Sad**
- **DEPARTMENT FOR PRODUCTION ENGINEERING AT THE FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES - Novi Sad**

Predgovor

Međunarodna naučno stručna konferencija ETIKUM 2018 se održava tradicionalno već dvanaesti put. 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 interdisciplinarnе saradnje, konferencija je i ove godine obuhvatila i srodne naučno stručne oblasti, u okviru kojih članovi Katedre realizuju naučno-istraživačke i stručne projekte.

Od 2016. godine, uvedena je nagrada za najbolji rad mladog istraživača u znak sećanja na Prof. dr Janka Hodoliča. Programski odbor ETIKUM konferencije je i 2018 godine nagradio najbolji rad mladog istraživača ETIKUM konferencije sa Prof. dr Janko Hodolič nagradom.

Konferencija ETIKUM 2018 je strukturirana u četiri tematske celine:

1. Metrologija i kontrola kvaliteta u proizvodnom inženjerstvu;
2. Metrologija i kontrola kvaliteta u biomedicinskom inženjerstvu;
3. Metrologija i kvalitet u zaštiti životne sredine;
4. Merenje u oblasti zaštite kulturnog nasleđa.

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 privukla je istraživače iz različitih oblasti zaštite životne i radne sredine. U okviru treće tematske oblasti predstavljena su istraživanja vezana za merenja i analize zagađujućih materija emitovanih u vazduh, vodu, zemljište, merenje i monitoring fizičkih aspekata životne sredine kao što su buka, zračenje i vibracije, kao i ocenjivanje životnog ciklusa proizvoda i procesa.

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 2018 je prezentovano ukupno 51 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 2018 will be held for the twelfth time and 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.

From the 2016, in memoriam of Prof. dr Janko Hodolic award for the best paper of the young researcher was introduced. The best paper of the young researcher from ETIKUM 2018 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 protection 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 researchers from various areas of environmental protection and occupational safety. Research in field of measurement and analysis of pollutants to air, water, and soil, measurement and monitoring of physical aspects of environment such as noise, radiation and vibrations, as well as life cycle assessment of products and processes is presented in third thematic area.

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 2018 conference 51 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.

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

Kolarević, M., Đorđević, V., Grković, V., Milunović V.: UNAPREĐENJE KVALITETA PROIZVODA SIGURNOSNIH BLAGAJNI PRIMENOM SPC-a.....	1
Banjanin, B., Vladić, G., Pál, M., Delić, G., Adamović, S.: DEFINISANJE ELEMENATA ALATA ZA UTISKIVANJE IZRAĐENIH FDM TEHNIKOM 3D ŠTAMPE	5
Janjić, G., Tanasić, Z., Kosec, B.: STRATEŠKA ANALIZA ORGANIZACIJE I PROCJENA RIZIKA	9
Petrović, Z., Dapić, M., Živković, M., Todorović, M.: PRIMENA METODA I TEHNIKA LEAN KONCEPTA U UNAPREĐENJU TEHNOLOŠKOG SISTEMA MONTAŽE	13
Ilnković, N., Živanić, D., Zelić, A., Đukić M.: PROJECT OF RECONSTRUCTION OF THE DEVICE Df 0.2 USED FOR CALIBRATION OF DYNAMOMETERS	17
Kožuh, S., Ivanić, I., Krtić, I., Kosec, B., Gojić, M.: MICROSCOPIC ANALYSIS OF THE Cu-Al-Mn-Ni SHAPE MEMORY ALLOY AFTER HEAT TREATMENT	21
Havrlišan, S., Šimunović, K., Vukelić, Đ., Šarić, T., Šimunović, G.: ISTRAŽIVANJE UTICAJA PARAMETRA NAŠTRCAVANJA NA TVRDOĆU PREVLAKA	25
Simonović, S.: ON NANOMANIPULATION OF NANO-SIZED OBJECTS	29
Nedeljković, D., Petrović, M., Jakovljević, Ž.: COMPARISON OF PARTICLE SWARM AND ANT COLONY OPTIMIZATION IN WIRELESS SENSOR NETWORK ROUTING	33
Đurđev, M., Milošević, M., Lukić, D.: OPTIMIZACIJA REDOSLEDA IZVOĐENJA ZAHVATA OBRADE PRIMENOM ALGORITMA GRBAVOG KITA	37
Škorić, B., Arsenović, M., Schrittwieser, R.: THERMOGRAPHY AND NUMERICAL SIMULATIONS WITH RESPECT TO STRESS STATE AND FRACTURE OF CONTINUOUS CAST SPECIMENS MADE OF BRONZE.....	41
Kičinja, V., Cvetičanin, L.: VIBRACIONI ENERGETSKI HARVESTERI: PREGLED	45
Maretić, R., Glavardanov, V., Berecki, A., Okuka, A.: SAVIJANJE TEŠKE GREDE NA NEZATEŽUĆOJ VINKLEROVOJ PODLOZI PRI DEJSTVU NESIMETRIČNO POSTAVLJENJE SILE	49
Szuchy, P.: 5-DEGREE-OF-FREEDOM SUBSYSTEMS IN ACOUSTIC METAMATERIALS	53
Rakarić, Z.: MEHANIZMI SA NISKOM SOPSTVENOM FREKVENCIJOM I NJIHOVA PRIMENA KOD SENZORA ZA MONITORING OBJEKATA.....	57
Bijelić Z., Milanović, B., Bijelić, M., Bijelić, Ž.: UPRAVLJANJE INTEGRISANIM KVALITETOM SA ASPEKTA OPTIMIZACIJE INTEGRISANIH RAZVOJNIH PROMJENAMA	61

Bijelić Z., Milanović, B., Bijelić, M., Miletić, D.: TRADICIONALNO I SAVREMENO SISTEMSKO UPRAVLJANJE KVALITETOM SREDSTAVA NVO	65
Matin, I., Vukelić, Đ., Hadžistević, M., Štrbac, B., Santoši, Ž., Šokac, M., Kulundžić, N.: RAČUNAROM PODRŽAN INTEGRISAN PRISTUP PARAMETARSKOM PROJEKTOVANJU PLASTIČNOG PROIZVODA I ALATA.....	69
Štrbac, B., Veselinović, P., Matin, I., Hadžistević, M.: ANALIZA TAČNOSTI KOORDINATNE MERNE MAŠINE PRIMENOM METODE ODZIVNE POVRŠINE	73
Lanc, Z., Zeljković, M., Živković, A., Štrbac, B., Hadžistević, M.: UTICAJ POVRŠINSKE HRPAVOSTI I TEMPERATURE NA KOEFICIJENT EMISIVNOSTI ČELIKA	77
Šokac, M., Budak, I., Jakovljević, Ž., Santoši, Ž., Vukelić Đ.: PREGLED STANJA I ANALIZA NAJČEŠĆE PRIMENJIVANIH METODA ZA SEGMENTACIJU SLIKE	81

SESSION 2: METROLOGY AND QUALITY IN THE FIELD OF BIOMEDICAL ENGINEERING

Kostevsek, U., Ekselenski, S., Drstvensek, I., Brajlj, T.: ACCURACY TEST OF DENTAL THREE-DIMENSIONAL OPTICAL SCANNER.....	85
Zupančić, K., Pavlič, A., Karpe, B., Ilić Mićunović, M., Puškar, T., Kosec, B., Bizjak, M., Nagode, A.: THE PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS IN DENTAL MEDICINE	89
Mitić, J., Manić, M., Petrović S., Krasić, S., Vitković, N., Trajanović, M.: REKONSTRUKCIJA GEOMETRIJSKOG MODELA NEDOSTAJUĆEG DELA NA TELU DONJE VILICE ČOVEKA	93
Maletin, A., Marković, D., Petronijević Šarčev, B., Puškar, T., Veljović, T., Nešković, I., Ristić, I.: MERENJE STEPENA KONVERZIJE MONOMERA DENTALNIH CEMENTNIH MATERIJALA NA BAZI KOMPOZITNIH SMOLA	97
Petronijević Šarčev, B., Maletin, A., Šarčev, I., Marković D., Puškar, T., Miletić V.: MERENJE POTENCIJALNO ŠTETNIH MATERIJALA IZ KOMPOZITNIH SMOLA ZA PRIMENU U STOMATOLOGIJI.....	101
Šipovac, M., Jović, A., Vicko, K., Kojić, S., Stefanović, S., Petrović, B.: SEM AND EDS ANALYSIS OF PRIMARY TEETH CEMENTUM	105
Vicko, K., Puškar, T., Jevremov, J., Kojić, S., Stojanović, G., Petrović, B.: THE EFFECTS OF SAMPLE PREPARATION AND NANOINDENTATION PROTOCOL ON SURFACE MECHANICAL PROPERTIES OF PRIMARY TEETH ENAMEL	109
Jeremić Knežević, M., Knežević, A., Boban, J., Đurović Koprivica, D., Milekić, B., Puškar, T.: DIGITALNI IMIDŽING U STOMATOLOGIJI.....	113
Ilić Mićunović, M., Kosec, B., Budak, I., Kojić, V., Santoši, Ž., Agarski, B., Šokac, M.: ISPITIVANJE KARAKTERISTIKA MIKROSTRUKTURE KOŠTANOG GRAFTA PRIMENOM IMAGEJ SOFTVERA ..	117
Gušić, I., Puškar, T., Veljović, T., Mirnić, J., Milekić, B., Đurić, M.: PRIMENA BIOMATERIJALA U REGENERACIJI POTPORNIH ZUBNIH TKIVA.....	121

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

Fir, B., Kosec, B., Karpe, B., Budak, I., Jeklič, D., Agarski, B., Tanasić, Z., Dečman, I., Bernetič, J., Soković, M., Nagode, A.: WASTE GENERATION AND EMISSIONS INTO THE AIR DURING PRODUCTION OF ARMOUR STEEL	125
Nikolić, B., Božović, M., Petković, M.: OBUKA ZAPOSLENIH U MALIM I SREDNJIM PREDUZEĆIMA U OBLASTI ZAŠTITE RADNE I ŽIVOTNE SREDINE.....	129
Nikolić, B., Petković, M., Božović, M.: ZAŠTITA RADNE SREDINE U FUNKCIJI EKOLOŠKE BEZBEDNOSTI	133

Đorđević, V., Pravdić, P.: ANALIZA REZULTATA MERENJA BUKE U ŽIVOTNOJ SREDINI U OPŠTINI TRSTENIK	137
Pravdić, P., Gavrilović, S., Terzić, I.: COMMERCIAL FUELS DERIVATIVES FROM CRUDE-OIL AND THEIR MAIN PROPERTIES	141
Pravdić, P., Gavrilović, S., Terzić, I.: CRUDE OIL PRODUCTS AND REFINING AND THEIR EFFECT TO SURROUNDING ENVIRONMENT	145
Tadić, M., Nikolić, I.: MONITORING KISELIH RUDNIČKIH VODA	149
Tadić, M.: UTICAJ KONCENTRISANIH I RASUTIH ZAGAĐIVAČA NA KVALITET VODE RIJEKE MORACE	153
Živković M, Karić M., Pravdić P., Petrović Z.: CONTAMINATION AND MEASUREMENT OF HYDRAULIC OIL PURITY	157
Gvozdić, E., Matić Bujagić, I., Tolić Stojadinović, Lj., Grujić, S., Đurkić, T.: PRIPREMA UZORAKA VODE ZA ANALIZU VEŠTAČKIH ZASLAĐIVAČA	161
Adamović, S., Adamović, D., Mihailović, A., Pinčjer, I., Banjanin, B., Đurđević, S.: ANALIZA KONCENTRACIONIH NIVOVA PM10 SUSPENDOVANIH ČESTICA U ŠTAMPARIJI	165
Kecić, V., Prica, M., Agarski, B., Kerkez, Đ., Bečelić-Tomin, M., Tomašević Pilipović, D., Dalmacija B.: OCENJIVANJE ŽIVOTNOG CIKLUSA NANO NULA VALENTNOG GVOŽĐA SINTETISANOG IZ EKSTRAKTA LIŠĆA HRASTA.....	169
Karić, M., Živković, M., Karić, A.: EKO-ENERGETSKI EFIKASAN SISTEM GREJANJA OBJEKTA KORIŠĆENJEM TOPLOTNE PUMPE	173
Glišović, S., Petričević, M., Milkić, N.: PRIMENA SPECIJALIZOVANOG CAD MODULA U NASTAVI O EKOLOŠKI ODGOVORNOM PROJEKTOVANJU – PRELIMINARNA ISKUSTVA I DOMETI	177
Petković, M. Mihajlović, E. Milošević, L. Jaknović, A. Nikolić, B. Božović, M.: PROCENA RIZIKA OD POŽARA NA DEPONIJAMA UGLJA I JALOVINE POVRŠINSKIH KOPOVA UGLJA	181
Prokić, D., Vukčević, M., Maletić, M., Janković-Častvan, I., Rusmirović, J., Đurkić T.: HEMIJSKI MODIFIKOVANE AKTIVIRANE UGLJENIČNE TKANINE: KARAKTERIZACIJA POVRŠINE I ADSORPCIJA ESTROGENIH HORMONA	185
Birdahić, V., Šišić, M., Imamović, N.: UTICAJ PRIMJENE SISTEMA OKOLINSKOG UPRAVLJANJA NA EMISIJE POLUTANATA U OKOLIŠ.....	189
Šišić, M., Birdahić, V., Imamović, N.: ADVANTAGES OF BIOREACTOR IN THE PROCESS OF CONTROLLED COMPOSTING BIOWASTE.....	191

SESSION 4: MEASUREMENT IN THE FIELD OF CULTURAL HERITAGE

Krnjetin, S., Šupić, S.: NEPROCENJIVE ŠTETE OD VELIKIH POŽARA GRADOVA - ISTORIJSKI PREGLED	197
Đurić, I., Ilić, V., Ralević, N.: DESKRIPTORI OBLIKA I NJIHOVA PRIMENA U ANALIZI ELEMENATA KLASIČNOG ARHITEKTONSKOG STILA	201

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE ETIKUM 2018

PROCEEDINGS

Session 1:
METROLOGY AND QUALITY CONTROL IN THE
PRODUCTION ENGINEERING

Novi Sad, 06 – 08 December 2018

Kolarević, M., Đorđević, V., Grković, V., Milunović V.

UNAPREĐENJE KVALITETA PROIZVODA SIGURNOSNIH BLAGAJNI PRIMENOM SPC-a

Rezime: U radu su definisane osnovne karakteristike kvaliteta sigurnosnih blagajni koje je potrebno kontrolisati i neusaglašenosti koje se javljaju u procesu proizvodnje, na osnovu dokumentacije privrednog društva „Primat oprema“ DOO Baljevac. Ocena stabilnosti procesa je izvedena pomoću atributivnih kontrolnih karti kvaliteta. Nakon izvršene analize, greške su klasifikovane po brojnosti pojavljivanja. Unapređenje kvaliteta proizvoda se sprovodi utvrđivanjem najuticajnijih grešaka pomoću Pareto analize i određivanjem korektivnih aktivnosti koje je potrebno sprovesti.

Ključne reči: unapređenje kvaliteta, "c"- karta, "u" – karta, Pareto analiza.

1. UVOD

Statistička kontrola danas zauzima značajno mesto u procesu unapređenja kvaliteta. Početak primene statističkih metoda je vezan za početak dvadesetog veka, ali veća primena počinje tokom Drugog svetskog rata kada se organizuje velikoserijska proizvodnja. Statističke metode pomažu da se kontrola u tehnološkim i poslovnim procesima usmeri na faktore koji najviše utiču na te procese. Na osnovu toga se zaključuje koje korektivne mere treba preduzeti da bi se osigurao stabilan i zadovoljavajući kvalitet.

2. SIGURNOSNE BLAGAJNE

Preduzeće Primat OPREMA DOO - Baljevac proizvodi sigurnosnu opremu koja se koristi za čuvanje dragocenosti kao što su važna dokumenta, novac, nakit i sl. Proizvodi su sertifikovani od strane nemačkog instituta VdS, prema Evropskom standardu EN 1143-1. Ovaj standard definiše visok nivo sigurnosti od protivprovalnih uređaja i meri se u jedinicama otpora RU (Resistant Unit). Značajan deo proizvodnog programa čine sigurnosne blagajne stepena sigurnosti od 1 do 4. Proizvode se u veličinama 17 do 771 l, odnosno, 69 do 1450 kg.

S obzirom na to da se ove blagajne koriste u bankama i kancelarijama potrebno je da pored zahteva sigurnosti i estetskog izgleda zadovolje i neke funkcionalne karakteristike kao što su: lako otvaranje i zatvaranje vrata i pouzdano zaključavanje. Zato je neophodno pratiti greške koje utiču na kvalitet ovih karakteristika i preduzeti odgovarajuće korektivne mere za njihovo otklanjanje i sprečavanje njihovog ponovnog nastanka.

3. STATISTIČKA KONTROLA PROCESA

3.1 Kontrola proizvoda

Preduzeće „PRIMAT OPREMA“ DOO – Baljevac primenjuje QMS i usaglašeno je sa zahtevima standarda ISO 9001:2015. Završna kontrola proizvoda se sprovodi u skladu sa planovima kvaliteta i dokumentovanim procedurama POB-824-100 Procedure za praćenje i merenje karakteristika proizvoda, koja podrazumeva upotrebu atributivnih kontrolnih karti i Pareto analizu. „PRIMAT OPREMA“ DOO Baljevac ne može da isporuči proizvod korisniku, dok se ne obave propisane aktivnosti završnog kontrolisanja i ne kompletira sva dokumentacija. Modeli blagajni koje su analizirane u radu su STARPRIM/N. Proizvodnja ovih blagajni je organizovana kroz 12 procesa koji obuhvataju ukupno 61 radno mesto.

3.2 Klasifikacija grešaka

Greške koje nastaju u procesu sklapanja su klasifikovane po stepenu sigurnosti i iste su za sve modele blagajni u okviru istog stepena sigurnosti. Analiza stabilnosti procesa će biti ilustrovana na blagajnama tipa Starprim 2/N (sl. 1). Kontrolnim planom je definisano 16 različitih vrsta grešaka koje treba kontrolisati 100% (tabela 1).

3.3 Analiza stabilnosti procesa

Kontrolisanje je izvršeno u periodu od 01.06.2017. do 28.02.2018. godine. Kontrolisano je ukupno 160 blagajni i to: 40 blagajni 2040/N, 40 blagajni 2070/N, 20 blagajni 2095/N, 30 blagajni 2175/N, 20 blagajni 2285/N i 10 blagajni 2395/N. Podaci o broju ustanovljenih nedostataka su prikazani u tabeli 2. U istoj tabeli je izvršeno sabiranje ukupnog broja grešaka po proizvodu.



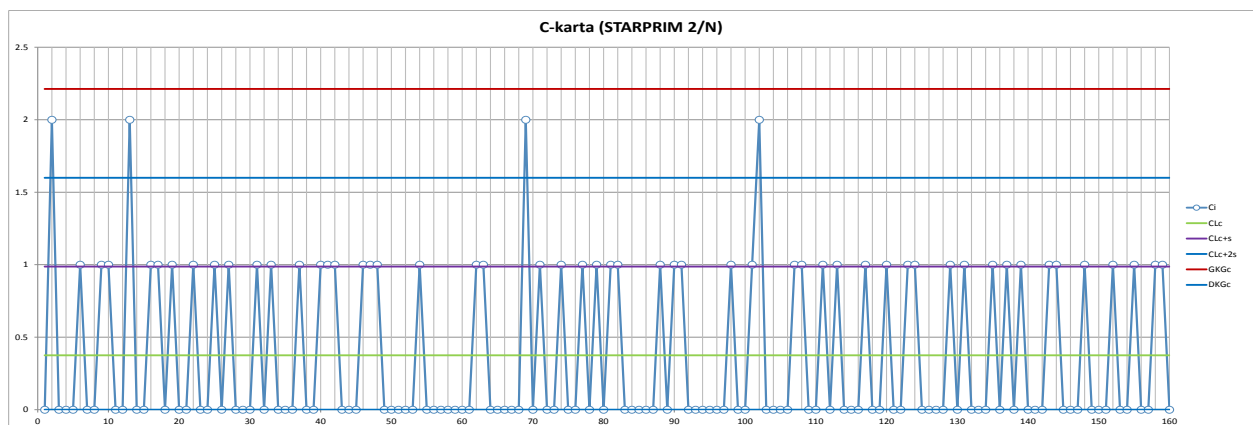
Sl. 1. Model blagajni Starprim 2/N

Tabela 1. Klasifikacija grešaka na modelu kasa Starprim 2/N

Naziv greške	Oznaka
Kontrola perforacija	G1
Detektor zvuka	G2
Zavarivanje tečajnika	G3
Ugaonost blagajne	G4
Ravnost stranica	G5
Fina obrušenost zavara	G6
Očišćenost vrata od ostataka betona	G7
Ravnost vrata	G8
Poravnatost vrata sa kućištem	G9
Zazor između vrata i kućišta	G10
Zazor unutrašnjih vrata	G11
Oštri rubovi	G12
Lažano otvaranje vrata	G13
Postavljanje police	G14
Zatvaranje vrata sa postavljenim litafleksom	G15
Ravnost unutrašnjih površina	G16

Tabela 2. Podaci o greškama u procesu izrade blagajni Starprim 2/N

Производ	Шифра производа	Фабрички број	Датум	GREŠKE																SUM								
				G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14	G15	G16									
1	STARPRIM 2/N 2040	21223201959	28892	21/8/2017																							0	
2	STARPRIM 2/N 2040	21223201959	28894	21/8/2017						1				1														2
3	STARPRIM 2/N 2040	21223201959	28895	21/8/2017																								0
4	STARPRIM 2/N 2040	21223201959	28896	21/8/2017																								0
5	STARPRIM 2/N 2040	21223201959	28893	21/8/2017																								0
6	STARPRIM 2/N 2040	21223201959	28891	22/8/2017															1									1
-				-	-																-							
157	STARPRIM 2/N 2395	21223210470	28985	11.09.2017																								0
158	STARPRIM 2/N 2395	21223210470	28986	11.09.2017																						1		1
159	STARPRIM 2/N 2395	21223210470	28989	11.09.2017																						1		1
160	STARPRIM 2/N 2395	21223210470	28988	12.09.2017																								0
SUM					0	0	0	0	2	28	1	0	2	11	10	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60



Sl. 2. C-kontrolna karta za blagajne Starprim 2/N

Za ocenu stabilnosti proteklog procesa korišćene su c - karta i u - karta.

Vrednost centralne linije za c -karta iznosi:

$$CL_c = \bar{c} = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s c_i = \frac{60}{160} = 0,375 \quad (1)$$

gde je:

s - broj uzoraka ($s = 160$);

c_i - broj defekata po jedinici proizvoda.

Kontrolne granice iznose:

$$GKG_c = \bar{c} + 3 \cdot \sqrt{\bar{c}} = 2,212 \quad (2)$$

$$DKG_c = \bar{c} - 3 \cdot \sqrt{\bar{c}} = 0,000$$

Granice zona „B“ (oblast između prve i druge standardne devijacije) i „C“ (oblast između centralne linije i prve standardne devijacije) su:

$$\bar{c} + \sigma = 0,987$$

$$\bar{c} - \sigma = -0,237 \rightarrow \bar{c} - \sigma = 0 \quad (3)$$

$$\bar{c} + 2\sigma = 1,600$$

$$\bar{c} - 2\sigma = -0,850 \rightarrow \bar{c} - 2\sigma = 0$$

Izgled c -karte sa ucrtanom centralnom linijom, kontrolnim granicama i granicama upozorenja pokazuje da se sve tačke nalaze unutar kontrolnih granica (slika 2) i da su ispoštovana sva pravila za ocenu stabilnosti procesa te se može smatrati da je posmatrani proces bio stabilan.

Ocena stabilnosti ovog procesa je urađena i pomoću u -karte. Podaci za 160 blagajni STARPRIM 2/N su grupisani tako da se dobije 20 uzoraka od 8 komada po uzorku.

Vrednost centralne linije iznosi:

$$CL_u = \bar{u} = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s u_i = \frac{7,5}{20} = 0,375 \quad (1)$$

Kontrolne granice iznose:

$$GKG_u = \bar{u} + 3 \cdot \sqrt{\frac{u}{n}} = 1,024 \quad (2)$$

$$DKG_u = \bar{u} - 3 \cdot \sqrt{\frac{u}{n}} = 0,000$$

$$\bar{u} + 2 \cdot \sqrt{\frac{u}{n}} = 0,808$$

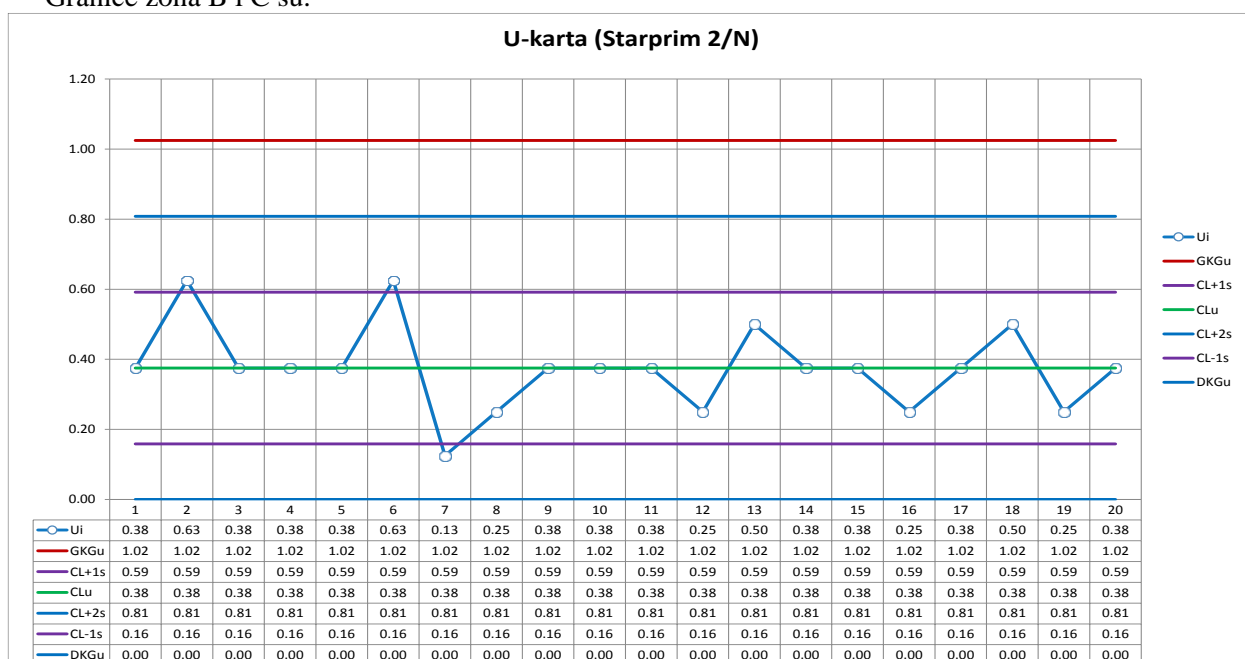
$$\bar{u} + 1 \cdot \sqrt{\frac{u}{n}} = 0,591 \quad (3)$$

$$\bar{u} - 2 \cdot \sqrt{\frac{u}{n}} = 0,000$$

$$\bar{u} - 1 \cdot \sqrt{\frac{u}{n}} = 0,158$$

Izgled u -karte sa pripadajućim podacima i kontrolnim granicama je prikazan na slici 3. Sve tačke su unutar kontrolnih granica, pa se može smatrati da je posmatrani proces stabilan.

Granice zona B i C su:



Sl. 3. U-kontrolna karta za blagajne Starprim 2/N

3.4 Pareto analiza

Na osnovu atributivnih kontrolnih karti može se ustanoviti stabilnost procesa. Međutim, da bi se postiglo unapređenje kvaliteta proizvoda, potrebno je utvrditi koje su greške najbrojnije, otkloniti ih, a u tu svrhu treba primeniti dodatne metode.

Za selekciju uticajnih grešaka primenjena je Pareto analiza. Razvrstavanjem grešaka prema brojnosti pojavljivanja dobija se tabela 3. u kojoj su greške klasifikovane u tri grupe (sl. 4):

- grupa A koja obuhvata 81,67% svih grešaka
 - grupa B koja obuhvata 16,65 % svih grešaka
 - grupa C koja obuhvata 1,67 % svih grešaka
- Najvažnija za analizu je grupa koju čine greške:

- G6 - Fina obrušenost zavara (46,67%)
- G10 - Zazor između vrata i kućišta (18,33%)
- G11 - Zazor unutrašnjih vrata (16,67%)

Njihovim otklanjanjem bi se eliminisalo 81,67% svih grešaka koje se pojavljuju u procesu izrade blagajni „Starprim 2/N“. Pošto se greška G6 najčešće pojavljuje (udeo ove greške je 46,67%), na nju treba obratiti posebnu pažnju i primeniti korektivne mere za njeno otklanjanje.

Potrebno je razmotriti i greške iz grupe B:

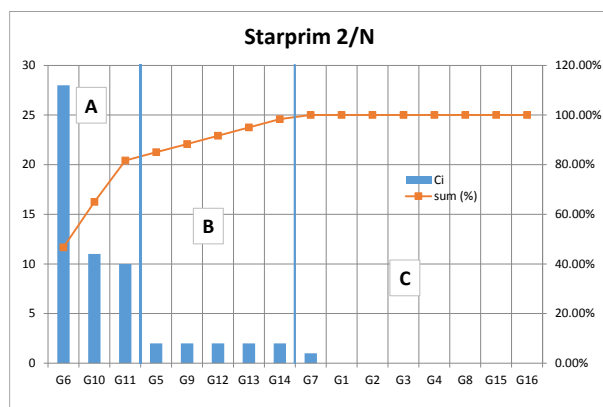
- G5 - Ravnost stranica (3,33%)
- G9 - Poravnatost vrata sa kućištem (3,33%)
- G12 - Oštri rubovi (3,33%)
- G13 - Lagano otvaranje vrata (3,33%)
- G14 - Postavljanje police (3,33%)

koje čine 18,33% svih grešaka i za njih je u sledećoj fazi neophodno preduzeti korektivne mere. Greške iz grupe C čine manje od 2% svih grešaka i u ovoj fazi ih nije potrebno razmatrati.

Istom metodologijom je analizirana stabilnost procesa i izvršena selekcija najuticajnijih grešaka i za ostale blagajne stepena sigurnosti 1, 3 i 4.

Tabela 3. Klasifikacija grešaka prema brojnosti

STARPRIM 2/N					
Gi	Ci	sum	Ci (%)	sum (%)	Grupa
G6	28	28	46.67%	46.67%	A
G10	11	39	18.33%	65.00%	
G11	10	49	16.67%	81.67%	
G5	2	51	3.33%	85.00%	B
G9	2	53	3.33%	88.33%	
G12	2	55	3.33%	91.67%	
G13	2	57	3.33%	95.00%	
G14	2	59	3.33%	98.33%	C
G7	1	60	1.67%	100.00%	
G1	0	60	0.00%	100.00%	
G2	0	60	0.00%	100.00%	
G3	0	60	0.00%	100.00%	
G4	0	60	0.00%	100.00%	
G8	0	60	0.00%	100.00%	
G15	0	60	0.00%	100.00%	
G16	0	60	0.00%	100.00%	
Σ	60				



Sl. 4. Pareto dijagram za model kasa Starprim 2/N

4. PREDLOG UNAPREĐENJA KVALITETA

Analizom je ustanovljeno nekoliko osnovnih razloga zbog kojih nastaju navedene greške. Osnovni problem je nedostatak kvalitetne radne snage i nedovoljna obučenost radnika. Obuka radnika u privrednom društvu „Primat oprema“ DOO, Baljevac se obavlja kontinualno, ali problem je nedovoljan broj instruktora i stalna „hitnost“ radnih naloga, tako da ova aktivnost nije uvek dovoljno kvalitetna.

Iako postoje uputstva za izradu, za sve operacije sklapanja blagajni sa detaljnim opisom operacije, preporuka je da se doda i vizuelni prikaz pojedinih kritičnih delova operacije.

Takođe, problem je i nedovoljna motivisanost radnika, zbog niskih zarada i loših uslova rada, nedostatak radne kulture i sl.

5. ZAKLJUČAK

Sprovedena analiza dovodi do zaključka da je proces izrade blagajni iz proizvodnog programa sigurnosne opreme u privrednom društvu PRIMAT OPREMA DOO Baljevac stabilan, ali da postoje mogućnosti za poboljšanje kvaliteta proizvoda. To potvrđuje korisnost i opravdanost primenjenih statističkih metoda i alata kvaliteta, a primena predloženih mera obezbeđuje unapređenje kvaliteta procesa, a samim tim i poboljšanje konkurentnosti na tržištu.

6. ZAHVALNICA

Ovaj rad je realizovan u okviru istraživanja na projektu TP 37020. Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije za podršku ovom istraživanju.

7. REFERENCE

- [1] Oakland, S. J.: *Statistical Process Control*, Sixt Edition, Butterworth Heinemann, 2008.
- [2] Chandra, J. M.: *Statistical Quality Control*, ©2001 CRC Press LLC
- [3] Douglas C. Montgomery, *Introduction to Statistical Quality Control*, John Wiley&Sons, Inc., Seventh Edition, 2013.
- [4] Kolarević M. i dr.: *Improving Product Quality of Security Equipment Using SPC*, 34th International Conference On Production Engineering, Niš 28-30. September 2011.
- [5] Kolarević M. i dr.: *Statistička kontrola procesa sklapanja sigurnosnih blagajni*, Scientific Conference with International Participation ETIKUM 2017, Novi Sad 06-08. December 2017.

Autori: Prof. dr Milan Kolarević, Mast. inž. maš. Vladan Grković, Mast. inž. maš. Vukadin Milunović, Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet za mašinstvo i građevinarstvo u Kraljevu, Dositejeva 19, 36000 Kraljevo, Srbija, Tel: +381 36 383 269; Mast. inž. maš. Violeta Đorđević, Visoka Tehnička Mašinska Škola Trstenik, Radoja Krstića 19, 37240 Trstenik, Srbija, Tel: +381 37 714 121, Fax: +381 37 714 121;

E-mail: kolarevic.m@mfkv.kg.ac.rs
vm1728mm1212@gmail.com
grkovic.v@mfkv.kg.ac.rs
vuki.milunovic@gmail.com

Banjanin, B., Vladić, G., Pál, M., Delić, G., Adamović, S.

DEFINISANJE ELEMENATA ALATA ZA UTISKIVANJE IZRAĐENIH FDM TEHNIKOM 3D ŠTAMPE

Rezime: Tehnika oplemenjivanja utiskivanjem predstavlja operaciju završne obrade grafičkih proizvoda. Procesom utiskivanja se vrši permanentna promena površine materijala pomoću alata za utiskivanje upotrebom sile pritiska, u cilju formiranja udubljene ili ispupčene slike. Alati za utiskivanje se izrađuju konvencionalnim tehnikama proizvodnje poput tehnika hemijskog nagrizanja metala ili uklanjanja materijala rezanjem.

Cilj istraživanja je definisanje elemenata alata za utiskivanje adekvatnih za izradu tehnikom deponovanja istopljenog materijala (*Fused Deposition Modelling - FDM*), kako bi se dobili rezultati utiskivanja približni rezultatima dobijenim upotrebom konvencionalno izrađenih alata. Analizirane su promene dimenzija i uglova bočnih stranica elemenata na osnovu kojih je izrađen 3D model alata za utiskivanje.

Ključne reči: alati za utiskivanje, aditivna proizvodnja, FDM

1. UVOD

Oplemenjivanje proizvoda pripada završnoj fazi grafičkog procesa - završnoj grafičkoj obradi. U ovoj fazi proizvodu se dodaju određene funkcije ili se vrši promena same forme [1]. Zadatak preoblikovanja predstavlja promenu stanja materijala bez promene dimenzija i mase materijala koji se obrađuje [2]. Utiskivanje je deo završne grafičke obrade i može se definisati kao proces u kom se vrši plastična deformacija oblika materijala u cilju poboljšanja vizuelnog i taktilnog doživljaja. Pored estetske, utiskivanje može imati i informativnu funkciju. Konstantinović [3] u svojoj klasifikaciji postupka za ukrašavanje korica knjige, utiskivanje deli na: utiskivanje bez folija, utiskivanje sa folijama i na reljefno utiskivanje. Utiskivanje bez folije se definiše kao ukrašavanje korica zagrejanom metalnom formom za utiskivanje pri čemu je utisnuta površina glatka, iste dubine i jednostrano deformisana. Utiskivanje sa folijama je definisano kao postupak utiskivanja pri čemu se upotrebom pritiska i temperature, boja ili metalni sloj odvaja od nosača folije na utisnutu površinu. Reljefno utiskivanje je postupak pri kome se materijal za utiskivanje nalazi između patrice i matrice. Usled povišene temperature i pritiska nastaje plastična obostrana deformacija na materijalu za utiskivanje. Na kvalitet utiskivanja utiču mnogobrojni faktori. Po Konstantinoviću [3] ove faktore generalno možemo podeliti na:

- parametre podloge za utiskivanje;
- parametre alata;
- radne parametre utiskivanja.

Pre same izrade alata za utiskivanje, neophodno je znati izgled željene forme za utiskivanje. Potrebno

je odrediti optimalnu veličinu elemenata na formi, količinu detalja, zazor između forme (patrice) i kontra-forme (matrice) kao i željenu dubinu elemenata alata. Alati za utiskivanje se izrađuju konvencionalnim tehnikama, obrade metala rezanjem ili tehnikama hemijskog nagrizanja. Prednost alata izrađenih ovim tehnikama je u njihovoj otpornosti na habanje i visokoj preciznosti izrađenih elemenata. Međutim, navedene konvencionalne tehnike podrazumevaju prostor za skladištenje repromaterijala, mašina, uređaja, kao i odlaganje otpada nastalog u procesu proizvodnje (strugotina, hemikalija,...). Često ovakvi načini izrade alata nisu pogodni za životnu i radnu sredinu čoveka, pa je neophodno istražiti mogućnost zamene konvencionalnih tehnika nekom od tehnika 3D štampe.

Tehnika deponovanja istopljenog materijala - poznata još i pod nazivom FDM (engl. *fused deposition modeling*) je jedna od komercijalnih tehnika 3D štampe. Materijal koji se koristi za štampu je u čvrstom stanju u formi žice koja je namotana na kotur. Žica se sa kotura izvlači i provodi do dela sa zagrejanom diznom kroz koju se čvrsta žica provlači, zagreva, topi i nanosi na platformu, gde se momentalno hladi i očvrstne. Ceo mehanizam sa diznom ima mogućnost kretanja duž dve horizontalne ose, a treća dimenzija se dobija spuštanjem pokretne platforme za debljinu jednog sloja. Slojevi se slažu jedan na drugi kako bi se formirao konačan 3D objekat.

Veliki broj istraživanja je sprovedeno kako bi se ispitao uticaj različitih procesnih parametara FDM tehnike štampe kao što su debljina deponovanog sloja, ugao deponovanih niti,

orijentacija modela na platformi za štampu, procenat unutrašnje popune, brzina štampe i dr. na različite izlazne promenljive. Za optimizaciju procesa i određivanje najuticajnijih parametara, najčešće se koriste faktorski nacrti, dizajn eksperimenta - Design of experiments – DOE [4], Tagučići metoda i GRD - gray relational grade [5], CCD - central composite design [6] i Q-optimal response surface metode [7]. U radu Sood i saradnika [8] ispitivan je uticaj četiri ulazne promenljive: debljina sloja, orijentacija uzorka na platformi za štampu, ugao deponovanih niti (rastera), veličina vazдушnih džepova između rastera i širina rastera na dimenzionalnu stabilnost. U radu Xinhua i saradnika [9] pomoću Tagučići metode, istraženi su mehanizmi koji utiču na deformaciju tankih ploča od PLA materijala izrađenih FDM tehnikom 3D štampe. Pored parametara alata za utiskivanje poput mehaničke čvrstoće, dimenzionalne stabilnosti i površinske hrapavosti, moguće je varirati i parametre elemenata alata kao što su veličina, dubina, ugao bočnih stranica i zazor između elemenata patrice i matrice alata za utiskivanje koji takođe utiču na kvalitet utisnutih elemenata na papiru.

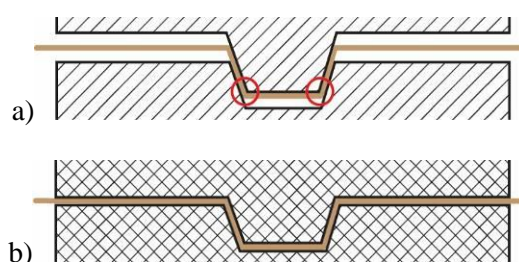
2. METODOLOGIJA

Izrađen je 3D model alata u softverskom paketu Autodesk Inventor Professional 2016. STL format je korišćen za pripremu za štampu pomoću FDM štampača Makerbot Replicator 5th Generation. Podešavanja štampača prikazana su u tabeli 1.

Tabela 1: Podešavanja parametara FDM štampača

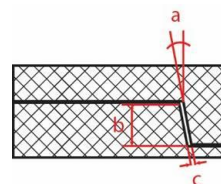
Tip unutrašnje popune	Linearni (naizmenično ukršteni slojevi pod uglom od 90°)
Procenat unutrašnje popune	80%
Broj spoljašnjih kontura	3
Debljina sloja	0,1 mm
Orijentacija alata na platformi za štampu	0°
Temperatura dizne	225 °C
Brzina kretanja glave za štampu	60 mm/s
Broj gornjih i donjih slojeva	6

Za procenu adekvatnih parametara alata odabran je jedan element (osmougao) u više veličina (1 mm, 2 mm, 4 mm i 6 mm) i krug prečnika 6 mm čija je uloga da se uporedi sa heksagonalnim oblikom elementa. Kako ne bi došlo do oštećenja papira usled sila smicanja nastalih u toku utiskivanja, neophodno je što više smanjiti kontakt između patrice i matrice, tj. modifikovati dimenzije modela na osnovu kojih će alat biti izrađen. Na slici 1a prikazan je princip utiskivanja alatom izrađenim konvencionalnom tehnikom, a na slici 1b modifikovanim alatom izrađenim FDM tehnikom štampe. Ovakvom konstrukcijom alata za utiskivanje u velikoj meri su smanjena oštećenja na ivicama papira uzrokovana ograničenjima FDM tehnike 3D štampe.



Sl. 1. Princip utiskivanja a) alatom izrađenim tehnikom nagrizanja sa obeleženim mestima kontakta između patrice i matrice i b) alatom izrađenim FDM tehnikom 3D štampe

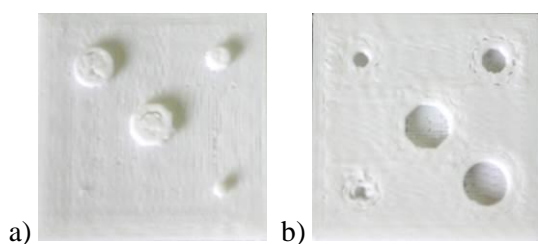
Takođe je neophodno odrediti adekvatne uglove stranica elemenata na alatu za utiskivanje. Kod kontrolnog alata izrađenog tehnikom hemijskog nagrizanja, ovaj ugao kao i dubina elemenata definisani su vremenom nagrizanja osvetljene forme i iznosile su približno 30° za ugao i 1.8 mm za dubinu. Kako bi se odredio optimalan ugao, zazor između patrice i matrice, kao i dubina elemenata alata za utiskivanje izrađenog FDM tehnikom, konstruisan je veći broj uzoraka sa varijacijom uglova, zazora i dubina elemenata, kako bi se rezultati utiskivanja mogli uporediti sa rezultatima izrađenim konvencionalnom tehnikom. Na slici 2 prikazani su parametri alata za utiskivanje izrađenog FDM tehnikom štampe koji su varirani.



Sl. 2. Testirani parametri alata za utiskivanje izrađenog FDM tehnikom štampe: a – ugao zakošenja bočnih stranica elemenata, b – dubina elemenata, c – zazor između patrice i matrice

Testirane su vrednosti uglova oborenih stranica od 10° , 20° i 30° ; vrednosti dubina elemenata od 0,4 mm, 0,5 mm, 0,6 mm i 0,8 mm i zazori između patrice i matrice od 0,3 mm i 0,5 mm.

Izrađeno je ukupno 24 različita alata kako bi se definisala kombinacija parametara koja najpribližnije oponaša rezultate utiskivanja alatom izrađenim tehnikom hemijskog nagrizanja. Kriterijumi za odabir najbolje kombinacije parametara bili su: jasnoća ivica utisnutih elemenata, oštećenje papira na elementima i oko utisnutih elemenata za utiskivanje kao i krzavost ivica elemenata. Procena kvalitet je vršena vizuelnom metodom. Primer odštampanog FDM alata za utiskivanje prikazan je na slici 3.



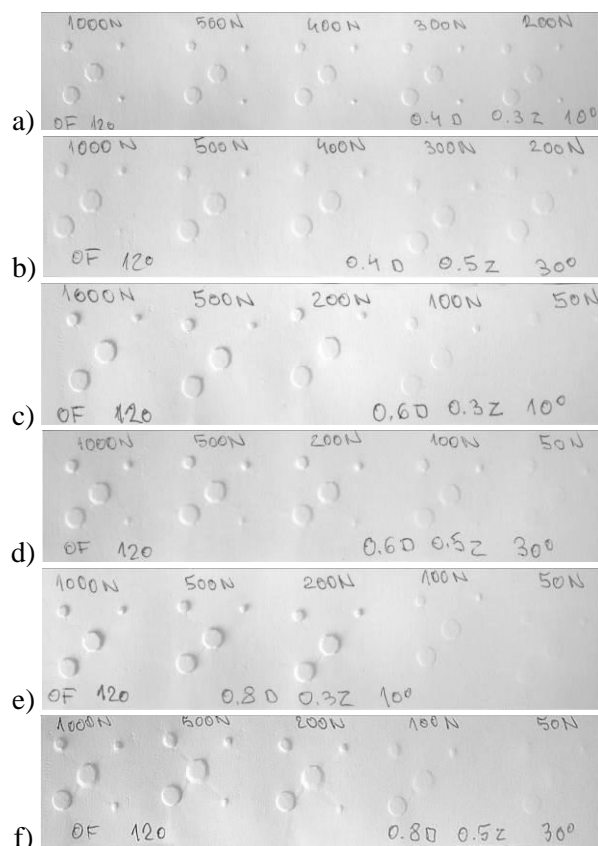
Sl. 3. Izgled patrice i matrice alata za definisanje vrednosti parametara dubine elemenata, ugla bočnih stranica elemenata i zazora između a) patrice i b) matrice.

Za utiskivanje je odabran nepremazni papir gramature 120 g/m^2 , a utiskivanje se vršilo sa pet različitih sila pritiska pomoću uređaja Shimadzu Compact Tabletop EZ-LX u modu za merenje pritiskne čvrstoće koristeći mernu ćeliju sa maksimalnom silom opterećenja od 2.5 kN.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Na slici 4 prikazani su rezultati utiskivanja alatima sa dubinom elemenata 0,4 mm, 0,6 mm i 0,8 mm na nepremaznom papiru, sa varijacijom zazora od 0,3 mm i 0,5 mm i ugla bočnih stranica elemenata alata za utiskivanje od 10° i 30° .

Rezultati ukazuju da dubina elemenata od 0,4 mm i zazor od 0,3 mm vodi ka ivicama veće oštine nego alati sa zazorom od 0,5 mm. Ugao od 10° zahteva veće pritiske, a utisnuti elementi izgledaju niži, doduše sa jasnijom i delimično oštećenom ivicom. Zazor od 0,5 mm, sa druge strane, proizvodi manje oštre i definisane ivice utisnutih elemenata sa boljim rezultatima u slučaju ugla od 10° . Kod ugla bočnih stranica od 30° potrebni su veći pritisci da bi se videli utisnuti elementi, ali na tim jačim pritiscima dolazi do oštećenja papira oko elemenata.



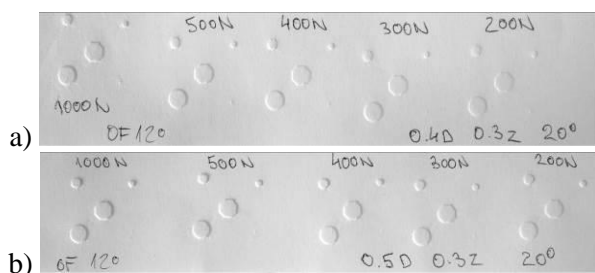
Sl. 4. Rezultati utiskivanja alatom izrađenim FDM tehnikom na nepremaznom papiru.

- a) dubina 0,4 mm zazor 0,3 mm i ugao 10° ,
- b) dubina 0,4 mm zazor 0,5 mm i ugao 30° ,
- c) dubina 0,6 mm zazor 0,3 mm i ugao 10° ,
- d) dubina 0,6 mm zazor 0,5 mm i ugao 30° ,
- e) dubina 0,8 mm zazor 0,3 mm i ugao 10° ,
- f) dubina 0,8 mm zazor 0,5 mm i ugao 30°

Rezultati utiskivanja alatima sa dubinom elemenata 0,6 mm, vrednosti zazora od 0,3 mm i 0,5 mm i vrednosti ugla bočnih stranica sa 10° na 30° pokazuju da su kod svih alata utisnuti elementi izraženi, međutim uz istovremeni gubitak prepoznatljivosti (osmougaoni elementi liče na krug). Kod zazora od 0,3 mm i ugla od 30° dolazi do krzavosti ivica utisnutih elemenata, dok za isti ugao i zazor od 0,5 mm nisu u toj meri vidljiva oštećenja.

Kod uzoraka utisnutih alatima sa dubinom elemenata od 0,8 mm veoma je naglašena dubina elemenata i oštećenje papira oko utisnutih elemenata, pogotovo kod ugla bočnih stranica od 30° . Ovaj ugao na elementima alata dovodi do nejasnih ivica utisnutih elemenata. Za ugao od 10° ivice su oštrije, ali elementi gube svoj oblik, a ivice izgledaju oštećenije. Zazor od 0,5 mm ne oštećuje u tolikoj meri papir kod samih utisnutih elemenata, ali su oblici elemenata promenjeni, a centriranje patrice i matrice je otežano, pa su utisnuti elementi asimetrični na određenim

mestima. Posle analize prethodno ispitanih parametara alata urađene su modifikacije i napravljen je novi set alata sa dubinama 0,4 mm i 0,5 mm, zazorom 0,3 mm i uglom bočnih stranica od 20° (slika 5).



Sl. 5. Rezultati utiskivanja alatom izrađenim FDM tehnikom na ne premazanom papiru.

- dubina 0,4 mm zazor 0,3 mm i ugao 20°,
- dubina 0,5 mm zazor 0,3 mm i ugao 20°

Rezultati utiskivanja alatima sa ovako konstruisanim elementima pokazuju znatno bolje rezultate od prethodno testiranih alata. Za izradu alata za utiskivanje izrađenih FDM tehnikom 3D štampe, odabrana je visina elemenata od 0,5 mm, zazor između patrice i matrice od 0,3 mm i ugao bočnih stranica od 20°, jer su ivice utisnutih elemenata oštrije, a uzorci imaju sličnu visinu utisnutih elemenata kao i uzorci papira utisnuti alatima izrađenim konvencionalnom tehnikom hemijskog nagrizanja metala.

4. ZAKLJUČAK

U ovom istraživanju ispitan je uticaj dubine elemenata alata za utiskivanje, zazora između patrice i matrice, kao i ugla bočnih stranica elemenata alata za utiskivanje izrađenih FDM tehnikom 3D štampe na kvalitet utisnutih elemenata na nepremazanom papiru. Konstruisan je alat za utiskivanje koji zbog ograničenja same tehnike izrade, funkcioniše po drugačijem principu od alata izrađenog konvencionalnom tehnikom hemijskog nagrizanja. Odabrana je dubina elemenata alata od 0,5 mm, zazor između elemenata 0,3 mm i ugao zakošenja od 20°. Osmišljeni mehanizam funkcionisanja, odabrana geometrija i dimenzije elemenata FDM alata za utiskivanje, vode do sličnih rezultata utiskivanja kao i u slučaju konvencionalnih alata. Promenom parametara dubine, zazora između patrice i matrice i ugao zakošenja, moguće je izraditi alate za utiskivanje prilagođene FDM tehnici 3D štampe.

5. REFERENCE

- [1] Kipphan, H. (2001). Handbook of Print Media: Technologies and production methods. Berlin, Heidelberg: Springer Science & Business Media.
- [2] Holik, H. (2013). Handbook of paper and board. Revised and Enlarged Edition, Weinheim: Wiley-VCH Verlag.
- [3] Konstantinović, V. (1997). Tehnologija grafičke dorade I i II, Beograd: Zavod za udžbenike i nastavna sredstva.
- [4] Horvath, D., Noorani, R. and Mendelson, M. (2007). Improvement of Surface Roughness on ABS 400 Polymer Using Design of Experiments (DOE). Materials Science Forum, 561-565, pp.2389-2392.
- [5] Chung Wang, C., Lin, T. W., & Hu, S. S. (2007). Optimizing the rapid prototyping process by integrating the Taguchi method with the Gray relational analysis. Rapid prototyping journal, 13(5), 304-315.
- [6] Sood, A., Ohdar, R. and Mahapatra, S. (2010). Parametric appraisal of mechanical property of fused deposition modelling processed parts. Materials & Design, 31(1), pp.287-295.
- [7] Masood, S.H. and Song, W.Q. (2004). Development of new metal/polymer materials for rapid tooling using fused deposition modelling. Materials & Design, 25(7), pp. 587-594.
- [8] Sood, A., Ohdar, R. and Mahapatra, S. (2009). Improving dimensional accuracy of Fused Deposition Modelling processed part using grey Taguchi method. Materials & Design, 30(10), pp.4243-4252.
- [9] Xinhua, L., Shengpeng, L., Zhou, L., Xianhua, Z., Xiaohu, C. and Zhongbin, W. (2015). An investigation on distortion of PLA thin-plate part in the FDM process. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 79(5-8), pp.1117-1126.

Autori: Asist. Bojan Banjanin, Doc. dr Gojko Vladić, Doc. dr Magdolna Pál, Asist. Gordana Delić, Doc. dr Savka Adamović, Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2634.

E-mail: bojanb@uns.ac.rs
vladicg@uns.ac.rs
apro@uns.ac.rs
gordana.delic@uns.ac.rs
adamovicsavka@uns.ac.rs

Janjić, G., Tanasić, Z., Kosec, B.

STRATEŠKA ANALIZA ORGANIZACIJE I PROCJENA RIZIKA

Rezime: Osnovni faktor opstanka, rasta i razvoja preduzeća je njihovo brzo i uspješno prilagođavanje promjenama okruženja. U ovakvom promjenljivom okruženju preduzeća mogu da opstanu i ostvare svoje dugoročne ciljeve samo pravovremenim definisanjem dobre strategije i njenom uspješnom implementacijom. Da bi preduzeće utvrdilo adekvatnu strategiju prvo treba uraditi detaljnu stratešku analizu okruženja u cilju identifikacije bitnih uticaja iz okruženja i sopstvenih snaga i slabosti. Za nepovoljne uticaje treba procijeniti rizik i po potrebi provesti mjere za njegovo otklanjanje ili umanjeње. Procjena rizika za opasnosti koje dolaze iz okruženja i slabosti preduzeća prepoznato je i kao bitan faktor u standardizovanim sistemima upravljanja kvalitetom, zaštitom životne sredine i dr.

Ključne reči: strateška analiza, FMEA, procjena rizika

1. UVOD

Zbog promjene uslova poslovanja koje su krajem prošlog vijeka izazvale pojava i razvoj informatičke tehnologije, globalizacija i hiperkonkurencija, došlo je do zamjene koncepta konvencionalnog upravljanja konceptom strateškog upravljanja. Primjena novog menadžment koncepta dovodi do promjene fokusa sa procesa i funkcija na strategiju koja ima za cilj stvaranje vrijednosti na osnovu visoko personalizovanog proizvoda.

Novi uslovi poslovanja traže od organizacija da u procesu planiranja, donošenja odluka, praćenja i kontrole procesa i realizacije projekata unapređenja uzimaju u obzir sve potrebne vanjske faktore i informacije. Da bi opstale, rasle i razvijale se u datim uslovima organizacije moraju da, pored efikasnosti koja je bila cilj tradicionalnog koncepta upravljanja, budu i efektivne usmjeravajući sve svoje napore ka realizaciji postavljenih strateških ciljeva, što je karakteristika novog Strateškog koncepta upravljanja.

Preduzeća više nisu u mogućnosti da ostvare konkurentsku prednost samo angažovanjem i upotrebom materijalnih resursa. Mogućnosti preduzeća da što bolje upravlja svojim nematerijalnim resursima postale su ključne za kreiranje i održavanje konkurentske prednosti, a što jedna od bitnijih izmjena u odnosu na tradicionalni koncept upravljanja.

2. STRATEŠKI KONCEPT UPRAVLJANJA

Prema Džonu Tompsonu (John Thompson) strateški menadžment je proces kojim preduzeće utvrđuje svrhu postojanja, ciljeve i

željene nivoe ostvarenja u skladu sa promjenljivim okruženjem, definiše način ostvarivanja ovih ciljeva za odgovarajući vremenski okvir, sprovodi akcije i ocjenjuje stepen ostvarenja postavljenih ciljeva [1]. Lojd Bajers (Lloyd Byars) definiše strateški menadžment kao proces kojim top menadžment utvrđuje dugoročni pravac djelovanja organizacije kroz formulisanje strategije i kritičnih faktora uspjeha, efektivnu implementaciju i kontinuiranu ocjenu utvrđene strategije [2].

U pojedinim definicijama strateškog menadžmenta ističe se značaj analize okruženja i neophodnost da se kroz proces odlučivanja kontinuirano usklađuju interne mogućnosti sa šansama i prijetnjama koje dolaze iz okruženja. Prema Majklu Hitu (Michael Hitt) proces strateškog menadžmenta predstavlja cjelokupno angažovanje organizacije u cilju stvaranja strateške konkurentnosti i natprosječne dobiti preduzeća. On pri tome još navodi, da za formulisanje efektivne strategije i prevođenje strategije u akciju organizacija mora imati relevantne strateške inpute proizišle iz analize internog i eksternog okruženja, vizije i misije [3].

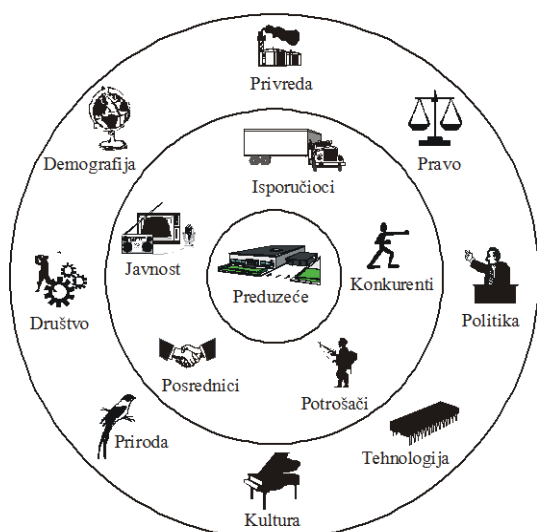
3. STRATEGIJSKA ANALIZA ORGANIZACIJE

Stratežijska analiza predstavlja proces prikupljanja informacija o internim i eksternim faktorima i njihovim odnosima, koji djeluju podsticajno ili ograničavajuće na ostvarenje vizije, misije i ciljeva preduzeća.

Prema Kotleru (Kotler) [4] okruženje preduzeća može se posmatrati kroz tri nivoa (Sl. 1.):

- *Interno okruženje* (organizaciona struktura i poslovni procesi preduzeća).

- *Mikrookruženje*, koje obuhvata neposredne učesnike uključene u proizvodnju, distribuciju i promociju ponude, a to su: kupci, isporučioци, vlasnici, konkurencija, javnost i posrednici.
- *Makrookruženje*, u okviru kojeg preduzeće prati šest najznačajnijih faktora i njihove međusobne interakcije, a to su: demografski, ekonomski, društveno-kulturni, prirodni, tehnološki i političko-pravni faktori. Kotler navodi da organizacija navedene faktore "ne može kontrolisati", ali ih mora pratiti i prilagođavati svoju strategiju njihovim uticajima.



Sl. 1. Strateško okruženje preduzeća

Za vršenje strateške analize preduzeća kao metoda može se koristiti SWOT analiza. Ona predstavlja skup analitičkih metoda koje omogućavaju prepoznavanje pozitivnih i negativnih faktora koji utiču na ostvarivanje stratejskih opredjeljenja preduzeća. U Prvoj fazi SWOT analize sakupljaju se ključni parametri preduzeća i njegovog okruženja, dok se u drugoj fazi prikupljeni parametri razvrstavaju po grupama: opasnosti, šanse, snage i slabosti, odnosno kreira se SWOT matrica [5]. Standardizovani sistemi upravljanja (ISO 9001, ISO 14001, i dr.) takođe zahtijevaju od organizacije da utvrđuje eksterna i interna pitanja koja su relevantna za njenu svrhu i strateško usmerenje.

4. PROCJENA RIZIKA ZA STRATEŠKI KONCEPT ORGANIZACIJE

Preduzeće treba da utvrdi rizike i prilike koje mogu da utiču na njegovo poslovanje, životnu

sredinu, zadovoljstvo svih zainteresovanih strana i sposobnost da ostvaruje predviđene rezultate. Pri procjeni rizika potrebno je koristiti adekvatne metode u skladu sa postojećim podacima koje organizacija posjeduje i dostupnim ekspertima.

Osnovni ulazi za procjenu datih rizika su SWOT matrica, informacije o postizanju ciljeva preduzeća, analiza značajnih aspekata životne sredine i njihovih uticaja, obaveze za usklađenost sa zakonskim i drugim propisima koje je prihvatilo preduzeće. Svrha procjene rizika i provođenja mjera koje iz nje proizilaze jeste da se obezbijedi da organizacija bude u stanju ispunjavati postavljenu strategiju, da po potrebi vrši njene izmjene i spriječi ili smanji neželjene efekte uz stalna poboljšanja sistema.

4.1. Metode procjene rizika

S obzirom na podatke koje koriste, metode za procjenu rizika mogu biti kvalitativne, kvantitativne i kombinovane.

Kvalitativne metode se primjenjuju kada nisu raspoloživi numerički podaci, a procjena rizika se daje opisno u verbalnim kvalifikacijama (veliki rizik, umjeren rizik i sl.). Za ove metode nisu potrebni podaci iz prethodnog radnog vijeka tehnološkog sistema. Ocjene se formiraju na bazi teorije skupova i logike.

Kvantitativne metode se zasnivaju na podacima iz prethodnog „životu” posmatranog sistema, odnosno na statistički obrađenim podacima o radu posmatranog objekta/sistema i o svim događajima koji su bili relevantni za rizik pojave određenih štetnih događaja. Uz to se postavlja uslov potpunog poznavanja dinamike nastanka štetnog događaja. Čest je slučaj da su raspoloživi statistički podaci o prethodnim štetnim događajima nepotpuni ili nisu dovoljno statistički pouzdani, što utiče na kvalitet procjene rizika.

Kombinovane metode koriste egzakne i relativne numeričke vrijednosti dobijene kvantitativnom i kvalitativnom analizom koje se zatim procjenjuju i rangiraju metodama ekspertnog ocjenjivanja. S obzirom na to da često nije moguće odrediti vjerovatnoću, a ni veličinu posljedica, ove veličine se procjenjuju i rangiraju od strane eksperata. Skale vjerovatnoće i posljedica su osnov za procjenu mjere rizika, koja se najčešće određuje kao zbir ili proizvod vjerovatnoće i potencijalnih posljedica. Ovako određenoj kvantitativnoj mjeri rizika pridružuje se i kvalitativno tumačenje [6].

U Tabeli 1. dat je pregled metoda za identifikaciju rizika koje se najčešće koriste u praksi [7].

Tabela 1. Pregled često korištenih metoda za procjenu rizika

Metoda	Područje primjene	Cilj	Potrebne informacije	Vrijeme analize*	Prednosti (P) i nedostaci (N)
Analiza energije (Energy Analysis)	Svi tipovi sistema.	Identifikacija opasnosti tipa „energija“.	Opšti opis ili usmeni izvještaj. Obimne, ali ne detaljne informacije.	1–4 sata	Jednostavan i brz metod koji daje pregled stanja energije u sistemu (P), Ograničen samo na analizu energije (N).
HAZOP (Hazard and Operability Studies)	Svi tipovi sistema (posebno hemijska postrojenja).	Identifikacija opasnosti i problema operabilnosti.	Detaljne informacije.	1–2 nedjelje	Identifikuje sve tipove opasnosti i neefikasne procese, pogodan za analizu kompleksnih sistema (P). Može biti skup i zahtijevati dosta vremena, zahtjeva stručan i disciplinovan tim, daje suviše uopšten uzrok otkaza (N).
FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)	Svi tipovi sistema (posebno avio i nuklearna postrojenja).	Identifikacija načina otkaza i potencijalnih efekata na sistem.	Detaljne informacije.	1 dan do 2 nedjelje	Međunarodno standardizovan metod, pogodan za identifikaciju otkaza elemenata sistema (P). Zahtjeva dosta vremena, daje opšti uzrok otkaza, ne može prikazati sve interakcije u sistemu (N).
Analiza bezbjednosti rada (Job Safety Analysis)	Svi tipovi sistema.	Identifikacija opasnosti na radnom mjestu.	Opšti opis ili usmeni izvješt. Obimne, ali ne detaljne informacije.	2 sata do 2 dana	Jednostavan za primjenu u „klasičnim“ sistemima (P). Ne može pronaći nove opasnosti i rizike, nepodesan za primjenu u automatizovanim sistemima (N).
Analiza odstupanja (Deviation Analysis)	Svi tipovi sistema.	Identifikacija i analiza odstupanja koja mogu dovesti do akcidenata ili drugih problema	Opšti opis ili usmeni izvještaj. Detaljne informacije.	4 sata do 2 dana	Opšti metod, primjenljiv na sve aspekte razmatranja sistema (tehnički aspekt, aspekt radne djelatnosti, organizacioni) (P). Osjetljiv na struktuiranje zbog velikog broja mogućih odstupanja na različit. nivoima (N).

* Gruba pretpostavka, zavisi od mnogo faktora, pretpostavlja tipičnu aplikaciju na sistem ograničene kompleksnosti

4.2. FMEA metoda

Analiza načina otkaza i njihovih posljedica (FMEA – Failure Mode and Effects Analysis) je alat kojim se pronalaze i analiziraju mogući načini otkaza komponenti sistema ili procesa, posljedica koje ti otkazi imaju na sistem i mogućnost izbjegavanja otkaza ili smanjivanja uticaja otkaza na sistem ili proces. Kratkoročno, FMEA daje analizu potencijalnih otkaza, identifikuje ozbiljnost njihovih efekata i određuje prioritete za izvođenje korektivnih mjera. Dugoročno, FMEA razvija kriterijume za planiranje i projektovanje sistema, obezbjeđuje dokumentaciju za buduće analize pouzdanosti u slučaju izmjene sistema ali i daje osnovu za planiranje održavanja procesa [8].

FMEA je iterativna metoda koja odgovorne osobe za neki proces, zahtijeva da odgovore na pitanje: Koje greške se mogu napraviti na proizvodu ili procesu, kolike su posljedice greške i šta je potrebno preduzeti da se izbjegnju greške?

Cilj primjene FMEA analize je:

- procijeniti efekte i posljedice događaja, prouzrokovanih bilo kakvim greškama koje čine sastavni dio sistema ili procesa,
- odrediti važnost ili kritičnost svakog oblika greške s obzirom na pravilno funkcionisanje sistema,
- distribucija identifikovanih načina otkaza u

skladu s mogućnošću njihovog otkrivanja, dijagnoze i testiranja,

- procjena sprovođenja potrebnih mjera.

Značajan faktor za uspješnu primjenu FMEA analize je stručnost tima za njeno sprovođenje. FMEA je osmišljena kao preventivna mjera a ne metoda kojom se analiziraju činjenice. Neophodno je uvođenje FMEA analize u što ranijoj fazi, kako bi se sprečile izmjene proizvoda ili procesa u kasnijoj fazi, kada su izmjene mnogo skuplje.

Jedan od pristupa za određivanje prioriternih akcija je upotreba faktora rizika RPN (Risk Priority Number), čija vrijednost se dobija množenjem pojedinačnih vrijednosti *ozbiljnosti posljedica greške*, *vjerovatnoće pojavljivanja greške* i *mogućnosti detekcije greške*. Pojedinačne vrijednosti množilaca mogu uzeti vrijednost od 1 do 10. Za potencijalne greške koje imaju visok RPN broj definišu se odgovarajuće preventivne mjere za smanjenje njegove vrijednosti i po mogućnosti otklanjanje uzroka greške.

4.3. Procjena rizika za strateški kontekst preduzeća KLM d.o.o. Prnjavor

Preduzeće KLM d.o.o. Prnjavor bavi se razvojem, projektovanjem i proizvodnjom: sigurnosne i zaštitne obuće, modne obuće i obuće

specijalne namjene.

Na osnovu izvršene strateške analize preduzeća i njegovog okruženja kreirana je SWOT matrica (Sl. 2.) kroz koju su izdvojene snage i slabosti, te šanse i opasnosti, a koje bi trebale da posluže kao dobra osnova za dalji proces strateškog planiranja. Preduzeće je na osnovu identifikovanih slabosti i opasnosti, te identifikovanih aspekata životne sredine, pomoću FMEA analize procesa procjenilo rizike i gdje je bilo potrebno definisalo mjere za njegovo smanjenje (Sl. 3.).

Šanse (Opportunities)	Opasnosti (Threats)
Spremnost za izmjene na proizvodu u skladu sa zahtjevima pojedinačnih kupaca	Na inotrižištu uslovljavanja nekih kupaca da u njihovoj državi KLM posluje isključivo sa njima
Banke su zadnjih godina dosta ublažile uslove za dobijanje kredita (za određene iznose ne traže se žiranti), te preduzeća i kupci lakše dolaze do kredita	Kontinuirano smanjenje broja stanovnika u BiH zbog migracija u Zapadnu Evropu (BiH je glavno tržište preduzeća a i glavni izvor radne snage)
Posjedovanje web stranice za komunikaciju sa kupcima i drugim zainteresovanim stranama	Nepostojanje srednje tekstilne ili obućarske škole u Prnjavoru
Vođenje računa o zaštiti životne sredine sa posebnim aspektom na upravljanje otpadom što je omogućilo dobijanje ekološke dozvole	Nabavka materijala samo preko posrednika (skuplja i nesigurnija nabavka)
	Velika konkurencija na domaćem i inotrižištu
	Veliki proizvođači nameću nove navike i

Sl. 2. Dio SWOT matrice KLM Prnjavor

LM		PROCJENA RIZIKA - FMEA METODA										Strana: 2/4	
R. Br.	Proces	Potencijalna greška	Potencijalna posljedica greške	Težina	Potencijalni uzrok greške	Učestalost	Trenutne kontrole detekcija	Detekcija	RPN	Preporučene mjere	Odgovornost i datum završetka	Preduzete mjere	
4.	Marketing	Nepostojanje kreiranog kataloga proizvoda i slaba promocija proizvoda putem web-a	Neadekvatno informisanje kupca o sopstvenim proizvodima i uslugama preduzeća	7	Ne vodi se dovoljno računa o ažurnosti stranice i predstavljanju proizvoda preduzeća putem web-a	8	Uvid u prethodna ažuriranja web stranice	2	112	Izraditi Katalog proizvoda i isti istaći na web stranici Preduzeća	Direktor 01.05.2018.		
5.	Razvoj	Nepostojanje kompletne tehničko-tehnološke dokumentacije za određen broj proizvoda	Veća mogućnost pojave neusaglašenih proizvoda	8	Nedovoljan broj kadrova koji rade na poslovima razvoja i tehničko-tehnološke pripreme	7	Uvid u Postojeću dokumentaciju i katalog proizvoda	2	112	Raditi na izradi i kompletiranju tehničko-tehnološke dokumentacije za sve proizvode iz proizvodnog programa	Rukovodilac Razvoja i tehničke pripreme Stalna aktivnost od 15.01.2018.		
										Zaposliti jednog inženjera	Direktor		

Sl. 3. Procjena rizika u KLM Prnjavor

5. ZAKLJUČAK

Da bi stekla konkurentsku prednost i ispunila postavljene strateške smjernice preduzeća moraju efikasno upravljati svojim nematerijalnim resursima uz stalno praćenje i analizu okruženja. Procjenom nivoa rizika za opasnosti koje dolaze iz eksternog okruženja i slabosti sopstvenih procesa i resursa, preduzeća mogu blagovremeno definisati adekvatne mjere koje će im pomoći da ostvare zacrtane ciljeve u budućnosti.

6. REFERENCE

- [1] Thompson, J.: *Strategic Management (Awareness and Change)*, International Thompson Business Press, London, 2002
- [2] Byars, L. L., Rue, L. W. and Zahra, S. A.: *Strategic Management*, Irwin, Chicago, 1996.
- [3] Hitt, M. A., Ireland, R. D. and Hoskisson, R. E.: *Strategic Management (Competitiveness and Globalization)*, West Publishing Company, fvlneapolis/St. Paul, 1996.
- [4] Kotler, Ph.: *Marketing Management: Analysis, Planning, Implementation and Control*, Prentice-Hall, A Simon & Schuster Company,

1997, str. 26–28, 76–78.

- [5] Coulter, M.: *Strategic Management in Action*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2008.
- [6] Anđelković, B., *Rizik tehnoloških sistema i profesionalni rizik, Monografija*, Jugoslovenski savez Društva inženjera i tehničara zaštite, Niš, 2002.
- [7] Harms-Ringdahl, L.: *Guide to safety analysis for accident prevention*, IRS Riskhantering AB, Stockholm, 2013.
- [8] Tanasić, Z., Jotanović, S., Janjić, G., Vranješ, B., Kosec, B., *Praćenje i unapređenje performansi procesa proizvodnje*, ETIKUM 2017, p.p. 61-64, Novi Sad, 06-08 December 2017

Autori: prof. dr Goran Janjić, prof. dr. Zorana Tanasić, Mašinski fakultet Univerziteta u Banjoj Luci, V. Stepe Stepanovića 71, 78000 Banja Luka
E-mail: goran.janjic@mf.unibl.org
zorana.tanasic@mf.unibl.org

Prof. dr Borut Kosec, Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Aškerčeva cesta 12, 1000 Ljubljana
E-mail: borut.kosec@omm.ntf.uni-lj.si

Petrović, Z., Đapić, M., Živković, M., Todorović, M.

PRIMENA METODA I TEHNIKA LEAN KONCEPTA U UNAPREĐENJU TEHNOLOŠKOG SISTEMA MONTAŽE

Rezime: Porast broja novih proizvoda, u odnosu na njihovu potražnju, dovodi do sve izraženijih zahteva za što jeftinijim proizvodima. Podrazumeva se da ponuđena cena zadovoljava osnovne karakteristike funkcionalnosti i kvaliteta proizvoda. Iz tih razloga i svi proizvodni i tehnološki procesi moraju da odgovore osnovnim zahtevima za zadovoljene svih parametara kvaliteta. Metodama i tehnikama lean koncepta moguće je unaprediti tehnološke procese montaže, veoma uticajnog faktora na cenu proizvoda. U radu se analiziraju uticajni činioci na cenu montaže ručne pumpe i literaturne preporuke za njeno smanjenje. Korišćenjem ovih metoda predloženo je unapređenje tehnološkog procesa njene montaže, veoma značajnog izvoznog proizvoda PP Hidraulika AD iz Trstenika. Razlog za to su do sada proizvedene količine i time obezbeđena proizvodnja i plasman i u narednom periodu.

Ključne reči: ručna pumpa, Lean, tehnološki sistem montaže

1. UVOD

Promene u svetskom prometu roba i usluga, usmerene ka globalizaciji tržišta i želja proizvođača da ispune zahteve svakog pojedinačnog kupca, nameću brojne i sve strožije zahteve tehnološkim sistemima. Danas, svoju dobru tržišnu poziciju proizvodna preduzeća postižu visokim kvalitetom proizvoda uz razumno nisku prodajnu cenu.

Imajući u vidu da u današnje vreme uveliko traje proces globalizacije tržišta kompanije nastoje da ispune zahteve svakog pojedinačnog kupca čime se povećava spektar performansi koje tehnološki sistemi moraju da zadovolje. Njihov razvoj i implementacija kao i otpornost tehnoloških sistema na pojave svih vidova greški je jedan od stubova lean (resursno štedljive) proizvodnje. Lean koncept je pre svega način razmišljanja, koji omogućava kompletno drugačiji pogled na organizaciju i njene vrednosti koje imaju za cilj smanjenje troškova operacije i povećanja nivoa usluga klijentima. Pristup je jednostavan – „ne treba podići ručicu malo više da bi mašina dva puta brže izbacivala proizvode, već treba promeniti bazično način ili proces koji omogućava dobijanje tih proizvoda“ [1].

Na osnovu analize koja je sprovedena u sektoru montaže 355 nemačkih kompanija u mašinskoj industriji ukazuje se na činjenicu da glavni potencijali racionalizacije leži u projektovanju proizvoda, koje je orjentisano na montaži, i u automatizaciji operacija montaže [1].

lineativne (resursno štedljive) proizvodnje. Mnoge kompanije danas pokušavaju da ostvare lineativnu proizvodnju napuštajući koncept masovne proizvodnje u cilju:

- Unapređenja kvaliteta.
- Eliminisanja proizvodnih gubitaka.
- Redukovanja glavnog vremena proizvodnje.
- Redukovanja ukupnih troškova proizvodnje.

Kroz lineativnu proizvodnju ističe se prevencija od mogućih gubitaka kao što su: dodatna vremena, radna snaga ili utrošeni materijal koje kupac plaća a koji ne doprinose uvećanju vrednosti proizvoda.[2]

2.1 Jednopedmetni proizvodni tok

Jednopedmetni proizvodni tok je pomeranje jednog primerka proizvoda kroz proizvodni proces u jedinici vremena. To je suprotno u odnosu na serijsku proizvodnju gde se proizvodi u grupama obrađuju na jednoj radnoj stanici tehnološkog sistema pa se nakon toga kompletna grupa pomera na sledeću radnu stanicu. Kod jednopedmetnog proizvodnog toka napor zaposlenih su fokusirani na sam proces proizvodnje, a ne na razna čekanja, transport proizvoda i odlaganja zaliha. Takođe, proizvodni proces teče glatko, jedan po jedan primerak proizvoda što omogućava ujednačeno-stabilno opterećenje radnika [2]. Prednosti od implementacije jednopedmetnog proizvodnog toka su:



Sl. 1. Šema tradicionalne (serijske) proizvodnje

2. CILJEVI LEAN KONCEPTA

Novi tehnološki sistem se bazira na principima

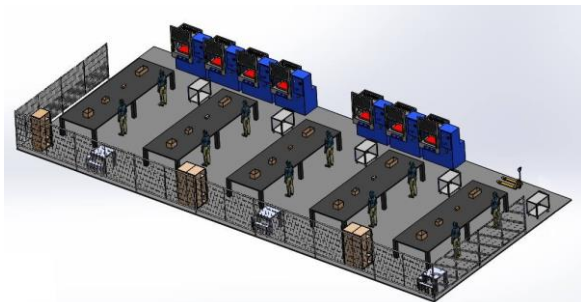


Sl. 2. Šema jedнопредметne proizvodnje

3. POSTOJEĆI TEHNOLOŠKI SISTEM ZA MONTAŽU

U postojećem sistemu za montažu sprovodi se montaža ručne pumpe „40-506.900-K1“ prema montažnom crtežu 40.506.900. Ovaj sistem za montažu se sastoji iz pet radnih stolova i sedam uređaja za ispitivanje postavljenih kao na slici 3. Na svakom stolu se montiraju svi podsklopovi istovremeno, kao i montaža sklopova. Nakon montiranja pumpe, ista se odlaže na kolica. Zatim se kolica sa namontiranih 50 pumpi postave kod uređaja za ispitivanje i određeni broj radnika započinje proces ispitivanja, dok ostali nastavljaju proces montaže. U sistemu se još nalaze:

- Pet ormara sa potrebnim alatima i priborima za proces montaže,
- Ručni viljuškar za prevoz ispitanih pumpi do farbare,
- Tri stola za sa po dve klupe za sedenje pri pauzi ili odmoru radnika u toku radnog vremena. Površina ovog prostora je 247,2m².



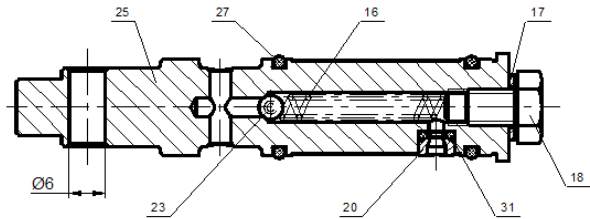
Sl. 3. „3D“ prikaz postojećeg tehnološkog sistema za montažu ručnih pumpi

Montaža se izvodi u dve smene i to dva puta po 10 montera. Po potrebi, svaki od njih može izvoditi i proces ispitivanja pumpe. Mesečno se proizvede i proda 6000 komada ovih pumpi. Sistem potražuje delove iz proizvodnje jednom dnevno, a pumpe isporučuje farbari takođe jednom dnevno na paletama po 50 komada. Vreme koje monter ima na raspolaganju za montažu pumpe je 42 minuta + 28 minuta za neophodna ispitivanja pumpe.

4. UNAPREĐENJE TEHNOLOŠKOG SISTEMA MONTAŽE RUČNIH PUMPI

U procesu ispitivanja pumpi može se primeniti jedнопредметna proizvodnja. Na taj način smanjiće se ukupno vreme montaže cele serije. Čim se prva pumpa namontira može ići na ispitivanje bez čekanja montaže cele serije. U

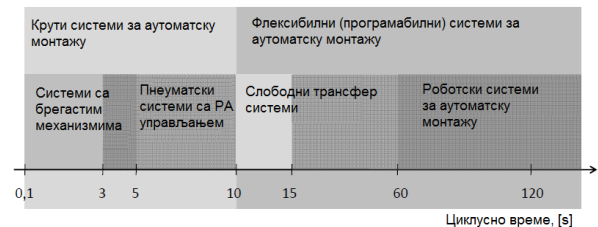
procesu montaže najviše vremena oduzima montaža razvodne osovine.



Sl. 4. Podsklop razvodne osovine (presek)

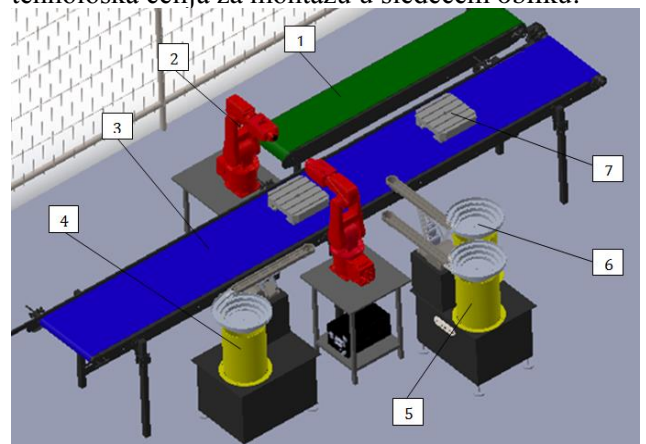
Podsklop razvodne osovine (slika 4.4) se sastoji iz: razvodne osovine (poz. 25), kuglice (poz. 23), dve zaptivke (poz. 27), opruge (poz. 16), vijka (poz. 18), podloške (poz. 17), zaptivke (poz. 20), i O-prstena (poz. 31).

Na osnovu slike 5 možemo uvesti robotski sistem za montažu i time značajno skratimo vreme montaže.



Sl. 5. Oblasti primene sistema za automatsku montažu [3]

Pri uvođenju robotskih sistema u proizvodni proces potrebno je sagledati tehničke tehnološke i ekonomske kriterijume [4]. Analizom geometrijskih i tehnoloških karakteristika podsklopa razvodne osovine predlaže se tehnološka ćelija za montažu u sledećem obliku:



Sl. 6. Robotizovana tehnološka ćelija za montažu ručnih pumpi

Elementi ove tehnološke ćelije su: Konvejer za transport podsklopa razvodne osovine (1), dva višenamenska industrijska robota sa pratećom opremom (2), konvejer za transport paleta sa telom pumpe (3), vibracioni dodavač podmetača (4), vibracioni dodavač prstena (5), vibracioni dodavač zaptivke (6), palate (7).

4.1 Vreme montaže u novom tehnološkom sistemu

Tabela 1. Redosled montaže robota 1

	Opis elemenata ciklusa robota 1
1	Rotacijom tela za 100°, dolazi u poziciju za hvatanje podsklopa razvodne osovine brzinom od 250°/s (za osu 1, tabela 5.1)
2	Robot prilazi razvodnoj osovini vertikalno sa otvorenim hvatačem brzinom 1m/s sa visine 0,03m od glave vijka
3	Hvatanje podsklopa razvodne osovine
4	Robot vertikalno podiže podsklop razvodne osovine brzinom 1m/s za 0,03m
5	Rotacijom tela za 100°, prenosi podsklop razvodne osovine u poziciju za montažu (0,01m ispred otvora)
6	Robot montira razvodnu osovinu brzinom 1m/s za hod od 0,09m
7	Otpušta podsklop razvodne osovine
8	Vraća se unazad brzinom 1m/s za 0,015m
9	Skuplja hvatače
10	Postavlja podsklop razvodne osovine u krajnji položaj brzinom 1m/s za 0,03m
11	Čekanje u poslednjem položaju sve dok robot 2 ne završi montažu
12	Vraćanje u poziciju ispred tela pumpe brzinom 1m/s za 0,02m

Tabela 2. Vremena montaže za robot 1

R.br	Vremena elemenata ciklusa
1	R1: $t_1=100^\circ/(250^\circ/s)=0,4s$
2	H1: $t_2=0,03m/(1m/s)=0,03s$
3	RO: $t_3=0,52s$
4	H2: $t_4=t_2=0,03s$
5	R2: $t_5=t_1=0,4s$
6	M1: $t_6=0,09m/(1m/s)=0,09s$
7	MO: $t_7=0,52s$
8	V1: $t_8=0,015m/(1m/s)=0,015s$
9	SH: $t_9=0,52s$
10	M2: $t_{10}=t_2=0,03s$
11	CK: $t_{11}=t_{R2}:(t_{15}+t_{25})=2,106s$
12	VP: $t_{12}=0,02m/(1m/s)=0,02s$

Tabela 3. Elementi ciklusa robota 1

R. br.	RTM simbol	Rastojanje (m)	Brzina	Čekanje (s)	Trajanje (s)
1	R1	-	250°/s	-	0,4
2	H1	0,03	1m/s	-	0,03
3	RO	-	-	-	0,52
4	H2	0,03	1m/s	-	0,03
5	R2	-	250°/s	-	0,4
6	M1	0,09	1m/s	-	0,09
7	MO	-	-	-	0,52
8	V1	0,015	1m/s	-	0,015
9	SH	-	-	-	0,52
10	M2	0,03	1m/s	-	0,03
11	CK	-	-	2,106	2,106
12	VP	0,02	1m/s	-	0,02
$t_{R1} = \Sigma$					4,68

Tabela 4. Redosled montaže robota 2

	Opis elemenata ciklusa robota 2
--	---------------------------------

1	Rotacijom tela za 73° dolazi u poziciju za hvatanje podsklopa podmetača brzinom od 250°/s (za osu 1, tabela 5.1)
2	Robot prilazi podsklopu podmetača vertikalno sa otvorenim hvatačem, brzinom 1m/s sa visine 0,005m
3	Hvatanje podsklopa podmetača
4	Robot vertikalno podiže podsklop podmetača brzinom 1m/s za 0,005m
5	Rotacijom tela za 180°, prenosi podsklop podmetača i rotira članak u poziciju za hvatanje prstena
6	Robot prilazi prstenu vertikalno, brzinom 1m/s sa visine 0,005m
7	Hvatanje prstena
8	Robot vertikalno podiže prsten brzinom 1m/s za 0,005m
9	Rotacijom tela za 39°, prenosi podsklop podmetača i prsten i rotira članak u poziciju za hvatanje zaptivke
10	Robot prilazi zaptivci vertikalno, brzinom 1m/s sa visine 0,005m
11	Hvatanje zaptivke
12	Robot vertikalno podiže zaptivku brzinom 1m/s za 0,005m
13	Rotacijom tela za 68°, prenosi sva tri elementa u poziciju za montažu (0,025m od tela pumpe)
14	Čekanje dok robot 1 ne namontira podsklop razvodne osovine u krajnji položaj
15	Montira zaptivku brzinom 1m/s za hod od 0,023m
16	Otpušta zaptivku
17	Vraća se unazad brzinom 1m/s za 0,023m
18	Rotira članak za 120° u poziciju za montažu prstena
19	Montira prsten brzinom 1m/s za hod od 0,021m
20	Otpušta prsten
21	Vraća se unazad brzinom 1m/s za 0,021m
22	Rotira članak za 120° u poziciju za montažu podsklopa podmetača
23	Montira podsklop podmetača brzinom 1m/s za hod od 0,028m
24	Otpušta podsklop podmetača
25	Vraća se unazad brzinom 1m/s za 0,03m

Tabela 5. Vremena montaže za robot 2

R.br.	Vremena elemenata ciklusa
1	R1: $t_1=73^\circ/(250^\circ/s)=0,3s$
2	H1: $t_2=0,005m/(1m/s)=0,005s$
3	PP: $t_3=0,52s$
4	H2: $t_4=t_2=0,005s$
5	R2: $t_5=180^\circ/(250^\circ/s)=0,72s$
6	H3: $t_6=t_2=0,005s$
7	PR: $t_7=0,26s$
8	H4: $t_8=t_4=0,005s$
9	R3: $t_9=39^\circ/(250^\circ/s)=0,16s$
10	H5: $t_{10}=t_2=0,005s$

11	ZA: $t_{11}=t_7=0,26s$
12	H6: $t_{12}=t_2=0,005s$
13	R4: $t_{13}=68^\circ/(250^\circ/s)=0,28s$
14	CK: $t_{14}=t_{R1}:(t_1+t_{10})-t_{R2}:(t_1+t_{13})=2,555-2,53=0,025s$
15	M1: $t_{15}=0,023m/(1m/s)=0,023s$
16	O1: $t_{16}=t_3=0,52s$
17	V1: $t_{17}=t_{15}=0,23s$
18	C1: $t_{18}=120^\circ/(590^\circ/s)=0,2s$
19	M2: $t_{19}=0,021m/(1m/s)=0,021s$
20	O2: $t_{20}=t_3=0,52s$
21	V2: $t_{21}=t_{19}=0,021s$
22	C2: $t_{22}=t_{18}=0,2s$
23	M3: $t_{23}=0,028m/(1m/s)=0,028s$
24	O3: $t_{24}=t_3=0,52s$
25	V3: $t_{25}=0,03m/(1m/s)=0,03s$

Tabela 6. Elementi ciklusa robota 1

R. br.	RTM simbol	Rastojanje (m)	Brzina	Čekanje (s)	Trajanje (s)
1	R1	-	250°/s	-	0,3
2	H1	0,005	1m/s	-	0,005
3	PP	-	-	-	0,52
4	H2	0,005	1m/s	-	0,005
5	R2	-	250°/s	-	0,72
6	H3	0,005	1m/s	-	0,005
7	PR	-	-	-	0,26
8	H4	0,005	1m/s	-	0,005
9	R3	-	250°/s	-	0,16
10	H5	0,005	1m/s	-	0,005
11	ZA	-	-	-	0,26
12	H6	0,005	1m/s	-	0,005
13	R4	-	250°/s	-	0,28
14	CK	-	-	-	0,025
15	M1	0,023	1m/s	-	0,023
16	O1	-	-	-	0,52
17	V1	0,023	1m/s	-	0,023
18	C1	-	590°/s	-	0,2
19	M2	0,021	1m/s	-	0,021
20	O2	-	-	-	0,52
21	V2	0,021	1m/s	-	0,021
22	C2	-	590°/s	-	0,2
23	M3	0,028	1m/s	-	0,028
24	O3	-	-	-	0,52
25	V3	0,03	1m/s	-	0,03
$t_{R2} = \Sigma$					4,66

Robot 1 montira podsklop razvodne osovine u krajnji položaj za vreme od 2,555s (tabela 5.8, redni broj od 1 do 10) i čeka 2,106s (tabela 5.10, redni broj od 15 do 25) dok robot 2 ne završi proces montaže. Kad robot 2 završi montažu, robot 1 izvodi svoj poslednji zahvat.

Robot 2 u poziciju za montažu dolazi za vreme od 2,53s (tabela 5.10, redni broj od 1 do 13) što znači da čeka u poziciji za montažu 0,025 sekundi pa započinje proces montaže.

Ukupno vreme robotizovane montaže podsklopa razvodne osovine je ujedno i vreme

najdužeg ciklusa montaže između robota 1 (t_{R1}) i robota 2 (t_{R2}).

$$T_m = \max\{t_{R1}; t_{R2}\} = \max\{4,68; 4,66\}$$

$$T_m = t_{R1} = 4,68s$$

5. ZAKLJUČAK

Intenzivan razvoj automatizacije nije potisnuo manuelnu montažu, čak i u visoko tehnološkim sektorima industrije. Prisustvo čoveka je još uvek vrlo značajno i u određenim situacijama bez alternative. Što se tiče smanjenja radne snage, to je proces koji je neminovan, ali se ne svodi samo na puko smanjenje broja radnika na liniji. Uvođenjem robota se radna snaga angažuje na kvalitetnijim poslovima, odnosno, na opsluživanju proizvodne linije i nadzoru procesa. Uz to, treba naglasiti da se uvođenjem robota radna snaga sve manje angažuje na teškim, fizički i psihički zamornim, opasnim i rutinskim poslovima, čime se pozitivno utiče na bezbednost i zdravlje radnika, što je svakako opšta korist. Što se tiče ponovljivosti i preciznosti pri proizvodnji, jasno je da se na poslovima sa visokom učestalošću ponavljanja istih radnih operacija ljudska radna snaga ne može meriti sa robotima, koji su u ovom delu neprikosnoveni, pošto uvek drže isti kvalitet i tempo rada. Sigurno je da će u interesu oštrog razvoja industrije i u našim uslovima uvođenje robota postati uobičajena praksa, a ne futurističko razmatranje. Uostalom, iako tek u začetku, u pojedinim granama industrije građevinskog materijala, prehrambenoj industriji i procesima pakovanja, roboti u Srbiji uveliko rade.

6. REFERENCE

- [1] M. Đapić, "Evidencioni sistemi u razvoju proizvoda i procesa", Inteligentni tehnološki sistemi serija monografija br. 9, LOLA institut, Beograd, (2005)
- [2] Đapić, M.: „Линеативна производња“ – слајдови са предавања, Факултет за машинство и грађевинарство у Краљево, Краљево, 2015.
- [3] Петровић, П.: „Технологија монтаже“ – слајдови са предавања, Машински факултет, Београд,
- [4] Лукић, Љ.: „Флексибилни технолошки системи“, Машински факултет Краљево, Краљево, 2008.

Autori: Asistent Zvonko Petrovic, Vanr. prof. dr Mirko Đapić, prof. dr Milutin Živković, dipl.ing. Marko Todorović, Visoka tehnička mašinska škola strukovnih studija, Radoja Krstića 19, 37240 Trstenik, Srbija, Tel. +381 714 121.

E-mail: zvonko.petrovic@vtmsts.edu.rs
djapic.m@mfkv.kg.ac.rs
milutin.zivkovic@vtmsts.edu.rs
marina.karic@vtmsts.edu.rs

I Ranković, N., Živanić, D., Zelić, A., Đukić M.

PROJECT OF RECONSTRUCTION OF THE DEVICE *Df 0.2* USED FOR CALIBRATION OF DYNAMOMETERS

Abstract: Each measuring device changes its characteristics during time periods. Because of that, measurement errors occur. Those errors represent a difference between measured values and true values. To determine the inaccuracy of the measuring device, calibration has to be done. In this paper, the procedure of calibration dynamometers using the *Df 0.2* device was described. Also, the reconstruction of the device produced by Carl Schenk was carefully described. During the reconstruction, the measuring range of the device was changed from 2 kN to 10 kN.

Key words: metrology, calibration, dynamometer

1. INTRODUCTION

Each measuring device changes its characteristics during time periods. Because of that, measurement errors occur. Those errors represent a difference between measured values and true values. Measuring uncertainties express doubts in the accuracy of the measuring devices, i.e. measuring uncertainties represent parameters linked to the measuring results. Those parameters describe the dispersion of measuring values. The measuring uncertainty represents the area (interval) around the measured value in which the true value lies. There is no perfect measuring. Each measuring device possesses inaccuracies, i.e. tolerances. To determine the inaccuracy of the measuring device, calibration of the devices has to be done [4]. In this paper, the procedure of calibration dynamometers using the *Df 0.2* device was described. Also, the reconstruction of the device produced by Carl Schenk was carefully described. During the reconstruction, the measuring range of the device was changed from 2 kN to 10 kN.

2. THE PRINCIPLE OF CALIBRATING

The calibration of the dynamometers is being implemented according to the standard EURAMET cg-4 [6]. To perform calibration in a accredited laboratory according to the standard ISO 17025 [5], it is necessary to provide:

- Introduced system of management in the laboratory;
- Followable etalons with the appropriate measuring uncertainty;
- Qualified staff;
- Controlled environment conditions;
- Documented procedures for calibration.

The device *Df 0.2* operates by the principle of dead weight. The net of the vertical force which has the direction of the gravity, created by weights (mass in kg, density in kg/m³) hanging in the air (density in kg/m³) and which are in the field of the Earth's gravity (valued in m/s²) is calculated according to:

$$F = mg \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_m} \right) \quad (1)$$

Variations of four sizes in the right part of the equation (1) effect the uncertainty of the calculated force. Those sizes are variable in time – the air density and the acceleration of the Earth's gravity, supposed to the mass which is nearly constant. In the sum of the measuring uncertainties it is necessary to consider the introduction of impact factors which are possible to create the force beside the gravity acceleration and air thrust such as electromagnetic, electrostatic and aerodynamic influences.

3. CONSTRUCTION OF THE DEVICE *Df 0.2*

In figure 1, construction of the device for calibrating is shown. Dynamometer (7) is placed



Fig. 1. The top and bottom assembly of the calibrating device *Df 0.2*

into the accepting tool which is connected to the electric motor (4) via a screw spindle and a transmission worm gear reducer. The position of the accepting tool for dynamometers of different dimensions is adjusted by controlling the electric motor. Electric motor (3) through shafts and two transmission worm gear reducers lifts and lowers the table with a groove (6) which carries a weight of 20 N specially constructed for acceptance of dynamometers. The weight accepts the dynamometer on its top side and it accepts the rest of weights (1) on its bottom side. His power flow is shown with blue lines. Servomotor (2) manipulates with the girder (5) which carries weights. Servomotor is connected to a tachogenerator and a position encoder in order to obtain high precision while positioning the girder. His power flow is shown with red lines. The whole system is controlled by the PLC and the appropriate software [1]. Likewise, the device is equipped with sensors which measure moisture, temperature and the weight position in order to provide adequate repetition of calibrating if necessary.

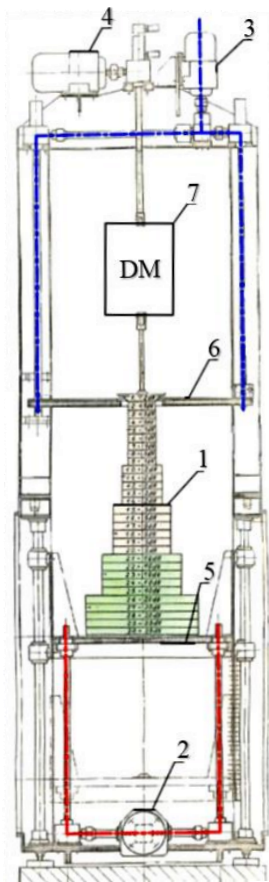


Fig. 2. Schematic representation of the calibrating device *Df 0.2*

4. CALIBRATION PROCEDURE

It is necessary to preload the dynamometer at the beginning of the calibration. Preloading implies

hastily loading all the desired weight onto the dynamometer three times. That is achieved when the servomotor (2) lowers the girder (5) to the position when all of the load is taken over by the table with a groove (6). After that the electric motor (3) which is in charge of holding the table with a groove lets the table to drop freely which transfers the complete load on the dynamometer (7). The dynamometer is unloaded when the electric motor (4) lowers the accepting tool with the dynamometer while the electric motor (3) holds the load.

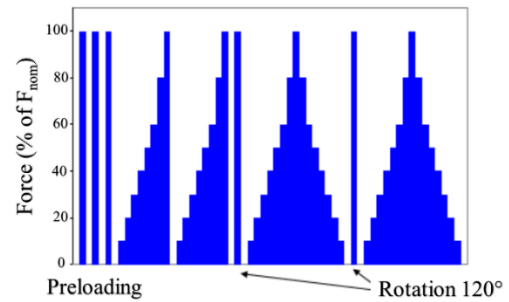


Fig. 3. The schedule of load application

After that the dynamometer is twice gradually loaded to the desired load and hastily unloaded. Gradually loading is achieved when the electric motor (3) lets go the table with the groove and then the girder takes over the complete load. Then the servomotor gradually lowers the girder to the position assigned by the PLC and gradually loads the dynamometer. Hastily unloading is achieved via the electric motor (4) which lowers the accepting tool with the dynamometer while the electric motor (3) holds the entire load. After that the dynamometer is rotated by 120° and gets gradually loaded to the desired load and gradually unloaded. Gradually unloading is achieved by the servomotor which gradually lifts the girder and takes over the load of the weights. At the end, the dynamometer is rotated one more time by 120° and gets gradually loaded and unloaded.

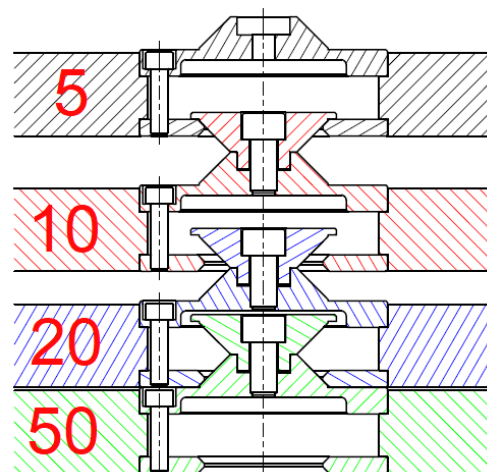


Fig. 4. The connection of weights

In figure 4, the connection of weights is shown. The example shows a loaded dynamometer with weights of 15 kg in total (weights of 5 and 10 kg are in contact with the dynamometer, while the load from the weights of 20 and 50 kg carries the girder).

5. RECONSTRUCTION OF THE DEVICE

In order to change the measuring range of the device from 2 kN to 10 kN, the existing weights of 12 i 50 N were replaced with weights of 500, 1000 and 2000 N, while the weights of 100 and 200 N were kept.

It was necessary to verify vital elements of the device (bolts, accepting tools and drives for weight manipulating) in order to determine could they endure the new load.

Bolted connections were checked first. The first bolted connection connects the conical shell which is in contact with the accepting tool above, with the weight accepting tool beneath it.

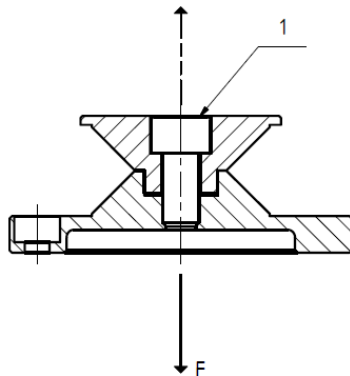


Fig. 5. Load of the first bolted connection

After that, the second bolted connection which connects the weight with the accepting tool was checked.

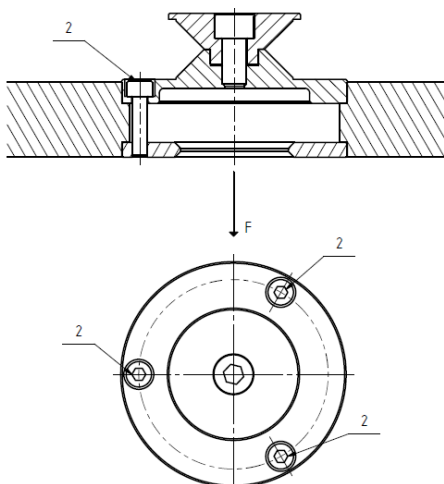


Fig. 6. Load of the second bolted connection

Both bolted connections meet the required condition [2].

Later, servomotor was checked. It was determined that the servomotor has power reserves even when the measuring range changed to 10 kN.

At the end, FEM was used to analyze the weight accepting tool, i.e. the ring of the tool and the conical shell which connects weight accepting tools with adjacent tools. *Autodesk Inventor Professional* was used for creation of the geometric model, while the software *Autodesk Nastran in Cad* was used for FEM analysis.

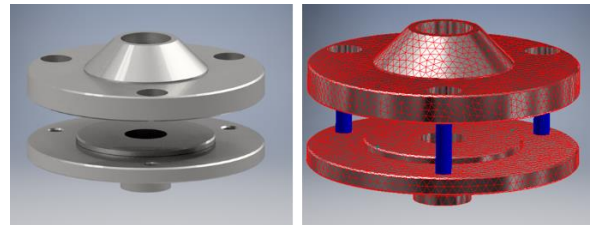
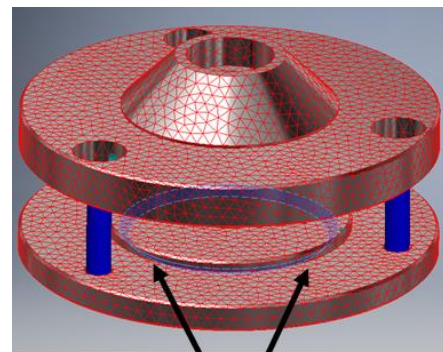


Fig. 7. Geometric and discrete model of analyzed parts

For the discrete model, bolts were substituted with fictive connectors for simpler analysis. The contact between the conical shell and the ring, the part of the accepting tool, was analyzed. For the connection, option *Separation* was used because that option brings the model closest to a real friction contact.



Analyzed contact

Fig. 8. The contact between analyzed elements

Surface of the conical shell is divided with a horizontal plane to two surfaces in order to place one half in the positive part of the Y axis and to place the other half in the negative part of the Y axis. That was done in order to introduce the support which prevents the movement of the conical shell in the positive and negative direction of the Y axis. Vertical load of 10 kN, which coincides with the Y axis, was introduced. Finally, material steel X3CrNi18-9 was added to the analyzed elements.

By analyzing obtained stress levels and deformations, it was determined that the von Mises stress does not surpass the ultimate strength of the used material. The ultimate strength of the used

steel is 520 MPa [3], while von Mises stress in the critical point of the conical shell is 330 MPa and in the critical point of the ring is 420 MPa.

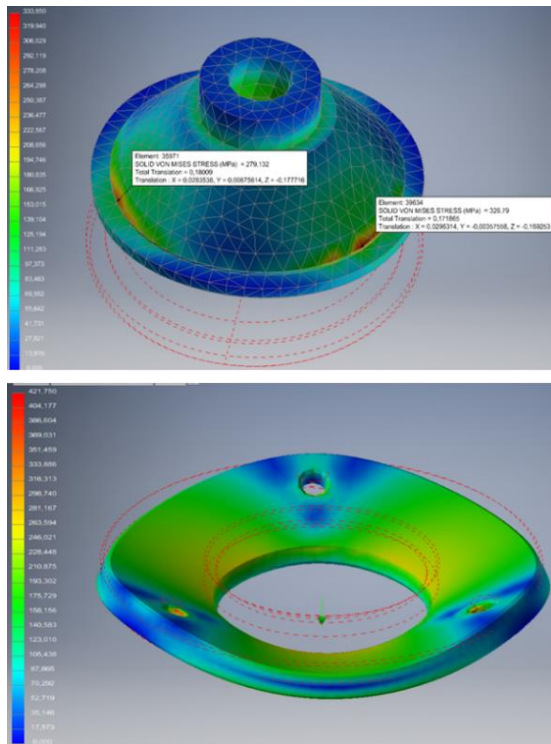


Fig. 9. The representation of stress levels in the conical shell and in the ring

6. EXPERIMENTAL ANALYSIS

At the end, the experimental analysis of the weight accepting tool with belonging bolts was done. The experiment was conducted on a hydraulic universal testing device produced by *Heckert*. A special tool was constructed for this occasion in order to position the weight accepting tool in the grips of the universal testing device. The sample was tested with the force of 15 kN which represents a load 50% higher than the measuring range of the calibration device.

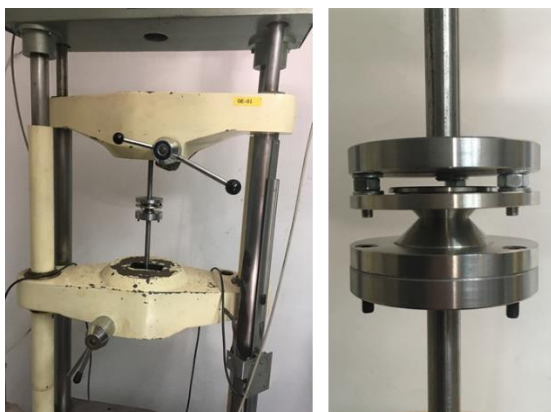


Fig. 10. The universal testing device and the special tool for positioning the weight accepting tool

The experiment did not show any signs of visible deformation and, with the results obtained with the FEM analysis, it was concluded that the weight accepting tool with belonging bolts can bear the increased measuring range of the calibration device

7. CONCLUSION

In this paper, the project of reconstruction of the calibration device was analyzed. Special attention was given to the analysis of the weight accepting tool (the conical shell and the ring) because that segment represents a critical point during the transition of the measuring range from 2 kN to 10 kN. The experimental analysis of the tool was described. Finally, the procedure of calibration dynamometers using the *Df 0.2* device and its construction were described in detail.

8. REFERENCES

- [1] Živanić, D., Gajić, A., Zelić, A., Ilanković, N.: *Flat belt feeder regulation possibilities*, 13. International Scientific Conference MMA 2018 – Flexible Technologies, p.p. 351-354, Novi Sad, FTN, Department of Production Engineering, Novi Sad, 28-29. September 2018.
- [2] Miltenović V.: *Mašinski elementi: oblici, proračun, primena*, Mechanical Engineering Faculty, Niš, 2009.
- [3] Petry, F.: *Fatigue behavior of austenitic steel X3CrNi18-9 in the case of isothermal and thermomechanical strain*, PhD dissertation, Technical Faculty, Erlangen, 1989.
- [4] Đukić, M.: *Project of reconstruction of calibration machine in order to increase the measuring range*, Bachelor's thesis, FTN, Novi Sad, 2018.
- [5] ISO 17025: *Testing and calibration laboratories*, ISO, Geneva, 2017.
- [6] EURAMET cg-4: *Uncertainty of force measurements*, Braunschweig, 2011.

Authors: Teaching Assoc. Nikola Ilanković, Assist. Prof. Dragan Živanić, Assist – Master Atila Zelić, Miloš Đukić, Master's student University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department of Mechanization and Design Engineering, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Phone.: +381 21 485 2350, Fax: +381 21 454-495.

E-mail: ilankovic@uns.ac.rs
zivanic@unc.ac.rs
zelic@uns.ac.rs
milos.djukic1@gmail.com

Kožuh, S., Ivanić, I., Krtić, I., Kosec, B., Gojić, M.

MICROSCOPIC ANALYSIS OF THE Cu-Al-Mn-Ni SHAPE MEMORY ALLOY AFTER HEAT TREATMENT

Abstract: In this work, the microstructure of two nickel content (2.5 and 3.5 wt.%) Cu-Al-Mn-Ni shape memory alloy (SMA) after heat treatment was analyzed. The melting of technically pure was performed in specially designed copper anode which also was used as a casting mould. By this procedure, samples of cylindrical shape, ingots of 8 mm diameter and 15 mm length, were produced. The samples with various nickel content (2.5 and 3.5 wt.%) were subjected to heat treatment procedure. Selected samples were heat treated at 900 °C, held for 15 minutes on that temperature following water quenching. Optical and scanning electron microscopy revealed the presence of β'_1 martensite in the microstructure. Microhardness of the samples increase drastically by increasing the nickel content from 2.5 to 3.5%, respectively.

Key words: Cu-Al-Mn-Ni alloy, shape memory alloys, martensite, microstructure, microhardness

1. INTRODUCTION

The technical importance of most engineering materials is based on their mechanical, electrical or magnetic properties, which should be independent from environmental influences. However, functional materials are not interesting so much for their properties under certain conditions, but much more for how they react on changes of these conditions. Shape memory materials belong to this group [1-3].

In recent years, Cu-Al-Ni shape memory alloys (SMA) have attracted attention due to their low cost, good electrical and thermal stability as well as higher operating temperature. However, the engineering application of the alloy has been restricted seriously because equiaxed polycrystalline Cu-Al-Ni alloy is prone to intergranular fracture during plastic deformation due to the large grain size and the existence of brittle γ_2 phase [4-6].

Unfortunately, the ductility of CuAlNi SMA is generally found to be poor [7]. The certain steps for the improvement of ductility of CuAlNi alloys have been undertaken. The grain size refining has been achieved by rapid solidification techniques or by the addition of fourth and fifth alloying elements, such as titanium, manganese and boron [7-9].

The addition of the Mn to the binary Cu-Al system has resulted in enhanced ductility, which is very important for practical applications [10, 11]. In the Cu-Al-Mn SMAs, the low aluminum and the high manganese content showed good ductility and shape memory effect.

The objective of this research is to study the

microstructure of quaternary system (Cu-Al-Mn-Ni), and the effect of heat treatment on alloys microstructure at different nickel content.

2. EXPERIMENTAL

Cu-Al-Mn-Ni alloy is prepared by melting technically pure elements, 99.99% copper, 99.99% aluminum, 99.8% manganese and nickel 99.8%. The aim was to produce a shape memory alloy with the nominal chemical composition of Cu-13Al-2.5Mn-(2.5 and 3.5) Ni (wt.%). The melting furnace was used for melting and casting the ingots in a water-cooled, specially designed copper anode which also was served as a casting mold. The samples were remelted under argon protective atmosphere three times using an electrical arc to achieve homogeneity of the chemical composition. The weight of the ingot was about 6 g. After casting, the 8 mm in diameter and 15 mm in length ingots were obtained, Figure 1. Chemical composition and markings of the investigated samples are listed in Table 1.

Heat treatment of Cu-Al-Mn-Ni alloy was carried out by holding the samples at 900 °C for 15 minutes, followed by cooling in room temperature water. After heat treatment, the samples were metallographically prepared for examination on optical (OM) and scanning electron microscope (SEM) equipped with energy dispersive spectroscopy (EDS). For OM and SEM analysis, the samples were grounded (from 120 to 1000 grade paper), and polished in 0.3 μm Al_2O_3 solution. Afterwards, the samples were etched in a solution composed of 5 g FeCl_3 and 96 ml methanol in 20 ml HCl. Microhardness

measurements were performed by Vickers method. The force applied to the tested samples was 9,804 N at the injecting time of 10 seconds.



Figure 1. Photograph of casted Cu-Al-Mn-Ni ingots

Table 1. Planned chemical composition of Cu-Al-Mn-Ni alloys, wt. %

Sample	Heat treatment	Chemical composition, wt. %			
		Cu	Al	Mn	Ni
A	900 °C/15'/H ₂ O	82.0	13.0	2.5	2.5
B	900 °C/15'/H ₂ O	81.0	13.0	2.5	3.5

3. RESULTS AND DISCUSSION

To determine the influence of heat treatment on the Cu-Al-Mn-Ni alloys microstructure samples were examined on an optical and scanning electron microscope, Figures 2-5.

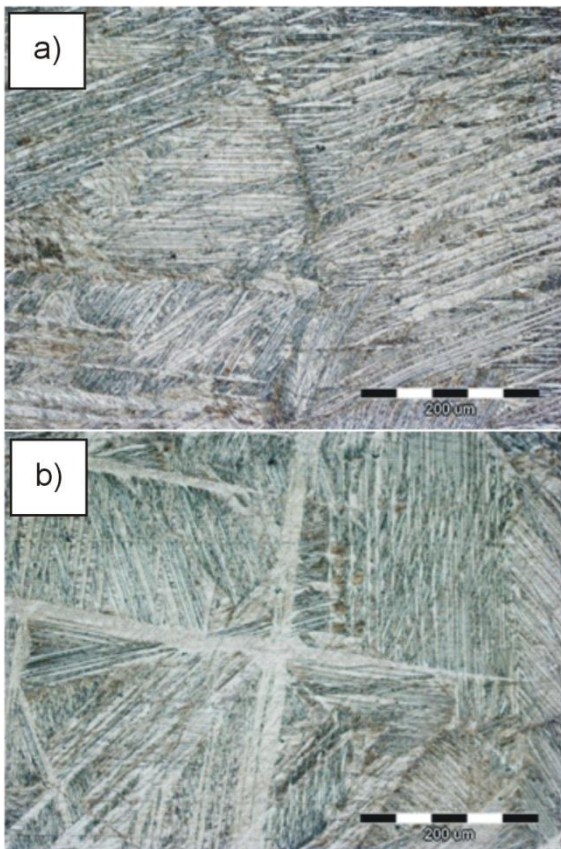


Fig. 2. Optical micrographs of the Cu-13Al-2.5Mn-2.5Ni (a) and Cu-13Al-2.5Mn-3.5Ni (b) SMA after quenching, magnification 200x

By analyzing obtained optical micrographs (Fig. 2) of the investigated alloys, it can be noticed no significant changes in the microstructure between the samples. A martensitic microstructure is visible and the martensitic needles have different orientation in particular grains. The SEM analysis (Figures 3-5) confirmed the martensite microstructure and revealed that the microstructure consisted probably from β'_1 martensite [8, 13]. The chemical composition of individual positions obtained by EDS was listed in Tables 2 and 3. EDS analysis showed very small differences in the chemical composition of individual positions for each sample. It can be noticed a decrease in aluminum content, which probably occurred due to aluminum oxidation during melting and casting.

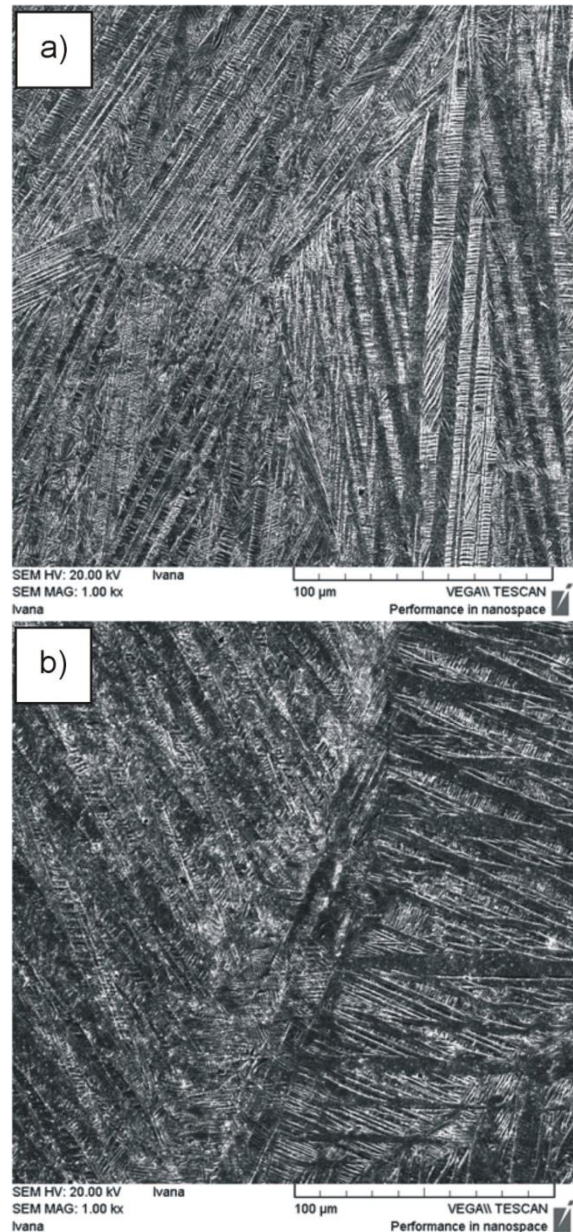


Fig. 3. SEM micrographs of the Cu-13Al-2.5Mn-2.5Ni (a) and Cu-13Al-2.5Mn-3.5Ni (b) SMA after quenching

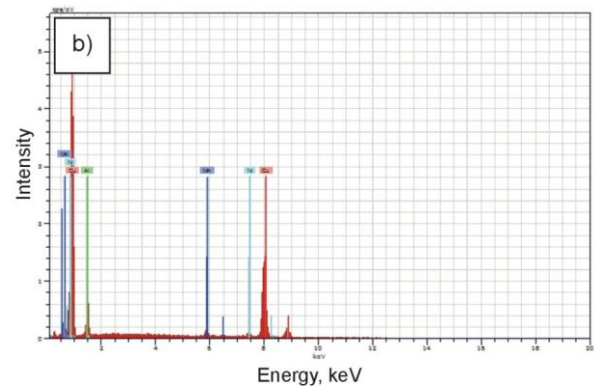
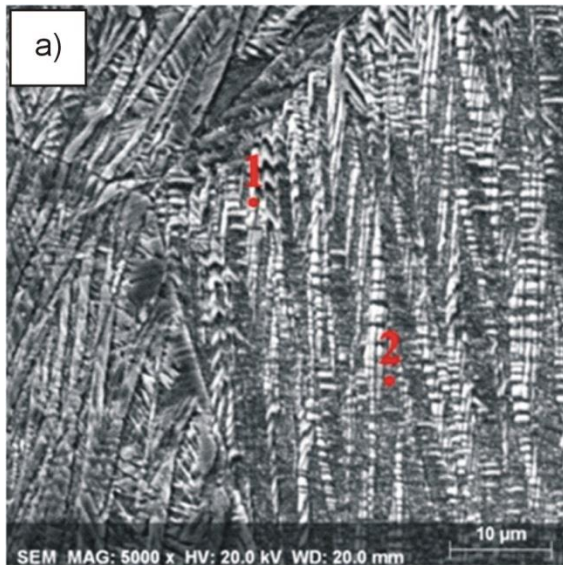


Fig. 5. SEM micrograph (a) and EDS spectrum of position 1 (b) of the Cu-13Al-2.5Mn-3.5Ni SMA

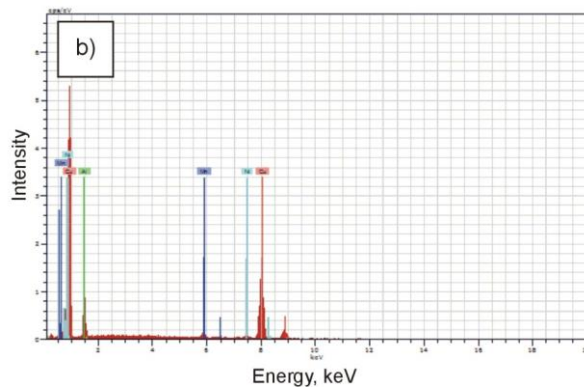


Fig. 4. SEM micrograph (a) and EDS spectrum of position 1 (b) of the Cu-13Al-2.5Mn-2.5Ni SMA

Table 2. The results of EDS analysis of the shape memory alloy

Position	Chemical composition, wt. %			
	Cu	Al	Mn	Ni
1	83.88	10.36	2.77	2.99
2	84.01	10.20	2.66	3.13

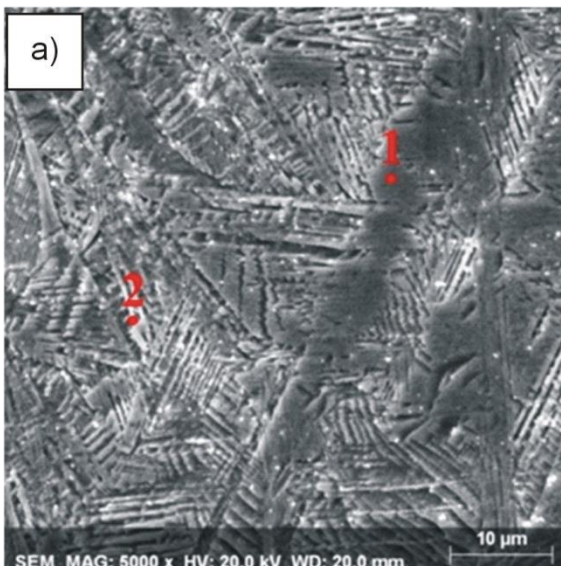


Table 3. The results of EDS analysis of the shape memory alloy

Position	Chemical composition, wt. %			
	Cu	Al	Mn	Ni
1	82.90	10.42	2.70	3.98
2	84.10	9.29	2.66	3.94

The Vickers microhardness test results for the Cu-Al-Mn-Ni alloy are shown in Table 4. It is visible that the alloy with higher nickel content has drastically higher mean value of microhardness. The increase of 1 wt.% of nickel increase microhardness from 229.9 HV1 to 446.7 HV1, respectively.

Table 4. Results of the microhardness of Cu-Al-Mn-Ni alloys, HV1

Sample	HV1	Mean value, HV1
Cu-13Al-2.5Mn-2.5Ni	229.1	229.9
	230.5	
	230.0	
Cu-13Al-2.5Mn-3.5Ni	449.7	446.7
	450.4	
	440.0	

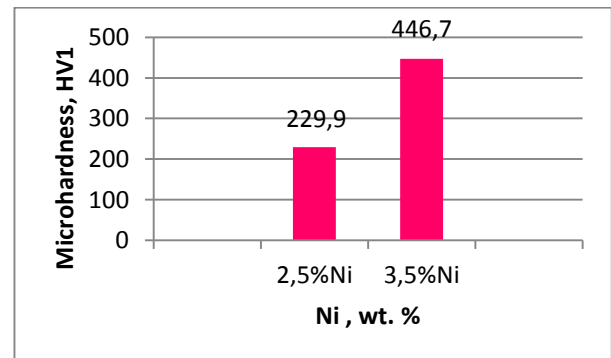


Fig. 6. Mean value of microhardness of the Cu-Al-Mn-Ni after quenching

5. CONCLUSIONS

From the microstructural and microhardness analysis of the Cu-13Al-2.5Mn-(2.5 and 3.5) Ni (wt.%) shape memory alloy after quenching can be withdrawn following conclusions:

- Optical micrographs of the investigated Cu-Al-Mn-Ni alloys in both samples show martensitic microstructure after quenching.
- Scanning electron microscopy confirmed the presence of martensite in the microstructure. Martensite has a different orientation in different grains and the shape of martensitic needles is characteristic for β'_1 martensite.
- EDS analysis confirmed small differences in the chemical composition of all analyzed positions. It is observed a lower aluminum content than it was planned, which can be associated with oxidation of aluminum during melting and casting.
- Microhardness values increase drastically from 229.9 HV1 to 446.7 HV1 with increase of nickel content from 2.5 to 3.5 wt.%, respectively.

ACKNOWLEDGEMENTS

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

6. REFERENCES

- [1] Ivanić, I., Gojić, M., Kožuh, S., *Slitine s prisjetljivosti oblika (I. dio): najznačajnija svojstva*, Kemija u industriji 63 (2014) 9 - 10, 323 – 239.
- [2] Lexcelent, C., *Shape-memory Alloys Handbook*, John Wiley&Sons Inc., Hobogen, 2013.
- [3] Lojen, G., Anžel, I., Kneissl, A., Krizman, A., Unterweger, E., Kosec, B., Bizjak, M., *Microstructure of rapidly solidified Cu–Al–Ni shape memory alloy ribbons*, Journal of Materials Processing Technology 162–163 (2005) 220–229.
- [4] Ivanić, I., Gojić, M., Kožuh, S., *Slitine s prisjetljivosti oblika (II. dio): podjela, proizvodnja i primjena*, Kemija u industriji 63 (2014) 9 - 10, 331 – 344.
- [5] Lagoudas, D. C., *Shape Memory Alloys Modeling and Engineering Applications*, Springer, Texas, USA, 2008.
- [6] Wang, Z., Liu, X.F., Xie, J.X., *Effect of γ_2 phase evaluation on mechanical properties of continuous columnar-grained Cu-Al-Ni alloy*, Materials Science and Engineering A 532 (2012) 536-542.
- [7] Gao, Y., Zhu, M., Lai, J.K.L., *Microstructure characterization and effect of thermal cycling and ageing on vanadium-doped Cu–Al–Ni–Mn high-temperature shape memory Alloy*, Journal of Materials Science 33 (1998) 3579 - 3584.
- [8] Sari, U., *Influence of 2.5 wt% Mn addition on the microstructure and mechanical properties of Cu-Al-Ni shape memory alloys*, International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials 17 (2010) 2, 192-198.
- [9] Sutou, Y., Kainuma, R., Ishida, K., *Effect of alloying elements on the shape memory properties of ductile Cu – Al – Mn alloys*, Materials Science Engineering A237 – 275 (1999), 375 – 379.
- [10] Kainuma, R., Takahashi, S., Ishida, K., *Thermoelastic martensite and shape memory effect in ductile Cu – Al – Mn alloys*, Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science 27 (1996) 8, 2187 – 2195.
- [11] Saud, S., Hamzah, N. E., Abubakar, T., Bakhsheshi-Rad, H. R., Zamri, M., Tanemura, M., *Effects of Mn additions on the structure, mechanical properties, and corrosion behavior of Cu-Al-Ni shape memory alloys*, Journal of Materials Engineering and Performance 23 (2014) 10, 3620-3629.
- [12] Mallik, U. S., Sampath, V., *Influence of aluminum and manganese concentration on the shape memory characteristics of Cu – Al – Mn shape memory alloys*, Journal of Alloys and Compounds 459 (2008) 1 – 2, 142 – 147.
- [13] Aksu Canbay, C., Karagoz Genc, Z., Sekerci, M., *Thermal and structural characterization of Cu–Al–Mn–X (Ti, Ni) shape memory alloys*, Applied Physics A 115 (2014), 371 – 377.

Authors: Associate Prof. Stjepan Kožuh¹, Ivana Ivanić^{1*}, PhD, Ivana Krtić, Full Prof. Borut Kosec², Full Prof. Mirko Gojić¹

¹ 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: kozuh@simet.hr; iivanic@simet.hr; gojic@simet.hr; ivanakrtic@hotmail.com

² University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenia

E-mail: borut.kosec@omm.ntf.uni-lj.si

Havrlišan, S., Šimunović, K., Vukelić, Đ., Šarić, T., Šimunović, G.

ISTRAŽIVANJE UTICAJA PARAMETRA NAŠTRCAVANJA NA TVRDOĆU
PREVLAKA

Rezime: Cilj rada je, statističkom analizom eksperimentalnih podataka, istražiti uticaj ulaznih varijabli i interakcija na odziv – tvrdoća prevlaka, dobivenih postupkom naštrcavanja pomoću plinskog plamena s istovremenim utaljivanjem. Podaci za istraživanje dobiveni su faktorskim planom pokusa 2^3 , gde su istovremeno menjana tri faktora na dve razine uz dva ponavljanja svake kombinacije faktora. Ulazne varijable menjane na dve razine su: vrsta prevlake – NiCrBSi i NiBSi, udaljenost plamenika od radnog predmeta – mala (6 mm) i velika (20 mm) te priprema podloge – ohrapavljena i neohrapavljena. Najvišu tvrdoću pokazuje NiCrBSi prevlaka, naštrcana uz malu udaljenost plamenika na neohrapavljenu podlogu. **Ključne reči:** legure nikla, bora i silicija, naštrcavanje pomoću plinskog plamena s istovremenim utaljivanjem, planirani pokusi, tvrdoća

1. UVOD

Jedan od najčešćih oblika oštećenja komponenti tehničkih sustava je trošenje. Kako bi se uklonila nastala oštećenja i na taj način produljio životni vek komponenti, na oštećene i istrošene delove nanose se prevlake različitim postupcima naštrcavanja. Zbog svojih izrazito dobrih svojstava, visoke čvrstoće i tvrdoće te izvrsne otpornosti na trošenje, visoku temperaturu i koroziju široko su zastupljene legure nikla, bora i silicija, često i kroma. Dodatkom kroma postiže se dobra otpornost na koroziju, a zahvaljujući dodatku ugljika stvaraju se karbidi, koji uz boride, silicide, karboboride i druge faze utiču na tvrdoću prevlake [1-3]. Bor i silicij dodani niklu, deluju kao i krom na snižavanje temperature taljenja čistog nikla te poboljšavaju svojstva samotečenja i deluju kao deoksidatori, štiteći ostale elemente od oksidacije [4, 5]. Kako bi se poboljšala tvrdoća prevlake, a time i otpornost na trošenje, legurama nikla, bora i silicija dodaju se tvrdi karbidi i retki zemljani elementi [6, 7]. Istraživanja legura nikla, bora i silicija na različite oblike trošenja popraćena su merenjima tvrdoće, jer je tvrdoća jedan od značajnih faktora koji utiču na otpornost na trošenje, kao i udio tvrdih faza [8].

Stoga je cilj ovog rada istražiti uticaj vrste prevlake, udaljenosti plamenika od radnog predmeta pri postupku naštrcavanja te pripreme podloge na tvrdoću prevlaka.

2. EKSPERIMENTALNI DIO

Podaci za istraživanje dobiveni su faktorskim planom pokusa s tri faktora na dve razine uz dva

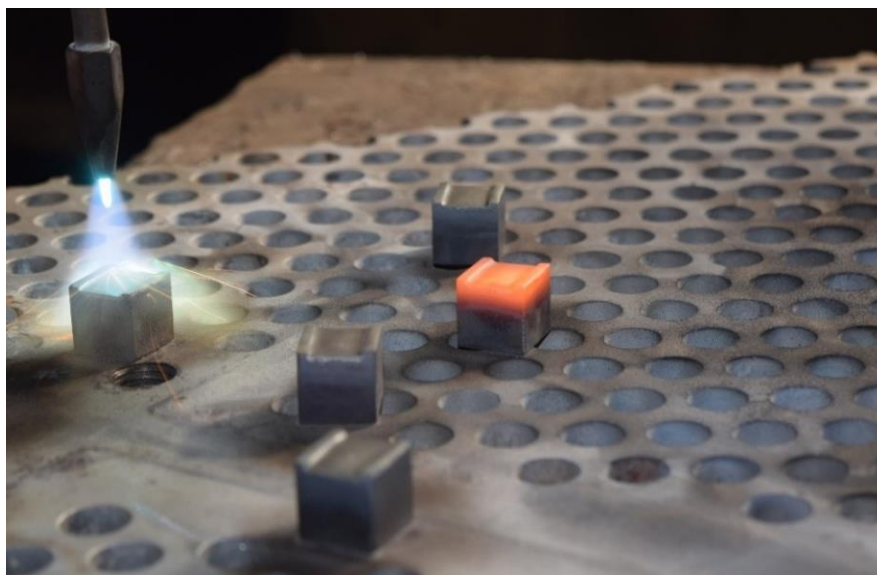
ponavljanja. Ulazne varijable menjane na dve razine su: vrsta prevlake (NiCrBSi i NiBSi), udaljenost plamenika od radnog predmeta (mala i velika) te priprema podloge (ohrapavljena i neohrapavljena). Ponavljanje svake kombinacije razina faktora provedeno je dva puta. Konačan broj uzoraka za ispitivanje je 16. Izlazna varijabla tj. odziv je tvrdoća prevlaka.

Na materijal podloge, niskougljični čelik S275JR+AR (0,1% C; 0,2% Si; 0,57% Mn; 0,016% P; 0,012% S; 0,14% Cr; 0,27% Ni; 0,06% Mo; 0,46% Cu; Fe ostatak), postupkom naštrcavanja pomoću plinskog plamena s istovremenim utaljivanjem u ovisnosti o udaljenosti plamenika od radnog predmeta – mala i velika nanosene su dve vrste legura nikla iz iste skupine – NiCrBSi (0,7% C; 15% Cr; 3,5% Fe; 3,2% B; 4,4% Si; Ni ostatak) i NiBSi (0,1% C; 0,5% Cr; 0,5% Fe; 2,5% B; 3% Si; Ni ostatak).

Na slici 1 prikazan je postupak naštrcavanja pomoću plinskog plamena s istovremenim utaljivanjem, na uzorke dimenzija 17×17×17 mm, SuperJet-S-Euttaloy oksid-acetilenskim pištoljem (tlak acetilena 50 kPa i tlak kisika 200 kPa).

Kako bi se osiguralo što bolje prijanjanje nanosene prevlake, provedena je standardna procedura pripreme podloge: odmaščivanje etilnim alkoholom, ohrapavljanje odnosno neohrapavljanje (ovisno o razini faktora priprema podloge) te predgrijavanje na temperaturi oko 200°C.

Nakon postupka naštrcavanja i postepenog hlađenja na zraku, uzorci su obrušeni kako bi se dobila površina potrebna za merenje tvrdoće na tvrdomeru Rockwell, tip KV-1.



Sl. 1. Postupak naštrcavanja pomoću plinskog plamena s istovremenim utaljivanjem

3. REZULTATI I RASPRAVA

Za statističku analizu podataka i redosled izvođenja pokusa korišten je licencirani softver *Design Expert* (version DX10, 10.0.3.1, Stat-Ease, Inc. Minneapolis, 2016).

Faktorski plan pokusa, redosled izvođenja pokusa prema slučajnom odabiru te dobiveni rezultati izmerenih tvrdoća (prosečna vrednost za četiri ponovljena merena za svaki uzorak) za prevlake, prikazani su u tabeli 1 [9]. Kako bi se

uvažila polazna pretpostavka za model analize varijanse, načelo randomizacije, uzorci nisu ispitivani redosledom kako su prikazani u tabeli 1 (prema konvencionalnom rasporedu, stupac 1), već prema slučajnom rasporedu generiranom u softveru (tabela 2, stupac 2).

U tabeli 2 prikazani su određeni statistički parametri za 16 ispitnih uzoraka, dok je analiza varijanse tvrdoća prevlaka na čeliku S275JR+AR prikazana u tabeli 3.

Tabela 1. Plan pokusa, redosled izvođenja pokusa i odziv – tvrdoća prevlaka na čeliku S275JR+AR

Konvencionalni raspored	Broj pokusa	Faktor A Vrsta prevlake	Faktor B Udaljenost plamenika	Faktor C Priprema podloge	Odziv Tvrdoća, HRC
1	8	NiCrBSi	Mala	Ohrapavljena	54,33
2	2	NiCrBSi	Mala	Ohrapavljena	54,67
3	4	NiBSi	Mala	Ohrapavljena	31,67
4	10	NiBSi	Mala	Ohrapavljena	31,33
5	12	NiCrBSi	Velika	Ohrapavljena	58
6	13	NiCrBSi	Velika	Ohrapavljena	57,33
7	11	NiBSi	Velika	Ohrapavljena	29,67
8	3	NiBSi	Velika	Ohrapavljena	29,67
9	7	NiCrBSi	Mala	Neohrapavljena	64,67
10	16	NiCrBSi	Mala	Neohrapavljena	64,33
11	15	NiBSi	Mala	Neohrapavljena	36,67
12	5	NiBSi	Mala	Neohrapavljena	36,33
13	14	NiCrBSi	Velika	Neohrapavljena	59,67
14	9	NiCrBSi	Velika	Neohrapavljena	60
15	6	NiBSi	Velika	Neohrapavljena	28,67
16	1	NiBSi	Velika	Neohrapavljena	29,33

Tabela 2. Statistički parametri za odziv - tvrdoća prevlaka na čeliku S275JR+AR

Najmanja vrednost	Najveća vrednost	Prosečna vrednost	Standardna devijacija
28,67 HRC	64,67 HRC	45,39 HRC	14,59 HRC

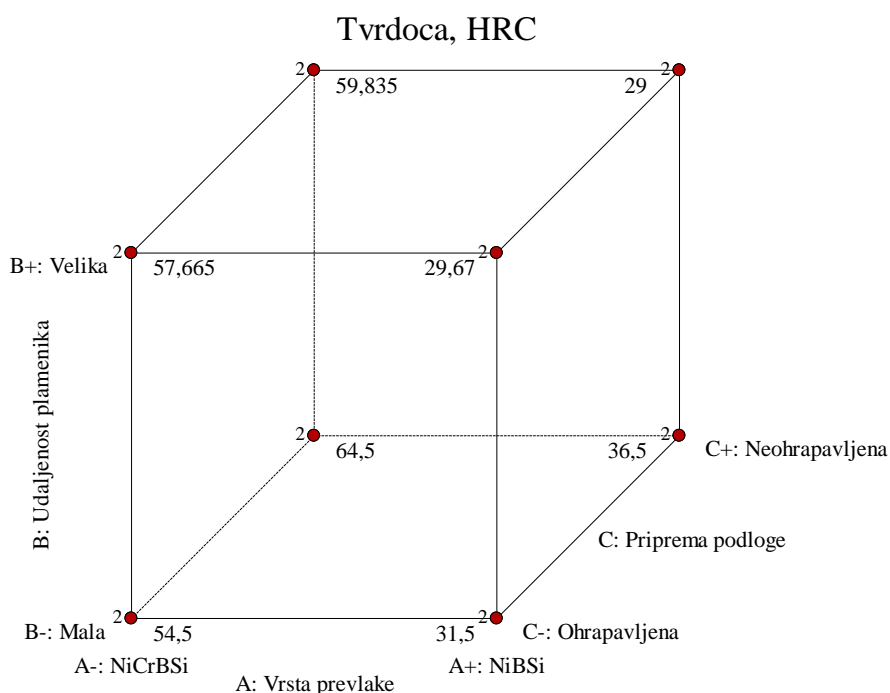
Tabela 3. Analiza varijanse za odziv - tvrdoća prevlaka na čeliku S275JR+AR

Izvor varijabilnosti	Suma kvadrata odstupanja	Stupnjevi slobode	Srednje kvadratno odstupanje	F_0	Verovatnoća za F_0
A-Vrsta prevlake	3015,66	1	3015,66	33143,64	< 0,0001
B-Udaljenost plamenika	29,32	1	29,32	322,27	< 0,0001
C-Priprema podloge	68,06	1	68,06	748,04	< 0,0001
AB	15,33	1	15,33	168,45	< 0,0001
AC	15,37	1	15,37	168,88	< 0,0001
BC	45,56	1	45,56	500,76	< 0,0001
ABC	1,17	1	1,17	12,82	0,0072
Pogreška	0,73	8	0,091		
Ukupno	3191,19	15			

Iz tabele 3 je vidljivo da su efekti faktora A, B i C značajni, jer su srednja kvadratna odstupanja (varijabilnosti zbog promene razina faktora), koja redom iznose 3015,66; 29,32; 68,06, značajno veća od srednjeg kvadratnog odstupanja pogreške (varijabilnost unutar pojedinih ćelija), koje iznosi 0,091. Obzirom da su za izračunate vrednosti F_0 (omer srednjeg kvadratnog odstupanja za pojedini faktor, odnosno interakcije i srednjeg kvadratnog odstupanja pogreške), koje redom iznose 33143,64; 322,27; 748,04; 168,45; 168,88; 500,76; 12,82,

verovatnoće manje od granične verovatnoće za pogrešku prve vrste ($\alpha = 0,05$), može se zaključiti da vrsta prevlake, udaljenost plamenika i priprema podloge značajnu utiču na tvrdoću prevlaka te da postoje značajne interakcije između ova tri faktora. Podaci su dodatno analizirani proračunom efekata faktora (glavnih efekata). Uticaji ili efekti ovih faktora mogu se prikazati razlikom između prosečnih vrednosti izmerenih odziva na višoj ("+") i na nižoj razini ("-") (slika 2).

Design-Expert® Software
Factor Coding: Actual
Tvrdoća, HRC
X1 = A: Vrsta prevlake
X2 = B: Udaljenost plamenika
X3 = C: Priprema podloge



Sl. 2. Prikaz prosečnog odziva za kombinacije razina faktora

Glavni efekt faktora A (vrsta prevlake) iznosi -27,46, što znači da je promenom faktora A – vrsta prevlake s niže (NiCrBSi prevlaka) na višu razinu (NiBSi prevlaka) došlo do prosečnog smanjenja tvrdoće za 27,46 HRC. Glavni efekt faktora B (udaljenost plamenika) iznosi -2,7, što znači da je promenom faktora B – udaljenost plamenika s niže (mala) na višu razinu (velika) došlo do prosečnog smanjenja tvrdoće za 2,7 HRC, dok glavni efekt faktora C (priprema podloge) iznosi 4,12, što znači da je promenom faktora C – priprema podloge s niže (ohrapavljena) na višu razinu (neohrapavljena) došlo do prosečnog povećanja tvrdoće za 4,12 HRC.

4. ZAKLJUČAK

Statističkom analizom eksperimentalnih podataka – tvrdoća prevlaka s ciljem određivanja uticajnih faktora utvrđeno je da priprema podloge, kao i vrsta prevlake i udaljenost plamenika od radnog predmeta pri postupku naštrcavanja značajno utiču na tvrdoću prevlake.

Na kraju, može se zaključiti da najvišu tvrdoću pokazuje NiCrBSi prevlaka nanosena na neohrapavljenu podlogu naštrcana uz malu udaljenost plamenika, čime se potvrđuje da bi se u praksi s ciljem postizanja maksimalne tvrdoće, za ovu prevlaku trebalo primeniti naštrcavanje uz malu udaljenost plamenika.

5. REFERENCE

- [1] Šimunović, K., Šarić, T., Šimunović, G.: *Different Approaches to the Investigation and Testing of the Ni-Based Self-Fluxing Alloy Coatings - A Review. Part 1: General Facts, Wear and Corrosion Investigations*, Tribology Transactions, 57, 2014, 6, pp. 955-979.
- [2] Šimunović, K., Šarić, T., Šimunović, G.: *Different Approaches to the Investigation and Testing of the Ni-Based Self-Fluxing Alloy Coatings - A Review. Part 2: Microstructure, Adhesive Strength, Cracking Behavior, and Residual Stresses Investigations*, Tribology Transactions, 57, 2014, 6, pp. 980-1000.
- [3] Šimunović, K., Slokar, Lj., Havrlišan, S.: *SEM/EDS Investigation of One-Step Flame Sprayed and Fused Ni-Based Self-Fluxing Alloy Coatings on Steel Substrates*, Philosophical Magazine, 97, 2017, 4, pp. 248-268.
- [4] Tu, J. P., Liu, M. S., Mao, Z. Y.: *Erosion Resistance of Ni-WC Self-fluxing Alloy Coating at High Temperature*, Wear, 209, 1997, pp. 43-48.
- [5] Bergant, Z., Grum, J.: *Quality Improvement of Flame Sprayed, Heat Treated, and Remelted NiCrBSi Coatings*, Journal of Thermal Spray Technology, 18, 2009, 3, pp. 380-391.
- [6] Dhakar, B. M., Dwivedi D. K., Sharma, S. P.: *Studies on Remelting of Tungsten Carbide and Rare Earth Modified Nickel Base Alloy Composite Coating*, Surface Engineering, 28, 2012, 1, pp. 73-80.
- [7] Zhang, Z., Wang, Z., Liang, B., Dong, H. B., Hainsworth, S. V.: *Effect of CeO₂ on the Microstructure and Wear Behavior of Thermal Spray Welded NiCrWRE Coatings*, Wear, 262, 2007, 5-6, pp. 562-567.
- [8] Havrlišan, S., Šimunović, K., Šarić, T., Šimunović, G., Svalina, I., Lujić, R.: *Investigation of abrasive wear resistance of flame sprayed coatings*, 9. International scientific-professional conference SBW 2017 "Engineering technologies in manufacturing of welded constructions and products, SBW 2017", pp. 309-322, Slavonski Brod, Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod, Slavonski Brod, 25. – 27.10.2017.
- [9] Havrlišan, S.: *Stohastički pristup modeliranju i optimiranju procesa naštrcavanja pomoću plinskog plamena*, doktorska disertacija, Strojarski fakultet u Slavenskom Brodu, 2017.

Autori:

Dr. Sara Havrlišan, Prof. Dr. Katica Šimunović, Prof. Dr. Tomislav Šarić, Prof. Dr. Goran Šimunović Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Strojarski fakultet u Slavenskom Brodu, Trg Ivane Brlić Mažuranić 2, 35000 Slavonski Brod, Hrvatska, Tel. +38535493445, Fax. +38535446446.
E-mail: shavrlisan@sfsb.hr
ksimun@sfsb.hr
tsaric@sfsb.hr
gsimun@sfsb.hr

Vanr. prof. dr Đorđe Vukelić, Univerzitet Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel: +381214852326, Fax: +38121454495.
E-mail: vukelic@uns.ac.rs

Simonović, S.

ON NANOMANIPULATION OF NANO-SIZED OBJECTS

Abstract: The paper explains basic operating principles of scanning tunnelling microscopes, atomic force microscopes and nanorobotic systems, with special respect to their use as manipulators of nano-sized objects. Single atom manipulation and contact and non-contact manipulation of nanoparticles are described. Also, particular consideration is given to manipulation of nanotubes and some testing of their features by use of nanorobotic systems. The three methods are compared and their appropriateness for particular manipulation tasks is considered. The more degrees of freedom a method has and exerts greater manipulation force, the lower is the resolution of manipulation.

Key words: Nano, Manipulation, Degrees of Freedom

1. INTRODUCTION

A nano-sized object can be defined as material restricted in one, two, or three dimensions on the nanoscale. This includes nanoparticles (all three dimensions on the nanoscale), nanofiber (two dimensions on the nanoscale), and nanoplates (one dimension on the nanoscale). Nanofiber are further divided into nanotubes (hollow nanofiber) nanorods (solid nanofiber) and nanowire (electrically conducting or semiconducting nanofiber)

In general, manipulation of nano-sized objects, also termed nanomanipulation, is defined as grasping, manipulating and placing nano-objects in certain predefined arrangement.

Presently, nanomanipulation can be applied to the scientific exploration of mesoscopic physical phenomena, biology and the construction of prototype nano-devices. It is a fundamental technology for property characterization of nanomaterials, structures and mechanisms, for the preparation of nanobuilding blocks, and for the assembly of nanodevices such as nanoelectromechanical systems (NEMS).

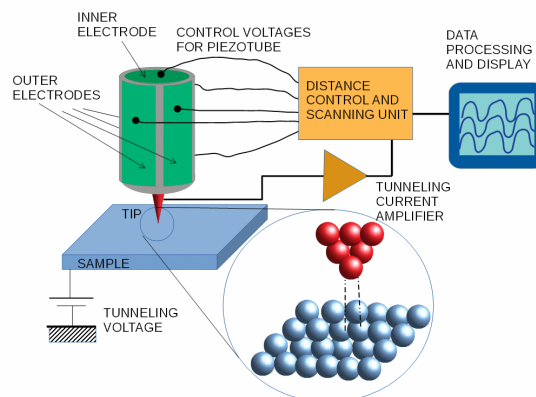
Scanning probe nanomanipulation methods refer to scanning tunneling and atomic force methods.

2. SCANNING TUNNELING MICROSCOPY

Figure 1. shows scheme of Scanning tunneling microscope (STM) based on a piezoelectric tube scanner: The outer electrode is in four quadrants and applying a voltage between opposite quadrants bends the tube in that direction. Applying a voltage between all four quadrants of the outer electrode and the inner electrode changes the length of the tube so full XYZ control (to sub-

nm precision) is obtained.

An atomically sharp metal tip (one electrode of the tunnel junction) is brought close enough (0.3– 1 nm) to the surface to be investigated (the second electrode) to make the tunneling current measurable at a convenient operating voltage (10 mV – 1 V). The tunneling current in this case varies from 0.2 to 10 nA. The tip is scanned over the surface at a distance of 0.3–1 nm, while the tunneling current between it and the surface is measured [1,2].



1. Fig. 1. Scanning tunnelling microscope

3. SINGLE-ATOM MANIPULATION

Single-atom manipulation is usually done by lateral noncontact manipulation, using a STM. Generally, lateral non-contact nanomanipulation is mainly applied for atoms and molecules in ultra high vacuum (UHV).

The causes of noncontact lateral motion comprise long-range attractive van der Waals (vdW) forces generated by the proximity of the tip to the sample, electric-field-induced fields caused by the voltage bias between the tip and the sample, tunneling current local heating or inelastic

tunneling vibration [3,4,5,6,7,8,9]. With these methods, some nanodevices and molecules have been assembled [10,11].

Motion of the lateral noncontact manipulation processes are shown in Fig. 2. First the STM tip was scanned in constant current mode using a relatively low tunneling current (10^{-9} A) in order not to move the atoms, which are weakly bound to the surface, during scanning. Each atom caused the STM tip to rise by 0.16 nm in order to maintain a constant current. Next the tip was placed over a chosen atom in the image (Fig. 2 a), and the set current was increased by at least an order of magnitude. The STM control system moves the tip closer to the surface to maintain the set current (Fig. 2 b); and an order of magnitude increase in current requires a movement toward the surface of ~ 0.1 nm. If the current is chosen correctly, the van der Waals force between the tip and the atom will increase to a level that is not sufficient to pull the atom off the surface but high enough to keep the atom under the tip as it is moved. The tip was then moved (Fig. 2 c) with the control system maintaining the high tunneling current (i.e., the low height above the surface). Finally the current was reset back to the low imaging value and the new position was imaged (Fig. 2 d) [2].

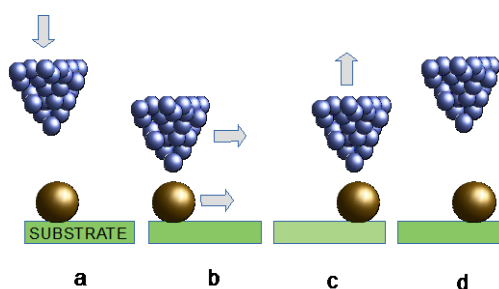


Fig. 3. Schematic representation of an AFM

As in the STM, piezoelectric control is used to position the cantilever and tip in x,y, and z with a precision of ~ 0.1 nm. When it is mounted in the microscope, a laser is reflected from the back of the cantilever onto a position-sensitive detector. There is a sufficiently long optical lever effect that cantilever deflections ~ 0.1 nm can be detected. As the tip is brought toward a sample, at separations below ~ 50 nm there is initially an attractive force (the van der Waals force) that bends the cantilever a detectable amount toward the surface. The deflection increases for a while; but below a critical separation, the force becomes repulsive and the cantilever deflects upwards. This corresponds to the tip touching the surface.

5. NANOPARTICLE NANOMANIPULATION

Manipulation with an AFM can be done in either contact or dynamic mode. A typical manipulation is like this: image a particle first in non-contact mode, then remove the tip oscillation voltage and sweep the tip across the particle in contact with the surface and with the feedback disabled. Mechanical pushing can exert larger forces on objects and, hence, can be applied for the manipulation of relatively larger objects.

Fig. 2. Lateral noncontact nanomanipulation

4. ATOMIC FORCE MICROSCOPY

A problem with the STM is that it is unable to obtain images from insulating surfaces, and this led to the development of the atomic force microscope (AFM). It is the cousin of the STM in that at the heart of it is the same ultra-sharp tip found in an STM except that in the AFM the tip is fabricated on the end of a tiny cantilever as shown in Fig. 3.

The sample surface is scanned by the cantilever connected to a tubular scanner. The principal functional units in it are three piezoelectric scanners. The deflections of the cantilever are monitored by the segmented photo diode detector.

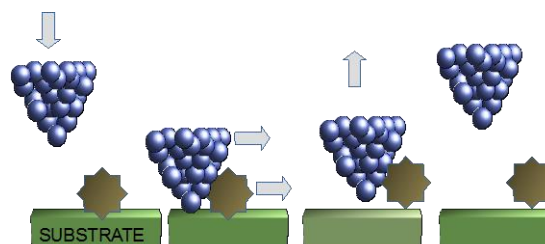


Fig. 4. Lateral contact nanomanipulation

Lateral contact nanoparticle nanomanipulation on

a surface with an AFM is a typical manipulation using this method as shown in Fig.4. Early work showed the effectiveness of this method for the manipulation of nanoparticles [12,13,14,15]. This method has also been shown in nanoconstruction [16].

6. NANOROBOTIC MANIPULATION

Nanorobotic manipulators are the core components of nanorobotic manipulation systems. Nanorobotic manipulators (NRMs) are characterized by the capability of 3-D positioning (Fig. 5), orientation control, independently actuated multiple end-effectors, and independent real-time observation systems, and can be integrated with scanning probe microscopes. NRMs largely extend the complexity of nanomanipulation. Limited by the relative lower resolution of electron microscopes, NRMs are difficult to use for the manipulation of atoms. However, their general robotic capabilities including 3-D positioning, orientation control, independently actuated multiple end-effectors, separate real-time observation system, and integrations with SPMs inside makes NRMs quite promising for complex nanomanipulation [17],[18].

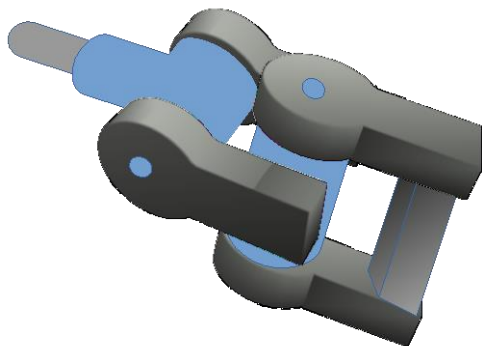


Fig. 5. 3DOF nanomanipulator

7. NANOTUBE NANOMANIPULATION AND TESTING

The basic procedure is to pick up a single tube from nanotube soot, Fig. 6.

This has been shown first by using dielectrophoresis [18] through AFM manipulation.

By applying a bias between a sharp tip and a plane substrate, a nonuniform electric field can be generated between the tip and the substrate with the strongest field near the tip. This field can cause a tube to orient along the field or further jump to the tip by electrophoresis or dielectrophoresis (determined by the conductivity of the objective tubes).

Nanomanipulations like a Bending (as shown in Fig.7) and buckling of a CNT can be used for in situ testing properties of a nanotube, which is a simple way to get the Young's modulus of a nanotube without damaging the nanotube (if performed within its elastic range) and, hence, can be used for the selection of a tube with desired properties [19, 20].

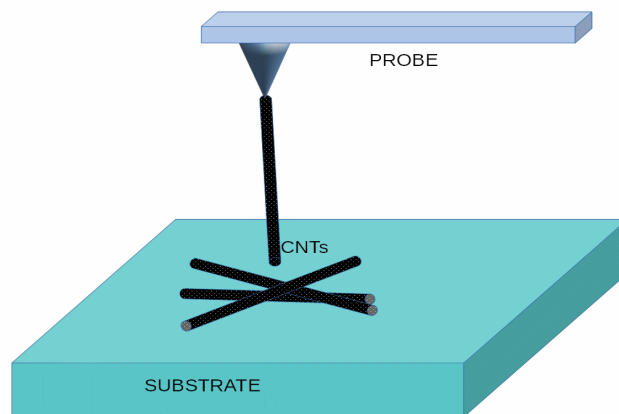


Fig.6. Picking up by dielectrophoresis

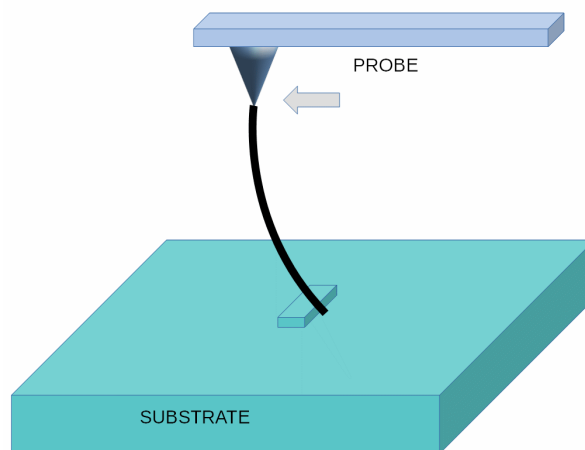


Fig. 7. Bending

8. CONCLUSION

With its incomparable imaging resolution, an STM can be applied to particles as small as atoms with atomic resolution. However, limited by its 2-D positioning and available strategies for manipulations, standard STMs are ill-suited for complex manipulation and cannot be used in 3-D space.

Although AFM is a very versatile and powerful tool it has a few drawbacks for manipulating single molecules. The most important one is probably the presence of undesired interactions between tip and substrate (van der Waals, electrostatic and adhesion forces) and the non-specificity of the attachments that often occur

between tip and substrate. When moving the tip to the substrate it is easy to attach many molecules at a time. Moreover, it is difficult to control the specific location of the attachment between the tip and the molecule. Also, AFMs are unsuitable for 3-D manipulation.

In manipulation by means of NRMs, much more degrees of freedom (DOFs) including rotation for orientation control of nano-objects are feasible. For this reason, NRMs can be used for manipulations in 3D space. However, the relatively low resolution of electron microscope in manipulation with NRMs is a limiting factor in this nanomanipulation.

9. REFERENCES

- [1] Lindsay, S.M.: *Introduction to Nanoscience*, Oxford University Press Inc., New York, 2010
- [2] Binns, C.: *Introduction to Nanoscience and Nanotechnology*, John Wiley & Sons, Inc., 2010
- [3] Bhushan, B. (Ed): *Springer Handbook of nanotechnology*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010
- [4] Avouris, P.: *Manipulation of matter at the atomic and molecular levels*, Acc. Chem. Res. No. 28, pp. 95–102, 1995
- [5] Crommie, M.F. , Lutz, C.P. , Eigler, D.M.: *Confinement of electrons to quantum corrals on a metal surface*, Science No. 262, pp. 218–220, 1993
- [6] Whitman, L.J., Stroscio, J.A., Dragoset, R.A., Cellota, R.J.: *Manipulation of adsorbed atoms and creation of new structures on room-temperature surfaces with a scanning tunneling microscope*, Science No. 251, pp. 1206–1210, 1991
- [7] Lyo, I.-W. , Avouris, P.: *Field-induced nanometer-scale to atomic-scale manipulation of silicon surfaces with the STM*, Science No. 253, pp.173–176, 1991
- [8] Dujardin, G., Walkup, R.E., Avouris, P.: *Dissociation of individual molecules with electrons from the tip of a scanning tunneling microscope*, Science No. 255, pp. 1232–1235, 1992
- [9] Shen, T.-C., Wang, C., Abeln, G.C., Tucker, J.R., Lyding, J.W., Avouris, P., Walkup, R.E.: *Atomic-scale desorption through electronic and vibrational-excitation mechanisms*, Science No. 268, pp. 1590–1592; 1995
- [10] Cuberes, M.T., Schittler, R.R., Gimzewski, J.K.: *Room-temperature repositioning of individual C60 molecules at Cu steps: Operation of a molecular counting device*, Appl. Phys. Lett. No. 69, pp. 3016–3018, 1996
- [11] Lee, H.J., Ho, W.: *Single-bond formation and characterization with a scanning tunneling microscope*, Science, No. 286, pp. 1719–1722, 1999
- [12] Schäfer, D.M., Reifenberger, A. Patil, R., Andres, R.P.: *Fabrication of two-dimensional arrays of nanometer-size clusters with the atomic force microscope*, Appl. Phys. Lett. No. 66, pp. 1012–1014, 1995
- [13] Junno, T., Deppert, K. , Montelius, L., Samuelson, L.: *Controlled manipulation of nanoparticles with an atomic force microscope*, Appl. Phys. Lett. No. 66, pp. 3627–3629, 1995
- [14] Sheehan, P.E., Lieber, C.M.: *anomachining, manipulation and fabrication by force microscopy*, Nanotechnology No. 7, pp. 236–240, 1996
- [15] Baur, C. , Gazen, B.C., Koel, B., Ramachandran, T.R., Requicha, A.A.G., Zini, L., *Robotic nanomanipulation with a scanning probe microscope in a networked computing environment*: J. Vac. Sci. Technol. B 15, pp. 1577–1580, 1997
- [16] Resch, R., Baur, C., Bugacov, A., Koel, B.E., Madhukar, A., Requicha, A.A.G., Will, P.: *Building and manipulating 3-D and linked 2-D structures of nanoparticles using scanning force microscopy*, Langmuir 14, pp. 6613–6616, 1998
- [17] Yu, M.F., Dyer, M.J., Skidmore, G.D. , Rohrs, H.W., Lu, X.K., Ausman, K.D., Von Ehr, J.R., Ruoff, R.S.: *Three-dimensional manipulation of carbon nano-tubes under a scanning electron microscope*, Nanotechnology No.10, pp. 244–252, 1999
- [18] Dong, L.X., Arai, F., Fukuda, T.: *3-D nanorobotic manipulation of nano-order objects inside SEM*, Proc. 2000 Int. Symp. Micromechatron. Hum. Sci., Nagoya (IEEE, Piscataway 2000), pp. 151–156
- [19] Dong, L.X., Arai, F., Fukuda, T.: *3-D nanorobotic manipulations of multi-walled carbon nanotubes*, Proc. 2001 IEEE Int. Conf. Robot. Autom. (ICRA2001), Seoul (IEEE, Piscataway 2001), pp. 632–637
- [20] Dong, L.X., Arai, F., Fukuda, T.: *Three-dimensional nanorobotic manipulations of carbon nanotubes*, J. Robot. Mechatron. JSME No. 14, pp. 245–252, 2002

Author: Prof. dr Svetomir Simonović, Visoka tehnička škola strukovnih studija, Bulevar Zorana Đinđića 152a, 11070 Beograd, Srbija.
E-mail: svsimonovic@gmail.com

Nedeljković, D., Petrović, M., Jakovljević, Ž.

COMPARISON OF PARTICLE SWARM AND ANT COLONY OPTIMIZATION IN WIRELESS SENSOR NETWORK ROUTING

Abstract: *Wireless Sensor Networks (WSNs) represent an indispensable means for data acquisition from distributed devices within Industry 4.0. WSN consists of sensor nodes placed randomly in a plant. As a rule, their allocation does not provide the possibility for direct transmission of data between two nodes, and multi-hop data transfer is necessary. WSN energy efficiency is an important issue and to address it the communication effort should be minimized. One of the most effective ways to achieve this is routing, i.e. the process of finding the optimal path from the transmitting to the receiving node. In this paper, we compare four different routing algorithms, based on particle swarm and ant colony optimization.*

Key words: *Wireless Sensor Network, routing, Particle Swarm Optimization, Ant Colony Optimization*

1. INTRODUCTION

To answer the fluctuating needs of globalized market, Industry 4.0 manufacturing enterprises have to embrace reconfigurable manufacturing systems (RMS) [1]. These systems are highly based on ubiquitous communication of field devices which can be easily reconfigured for manufacturing of high diversity of different products. Usually the communication is based on wireless technologies that enable easy reconfiguration and mobility of manufacturing assets. Thus, wireless networks, and in particular wireless sensor networks (WSN), represent one of the key enabling technologies for Industry 4.0 concept, and they will be applied in a number of different manufacturing control applications. Due to the changeable structure of RMS, corresponding WSN consists of randomly distributed sensor nodes which communicate the data within the system. A key characteristic of sensor node is its communication range, i.e. the largest distance between the node and adjacent nodes in the environment that the node can communicate with. Allocation of two nodes does not always give the possibility for direct data exchange, i.e. the transmitting and receiving nodes are not always within communication range. In such a case, the data are transmitted using multi-hop communication, in which additional nodes are used as intermediaries for message transfer. Additional nodes have to enable the chain for reliable message transfer, that is, the adjacent nodes in the chain have to be within mutual communication distance. In a number of applications the nodes are battery powered, and energy consumption represents an issue that has to

be addressed. Energy that is consumed during the communication is related to the distance between nodes and the number of hops. Thus, the reduction of energy consumption and network lifetime maximization implies the minimization of these two parameters. The procedure for generation of optimal communication route is called routing. Since the positions of nodes are changing dynamically as a consequence of system reconfiguration or resources mobility or due to certain nodes failure, it is necessary to dynamically re-route the transfer path. Effective, possibly real-time applicable routing procedures are crucial for application of WSN in RMS.

The advances in biologically inspired optimization algorithms, led to the development of a number of routing methods based on these techniques. In [2] Particle Swarm Optimization (PSO) is employed, whereas, the routing based on Ant Colony Optimization (ACO) is explored in [3]. In both methods, the optimization is carried out assuming that the optimal routing path is always along the vector from transmitting to the receiving node where each subsequent node in the multi-hop route is approaching the recipient. Nevertheless, as will be presented in the sequel, in a number of WSN deployments the optimal path implies a local turning away from recipient in order to get globally optimal path.

Within this paper we will propose routing methods based on PSO and ACO that will allow local distance increase in order to obtain globally lower energy consumption. Furthermore, we will compare novel methods mutually, and with existing PSO and ACO based methods. The remainder of the paper is structured as follows. In Section 2 WSN routing problem is defined, while

Section 3 gives an overview on how this problem can be solved using considered biologically inspired algorithms. Section 4 presents and discusses optimization results obtained using alternative approaches. Finally, in Section 5 we provide conclusions and future work guidelines.

2. PROBLEM SETUP

In this paper, the routing problem represents a problem of finding optimal path between transmitting and receiving node with respect to energy consumption. Generally, there exist two routing approaches that will be illustrated using a simple WSN deployed as presented in Fig. 1. In this figure, the ranges of nodes are given in dotted red line and they encircle potential destinations in the next hop. In the first approach (used in [2] and [3]) the optimal route is searched among the routes in which it is possible to transmit the signal only to the nodes which are positioned towards the transmitting node. For example, from start node in Fig. 1, using this approach, it is possible to transfer message only to node 1. All possible routes in this case are denoted by light red arrows, and the best route in dark red.

The second approach that we propose in this paper, allows local transmitting to the nodes which are backwards relative to receiving node (node 2 in Fig. 1). In this case, we have a combinatorial explosion of possible paths.

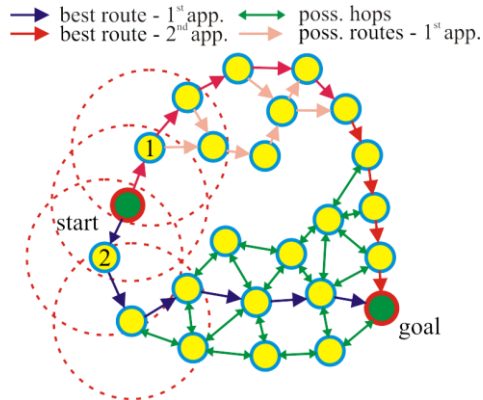


Fig. 1. Considered WSN routing approaches

However, in a number of situations and especially for large networks, second approach leads to globally optimal route, as presented in blue line in Fig. 1. Energy consumption in WSN, which in this case represents optimization objective is related to communication distance and number of hops. When the transmission distance d is lower than threshold value, the energy necessary for transmission of l -bit message is given by [2]:

$$E_T = lE_{elec} + l\epsilon_f d^2 \quad (1)$$

and for its reception by:

$$E_R = lE_{elec} \quad (2)$$

where E_{elec} is the energy required by electronic circuit and ϵ_f by amplifier. As can be observed, for given message size, total energy consumption is a function of transmitting distance and number of hops. Thus, to minimize consumed energy, it is necessary to minimize number of hops and total distance. Fitness function that takes into account both parameters can be defined as:

$$F = w_1 d_{tot} + w_2 n \quad (3)$$

where d_{tot} represents the total distance, and n the number of hops along route. Furthermore, w_1 and w_2 ($w_1 + w_2 = 1$) are weight factors that represent parameter's influence on the fitness function.

3. BRIEF OVERVIEW OF IMPLEMENTED OPTIMIZATION APPROACHES

This section provides a brief overview of the biologically inspired optimization algorithms compared in this paper.

3.1 Particle Swarm Optimization

Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm [4] is based on swarm biological principles. PSO model initially contains a number of potential solutions – particles. During algorithm implementation, particles conjointly participate in finding fitness function optimal value in n -dimensional space, where n represents the dimension of particle (number of nodes in WSN). Each particle has assigned position (X_{id}) and velocity (V_{id}), where i denotes particle number, and d is the coordinate in n -dimensional space.

PSO algorithm assigns to each particle its own best fitness function value obtained during iterations denoted as $pbest$. Furthermore, it detects the best global fitness function value for all particles - $gbest$. The values of $pbest$ and $gbest$ are iteratively detected through particle position and velocity update using the equations:

$$V_{id}^{k+1} = wV_{id}^k + c_1 r_1^k (pbest_{id}^k - X_{id}^k) + c_2 r_2^k (gbest_d^k - X_{id}^k) \quad (4)$$

$$X_{id}^{k+1} = X_{id}^k + V_{id}^{k+1} \quad (5)$$

where w represents inertial weight, r_1 and r_2 are uniformly distributed random numbers in range $[0,1]$, while c_1 and c_2 denote acceleration factors. The values of w , c_1 and c_2 are experimentally identified. In PSO based routing [2], the limited number of nodes within the range of each node d are identified and numerically denoted by $l(d) = 1, \dots, N_h(d)$, where $N_h(d)$ is total number of these nodes. The particle position X_{id} has a value in the range $[0, 1]$ for each node d in WSN. There is a correspondence between the value of X_{id} and

reachable node $l(d)$, where the range of X_{id} is equally divided between $N_h(d)$ reachable nodes. Namely, if $X_{id} \in [0, 1/N_h(d)]$ then the next node is node denoted $l(d)=1$, if $X_{id} \in (1/N_h(d), 2/N_h(d)]$ the next node is $l(d)=2$, etc. In this way X_{id} implicitly defines communication route through chain of nodes $l(d)$ that starts from transmitting and ends at receiving node. In approach from [4] reachable nodes $l(d)$ are only the nodes directed towards receiving node, while in our approach these are all nodes within the range of node d .

3.2 Ant Colony Optimization

Ant Colony Optimization [5] is biologically inspired algorithm in which the behaviour of ants is mapped into virtual model through description of the way in which they mark the path by pheromone trail. When along the path ants have to choose one of the alternative directions, the decision is made based on the pheromone intensity. The probability that k^{th} ant will go from i^{th} to j^{th} point on the road is defined as follows¹:

$$P_{ij}^k = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in N(i)} [\tau_{il}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{il}]^\beta} \quad (6)$$

where τ_{ij} denotes pheromone value, $\eta_{ij} = 1/D_{ij}$, where D_{ij} is the distance between points, and $N(i)$ is the set of points adjacent to the current position i (in our case reachable nodes from node i). Furthermore, coefficients α and β are in the range $[0, 1]$ and they adjust the influence of pheromone and path length, respectively. Pheromone changes during algorithm iterations as follows:

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij} \quad (7)$$

where $1 - \rho$ ($\rho \in [0, 1]$) models pheromone evaporation and $\Delta\tau_{ij} = Q/D_{ij}$ denotes the amount of pheromone that the most successful ant in an iteration created (Q is pheromone parameter).

In ACO based routing, each node in the network represents a point on the ant's path. From node i , the ant can go to one of reachable nodes $j(i)=1, \dots, N(i)$. Cumulative probabilistic rule (roulette wheel selection) based on random variable z decides which of reachable nodes will be chosen. Using this rule first identified node q for which:

$$z < \sum_{j=1}^q P_{ij} \quad (8)$$

holds is chosen as the next node.

In each iteration a predefined number of ants are dispatched from transmitting node with the goal to come to the receiving node. The maximum number of hops is limited to exclude possible

generation of infinite cycles as a result of returning to already visited nodes. Ant with the best value of fitness function (3) is selected and its pheromone values are retained according to (7); in the last iteration, this ant defines the optimal path. Probabilistic decision rule (8) insures avoiding the bias towards the path from previous iteration.

4. EXPERIMENTAL RESULTS

Described algorithms were implemented in MATLAB R2015a and the experiments were carried out. Considered approaches are compared against their main parameters, i.e., number of particles (ants), number of iterations and WSN complexity. The values of these parameters are varied up to the 210 particles (ants), 50 iterations and 80 nodes in WSN. After conducting preliminary experiments, the values of weight coefficients in fitness function (3) were set to $w_1=0.2$ and $w_2=0.8$. These values were experimentally identified and they capture the higher influence of hops on energy consumption as presented in (1) and (2). WSN nodes were deployed within a square of 50 basic length units (BLU), while their range was 7.5 BLU.

PSO parameters were set to: $c_1=2$, $c_2=2$, $w=1.4$, $V_{max}=0.5$, $V_{min}=-0.5$, where $[V_{min}, V_{max}]$ represents velocity range at initialization. Furthermore, ACO parameters were set to: $\alpha=1$, $\beta=0.5$, $\rho=0.6$, $\tau_0=0.8$, and $Q=1$, where τ_0 represents initial value of pheromones. We will denote compared algorithms as follows: PSOdef and PSOupd refer to PSO based algorithms using the first and second approach (Section 2) respectively, whereas ACOdef and ACOupd refer to ACO based algorithms using the same notation as for PSO. Fig. 2 presents comparison results based on number of particles (ants) for WSN with 60 nodes after 15 iterations. From this figure it can be observed that ACO algorithms generally reach optimal values for smaller number of ants. Furthermore, ACOupd needs the smallest number of ants for reaching the best fitness function value. On the other hand, PSOdef and PSOupd reach their own optimal values for the similar number of particles.

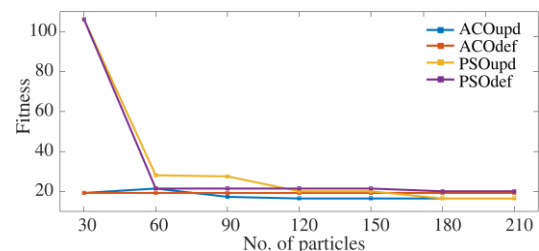


Fig. 2. Best fitness value vs. number of particles (ants) for WSN with 60 nodes after 15 iterations

¹ At the initialisation, the probability that ant will go from point i to any of the adjacent points j is the same.

Algorithms' convergence for 50 iterations with 100 particles (ants) is presented in Fig. 3 (the same WSN with 60 nodes as in Fig. 2 was considered). Here, the significance of the number of selected iterations on algorithm performances can be noticed. Fitness function values in both PSO based algorithms abruptly decrease within the range of only a few iterations. The best results (the smallest value of fitness function) are obtained using ACoupd, followed by the second best PSoupd.

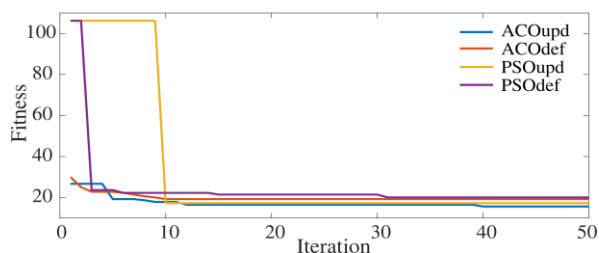


Fig. 3. Algorithm comparison based on number of iterations (WSN with 60 nodes, 50 iterations)

The increase of number of nodes in WSN leads to the increase of the number of possible routes and makes the routing process more complex. The performances of compared algorithms for different WSN sizes are illustrated in Fig. 4; in this comparison the number of ants (particles) was set to 100, and the number of iterations was 100.

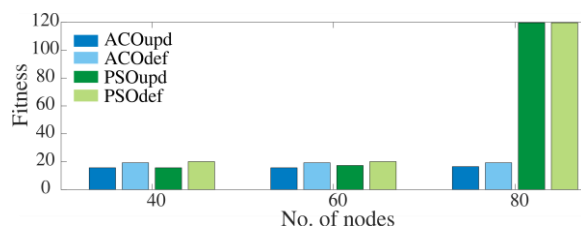


Fig. 4. Algorithms comparison based on the size of WSN (for 100 particles (ants), 100 iterations)

The algorithms were compared for WSNs with 40, 60, and 80 nodes. For all considered WSNs ACoupd performs the best with respect to obtained optimal fitness function value. Furthermore, for smaller number of nodes all algorithms give comparable results. For WSNs with 40 and 60 nodes fitness function value slightly increases. Nevertheless, in the case of WSN with 80 nodes, rapid increase in fitness function value can be observed in the case of PSO algorithms. This indicates that for large WSNs ACO based techniques are techniques of choice.

5. CONCLUSION

In this paper we have compared four biologically inspired WSN routing algorithms. In addition to two existing PSO and ACO based

algorithms, we have considered their modified versions - the modifications were proposed in this paper. Comparison was carried out against several criteria, and fitness function value represented the measure of algorithm success. It has been shown that modified versions of algorithms that allow backwards transmission (ACoupd and PSoupd) outperform original algorithms. Based on all criteria, ACoupd presented the best results, whereas it has been shown that the PSO based algorithms have significantly lower performances than ACO based for larger WSNs. The analysis presented in this paper did not consider optimization time, which is another significant parameter for application at hand. This will be the topic of future research. Furthermore, our research efforts will be directed to the application of multi-objective optimization within considered algorithms.

6. REFERENCES

- [1] ElMaraghy, H., Schuh, G., et al.: *Product variety management*, CIRP Ann. - Manuf. Technol., vol. 62, no. 2, pp. 629–652, 2013.
- [2] Kuila, P., Jana, P. K.: *Energy efficient clustering and routing algorithms for wireless sensor networks: Particle swarm optimization approach*, Eng. Appl. Artif. Intell., vol. 33, pp. 127–140, 2014.
- [3] Okdem, S., Karaboga, D.: *Routing in Wireless Sensor Networks Using Ant Colony Optimization*, Sensors (Peterborough), vol. 9, no. 2, pp. 909–921, 2006.
- [4] Kennedy, J., Eberhart, R.: *Particle swarm optimization*, Neural Networks, 1995. Proceedings., IEEE Int. Conf., vol. 4, pp. 1942–1948 vol.4, 1995.
- [5] Dorigo, M., Di Caro, G.: *The Ant Colony Optimization Meta-Heuristic*, New Ideas Optim., vol. 2, pp. 11–32, 1999.

7. ACKNOWLEDGEMENTS

The research in this paper was supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Serbian Government, Grant TR-35004.

Authors: Teaching and Research Assistant, Dušan Nedeljković, Assistant Prof. Dr., Milica Petrović, Associate Prof. Dr., Živana Jakovljević, University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, Kraljice Marije 16, 11000 Belgrade, Serbia
E-mail: dnedeljkovic@mas.bg.ac.rs
mmpetrovic@mas.bg.ac.rs
zjakovljevic@mas.bg.ac.rs

Đurđev, M., Milošević, M., Lukić, D.

**OPTIMIZACIJA REDOSLEDA IZVOĐENJA ZAHVATA OBRADE
PRIMENOM ALGORITMA GRBAVOG KITA**

Rezime: Problem određivanja optimalnog redosleda izvođenja zahvata obrade predstavlja jedan od težih zadataka optimizacije tehnoloških procesa. Činjenica je da broj ulaznih promenljivih, koje kod ovog problema predstavljaju mašine, rezni alati, pravci prilaza alata i dr., utiče na broj mogućih rešenja koji, uz porast broja promenljivih, može postati vrlo obiman. U ovom radu je ukratko opisan i testiran algoritam grbavog kita (WOA) na problemu određivanja redosleda izvođenja zahvata cilindričnih delova. Algoritam WOA se pokazao adekvatnom i efektivnom optimizacionom metodom u moru sličnih metaheurističkih algoritama koji su svoju primenu takođe pronašli u ovoj oblasti.

Ključne reči: optimizacija, redosledi zahvata, metaheuristički algoritmi, algoritam grbavog kita (WOA)

1. UVOD

Računarom podržano projektovanje tehnoloških procesa (CAPP) predstavlja vrlo važnu fazu savremene proizvodnje, u okviru koje se definiše proces transformacije polazne sirovine (priprema) u gotove delove i proizvode [1]. Tehnološki proces predstavlja deo proizvodnog procesa koji se sastoji iz jednog ili većeg broja operacija koje se dalje razlažu na veći broj zahvata obrade [2]. Određivanje redosleda zahvata obrade, između ostalih, predstavlja jednu od bitnih aktivnosti projektovanja tehnoloških procesa.

Problem određivanja optimalnog redosleda izvođenja zahvata obrade pripada tzv. optimizaciji tehnoloških procesa u okviru koje se u literaturi prevashodno misli na redosled tipskih zahvata obrade pri čemu se u obzir uzimaju odgovarajući resursi neophodni za realizaciju datih zahvata – mašine alatke, rezni alati, pravci prilaza alata i dr. U literaturi se takođe može susresti naziv „fleksibilni tehnološki procesi“ koji naglašava datu „fleksibilnost“, odnosno postojanje većeg broja alternativa navedenih resursa što dovodi do toga da imamo veći broj alternativnih „tehnoloških procesa“, odnosno alternativnih redosleda izvođenja zahvata obrade [3].

Ovaj zadatak optimizacije pripada klasi poznatih NP (nedeterminističko polinomialnih) teških problema koja u teoriji kompleksnosti označava probleme koji se ne mogu u razumnom vremenskom periodu rešiti nekom egzaktnom metodom koja će na postupan način pronaći rešenje. Reč je o problemima koji zahtevaju probablistički prilaz rešavanju kojim se odlikuju stohastičke metode koje uvođenjem slučajno generisanih promenljivih i minimizacijom, odnosno maksimizacijom odgovarajuće funkcije cilja, odgovaraju na izazove kompleksnosti.

Među najpoznatijim metodama koje su bazirane na ovakvom prilazu ističu se one koje pripadaju oblasti inteligencije rojeva (eng. Swarm intelligence), a u literaturi su dobile naziv biološki inspirisani metaheuristički algoritmi [4]. Radi se o metaheuristicama koje doživljavaju konstantan rast u ovoj oblasti, a primene ovih metoda proširene su na mnoštvo različitih inženjerskih problema optimizacije.

U radu je predstavljen algoritam inspirisan grbavim kitovima koji pripada novijoj generaciji metaheurističkih algoritama baziranih na inteligentnim procesima potrage za hranom i lovom na plen. Algoritam je, prema dosadašnjim istraživanjima, implementiran uglavnom za rešavanje problema kontinualne optimizacije, pa se može ustanoviti da je ovo prva primena algoritma grbavog kita za rešavanje problema određivanja redosleda zahvata obrade.

Rad je podeljen u nekoliko poglavlja. U drugom delu dat je kratak opis strukture problema optimizacije redosleda zahvata obrade. Treći deo je osvrnut na formiranje matematičkog modela za optimizaciju, dok je četvrti usmeren na prikaz algoritma kita i njegove faze. Peto poglavlje se bavi rezultatima testiranja algoritma na primerima cilindričnih delova. Šesto poglavlje daje kratak zaključak, a sedmo spisak upotrebljenih referenci.

**2. STRUKTURA REDOSLEDA IZVOĐENJA
ZAHVATA U OKVIRU OPTIMIZACIJE**

Sa ciljem izražavanja spomenutih „fleksibilnosti“, odnosno varijanti različitih mašina, alata i pravaca prilaza alata za redosled izvođenja zahvata obrade, neophodno je formirati odgovarajuću strukturu rešenja koje će dati prikaz svih mogućih alternativa. U literaturi je poznat uveliko primenjivan model AND/OR mreža koje

na adekvatan način reprezentuje sve alternative tehnološkog procesa, u ovom slučaju alternativa mašina, alata i pravaca prilaza alata. AND/OR mreže sastoje se iz čvorova i konektora, gde se svaki čvor odnosi na odgovarajući zahvat za koji su prethodno definisane sve alternative mašina, alata i pravaca prilaza alata, sa odgovarajućim vremenima obrade za svaku kombinaciju. Konektori mogu biti AND koji podrazumevaju da se uzimaju obe alternative zahvata koje su date kao opcije, dok sa druge strane, OR konektori omogućavaju da se odabere jedna od alternativa. Graf, odnosno AND/OR mreža, počinje polaznim a završava se krajnjim čvorom. Zbog dimenzija problema koji je usvojen za testiranje algoritma, primer AND/OR mreže može se detaljno videti u [5].

3. MATEMATIČKI MODEL OPTIMIZACIJE REDOSLEDA ZAHVATA

Matematički model problema određivanja redosleda zahvata obrade svodi se na kriterijum optimizacije koji u ovom slučaju predstavlja ukupno vreme obrade, odnosno vreme neophodno za realizaciju svih zahvata za obradu odgovarajućeg dela u okviru projektovanja tehnoloških procesa. U okviru rada [6] prikazan je primer vremenske optimizacije koja je ostvarena primenom pravila prethodenja i CAM softverskog sistema.

Ukupno vreme obrade (PC) sastoji se iz nekoliko bitnih komponenata koji su neophodni za izvršavanje vremenske optimizacije redosleda zahvata obrade. To su sledeća vremena:

- Vreme transporta (TT):

$$TT = \sum_{i=1}^{n-1} TTI((i, j_1), (i, j_2)) \quad (1)$$

gde TTI predstavlja transportno vreme dela i sa mašine j_1 na mašinu j_2 a n predstavlja ukupan broj zahvata.

- Vreme obrade (TW):

$$TW = \sum_{i=1}^n TWI(i, j, k) \quad (2)$$

gde TWI predstavlja vreme realizacije zahata i na mašini j korišćenjem alata k .

- Ukupno vreme izmene alata (TCT):

$$TCT = TCTI \sum_{i=1}^{n-1} \Omega_2(\Omega_1(M_i - M_{i+1}) - \Omega_1(T_i - T_{i+1})) \quad (3)$$

$$\Omega_1(X - Y) = \begin{cases} 1, & \text{ako je } X \neq Y \\ 0, & \text{ako je } X = Y \end{cases} \quad (4)$$

$$\Omega_2(X - Y) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } X = Y = 0 \\ 1, & \text{u suprotnom} \end{cases} \quad (5)$$

gde TCTI predstavlja vremenski indeks promene alata.

- Ukupno vreme promene stezanja dela (SCT):

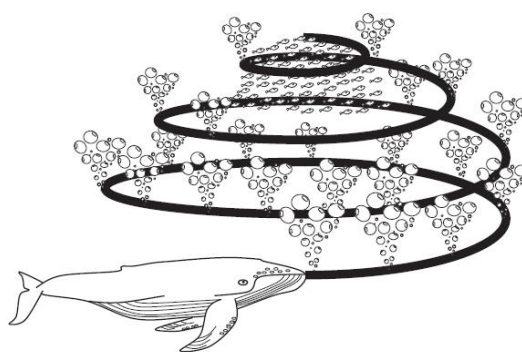
$$SCT = SCTI \sum_{i=1}^{n-1} \Omega_2(\Omega_1(M_i - M_{i+1}) - \Omega_1(PPA_i - PPA_{i+1})) \quad (6)$$

gde SCTI predstavlja vremenski indeks promene stezanja dela. Ukupno vreme obrade dobija se izračunavanjem zbira navedenih komponenata vremena. Upotreba težinskih koeficijenata nije uključena u ovoj studiji.

4. ALGORITAM GRBAVOG KITA

Algoritam grbavog kita (eng. *Whale optimization algorithm*, u nastavku WOA) predstavlja metaheuristički algoritam novije generacije iz oblasti inteligencije rojeva. Razvijen je od strane autora [7] i od tada je primenjen na niz različitih problema optimizacije.

WOA algoritam je inspirisan idejom procesa lova grbavih kitova koji love u jatima. Jato se sastoji iz određenog broja kitova koje love na principu okruživanja plena (riba ili rakova), potom uranjanja kitova na veću dubinu i postepenim zavojnim izranjanjem uz puštanje mehurića kojim formiraju zid i sprečavaju plen da napusti formirano područje. Približavanjem površini vode kitovi grabe plen, slika 1.



Sl. 1. Postupak lova grbavih kitova [7]

Matematički model WOA algoritma detaljno je dat u [7]. WOA izražava svojstva kako lokalnog tako i globalnog pretraživanja pri čemu faze okruživanja plena i metod lova zavojnim kretanjem i puštanjem mehurića karakterišu pronalaženje najboljeg rešenja u datoj okolini, tačnije lokalni optimum. Sa druge strane, napuštanjem jata od strane jednog slučajno

odabranog kita teži se diverzifikaciji, odnosno globalnom pretraživanju prostora pretrage.

4.1 Faze WOA algoritma u okviru vremenske optimizacije redosleda izvođenja zahvata

U ovom odeljku dat je kratak prikaz osnovnih faza WOA algoritma koji je implementiran za rešavanje problema određivanja optimalnog redosleda izvođenja zahvata obrade.

I korak – Generisanje početnog jata kitova

Početna populacija ili drugim rečima, jato kitova generiše se na slučajan način gde svako rešenje (agent ili kit) predstavlja jedan redosled izvođenja zahvata sa slučajno dodeljenim alternativama mašina, alata i pravaca prilaza alata. Dakle, jedno inicijalno rešenje u jatu sastoji se iz svih mogućih zahvata obrade koji se kasnije prevode u izvodljive redoslede. Slika 2 predstavlja jedno kodirano rešenje (jedan kit) u Matlab softverskom okruženju. Kao što se na slici 1 može primetiti,

Variables - PodOfWhales(4).Position																									
PodOfWhales(4).Position																									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
2	1	1	7	7	7	1	1	1	1	1	1	5	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
3	1	3	6	7	8	6	7	5	1	1	1	11	1	11	9	9	9	6	7	9	11	10	8	12	12
4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	1	6	1	6	6	6	5	5	1	5	5	5	5	5
5	2.3000	1.2000	5.5000	54.80...	34.30...	3.30...	13.40...	1.10...	0.60...	0.70...	2.30...	4.20...	0.50...	9.70...	2.90...	4.60...	3.50...	3.30...	10.70...	2.90...	4.20...	3.10...	30.20...	0.40...	0.50...

Sl.2. Prikaz kodiranog rešenja (grbavog kita) u Matlab softverskom okruženju

III korak – Evaluacija funkcije cilja (fitnes funkcije)

Takozvana fitnes funkcija koristi se kod metaheurističkih algoritama sa ciljem da se izvrši provera kvaliteta generisanih rešenja i predstavlja jedan od ključnih elemenata u optimizaciji. Fitnes funkcija je recipročna vrednost ukupnog vremena obrade koje je opisano u poglavlju 3, što ujedno podrazumeva da se vrši maksimizacija fitnes vrednosti svih kitova u jatu.

Na kraju ovog koraka vrši se ažuriranje lidera jata koji predstavlja lokalni optimum, odnosno kit koji je pronašao najbolji plen.

Variables - PodOfWhales(4).FeasPosition										
PodOfWhales(4).FeasPosition										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	15	16	18	19	17	21	23	22	25	24
2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
3	9	9	6	7	9	11	8	10	12	12
4	6	6	5	5	6	5	5	5	5	5
5	2.90...	4.60...	3.30...	10.70...	3.50...	4.20...	30.20...	3.10...	0.50...	0.40...

Sl.3. Prikaz dekodiranog (izvodljivog) rešenja u Matlab softverskom okruženju

potencijalni kit se sastoji iz pet vektora, tačnije pet nizova (stringova). Prvi vektor je vektor zahvata i obuhvata sve alternativne zahvate obrade koji se nalaze na AND/OR mreži. Zatim, naredna tri vektora odnose se na vektor mašina, alata i pravaca prilaza alata, respektivno. Poslednji vektor je vektor vremena obrade koji se sastoji iz niza decimalnih brojeva koji su dobijeni kao ulazni podatak u fazu optimizacije.

II korak – Prevođenje u izvodljive redoslede zahvata

Nakon generisanja početnog jata kitova, u skladu sa AND/OR mrežom, prate se konektori i na osnovu njih generiše se odgovarajuća putanja na mreži kojom se definiše izvodljiv redosled izvođenja zahvata. Na taj način dobijaju se izvodljiva rešenja a jedno od njih je prikazano na slici 3. Takođe, na slici se mogu primetiti isti vektori koji su definisani u prethodnom koraku.

IV korak - Potraga za plenom i okruživanje plena

Glavna petlja WOA algoritma uključuje verovatnoću kojom se 50% mogućnosti daje ovom koraku u kojem je naglašeno i lokalno i globalno pretraživanje. Prethodno se definiše slučajno generisani koeficijent A od kojeg direktno zavisi da li će WOA težiti lokalnom ili globalnom optimumu.

V korak – Zavojno kretanje i metod mehurića

Sa druge strane, preostalih 50% mogućnosti odnosi se na izranjanje kitova putanjom zavojnice i puštanje mehurića pre grabljenja plena. Ovaj korak, kao i prethodni, definisani su posebnim jednačinama koje se detaljno mogu videti u [7].

Na ovaj način, definisanje verovatnoće p omogućuje da se algoritam bazira na prirodnom postupku za koji je karakteristično da kitovi koriste i IV i V korak prilikom lova na plen.

VI korak – Ažuriranje izvodljivih rešenja

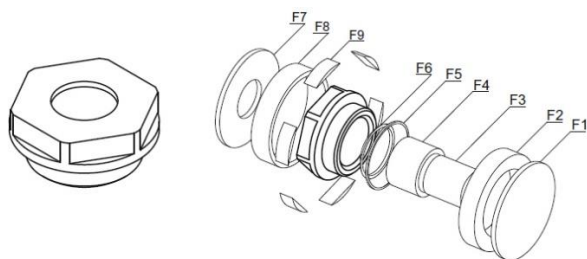
Izvodljivi redosledi zahvata u formi kitova u jatu se ažuriraju ponovnom evaluacijom fitnes funkcije i provere lidera jata.

VII korak – Ponavljanje prethodnih koraka

Nakon ažuriranja nastavlja se ponavljanje koraka kroz definisani broj iteracija.

5. TESTIRANJE WOA ALGORITMA NA PRIMERU CILINDRIČNIH DELOVA

Testiranje efikasnosti i pouzdanosti predložene metode optimizacije izvršeno je za nekoliko primera od kojih će jedan posebno biti istaknut. Prva tri primera preuzeta su iz [5]. U pitanju su cilindrični delovi koji se mogu smatrati problemima manjih dimenzija jer broj zahvata u ovim slučajevima nije veliki (16, 18 i 14). Algoritam WOA je pokazao vrlo zadovoljavajuće rezultate za sva tri primera za koje su ostvareni optimalni rezultati. Dobijena ukupna vremena obrade za sva tri dela respektivno su 62,4, zatim 74,8 i 83,1. Identična rešenja dobijena su primenom algoritma roja čestica. Poslednji primer koji je usvojen za ovu studiju je preuzet od istog autora [5]. U pitanju je cilindrični deo sa devet tipskih tehnoloških oblika za koji je definisano 8 alternativnih mašina, 12 alternativnih alata i 6 alternativnih pravaca prilaza alata, Slika 4.



Sl. 4. Cilindrični deo sa 9 tipskih oblika

Ovaj primer se pokazao za nijansu većim izazovom za WOA algoritam imajući u vidu da problem sadrži ukupno 25 zahvata obrade. Rezultati su pokazali da je dobijeno vrlo dobro rešenje (473,4 za ukupno vreme obrade) iako se, prema rezultatima iz [3], može ustanoviti da je došlo do zaglavlivanja u lokalnom optimumu. Do boljih rešenja se može doći uz dodatno podešavanje parametara WOA algoritma kao i razmatranje hibridnog pristupa i/ili uvođenje odgovarajućih komponenata kojim će se obezbediti bolja efikasnost pretraživanja.

Prilikom testiranja, za sve studije upotrebljeni su sledeći WOA parametri: veličina jata: 30 kitova; broj iteracija: 100; konstanta a : linearno opada od 2 do 0 (sličnost sa koeficijentom inercije w kod PSO algoritma); koeficijent zavojnice b : 1; konstanta l : slučajan broj u intervalu $[-1,1]$. Opširniji opis parametara može se pronaći u [7].

6. ZAKLJUČAK

Istraživanje u ovom radu je bilo usmereno na kratak opis biološki inspirisanog metaheurističkog algoritma grbavog kita koji je primenjen za rešavanje problema optimizacije redosleda

izvođenja zahvata obrade za određene primere cilindričnih delova. Nakon definisanja strukture problema optimizacije i matematičkog modela koji sačinjava funkciju cilja, osnovne faze algoritma grbavog kita su istaknute i prikazani su primeri slučajno generisanih rešenja u Matlab softverskom okruženju u kojem je implementacija algoritma i izvršena. Rezultati za usvojene cilindrične delove iz literature su se pokazali zadovoljavajućim gde se mogu istaći dobijena optimalna rešenja za određene slučajeve. Pravci daljeg istraživanja biće usmereni na temeljnije proučavanje parametara WOA algoritma kao i razmatranje mogućnosti hibridizacije sa drugim biološki inspirisanim metaheuristikama.

7. REFERENCE

- [1] Kafashi, S.: *Integrated setup planning and operation sequencing (ISOS) using genetic algorithm*, Int J Adv Manuf Technol, Vol. 56, p.p. 589-600, 2011.
- [2] Todić, V.: *Projektovanje tehnoloških procesa*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2004.
- [3] Petrović, M., Mitić, M., Vuković, N., Miljković, Z.: *Chaotic particle swarm optimization algorithm for flexible process planning*, Int J Adv Manuf Technol, Vol. 85, p.p. 2535-2555, 2016.
- [4] Yang, Xin-She: *Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms*, Luniver Press, United Kingdom, 2010.
- [5] Petrović, M.: *Vešačka inteligencija u projektovanju inteligentnih tehnoloških sistema*, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet Beograd, 2016.
- [6] Lukić, D., Milošević, M., Erić, M., Đurđev, M., Vukman, J., Antić, A.: *Improving Manufacturing Process Planning Through the Optimization of Operation Sequencing*, Machine Design, Vol. 9, p.p. 123-132, 2017.
- [7] Mirjalili, S.: *The Whale Optimization Algorithm*, Advances in Engineering Software, Vol. 95, p.p. 51-67, 2016.

Autori: M.Sc. Mića Đurđev, Univerzitet Novi Sad, Tehnički Fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, Đure Đakovića bb, 23101 Zrenjanin, Srbija, Tel: +381 23 550 515, Fax: +381 23 550 520. **Vanr. prof. dr Mijodrag Milošević, Vanr. prof. dr Dejan Lukić**, Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2320, Fax: +381 21 454-495.

E-mail: mica.djurdjev@tfzr.rs;
mido@uns.ac.rs
lukić@uns.ac.rs

Škorić, B., Arsenović, M., Schrittwieser, R.

THERMOGRAPHY AND NUMERICAL SIMULATIONS WITH RESPECT TO STRESS STATE AND FRACTURE OF CONTINUOUS CAST SPECIMENS MADE OF BRONZE

Abstract: Behavior of materials, with respects to stress distribution, crack initiation and crack growth are subject of numerous investigations by different methods. This paper considers the results obtained in the simultaneously testing of continuous cast specimen made of bronze alloy, using conventional tensile test methods, thermography and comparing with results of the numerical simulations. Based on the distribution of temperature on the surface of the sample, during the tensile test, crack tip are determined. The results showed that thermography is a method suitable for monitoring and prediction of crack initiation and growth, as well as critical stress in deformations.

Key words: Finite element method, Thermography, Crack growth, Stress Analysis

1. INTRODUCTION

The most important characteristic is behavior of materials, with respects to stress distribution, as subject of numerous investigations by different methods. The characteristics, which describe the appearance of the static and dynamic loads, are the most important for exploitation safety of the complex metal structures [1-3]. The properties, obtained by tensile tests, describe the global mechanical behavior of the materials. [2-4]

This paper considers the results obtained in the simultaneously testing of continuous cast specimen, made of bronze alloy, using conventional tensile test methods, thermography and comparing with results of numerical simulations. Very important goal of research is to discover the error before it reaches the critical size, in order to prevent the occurrence of fracture, which is important when it has a new process of production, to see critical points in material during the exploitation. [2,3]

Alloy (P.CuSn5Pb5Zn5) has good pourability, appropriate for soldering and brazing, resistant to seawater, is recommended for armature housings for water and steam, pipes, complicated castings with thin walls, parts in the form of profiles and pipes. The molten metal solidifies against the mold walls while it is, simultaneously withdrawn from the bottom of the mold at a rate, which maintains the solid / liquid interface at the constant position with time. Vertical machines, MARS 13 – 66, are used for continuous casting process. This work investigates the effect of mold flow velocities in continuous casting process.

The main aim of testing was to relate the temperature changes of the spacemen, continuously recorded by thermography, with stress – extension diagram. Based on the

distribution of temperature on the surface of the sample, during the tensile test, crack tip are determined. Infrared camera Therma CAM SC640, FLIR Systems, was used for the thermograms recordings. The tests, using the methods of fracture mechanics, were applied due to the safety assessment of metal structures. [2-5] Thermography is a method which provides the analysis of thermoelastic stress and main idea is based on the measurement of infrared radiation, emitted by the object surface, which is exposed to dynamic or static, linear elastic or plastic strain and its conversion into visible image, named thermogram [3]. In this way, it can be relate the sample temperature changes with a change in stress in the specimen. [6]

Numerical simulation of stress distributions, on the same model and under same condition is presented. The results showed that, thermography is a suitable method for monitoring and prediction of crack initiation and growth, as well as deformations critical stress. Finite element method (FEM) was chosen, to simulate the operating conditions (boundary conditions and load) like the characteristic and behavior of material, in software packages NASTRAN. [6,7].

2. EXPERIMENT

For the experimental part series of specimens are done with circular and square cross section to static loads. Specimen geometry is shown in Figure 1. Repeatability of experimental results is very good. The specimens made of bronze alloy (P.CuSn5Pb5Zn5 (Rg5), were tested in the standard tensile test, following the procedures of testing, according to standards. The samples have been coated by grey paint, with known uniform emissivity, in order to improve their IR emissive

properties, which are very important for tomographic recording, for receiving the right temperature distribution, without reflection. [1-3, 5-7].

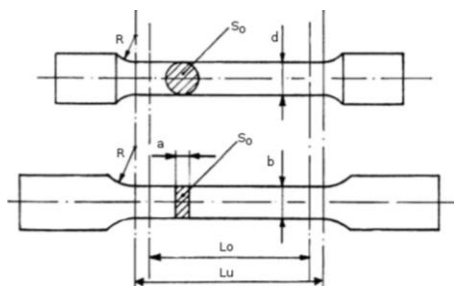


Fig. 1. Schematic of specimen before tensile test

Table 1. Chemical composition and specimen sizes for sample 1

Dimension	Cu	Sn	Pb	Zn	Ni	Fe	Mn	P	S	Sb
Profile	81.6	6.25	7.11	4.6	0.119	0.136	0.0005	0.038	0.025	0.051

3. RESULTS AND DISCUSSION

The testing results are shown simultaneously, in order to comprehend the possibilities based on the comparative analysis. Idea is to define the criterion for applying the thermography in predictions material behavior of specimen from continuous casting during the testing. [3-5] In this paper is shown the temperature changes, some thermograms of the spacemen and stress – extension curve (red line). Results from tensile test and thermography are, also compared with the results obtained from numerical simulation, which is done in the same condition as experiment. Tensile test is followed with thermo camera, all process of testing and change of temperature during the process.

Therma CAM Researcher software makes possible to analyze the temperature in the 640 x 480 point of specimen surface. In order to analyze temperature variations, measuring line is positioned in the middle of the recorded thermograms, L01 horizontally. The termogram shows the maximum temperature, during the experiment and that diagrams are shown on the Figure 2. During the tests, thermography camera detected the temperature changes on spacemen surface and made the continuous track. [7] Within

The experiments were performed at room temperature. Correction of thermal imagers is done automatically for changes in humidity and temperature. [2-4] Software package, in the TermaCAM, allows using the appropriate tool set temperature, at each point on the surface of the specimen. In Table 1 are given the chemical composition, shape and dimensions of the workpiece for sample 1 for the specimens.

each series of casting were prepared by three samples. In this paper it is analyzed, a characteristic specimen from the series of sixth. The main goal, is to see how could be done, the evaluating the behavior of cast parts in the dependence, of the properties and the regimes of casting.

The results obtained by numerical simulations in software package NASTRAN, results show a very good correlation with the results of tensile tests, using these simulations we can obtain accurate stress state in the specimen. Results of simulation showed, that it is possible to use this approach for future analysis. Sample results are shown for the regime of continuous casting production for the full profile, 41mm in diameter (SAMPLE 5). Chemical composition and specimen sizes are given in table 2. In the table 3 is shown the main result from tensile test. In Table 2, is shown the regime of continuous casting with a number of changes, step size, speed, and other parameters, which are very important for the properties of the material, which also depends on the chemical composition of the alloy. Table 3 presents the processed results of tensile tests, which we use as input parameters for numerical simulation.

Table 2. Regimes of casting workpieces series of specimens 633

Step		Brake		Speed of casting Kg/h	Mark of sample
Number of changes	Size of steps	Change	seconds		
3	25	1	5	203	631
		2	3.2	316	632
		3	2.6	389	633

Table 3. Results of tensile test for series of casting 633

Mark of specimen	$a_0 d_0$	l_0	S_0	l_u	F_e	F_m	R_e	R_m	A
	mm	mm	mm ²	mm	kN	kN	MPa	MPa	%
633.1	12,1	120	114,9	135	20,6	33,4	179	291	12

Measurement line was selected for the analysis of specimens with circular cross-section of sample 5 and it is placed along the longitudinal axis, LI01. On termogram shown on Figure 2: Grey - maximum temperature of the entire experiment recording, blue - the maximum temperature along on the specimen, red - minimum temperature along the specimen: Point 4 - the moment of interruption and thermal recording of specimen on that moment, Point 3 - 10 seconds before the crack, Point 2 - 30 seconds before the crack, Point 1 - 40 seconds before the crack.

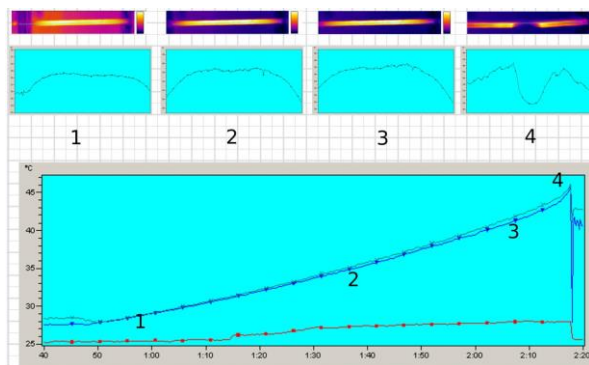


Fig. 2. Thermograms for specimen 5

In Figure 3 is shown a diagram of stretching force - elongation, thermograms for characteristic point and microscopic picture of the fracture surface, for specimen 5.

Figure 3 also shows the diagrams of stress vs. extension and maximum temperature vs. time on the surface of the sample. Based on the distribution of temperature on the surface of the sample, during the tensile test, can implicate crack tip. The figure of surface of broken sample analyses with SEM Figure 3, which indicate the type of crack and better explanation of material behavior. Results indicate that the tough crack here presented.

The analysis of the results, presented in Figure 3, shows that in the first minute of test, the temperature of the sample was not changed and elastic deformation occurred within the specimen. After, when increase the force for only a few N that leads to the very rapid increasing of the temperature and on the end, broking of specimen.

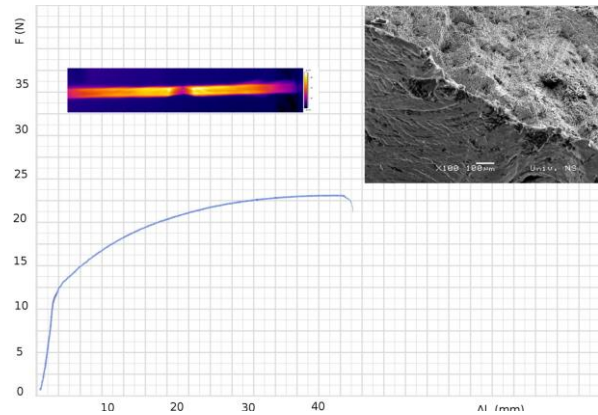


Fig. 3. Diagram of stretching F-l, and recorded termogram of fracture for specimen 633.1, SEM record of fracture

The maximum force in that moment was 3.34 kN (moment of crack). The total elongation of the sample was 15mm. This value of elongation is measured after the test. It is evident that, crack initiation is a highly localized event, which is strongly affected by the random distribution of material properties. The temperature monitoring during thermography test, provide the detection of the initial temperature changes, indicating where are the conditions for appearance and growth of cracks, under the load.

4. NUMERICAL SIMULATION

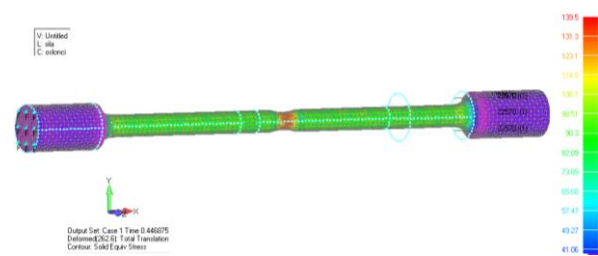


Fig. 4. Results of numerical simulation for stress distribution on sample 5

Numerical simulation is useful tool to predict stress distribution and stress concentration in constructions or part of construction. In some cases experimental testing is not possible, because part is in exploitation or some another reason... In that case is very good to use numerical simulation to analyze stress distribution, critical location of construction (in this paper, sample), initialization of crack, crack propagation, predict life of construction and residual life when crack already

exist. Finite element method is method to calculate stress, strain.... in every nod on sample, and there are 55030 nodes. On figure 4 is presented results of stress distribution and critical area on sample. On tensile testing in same area was failure of sample. Stress results in numerical simulation, using finite element method have a good agreement with previous two methods. On figure 5 is presented critical area and value of stress distribution, where is indicated fracture location.

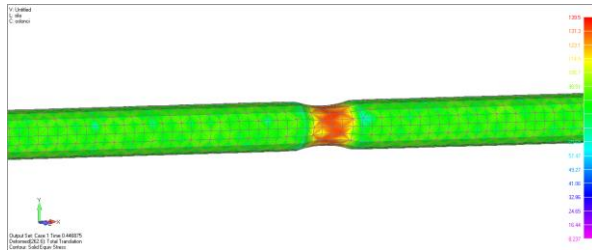


Fig. 5. Critical area of sample and value of stress in that region

5. CONCLUSIONS

The experiments and results of thermography application, simultaneously with the conventional methods, for testing the tensile properties of metal spacemen with complex shape are presented. The main aim of testing was to relate the temperature changes of the spacemen, continuously recorded by thermography, with stress – extension diagram and with numerical simulation. Can be pointed out as a conclusion that:

- The results of thermography application simultaneously, with the conventional methods of fracture mechanics; for testing the properties of new development metal spacemen are presented. The main aim of testing was to relate qualitatively the temperature changes on the spacemen surface, continuously recorded by thermography, with force F - σ the crack tip diagram.

- The result shows, that this process can help to investigate the type of failure and crack.

- The obtained results prove, that infrared thermography offers the possibility of nondestructive, real time testing physical process of metal degradation and energy dissipation.

- Thermography can indicate very precisely (based on the surface temperature alteration) the appearance of elastic-plastic strain zones, as well as, the initiation of cracks and their propagation through material.

- The numerical simulate, determined the maximum stress value and distribution, which was very similar to experimentally obtained, during the process of crack growth in a specimen.

Acknowledgment

The authors would like to thank to The Provincial Secretariat for Higher Education and Scientific Research of Vojvodina, which supported this work by grant.

6. REFERENCES

- [1] Kutin M., Vasovic I, Maksimovic M., Ristic M.; *Prediction of residual life assesment using thermography and crack growth ANALYSIS*; Applied Mechanics and Materials Vols. 157-158 (2012) pp 202-20,9 Trans Tech Publications, Switzerland, 2012
- [2] Maksimović S., Vasovic I., Maksimovic M., Djuric M.; *Computation methods and software in fatigue life estimations of structural components under general load spectrum*; ICDM - First International Conference on Damage Mechanics, pp. 213-216, Belgrade, Serbia, 2012
- [3] Kutin M., Ristic S., Puharic M., Ristić M., *Tensile features of contractual hole in plate specimen testing by thermography and conventional method*, Third Serbian 28th Yu Congress on Theoretical and Applied Mechanics, Vlasina lake, Serbia, 2011
- [4] Harwood, N., and Cummings, W.M., *Thermoelastic Stress Analysis*, ltd, Adam Hilger imprint, Bristol, IOP Publishing, 1991
- [5] Luong, M.P., *Fatigue limit evaluation of metals using an infrared thermographic technique*, Mechanics of Materials, vol. 28, pp. 155-163, 1998
- [6] Kutin M., Ristic S., Radovic N., Vasovic I., *Application of thermography to analysis of thermal. stress for compact tensile specimen*, 4th International Conference processing and structure of materials (psm4), pp.171-177, Palic, Serbia, 2010
- [7] Wedler G., Brink A., Maierhofer CH., Röllig M., Weritzf Wiggenhauser H., *Infrared Thermography in Civil Engineering - Quantitative Analysis by Numerical Simulation*, International Symposium (NDT-CE 2003) Non-Destructive Testing in Civil Engineering, (2003).

Authors: Prof. Dr. Branko Škorić, Dr Milan Arsenović, 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
Univ.-Prof. Roman Schrittwieser, Institute for Ion Physics and Applied Physics Leopold-Franzens University of Innsbruck, Technikerstr. 25, A-6020 Innsbruck, Austria

Kičinja, V., Cvetičanin, L.

VIBRACIONI ENERGETSKI HARVESTERI: PREGLED

Rezime: U radu je dat pregled energetskih harvesteri (EH) koji predstavljaju izvore električne energije za male potrošače. Razmatrani su oni uređaji koji pretvaraju ambijentalnu mehaničku energiju od vibracija u elektricitet. Prikazane su vrste EH, kao principi rada. Poseban osvrt je dat na EH sa piezoelementima. Navedene su i prednosti i nedostaci takvih EH.

Ključne reči: piezoelektrični efekat, vrste EH, tipovi EH, primena EH.

1. UVOD

Mnoga savremena istraživanja u oblasti energetike posvećena su razvoju i pronalaznju novih energetskih izvora. Naime, konvencionalni energetski izvori, kao što su ugalj i nafta, koji su neobnovljivi, svakim danom se umanjuju. Zbog povećanja potrošnje električne energije i činjenice da se korišćenjem goriva zagađuje okruženje i stvara efekat staklene bašte, neophodno je primeniti obnovljive izvore energije. Tako se sve više razmatraju izvori energije kao što su Sunce, voda, vetar itd. [1]. Solarna energija je već niz godina u upotrebi, međutim zbog niza nedostataka uključujući i cenu nije mogla da zameni konvencionalni izvor energije. Protokom fluida (vazduha ili vode) moguće je stvoriti električnu energiju i ovi izvori se koriste na mnogim mestima u svetu gde za to postoji mogućnost. Promenom temperaturnog gradijenta takođe može da se proizvede potrebna vrsta energije. Konačno, energija vibracija se može koristiti kao izvor iz okruženja. Pored ovih, u okolini se nalazi još mnoštvo izvora energije koji se obično ne razmatraju, jer su malog intenziteta. Međutim, mogu biti vrlo značajni i primenljivi. Mehanički rad je jedan od njih. Možemo ga naći bilo gde oko nas, pa i u samim nama, svuda gde ima bilo koje vrste kretanja. Posebno je od značaja energija od oscilovanja koja se rasipa u okolinu. Ovu mehaničku energiju je moguće pretvoriti u električnu. Uređaji koji generišu električnu energiju iz mehaničke, tj. pretvaraju vibracije, kao vid mehaničkog kretanja, u električnu energiju su tzv. energetski harvesteri (EH) [2].

U ovom radu dat je prikaz različitih tipova EH koji kinetičku energiju koja potiče od kretanja tela ili sistema, pretvaraju u električnu. Ovi uređaji se često nazivaju i kinergizerima [3]. Primena ovih uređaja je široka naročito kada se zahteva niskonaponska struja i specifična frekvencija.

2. VRSTE EH

U zavisnosti od mehanizma pretvaranje energije EH mogu biti različiti. Vrlo često to su elektro-magnetni pretvarači koji radu usled promene magnetnog fluksa. Elektrostatički generator koristi relativno kretanje između izolovanih kondenzatorskih ploča odnosno elektrostatičke sile između njih [4]. Temperatura tela se menja kada prima ili daje energiju, pa su molekuli stalno u pokretu i mogućnost konverzije između toplote i rada je moguć na termalnim mašinama tzv. termičkim EH [5]. Fotonaponski EH direktno konvertuje svetlost u električnu energiju na atomskom nivou. Neki materijali poseduju osobine kao što su fotoelektrični efekat koji omogućava da se apsorbuju fotoni i oslobode elektroni od kojih se dobija električna struja [6]. Ipak, najčešće primenjivani EH je sa piezoelektričnim generatorom – kompozitnim materijalom koji trpi mehaničko dejstvo,

3. PRINCIP RADA EH

Pojavu piezoelektričnog efekta su otkrili braća Kiri, Pjer i Žak, 1880. godine. Oni su utvrdili da se pritiskom na određene kristale dobija električna energija. Obrnuti efekat je otkrio 1881. godine Gabrijel Lipman sa aspekta matematičke teorije i poznat je kao inverzni piezoelektrični efekat [2]. Većina piezoelektrični EH su sačinjeni od konzole sa jednim ili dva piezokeramička sloja, odnosno unimorfne ili bimorfne strukture [7]. Tako, kada na piezoelektrični pretvarač deluje sila F , na njegovoj površini se generiše elektricitet koji je proporcionalan sili. Dinamičko istežanje u piezokeramičkim slojevima usled vibracija rezultuje pojavom naizmenične struje koja se odvodi sa elektroda. Sa gledišta elektrotehnike, izlazna naizmenična struja se konvertuje u stabilnu struju i dovodi se u kondenzator, koji je

deo AC-DC pretvarača. Ova energija je dovoljna za punjenje male baterije, na primer.

Najčešće primenjivani piezoelektrični materijali koji se primenjuju u sklopu EH su: kristalni i keramički. Najpoznatiji kristal koji se koristi za dobijanje piezoelektričnog efekta je kvarc, koji je po hemijskom sastavu silicijum-dioksid (SiO_2). Materijal koji spada u grupu keramika a koristi se zbog svoje ekonomičnosti i osobine dipola pod visokim temperaturama je olovo cirkonat titanat ($\text{Pb}[\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x}]\text{O}_3$ ($0 \leq x \leq 1$)), ili skraćeno PZT [8].

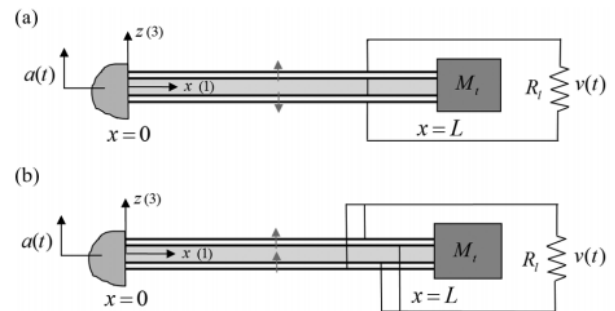
4. PRIMENA EH

EH predstavljaju takve uređaje koji mogu da rade korišćenjem energije iz okoline. Rasuta energija vibracija može da se pretvori u korisnu električnu energiju i time obezbedi racionalno korišćenje energije iz okruženja. Pored toga, EH može da bude koristan izvor energije u postrojenjima gde je potrebna količina pogonske električne energije mala. EH bi istisnuo iz upotrebe baterije, koji su intenzivni zagađivači životne sredine. EH je podesan izvor za pokretanje malih potrošača. Aplikacije za EH je napajanje mikrosenzora i niskoenergetskih krugova. Razvojem tehnologije proizašli su mikro-elektromehanički sistemi (MEMS), minijaturni uređaji koji mogu da registruju promene u okolini, analiziraju i procesiraju. MEMS čine mehanički elementi, senzori, pokretači, električni i elektronski uređaji [9]. Trend u poslednjoj deceniji kao što je skaliranje energije rezultiralo je potrošnjom energije samo u $10\text{-}100 \mu\text{W}$ za nisko do srednje propusne digitalne signalne procesore strujnog kola. Kako su poboljšani, uređaji EH postaju i prenosni izvori energije umesto običnih hemijskih baterija. Današnja tehnologija zahteva napon od oko 3V ili više, a da bi se ono postiglo najkorisnije je primeniti metod piezoelektrične energije iz EH, posebno sa d33 piezoelektričnim režimom.

EH je rešenje za energentska pitanja širom sveta, čija upotreba nije štetna za planetu. Iako se EH uređaji uveliko koriste i dalje se istražuje na ljudskom organizmu i mašinama o gubicima energije, njenom skladištenju i upotrebi skoncentrisane energije.

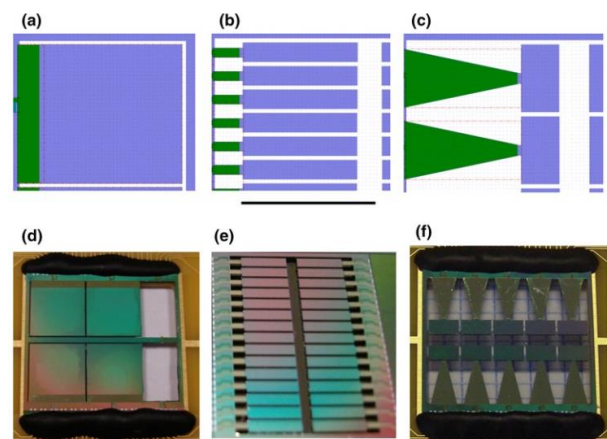
EH ima primenu ima u građevinarstvu, gde se za primer koriste piezoelektrični materijali za pravljenje „pametnih puteva“. Točkovi automobila i ostalih vozila bi prelazili preko sloja piezo filma i tako bi se generisala električna energija. I ovakva energija je besplatna, pa postaje odlično rešenje za nedostatak električne energije u nekim zemljama [10]. Na mostovima je upotrebljena bimorfna

konzola piezoelektričnog EH, baziranog na radu sa poprečnim oscilacijama [11]. Šeme konzole sa masom na drugom kraju grede su prikazane na slici 1 i sa komponentama povezanih rednim i paralelnim električnim kolom.



Sl. 1. Bimorfna konzola piezoelektričnog EH. a) redno vezani; b) paralelno vezani [11].

Konzola ne mora biti pravilnog oblika, već može da bude široka i uska greda ali i trapeznog oblika (Slika 2) sa različitim masama na krajevima [12].



Sl. 2. Šematske i mikrografske konzole. Greda je zelene boje, masa ljubičaste. a,d) široka; b,e) uska; c,f) trapezna greda [12].

Došlo je do zaključka da široka greda ima najniži propusni opseg, dok uske grede imaju manji obim tako da može biti veći broj konzola što je dovelo do velikog propusnog opsega. Svaki tip oblika ima svoje mane i prednosti, gde široka greda daje na gustini struje, uska na visokom opsegu propustljivosti, a trapezni kao kompromis za prve dve.

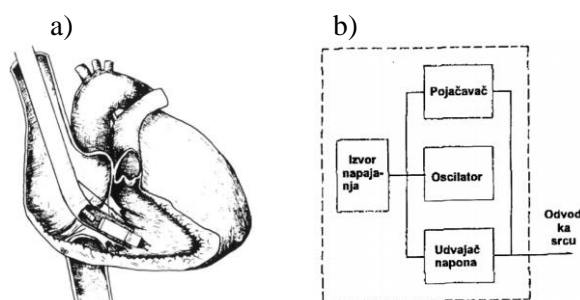
Ugradnjom EH uređaja na prugama dovodi do nezavisnosti električnog snabdevanja pomoćnih uređaja za železnički saobraćaj od nacionalne elektro mreže. Uređaji železničke infrastrukture zahtevaju od $10\text{-}100 \text{W}$, neki od njih su signali za upozorenja, prekidači, pokazivači stanja sistema koje će obezbeđivati razvijeni, bezbedniji i efikasniji EH uređaji [13].

Kako je već rečeno da u svakom kretanju postoje vibracije i one se mogu iskoristiti uz

pomoć EH uređaja. Tako dobijena električna energija može se iskoristiti za napajanje ekrana za „monitoring“ stanja sistema tzv. Health and Usage Monitoring System, u helikopterima i avionima [14].

U drugoj polovini 20. veka otkriven je novi mehanizam za satove sa kvarcnim kristalnim oscilatorom. Izradila ih je grupa inženjera u Nešatelu u Švajcarskoj, 1967. godine. Satovi su bili precizniji od klasičnih mehaničkih, i od tada počinju da prevladavaju na tržištu. Električna energija se dobija od mehaničke pomeranjem ruke, a takvi satovi imaju i sofisticiranije funkcije [15, 16].

Zanimljivo je da mikrotehnologija dobila primenu i u medicini: od fiziologije, kardiologije do biomehanike i drugih multidisciplinarnih nauka. Jedan od najznačajnijih uređaja koji su doprineli produžetku života pacijenata su implementacioni pejsmejkeri koji se ugrađuju u srce već duže od 20 godina. Uređaj je cilindričnog oblika, dimenzija 5,8x23 mm i ugrađuje se u vrh desne komore srca preko femoralne vene i desne pretkomore (Slika 3a) [17].



Slika 3. a) Prikaz implementacije montaže pejsmejкера/katetera u desnu komoru, b) Šematski dijagram komponenata kod implantiranog pejsmejкера [17].

Da bi se shvatila svrha pejsmejкера potrebno je da se sagleda funkcionisanje „prirodnog pejsmejкера“ od strane medicinske fiziologije. Neka srčana vlakna imaju posobnost samoekscitacije, da automatski i ritmički stvaraju impulse i kontrakcije. To su vlakna sinusnog čvora koja kontrolišu frekvenciju čitavog srca. Zbog razmene odnosno membranske propustljivosti kalcijumskih i natrijumskih jona menja se potencijal određene voltaže i signal se aktivira. Takođe, propustljivost jona može da se inaktivira (zatvori) i naizmeničnim procesima nastaje ritmički impuls. Ova aktivacija se ponavlja i tako neprekidno tokom čitavog života, ona je i nezavisna od moždane inervacije i zato je srce autonoman organ. Električni signal koji je nastao u sinoatrijalnom (SA) čvoru prenosi se preko atrijsventrikularnog (AV) čvora i Hisovog snopa

do Purkinjeovih vlakana na vrhu komora za njihovo kontrahovanje. Za veštačko generisanje ovih pojava, simuliranje prirodnih procesa, dobijaju se pomoću pejsmejкера (Slika 3b) [17, 18].

U slučaju patološke gojaznosti pacijentima se ugrađuje gastrični pejsmejker na zid želuca. Stimulacijom hormona koji podstiču lučenje digestivnih enzima, smanjuje se telesna težina pacijenta. Lečenjem gojaznosti sprečavaju se i potencijalne bolesti kao što su dijabetes [20]. I ovi pejsmejketi pokreću se HE sistemima.

Puls u venama se može koristiti za generisanje električne energije i snabdevanje medicinskih nanouređaja i senzora za praćenje stanja od vitalnog značaja, kao što su rad srca i krvni pritisak [21].

Primena mikrotehnologije je dosegla i do stimulanja dubljih delova mozga. Pacijenti sa otežanom pokretljivošću i drugim vrstama neuroloških oboljenja imaju vid lečenja sa impulsnim generatorom koji je ugrađen u predelu torza [22].

Biomehanika je razvila EH koji generiše električnu energiju tokom hodanja čoveka uz vrlo mali napor. EH se postavljaju na kolena i selektivno aktivira proizvodnju električne struje na kraju savijanja nogu. Mnogi uređaji mogu iskoristiti dobijenu energiju, na pr. baterijske lampe, radio aparati, punjači za mobilne telefone [23]. Energija se može primiti od toplote tela i kretanja delova tela tokom hodanja (od kolena, pete, skočnog zgloba, kuka, ramena, lakta) [24]. Piezoelektrični generator stvara energiju stimulisan mišićima, ali on nije ugrađen u ljudsko telo već se koristi kao proteza. Aktiviran motorni nerv izaziva silu kontrakcije u mišiću što opterećuje piezoelektrični materijal [25, 26].

Zahvalnica

Ova istraživanja su podržama od strane Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu (Proj. br. 054 /18).

5. REFERENCE

- [1] www.energetskiportal.rs/obnovljivi-izvori-energije/
- [2] Ledoux, A.: *Theory of piezoelectric materials and their applications in civil engineering*, MSc thesis, Boston (Massachusetts, USA), 2011.
- [3] www.kinergizer.com
- [4] Beeby, S., Tudor, M., White, N.: *Energy harvesting vibration sources for microsystems applications*, Measurement Science and Technology, vol. 17, p.p. 175-195, 2006.
- [5] Kumar, N., Kolangiammal, S.: *Fully self-*

- powered electromagnetic energy harvesting system, International Journal of Science and Research, vol. 2, no. 5, p.p. 305-308, 2013.
- [6] www.science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2002/solarcells
- [7] Erturk, A., Inman, D.J.: *Piezoelectric Energy Harvesting*, John Wiley & Sons, Chichester (United Kingdom), 2011.
- [8] www.piezomaterials.com
- [9] Djakov, T., Popović, I., Rajaković, Lj.: *Mikro-elektro-mehanički sistemi (MEMS)-Tehnologija za 21.vek*, Hemijska industrija, vol. 68, no. 5, p.p. 629-641, 2014.
- [10] Abbasi, A.: *Application of piezoelectric materials in smart roads and MEMS, PMPG power generation with transverse mode thin film PZT*, International journal of Electrical and Computer Engineering, vol. 3, no. 6, p.p. 857-862, 2013.
- [11] Erturk, A.: *Piezoelectric energy harvesting for civil infrastructure system applications: Moving loads and surface strain fluctuations*, Journal of Intelligent Material System and Structures, vol. 22, no. 17, p.p. 1959-1973, 2011.
- [12] Jackson, N., O'Keefe, R., Waldron, F., O'Neill, M., Mathewson, A.: *Evaluation of low-acceleration MEMS piezoelectric energy harvesting device*, Microsystem Technologies, vol. 20, no. 4-5, p.p. 671-680, 2013.
- [13] Lin, T., Wang, J., Zuo, L.: *Energy harvesting from rail track for transportation safety and monitoring*, University Transportation Research Center, 2014.
- [14] Stamos, M., Nicoleau, C., Torah, R., Tudor, J., Harris, N., Niewiadomski, A., Beeby, S.: *Screen printed piezoelectric generator for helicopter health and usage monitoring system*, Proceedings of PowerMEMS 2008+ microEMS2008, 2008.
- [15] Glasmeier, A.: *Technological discontinuities and flexible production networks: The case of Switzerland and the world watch industry*, Research Policy, vol. 20, no. 5, p.p. 469-485, 1991.
- [16] Piguet, C.: *The first quartz electronic watch*, Integrated Circuit Design. Power and Timig Modeling, Optimization and Simulation, vol. 2451, no. 1, p.p. 1-15, 2002.
- [17] Vardas, P.E., Politopoulos, C., Manios, E., Parthenakis, F., Tsagarakis, C.: *A miniature Pacemaker Introduced Intravenously and Implanted Endocardially. Preliminary Findings from an Experimental Study*, Eur J Card Pacing Electrophysiol, vol. 1, no. 1, p.p. 27-30, 1991.
- [18] Andrašić, M.: *Generisanje električnih signala u ljudskom organizmu. Električni signali srca*, Diplomski rad, Novi Sad (Srbija), 2005.
- [19] Guyton, A., Hall, J.: *Medicinska fiziologija*, Savremena administracija, Beograd, 2003.
- [20] Favretti, F., De Luca, M., Segato, G., Busetto, L., Ceoloni, A., Magon, A., Enzi, G.: *Treatment of morbid obesity with the Transcend Implantable Gastric Stimulator (IGS): A prospective survey*, Obesity surgery, vol. 14, no. 5, p.p. 666-670, 2004.
- [21] Paulo, J., Gaspar, P.D.: *Review and future trend of energy harvesting methods for portable medical devices*, Proceedings of the World Congress on Engineering, vol. 2, 2010.
- [22] Jackson, N., O'Keefe, R., Waldron, F., O'Neill, M., Mathewson, A.: *Evaluation of low-acceleration MEMS piezoelectric energy harvesting device*, Microsystem Technologies, vol. 20, no. 4-5, p.p. 671-680, 2013.
- [23] Donelan, J., Li, Q., Naing, V., Hoffer, J., Weber, D., Kuo, A.: *Biomechanical energy harvesting: generating electricity during walking with minimal user effort*, Science, vol. 319, no. 5864, p.p. 807-810, 2008.
- [24] Riemer, R., Shapiro, A.: *Biomechanical energy harvesting from human motion: theory, state of the art, design guidelines, and future directions*, Journal of Neuroengineering and Rehabilitation, vol. 8, no. 1, 2011.
- [25] Priya, S., Inman, D.: *Energy Harvesting Technologies*, Springer, New York, 2009.

Autori: Vladimir Kićinja, Livija Cvetičanin,
 Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Trg D. Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel: +381 21 485 2237.
 E-mail: cveticanin@uns.ac.rs
kicinja.vladimir@gmail.com

Maretić, R., Glavardanov, V., Berecki, A., Okuka, A.

SAVIJANJE TEŠKE GREDE NA NEZATEŽUĆOJ VINKLEROVOJ PODLOZI
PRI DEJSTVU NESIMETRIČNO POSTAVLJENJE SILE

Rezime: U radu se analizira savijanje teške grede konstantnog poprečnog preseka i konačne dužine, koja je na proizvoljnom mestu opterećena vertikalnom silom. Greda je postavljena na elastičnu podlogu nezatežućeg Vinklerovog tipa, koja, na mestima eventualnog odvajanja i izdizanja dela grede iznad podloge, nema uticaja na gredu. Analitički su rešene diferencijalne jednačine koje opisuju savijanje grede. Pokazano je da u slučaju da su zadovoljeni određeni uslovi, dolazi do delimičnog odvajanja grede od podloge. Konkretni primer je rešen na dva načina, prvi, korišćenjem pretpostavke da podloga može zatezanjem delovati na gredu i drugi, kod koga je podloga nezatežuća. Dobijena rešenja se u značajnoj meri razlikuju u pogledu ugiba grede. Date su i preporuke, u zavisnosti od vrednosti određenih parametara, kada treba koristiti klasični model Vinklerove podloge, a kada model nezatežuće podloge.

Ključne reči: nezatežuća Vinklerova podloga, savijanje grede

1. UVOD

Veliki broj konstrukcija, kao što su temelji građevinskih objekata, železničke šine, putevi itd., mogu se modelovati kao grede koje se oslanjaju na elastičnu podlogu. Svojstva tla su, najčešće, elastoplastična, ali ipak postoje slučajevi kada je model elastične podloge sasvim prihvatljiv. Zbog važnosti ove teme, kao i velike tehničke primene, još u drugoj polovini 19. veka su se pojavili razni matematički modeli elastičnog tla, između ostalih i Vinklerov model, koji je i najjednostavniji. Prema Vinklerovom modelu, na gredu, usled interakcije sa podlogom, deluje kontinualno opterećenje koje je proporcionalno ugibu grede.

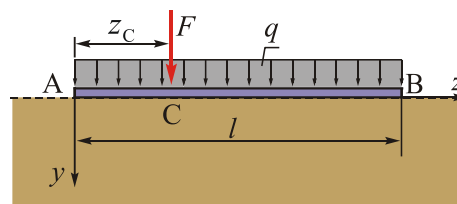
U nekim slučajevim, na primer, pri dejstvu nesimetričnog opterećenja na gredu, može doći do odvajanja jednog dela grede od podloge i njenog izdizanja. Prema Vinklerovom modelu, deo grede koji se odvojio od podloge i dalje je opterećen od strane podloge i to opterećenjem koje gredu vuče ka sebi, što fizički nije tačno. Ovaj nedostatak je davno uočen pa se pojavio i model Vinklerove podloge prema kome između podloge i grede postoji samo pritisno dejstvo. Uobičajeno je da se ova podloga naziva nezatežuća Vinklerova podloga. U radovima [1]-[4] razmatrani su uticaji na savijanje i stabilnost grede na pomenutoj podlozi pri različitim opterećenjima. U radu [5] je analitički rešavan slučaj grede koja je na jednom kraju opterećena koncentrisanom silom i po celoj dužini kontinualnim opterećenjem. U tom radu je ukazano na to da neuzimanje u obzir da je podloga nezatežuća može dovesti do velikih grešaka u određivanju ugiba grede.

U ovom radu će se izvršiti proširenja rada [5],

tako što će se ispitati zajednički uticaj težine grede i vertikalne sile koja na proizvoljnom mestu deluje na gredu. Greda se nalazi na podlozi koja će se modelovati kao nezatežuća Vinklerova podloga.

2. FORMULACIJA PROBLEMA

Uočićemo gredu AB postavljenu na elastičnu podlogu nezatežućeg Vinklerovog tipa krutosti c , pri čemu je $[c] = 1 \text{ N/m}^3$, prikazanu na Sl. 1. Greda je konstantnog poprečnog preseka, čiji aksijalni moment inercije u odnosu na horizontalnu osu iznosi I , dok širina preseka sa donje strane, kojom se ostvaruje dodir sa podlogom, iznosi B . Dužina grede je l , dok je E modul elastičnosti materijala grede. Greda je opterećena sopstvenom težinom, to jest, konstantnim kontinualnim opterećenjem q i koncentrisanom vertikalnom silom F , koja deluje u proizvoljnoj tački C. Uvešćemo koordinatni sistem zAy , pri čemu je y osa usmerena prema dole. Položaj tačke C je određen koordinatom z_C i pri tome će se smatrati da je $z_C < l/2$.



Sl. 1. Geometrija grede i njeno opterećenje

Prema korišćenom modelu podloge, greda će, pored aktivnih opterećenja, biti sa donje strane,

prema gore, opterećena kontinualnim opterećenjem q_c koje iznosi

$$q_c = c B y, \quad (1)$$

tako da je, na mestu gde postoji dodir sa podlogom, diferencijalna jednačina savijanja grede data izrazom

$$EI \frac{d^4 y}{dz^4} = q - c B y. \quad (2)$$

Pošto ćemo razmatrati slučaj grede koja se jednim svojim delom odvojila od podloge i samim tim ostala bez dejstva pritiska podloge (1), na tom delu je savijanje grede opisano diferencijalnom jednačinom

$$EI \frac{d^4 y}{dz^4} = q. \quad (3)$$

Opšte rešenje diferencijalne jednačine (2) je

$$y = e^{kz} (A_1 \sin kz + A_2 \cos kz) + e^{-kz} (A_3 \sin kz + A_4 \cos kz) + \frac{q}{cb}, \quad (4)$$

gde je uvedena oznaka

$$k = \sqrt[4]{\frac{cB}{4EI}}, \quad (5)$$

dok su $A_1 - A_4$ integracione konstante.

Opšte rešenje diferencijalne jednačine (3) je

$$y = C_1 z^3 + C_2 z^2 + C_3 z + C_4 + \frac{1}{24} \frac{qz^4}{EI}, \quad (6)$$

pri čemu su $C_1 - C_4$ odgovarajuće integracione konstante.

Da bi smanjili broj parametara koji utiču na savijanje grede, rešenja diferencijalnih jednačina su napisana u bezdimenzijskoj formi. Ukoliko uvedemo bezdimenzijske parametre

$$w = \frac{y}{l}, \quad x = \frac{z}{l}, \quad \lambda = kl, \quad Q = \frac{ql^3}{EI}, \quad (7)$$

rešenje (4) prelazi u

$$w = e^{\lambda x} (\bar{A}_1 \sin \lambda x + \bar{A}_2 \cos \lambda x) + e^{-\lambda x} (\bar{A}_3 \sin \lambda x + \bar{A}_4 \cos \lambda x) + \frac{Q}{4\lambda^4}, \quad (8)$$

dok će rešenje (6) biti

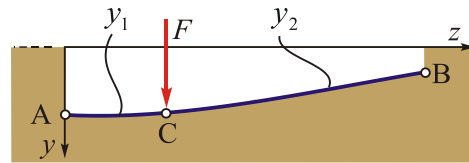
$$w = \bar{C}_1 z^3 + \bar{C}_2 z^2 + \bar{C}_3 z + \bar{C}_4 + \frac{1}{24} Q x^4, \quad (9)$$

pri čemu su uvedene i odgovarajuće bezdimenzijske integracione konstante.

Da bi sračunali ugibe grede, potrebno je prvo odrediti da li uopšte dolazi do odvajanja grede od podloge. U zavisnosti od vrednosti parametara moguća su dva slučaja, prvi kod koga uopšte ne dolazi do odvajanja od podloge i drugi slučaj kod koga dolazi do odvajanja. U nastavku ovog rada proučićemo oba slučaja.

3. SLUČAJ KADA SE GREDA NE ODVAJA OD PODLOGE

Da bi proučili slučaj odvajanja grede od podloge, analiziraćemo prvo slučaj kada nema odvajanja od podloge koji podrazumeva da je greda celom dužinom oslonjena na. Skica jednog takvog slučaja prikazana je na Sl. 2. Savijanje grede je tada opisano opštim rešenjem (4), pri čemu treba voditi računa da će elastične linije u delu AC ($0 \leq z \leq z_C$) i delu CB ($z_C \leq z \leq l$) biti različite. Označićemo ih sa y_1 i y_2 .



Sl. 2. Skica grede koja se ne odvađa od podloge

Na osnovu uslova koje na krajevima štapa A i B zadovoljavaju moment savijanja i transversalna sila, granični uslovi su

$$\begin{aligned} \frac{d^2 y_1}{dz^2}(0) = 0, \quad \frac{d^3 y_1}{dz^3}(0) = 0, \\ \frac{d^2 y_2}{dz^2}(l) = 0, \quad \frac{d^3 y_2}{dz^3}(l) = 0. \end{aligned} \quad (10)$$

dok su uslovi neprekidnosti u tački C

$$\begin{aligned} y_1(z_C) = y_2(z_C), \quad \frac{dy_1}{dz}(z_C) = \frac{dy_2}{dz}(z_C), \\ \frac{d^2 y_1}{dz^2}(z_C) = \frac{d^2 y_2}{dz^2}(z_C), \\ -EI \frac{d^3 y_1}{dz^3}(z_C) = -EI \frac{d^3 y_2}{dz^3}(z_C) + F. \end{aligned} \quad (11)$$

Njihov bezdimenzijski oblik je

$$\begin{aligned} \frac{d^2 w_1}{dx^2}(0) = 0, \quad \frac{d^3 w_1}{dx^3}(0) = 0, \\ \frac{d^2 w}{dx^2}(1) = 0, \quad \frac{d^3 w}{dx^3}(1) = 0, \quad w_1(s) = w_2(s), \\ \frac{dw_1}{dx}(s) = \frac{dw_2}{dx}(s), \quad \frac{d^2 w_1}{dx^2}(s) = \frac{d^2 w_2}{dx^2}(s), \\ \frac{d^3 w_1}{dx^3}(s) = \frac{d^3 w_2}{dx^3}(s) - P. \end{aligned} \quad (12)$$

pri čemu je

$$w_1 = \frac{y_1}{l}, \quad w_2 = \frac{y_2}{l}, \quad s = \frac{z_C}{l}, \quad P = \frac{Fl^2}{EI}. \quad (13)$$

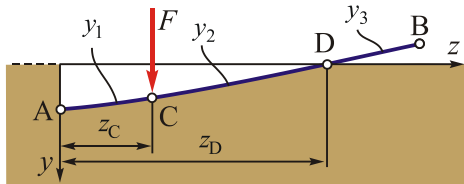
Problem određivanja ugiba se svodi na izračunavanje osam integracionih konstanti na

osnovu osam graničnih uslova. Dobijeno rešenje ćemo koristiti za upoređenje.

3. SLUČAJ KADA SE GREDA ODVAJA OD PODLOGE

U ovom slučaju savijanja grede, njena desna strana, suprotna od strane opterećene silom, će se u izvesnom delu odvojiti od podloge. Pošto je podloga nezatežuća na tom delu neće postojati reakcija podloge. Sa D ćemo označiti tačku, sa nepoznatom koordinatom z_D , u kojoj dolazi do odvajanja grede od podloge (videti Sl. 3.). U ovom slučaju će savijanje grede biti opisano sa tri elastične linije.

Za $0 \leq z \leq z_C$ i $z_C \leq z \leq z_D$, savijanje je opisano jednačinom (2) i rešenjem (4), a odgovarajuće elastične linije su označene sa y_1 i y_2 . Za $z_D \leq z \leq l$, elastična linija y_3 je opisana jednačinom (3) i rešenjem (6).



Sl. 3. Skica grede koja se odvađa od podloge

Treba zapaziti da u opštim rešenjima imamo 12 integracionih konstanti, ali da nam je nepoznata i koordinata z_D , tako da ukupno imamo 13 nepoznatih veličina. Pored šest graničnih uslova (10)_{1,2} i (11), odnosno u bezdimenzijskom obliku (13)_{1,2,5-8}, imaćemo i sledećih pet graničnih uslova u tački D

$$\begin{aligned} y_2(z_D) &= 0, & y_3(z_D) &= 0, \\ \frac{dy_2}{dz}(z_D) &= \frac{dy_3}{dz}(z_D), & \frac{d^2y_2}{dz^2}(z_D) &= \frac{d^2y_3}{dz^2}(z_D), \\ \frac{d^3y_2}{dz^3}(z_D) &= \frac{d^3y_3}{dz^3}(z_D), \end{aligned} \quad (14)$$

kao i dva uslova na desnom kraju

$$\frac{d^2y_3}{dz^2}(l) = 0, \quad \frac{d^3y_3}{dz^3}(l) = 0. \quad (15)$$

Bezdimenzijski oblik ovih graničnih uslova je

$$\begin{aligned} w_2(p) &= 0, & w_3(p) &= 0, \\ \frac{dw_2}{dx}(p) &= \frac{dw_3}{dx}(p), & \frac{d^2w_2}{dx^2}(p) &= \frac{d^2w_3}{dx^2}(p), \\ \frac{d^3w_2}{dx^3}(p) &= \frac{d^3w_3}{dx^3}(p), \end{aligned}$$

$$\frac{d^2w_3}{dx^2}(1) = 0, \quad \frac{d^3w_3}{dx^3}(1) = 0 \quad (16)$$

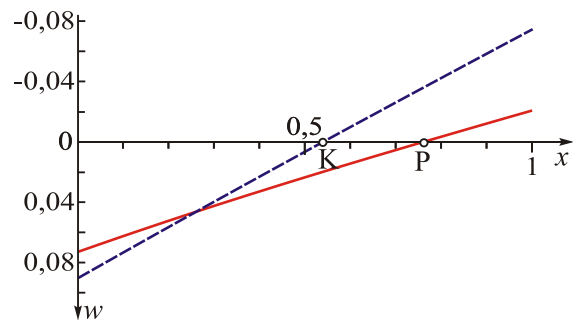
gde je $p = z_D/l$.

Ovaj matematički problem se može rešiti tako što se, za zadate vrednosti l , P , Q i s , kao i korišćenjem svih graničnih uslova osim (16)₂, odredi svih 12 integracionih konstanti, koje će zavisiti od vrednosti p . Zatim se konstante zamene u rešenje elastične linije w_3 . Zadovoljavanjem preostalog uslova (16)₂ dobijamo nelinearnu jednačinu po p . Određivanjem ove vrednosti p preostaje da se ona zameni u integracione konstante, čime elastične linije postaju potpuno određene.

4. UPOREĐENJE ELASTIČNIH LINIJA

Za jedan konkretan primer upoređićemo ugibe grede dobijene na klasičan način, koji podrazumeva da podloga može delovati zatezanjem i na način opisan u odeljku 3 prema kome je podloga nezatežuća. Zadato je: $\lambda = 1,5$, $P = 0,4$, $Q = 0,1$ i $s = 0,1$.

Neprekidnom linijom je prikazano rešenje dobijeno na klasičan način, dok je isprekidanom linijom prikazan ugib grede pri čemu uzimamo u obzir da je podloga nezatežuća. Do odvajanja, prema klasičnom proračunu, dolazi u tački P, gde je $x_P = 0,75990$, dok u drugom slučaju do odvajanja dolazi u tački K ($p = x_K = 0,54194$). Osim toga, ugib desnog kraja grede (tačke B) u prvom slučaju je $-0,02116$, dok je u drugom veći za 3,5 puta i iznosi $-0,07533$.



Sl. 4 Upoređenje deformacije grede za $\lambda = 1,5$, $P = 0,4$, $Q = 0,1$ i $s = 0,1$. Isprekidana linija – nezatežuća podloga, neprekidna linija - klasični proračun.

Očigledno je da postoji velika razlika u ugibima i položaju mesta odvajanja na osnovu upoređenja ova dva proračuna. Ovaj primer ukazuje na to da ukoliko ne uzmemo u obzir da je podloga nezatežuća možemo, za pojedine vrednosti parametara, dobiti vrlo neprecizne vrednosti ugiba.

5. PREPORUKE ZA PRORAČUN GREDE I ZAKLJUČCI

Imajući u vidu prethodnu analizu trebalo bi odrediti za koje vrednosti parametara će uopšte i doći do odvajanja grede od podloge i do neophodnosti korišćenja Vinklerovog nezatežućeg modela podloge. Detaljnija analiza pokazuje da pri vrlo malim vrednostima sile F , u odnosu na težinu grede ql , ne dolazi do odvajanja. Sa povećanjem intenziteta sile, greda se sve više nagnje (osim ako nije na sredini grede). Pri jednoj posebnoj vrednosti sile, desni kraj grede će se naći na površini podloge, a svako dalje povećanje vrednosti sile dovodi do odvajanja grede od podloge. Zaključak je da se vrednost sile, pri kojoj počinje odvajanje, može odrediti korišćenjem rešenja izloženog u odeljku 3. uz dodatni granični uslov

$$w_2(1) = 0. \quad (17)$$

Zadovoljavanjem ovog uslova, dobijamo algebarsku jednačinu na osnovu koje je

$$m = \frac{k_1}{k_2 + k_3}, \quad (18)$$

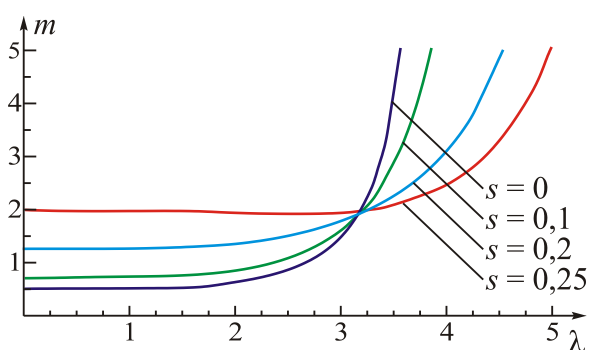
pri čemu je

$$m = \frac{P}{Q} = \frac{F}{ql}, \quad (19)$$

dok su oznake k_i

$$\begin{aligned} k_1 &= e^{\lambda(1+s)}(2 - \cos 2\lambda - \operatorname{ch} 2\lambda), \\ k_2 &= \lambda(-1 + e^{2\lambda})(1 + e^{2\lambda s}) \cos \lambda(1 - s) \\ k_3 &= -2\lambda(e^{2\lambda} + e^{2\lambda s}) \cos s\lambda \sin \lambda, \end{aligned} \quad (20)$$

Prema tome dobili smo da granične vrednosti novouvedenog parametra m , koji predstavlja odnos intenziteta sile i težine grede, zavise od veličina λ i s . Za nekoliko zadatih vrednosti s na Sl. 5 je dat grafik zavisnosti parametra m od λ .



Sl. 5. Vrednosti m u zavisnosti od λ

Zaključujemo da ukoliko je za zadate vrednosti s i λ , odnos intenziteta sile i težine grede (parametar m), ispod odgovarajuće linije, neće do odvajanja grede od podloge. U tom slučaju se elastična linija određuje na uobičajeni način.

Međutim, ukoliko je pomenuti odnos iznad ucrtane linije, doći će do odvajanja grede od podloge, pa se pri određivanju elastične linije grede mora uzeti u obzir da je podloga nezatežuća.

Ova analiza je izvedena za ograničene vrednosti parametra λ . Za veće vrednosti λ mora se izvršiti dodatna analiza, jer postoji mogućnost, da odvajanje grede nastupi u središnjem delu. Ovaj tip odvajanja grede od podloge je za $s = 0$, opisan u radu [5].

Zahvalnica

Ovaj rad je finansirao Fakultet tehničkih nauka iz Novog Sada, projekat 2018-54.

6. REFERENCE

- [1] Chen J-S, Wu H-H. Response of a Buckled Beam Constrained by a Tensionless Elastic Foundation, *Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 137, No. 6, pp. 383-389, 2011.
- [2] Nobili A. Superposition Principle for the Tensionless Contact of a Beam Resting on a Winkler or a Pasternak Foundation, *Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 139, No. 10, pp. 1470-1478, 2013.
- [3] Zhang L, Zhao M. New Method for a Beam Resting on a Tensionless and Elastic-Plastic Foundation Subjected to Arbitrarily Complex Loads, *International Journal of Geomechanics*, Vol. 16, No 4, 04015093, 2016.
- [4] Ioakimidis NI. Derivation of conditions of complete contact for a beam on a tensionless Winkler elastic foundation with Mathematica, *Mechanics Research Communications*, Vol. 72, pp. 64-73, 2016.
- [5] Maretić R, Glavardanov V, Okuka A. Odvajanje grede konačne dužine od Vinklerove nezatežuće podloge pri dejstvu sile na kraju grede, *Tehnika - Naše građevinarstvo*, Vol. 73, No. 4, pp. 479-485, 2018.

Autori: Prof. dr Ratko Maretić, Prof. dr Valentin Glavardanov, Mast. inž. maš. Armin Berecki, Mast. inž. građ. Aleksandar Okuka, Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Trg Dositeja Obradovica 6, 21101 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2240, Fax: 021 458-133. E-mail: maretic@uns.ac.rs

vanja@uns.ac.rs

armin@uns.ac.rs

aokuka@uns.ac.rs

Szuchy, P.

5-DEGREE-OF-FREEDOM SUBSYSTEMS IN ACOUSTIC METAMATERIALS

Abstract: This paper introduces the author's conception about a simply producible, wallpaper-like vibration reducing metamaterial. It thinks further the 2-Degree-Of-Freedom subsystems of the mass-in-mass type acoustic metamaterials. It's hypothesis is that such a metamaterial can consist of only 4-5 paralelly attached masses because of practical reasons. The basic layer is excited and its attachments reduces the movement of it, around their natural frequency. This paper introduces the modell of 5-Degree-Of-Freedom oscillating system and its analytical solution with the rotating force vectors of the five masses. It presents the amplitudo ratios, the relationship of the displacements and phase shifts and highlights the interference of the subsystems. At the end during an example it shows the benefits and disadvantages of this kind of 5-Dof vibrating system.

Key words: Five-Degree-Of-Freedom, Acoustic metamaterials, Amplitudo ratio, Phase shift, Rotating vectors

1. INTRODUCTION

There are huge efforts to reduce vibration on a wide range field of everyday life. One of the most promising research areas is the acoustic metamaterials'. Metamaterial are used to call such materials which properties are determined rather by their structure than their substance [1]. The most important property of them is given by their structure modelled with spring-mass-damping subsystems, resonators [2]. The theory of the mass-in-mass type acoustic metamaterial is similar to the dynamic vibration damping [3-4]: the excited m_1 mass has got an attached m_2 mass that takes over a significant part of the motion energy on a specific frequency, reducing the displacement of the excited mass. With a proper dimensioning even a negative effective mass can be achieved [5-6].

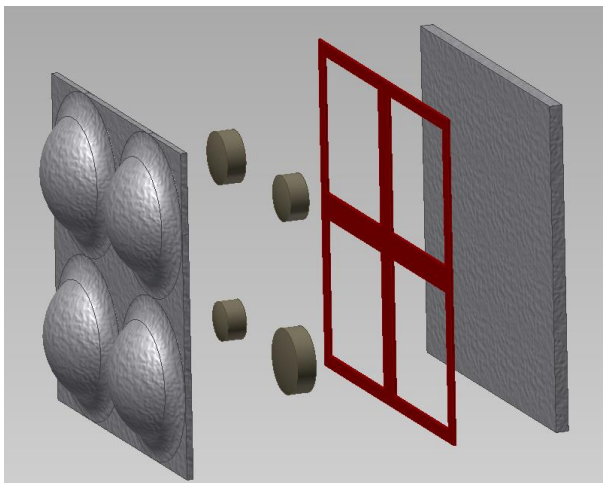


Fig. 1 Wallpaper-like construction

Because of production problems a simple but

useful mass-in-mass acoustic metamaterial can have about 4-5 type of attached masses. As I consider a future, wallpaper-like metamaterial, the basic unit of it can be composed of a carrier layer with a covering layer (m_1) and 4 attached masses (m_{2-5}) (Figure 1.). The carrier layer (right side) and the covering layer (left side) are stuck together with some adhesive (red color), and the attached masses are sitting between the two layer in the cups of the covering layer. The surrounding materials of the masses ensure the springs and dampings of the vibrating system that are considered linear characteristics. If the cups are not filled with flexible material around the m_{2-5} masses, the stiffness value can be relative high ensured by the covering material, but the damping factor will be relative low. If we need to enlarge it, we have to fill the cups with some flexible material. The size of the basic unit (shown on Figure 1.) can be measured in millimeter, and it is multiplied side by side on a flat carrier, so it will look like wallpaper.

2. FIVE-DEGREE-OF FREEDOM OSCILLATIONS

The basic model of the wallpaper-like metamaterial is the Five-Degree-Of-Freedom (5-DOF), damped and excited oscillation (Fig. 2.). The springs have linear characteristics and the dampings are viscous. The m_1 mass is excited periodically by F_1 and attached to a fixed point with the s_1 spring and the k_1 damping. There are four masses (m_{2-5}) attached to the m_1 mass in parallel with the s_n springs and the k_n dampings. The arrangement of the model is mass-in-mass type.

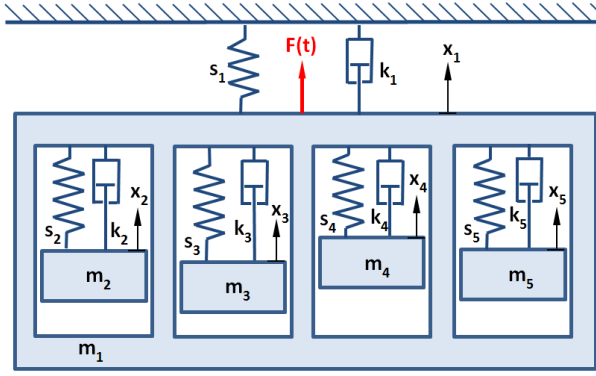


Fig. 2 5-DOF model

The equations of motions can be written according to the principle of linear momentum:

$$m_1: m_1\ddot{x}_1 = F_0 \sin(\omega_g t) - k_1\dot{x}_1 - s_1x_1 - k_2(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - s_2(x_1 - x_2) - k_3(\dot{x}_1 - \dot{x}_3) - s_3(x_1 - x_3) - k_4(\dot{x}_1 - \dot{x}_4) - s_4(x_1 - x_4) - k_5(\dot{x}_1 - \dot{x}_5) - s_5(x_1 - x_5) \quad (1)$$

$$m_2: m_2\ddot{x}_2 = k_2(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + s_2(x_1 - x_2) \quad (2)$$

$$m_3: m_3\ddot{x}_3 = k_3(\dot{x}_1 - \dot{x}_3) + s_3(x_1 - x_3) \quad (3)$$

$$m_4: m_4\ddot{x}_4 = k_4(\dot{x}_1 - \dot{x}_4) + s_4(x_1 - x_4) \quad (4)$$

$$m_5: m_5\ddot{x}_5 = k_5(\dot{x}_1 - \dot{x}_5) + s_5(x_1 - x_5) \quad (5)$$

Substituting equations (2), (3), (4), (5) to (1):

$$m_1\ddot{x}_1 = F_0 \sin(\omega_g t) - k_1\dot{x}_1 - s_1x_1 - m_2\ddot{x}_2 - m_3\ddot{x}_3 - m_4\ddot{x}_4 - m_5\ddot{x}_5 \quad (6)$$

Rearranging it according to D'Alembert the equilibrium of the forces (Fig. 3.):

$$0 = F_0 \sin(\omega_g t) - m_1\ddot{x}_1 - k_1\dot{x}_1 - s_1x_1 - m_2\ddot{x}_2 - m_3\ddot{x}_3 - m_4\ddot{x}_4 - m_5\ddot{x}_5 \quad (7)$$

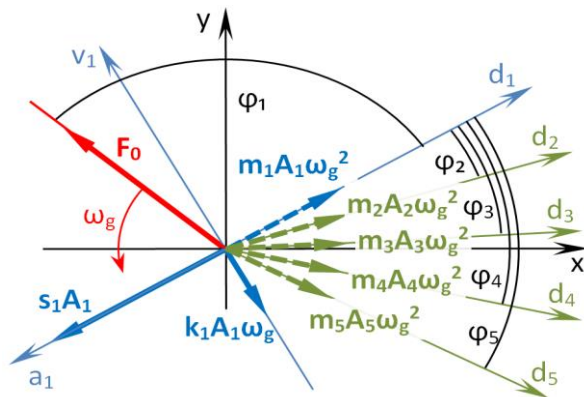


Fig. 3. Rotating force vectors on m_1 mass according to D'Alembert

Dissolving brackets and rearranging equations (2), (3), (4), (5):

$$m_2\ddot{x}_2 + k_2\dot{x}_2 + s_2x_2 - k_2\dot{x}_1 - s_2x_1 = 0 \quad (8)$$

$$m_3\ddot{x}_3 + k_3\dot{x}_3 + s_3x_3 - k_3\dot{x}_1 - s_3x_1 = 0 \quad (9)$$

$$m_4\ddot{x}_4 + k_4\dot{x}_4 + s_4x_4 - k_4\dot{x}_1 - s_4x_1 = 0 \quad (10)$$

$$m_5\ddot{x}_5 + k_5\dot{x}_5 + s_5x_5 - k_5\dot{x}_1 - s_5x_1 = 0 \quad (11)$$

The equations (8)-(11) show the rotating vectors of the attached m_n forces ($n=2-5$). Each one is a 1-DoF oscillation system excited by the F_{Rn} force which is the resultant of the $k_n A_1 \omega_g$ and the $s_n A_1$ forces (Figure 4.):

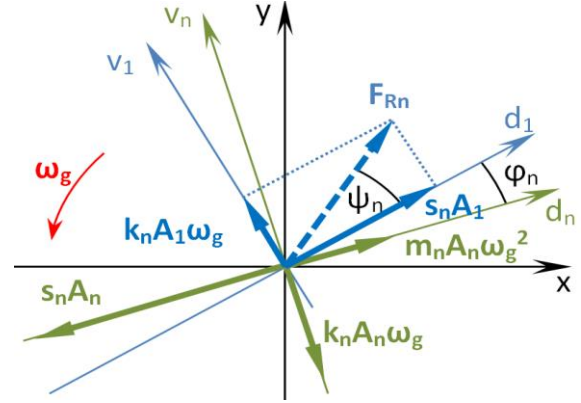


Fig. 4. Rotating forces of the attached masses

It is visible that there is no direct interference on the movements of the attached masses, each one influences only the m_n mass. The phase shift between the displacement and the excited force, then the amplitude [3]:

$$tg\varphi = \frac{2D\frac{\omega_g}{\omega}}{1 - \frac{\omega_g^2}{\omega^2}} \quad (12)$$

$$A = \frac{x_{st}}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega_g^2}{\omega^2}\right)^2 + \left(2D\frac{\omega_g}{\omega}\right)^2}} \quad (13)$$

Based on (12-13) relationships the ψ_n phase shift between the F_{Rn} resultant force (as excitation) and the d_n displacement, together with the magnitude of force in case of the equilibrium of forces [3, 7]:

$$\psi_n = \arctan 2Dn \frac{\omega_g}{\omega_n} \quad (14)$$

$$|F_R| = A_1 s_2 \sqrt{4D_2^2 \left(\frac{\omega_g}{\omega_2}\right)^2 + 1} \quad (15)$$

The ψ_n phase shift does not depend on the movement of m_1 mass. According to equations (14-15) the φ_n phase shift between the d_n and d_1 displacements and the amplitude rates [7]:

$$\varphi_n = \arctan \frac{\frac{\omega_g}{\omega_n}}{\frac{1}{2Dn\left(\frac{\omega_g}{\omega_n}\right)^2} - \frac{1}{2Dn} + 2Dn} \quad (16)$$

$$G_{n1} = \frac{A_n}{A_1} = \sqrt{\frac{(2D_n \frac{\omega_g}{\omega_n})^2 + 1}{\left(1 - \frac{\omega_g^2}{\omega_n^2}\right)^2 + (2D_n \frac{\omega_g}{\omega_n})^2}} \quad (17)$$

The d_1 and v_1 directional equilibrium of rotating force vectors can be described according to D'Alambert, based on equation (7) (Fig. 3.):

$$d_1: \quad s_1 A_1 = F_0 \cos \varphi_1 + m_1 A_1 \omega_g^2 + \sum_{n=2}^5 m_n A_n \omega_g^2 \cos \varphi_n \quad (18)$$

$$F_0 \cos \varphi_1 = s_1 A_1 - m_1 A_1 \omega_g^2 - \sum_{n=2}^5 m_n A_n \omega_g^2 \cos \varphi_n \quad (19)$$

$$v_1: \quad F_0 \sin \varphi_1 = k_1 A_1 \omega_g + \sum_{n=2}^5 m_n A_n \omega_g^2 \sin \varphi_n \quad (20)$$

Substituting $A_n = G_{n1} A_1$ based on (17), than bringing out A_1 :

$$F_0 \cos \varphi_1 = s_1 A_1 - m_1 A_1 \omega_g^2 - \sum_{n=2}^5 m_n G_{n1} A_1 \omega_g^2 \cos \varphi_n \quad (21)$$

$$F_0 \sin \varphi_1 = k_1 A_1 \omega_g + \sum_{n=2}^5 m_n G_{n1} A_1 \omega_g^2 \sin \varphi_n \quad (22)$$

$$F_0 \cos \varphi_1 = A_1 (s_1 - m_1 \omega_g^2 - \sum_{n=2}^5 m_n G_{n1} \omega_g^2 \cos \varphi_n) \quad (23)$$

$$F_0 \sin \varphi_1 = A_1 (k_1 \omega_g + \sum_{n=2}^5 m_n G_{n1} \omega_g^2 \sin \varphi_n) \quad (24)$$

Using (23) and (24) equations the phase shift between the exciting force and the displacement of m_1 , and the maximum displacement of m_1 :

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi_1 &= \frac{F_0 \sin \varphi_1}{F_0 \cos \varphi_1} = \\ &= \frac{k_1 \omega_g + \sum_{n=2}^5 m_n G_{n1} \omega_g^2 \sin \varphi_n}{s_1 - m_1 \omega_g^2 - \sum_{n=2}^5 m_n G_{n1} \omega_g^2 \cos \varphi_n} \end{aligned} \quad (38)$$

$$\begin{aligned} F_0^2 (\cos^2 \varphi_1 + \sin^2 \varphi_1) &= A_1^2 [(s_1 - m_1 \omega_g^2 - \\ &- \sum_{n=2}^5 m_n G_{n1} \omega_g^2 \cos \varphi_n)^2 + \\ &+ (k_1 \omega_g + \sum_{n=2}^5 m_n G_{n1} \omega_g^2 \sin \varphi_n)^2] \end{aligned} \quad (39)$$

$$\begin{aligned} A_1 &= \\ &= F_0 / [(s_1 - m_1 \omega_g^2 - \sum_{n=2}^5 m_n G_{n1} \omega_g^2 \cos \varphi_n)^2 + \\ &+ (k_1 \omega_g + \sum_{n=2}^5 m_n G_{n1} \omega_g^2 \sin \varphi_n)^2]^{1/2} \end{aligned} \quad (40)$$

3. CALCULATION EXAMPLE

The following example shows the usability of the former equations. The basic parameters of the 5-Dof oscillating system were set according to Table 1.:

Table 1. Basic parameters

Masses:		1.	2.	3.	4.	5.	
Given data	$F_0=$	100					N
	$s_n=$	2500	2500	2500	2500	2500	N/m
	$m_n=$	0,0625	0,0625	0,02778	0,01563	0,01	kg
	$k_n=$	5	1	1	1	1	Ns/m
Calculated data	$\omega_n=$	200	200	300	400	500	1/s
	$D_n=$	0,2	0,004	0,006	0,008	0,01	

Each s_n spring stiffness has the same values, the k_n damping factors of the attached masses are the same and the natural angular frequencies of the attached masses were set side by side with 100 1/s.

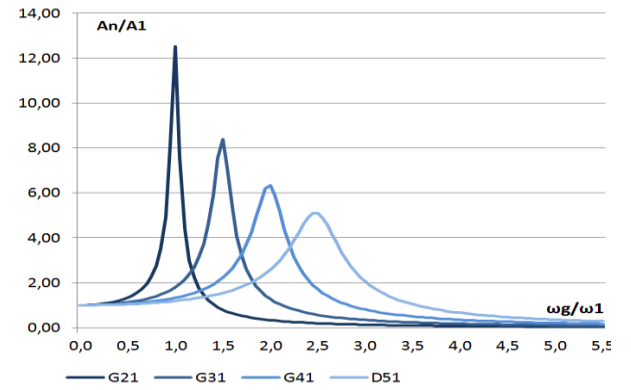


Fig. 5. $G_{n1} = A_n/A_1$ amplitude ratio in function of ω_g/ω_1 angular frequency ratio

The $G_{n1} = A_n/A_1$ amplitude ratios are presented by Figure 5. in function of the angular frequency of excitation per natural angular frequency of m_1 mass (ω_g/ω_1). The φ_n phase shifts between the d_n and d_1 displacements in function of ω_g/ω_1 are represented by Figure 6.:

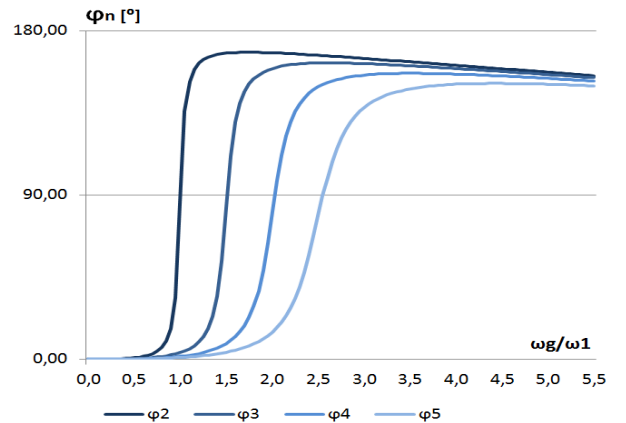


Fig. 6. Phase shifts between d_n and d_1 displacements in function of ω_g/ω_1

Both figures shows well the equipartition of the ω_n natural angular frequencies. The maximum A_n amplitudes and maximum φ_n phase shifts decrease as the D_n damping ratios increase compering the curves side by side.

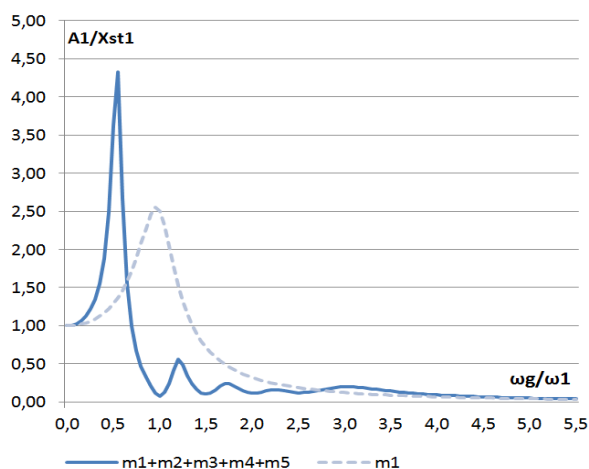


Fig. 7. Displacement per static extension of m_1 mass in function of ω_g/ω_1

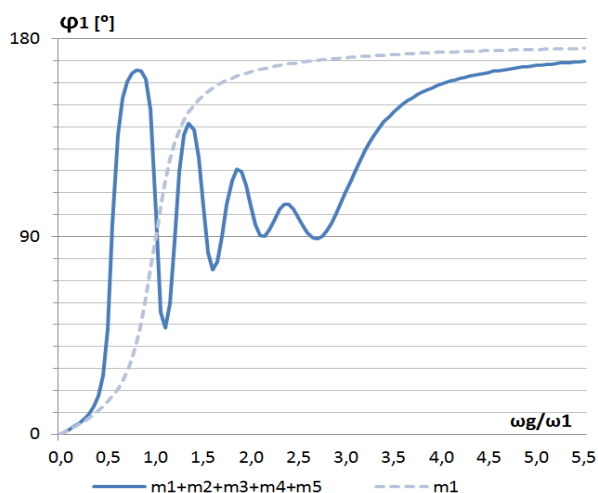


Fig. 8. Phase shift between the excitation force and the displacement of m_1 mass

The most important information for us is presented on the Figure 7. The displacement of m_1 shows the result of the vibration reduction. The continuous line represents the motion with the four attached masses and the dashed line without them. It is obvious that the vibration reduction was quite successful in the zone around and over the ω_1 natural angular frequency of m_1 mass. But there occurred a problem, at about the half of ω_1 a new natural angular frequency entered, which is the ω_R resultant natural angular frequency of the five masses. It is only a fine tuning with the basic parameters where this ω_R is. If the excitation is not typical in the lower range of ω_1 , these parameters can operate well. The phase shift

between the excitation force and the displacement of m_1 mass is presented on Figure 8..

4. CONCLUSIONS

The author's concept about the wallpaper-like acoustic metamaterial was introduced. The model of 5-Degree-Of-Freedom oscillating system and its analytical solution with the rotating force vectors of the five masses was represented as well. The results were highlighted through an example. It is obvious that the proper tuning of the basic parameters of the oscillating model is essential. The model is able to reduce the vibration of the excited m_1 mass on certain exciting frequencies, but there appears a displeasent new resonance on the ω_R resultant natural angular frequency which needs further investigations.

5. REFERENCES

- [1] Huang, H.H., Sun, C.T., Huang, G.I.: *On the negative effective mass density in acoustic metamaterials*, International Journal of Engineering Science, 47, 2009, 610-617.
- [2] Peng, H., Pai, P.F.: *Acoustic metamaterial plates for elastic wave absorption and structural suppression*, International Journal of Mechanical Sciences, 89, 2014, 350-361.
- [3] Hegedűs, A.: *Fejezetek a kinetikából Rezgésan*, Szent István Egyetemi Kiadó, Gödöllő, 2015. ISBN:978-963-269-468-9
- [4] Bíró, I.: *Mechanikai lengések*, Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Szeged, 2014. 122 p. ISBN:978-963-306-288-3
- [5] Cveticanin, L., Zukovic, M.: *Negative effective mass in acoustic metamaterial with nonlinear mass-in-mass subsystems*, Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 51, 2017, 89-104.
- [6] Cveticanin, L., Mester, Gy: *Theory of acoustic metamaterials and metamaterial beams: An overview*, Acta Polytechnica Hungarica, 13(7), 2016, 43-62.
- [7] Szuchy, P., Bíró, I.: *Damped 2-DOF subsystems of acoustic metamaterials*, IOP Conf. Series: Materials and Engineering 393 (2018) 012038 doi:10.1088/1757-899X/393/1/012038

Authors: Szuchy, Péter, Scientific associate,
 University of Szeged, Faculty of Engineering,
 Mars tér 7., H-6724 Szeged, Hungary, Phone.: +36
 62 546 000, Fax: +36 62 546 003, Mobile: +36
 30 366-8362.
 E-mail: szpeter@mk.u-szeged.hu

Rakarić, Z.

**MEHANIZMI SA NISKOM SOPSTVENOM FREKVENCIJOM I NJIHOVA
PRIMENA KOD SENZORA ZA MONITORING OBJEKATA**

Rezime: Postupci u vezi sa monitoringom stanja konstrukcija, danas kod velikih i infrastrukturnih sistema se predviđaju već u samom postupku projektovanja. Značajan deo ovih postupaka je zasnovan na dinamičkom ponašanju struktura, odnosno njihovih elemenata. U tom smislu su ovde od značaja senzori za merenje frekvencija vibracija elemenata struktura. Ovaj rad se bavi niskofrekventnim režimom oscilovanja, odnosno mehaničkim komponentama odgovarajućih senzora. U tom smislu su paralelno prikazana dva takva mehanizma: „Infra Pendulum“ i „Folded Pendulum Mechanism“ i predstavljeni su načini njihove analize.

Ključne reči: senzori niske frekvencije, infra i inverzno klatno

1. UVOD

Sistemi za monitoring zdravlja struktura (Structural Health Monitoring - SHM) danas, sve više postaju redovni sistemi u novoizgrađenim infrastrukturnim objektima, kao što su mostovi, vijadukti, brane i drugi objekti od javnog značaja. Sistemi za SHM su predviđeni za dugoročno praćenje stanja inženjerskih struktura, merenje pomeranja (linijskih i ugaonih), brzina i ubrzanja odabranih tačaka na strukturnim elementima. Takva merenja, sprovedena tokom dužeg vremenskog perioda, omogućuju analizu i poređenje izmerenih veličina u različitim vremenskim intervalima. Razlike u izmerenim veličinama mogu da ukažu na određene promene koje su se desile u nekom delu strukture. Ove promene mogu nastati kao rezultat promena u samom materijalu, ili kao rezultat geometrijskih promena, ili jedno i drugo. Suština SHM metoda je u korišćenju dinamičkih svojstava struktura i njihovih elemenata za analizu stanja. Naime, strukture i njihovi delovi imaju mase i određene krutosti. S tim u vezi, postojanje inercijalnih i elastičnih elemenata obezbeđuje uslove za oscilatorna kretanja tačaka struktura, tj., odgovarajuće dinamičko ponašanje pod uticajem spoljašnjih dejstava. Spoljašnja dejstva se mogu ispoljavati na različite načine. Pored intenziteta spoljašnjih dejstava kao važnog parametra, isto tako je od značaja i način na koji se spoljašnja opterećenja razvijaju i menjaju tokom određenog vremenskog perioda. U smislu ponašanja tokom vremena, razlikuju se dejstva koja se sporo menjaju sa vremenom, kao i dejstva čija je promena tokom vremena jasno uočljiva. Uobičajeno je da se prvi, spor način promene tretira kao statičko ili kvazistatičko dejstvo, dok se

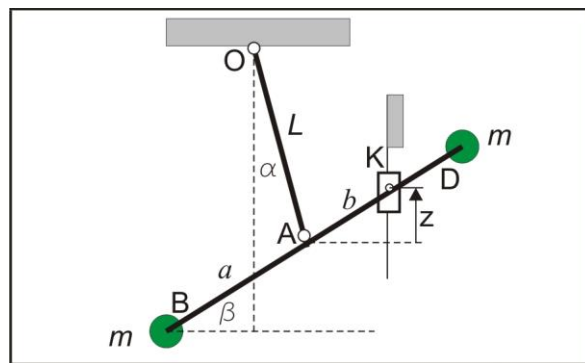
u drugom slučaju takva dejstva tretiraju kao dinamička. Kao važno svojstvo dinamičkih opterećenja može biti njihova ciklična promena sa vremenom i periodičnost ponavljanja. Ispitivanje ponašanja, tj., odziva konstrukcija pod takvim dinamičkim opterećenjem predstavlja važan segment savremenog pristupa analize stanja inženjerskih struktura. Merenje parametara dinamičkih opterećenja čije promene su reda veličine perioda struktura ili njihovih delova se danas izvode uobičajenim sredstvima dostupnim u komercijalnoj upotrebi. Takođe, analitičke i numeričke procedure i postupci su ovde relativno dobro razvijeni, bar što se tiče domena linearne funkcionalne zavisnosti između ulaza i odziva razmatranog sistema. Međutim, za razliku od takvih vrsta spoljašnjih opterećenja, postoje i takva spoljašnja opterećenja čija je promena u vremenu izuzetno spora. Takva dejstva mogu biti tretirana kao statička, što je ranije bio uobičajeni način njihovog tretiranja. Dodatno, i same strukture i njihovi elementi mogu ispoljavati ponašanje usled dejstva takvih opterećenja, takođe u domenu sporo promenljivih odziva. Signali koji su karakterisani velikim periodima, sa druge strane se karakterišu izuzetno niskim frekvencijama. Ovo niskofrekventno područje dinamičkog ponašanja konstrukcija je još uvek veoma malo izučeno. Još uvek postoji znatno manje naučnih studija u odnosu na područja „normalnih“ i višljih frekvencija. Ovde se pod „normalnim“ frekvencijama podrazumevaju frekvencije koje su reda veličine sopstvenih ili prirodnih frekvencija. Kao posledica toga, vrlo malo je ovo područje zastupljeno u svakodnevnoj inženjerskoj praksi. Kao jedan od bitnih razloga tome je i nedostatak adekvatne opreme i uređaja za detekciju i merenje signala u ovom

frekvencijskom režimu. Naprimjer, primena klasičnih akcelerometara i seizmometara čiji se rad zasniva na inercijalnoj masi ovde je u opštim slučajevima neadekvatna. Imajući u vidu ovo, kao i uočavanje da poznavanje ponašanja konstrukcija u niskofrekventnom području, može biti vrlo korisno, sve više se danas radi na proučavanju, konstruisanju i primeni odgovarajućih niskofrekventnih senzora i uređaja. Naime, smatra se da poznavanje dinamičkog ponašanja konstrukcija u ovom frekvencijskom režimu, predstavlja osnovu za poznavanje ponašanja konstrukcija kada budu izloženi dejstvu pobuda frekvencija u rangu sopstvenih ili višljih frekvencija. Na Univerzitetu u Salernu [1] intenzivno rade na razvijanju uređaja namenjenih ovom frekvencijskom području. Ovi uređaji – senzori, bazirani na mehanizmu koji je u literaturi poznat pod nazivom „Folded Pendulum Mechanism“ su u fazi prototipa i nose naziv UNISA folded pendulum. Autori smatraju da ovi senzori pružaju izuzetne mogućnosti merenja na infrastrukturnim objektima u oblasti niskih frekvencija. Nemački profesor Uwe Starosek je 2014 objavio rad [2] u kojem uvodi mehanizam zasnovan na modifikaciji fizičkog klatna. Analitička razmatranja su ukazala na mogućnost ostvarenja vrlo niskih sopstvenih frekvencija, značajno nižih od običnog fizičkog klatna. Ovaj uređaj je u fazi teorijskih razmatranja, a 2017 je prijavljen i patent [3]. Upravo, pomenuta dva mehanizma koja predstavljaju suštinu funkcionisanja pomenutih uređaja i senzora, će se opisati i razmotriti i u ovom radu. Prikazaće se osnove funkcionisanja jednog i drugog mehanizma, međusobno poređenje, kao i ukratko predstavljanje matematičkog modelovanja i njihova matematička analiza.

2. MEHANIČKI MODELI

2.1 Infra klatno (pendulum)

Ovaj mehanizam, koji u suštini predstavlja izvesno proširenje klasičnog fizičkog klatna je uveo prof Starosek [1]. Uočeno je da ovakav mehanizam ima izuzetno nisku sopstvenu frekvenciju, tako da na osnovu toga, kao i na osnovu negove osnovne veze sa klatnom, je i nastao ovaj naziv. Na Slici 1 je prikazan mehanički model ovakvog mehanizma.

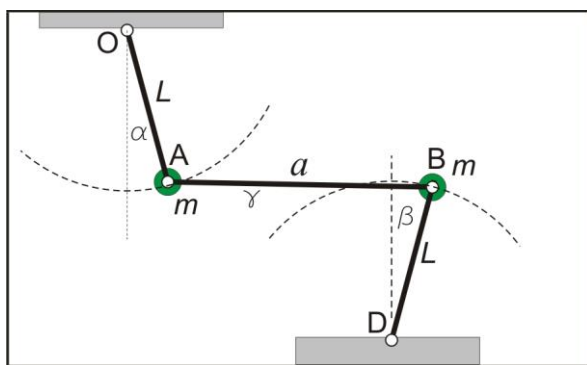


Sl. 1. Infra klatno

Mehanizam prikazan na Sl.1. se sastoji od: poluge OA dužine L koja je za podlogu vezana zglibno; linijskog elementa – štapa dužine $2a$, koji je u svom središtu vezan zglibno za kraj poluge OA; klizača K koji se može kretati po nepokretnoj vertikalnoj vodiči; dve jednake mase m koje su postavljene na kraju linijskog elementa BD. Rastojanje između kraja A i mesta na elementu BD gde je vezan klizač je b . Ovde je predstavljen slučaj kada je $b < a$, iako ovakav mehanizam može biti razmatran i za slučaj $a < b$. U ovom osnovnom modelu se pretpostavlja da su svi elementi mehanizma laki, osim masa koncentrisanih na kraju BD. Osobine prikazanog mehanizma se razmatraju i porede sa osobinama klasičnog klatna koji bi se sastojao samo od poluge OA i koncentrisane mase na kraju. Ono što odmah može biti uočeno je da za razliku od klasičnog klatna, poluga OA mehanizma predstavljenog na Sl.1. može da vrši kretanje samo na jednu (desnu) stranu u odnosu na ravnotežni položaj. Specifičnost ovog mehanizma je ta što je ravnotežni položaj za tačku A, ujedno i zaustavni položaj za nju. Ovo je mehanizam sa jednim stepenom slobode i za opisivanje njegovog kretanja je potrebna jedna generalisana koordinata. Na Sl.1. su označene koordinate α , β i z . Imajući u vidu da postoje kinematske veze između ovih koordinata, uvek se može se izabrati samo jedna od njih kao generalisane koordinate.

2.2 Mehanizam sa klasičnim i inverznim klatnom (Folded Pendulum mechanism - FPM)

Ovaj mehanizam, koji u sebi sadrži i klasično i inverzno klatno je prikazan na Sl.2.



Sl. 2. FP mehanizam

Mehanizam prikazan na Sl.2. se sastoji od poluge OA i DB, kao i linijskog elementa – štapa, AB. Ova tri elementa su međusobno vezana zglobo. Takođe, poluge OA i BD su za podlogu vezane zglobo. U ovom modelu se mase tri linijska elementa zanemaruju. Uzimaju se u obzir dve koncentrisane jednake mase u tački A, odnosno u tački B. Elementi OA i DB se jednake dužine L , dok je element AB dužine a .

3. MATEMATIČKO MODELOVANJE I MOGUĆNOSTI MATEMATIČKE ANALIZE

Oba predstavljen mehanizma imaju jedan stepen slobode kretanja. Međutim, eksplicitno predstavljanje kretanja u funkciji samo jedne koordinate nije nimalo lak posao. Problem je u pronalazanju i uspostavljanju veza između pojedinih koordinata. U slučaju FP mehanizma (Sl.2.), predstavljanje kretanja samo preko jedne koordinate je još uvek otvoreno pitanje. U slučaju IP (Sl.1), autor je pokazao da se izborom koordinate z kretanje može eksplicitno predstaviti samo preko ove koordinate. Koordinata z ove definiše relativno kretanje između tačke A i klizača.

Inače, u slučaju da se kretanje može eksplicitno predstaviti samo preko jedne koordinate, tada je moguće primenom Lagranževe jednačine druge vrste odrediti i diferencijalnu jednačinu kretanja. U slučaju IP, kao i uzimanjem u obzir malih oscilacija u okolini ravnotežnog položaja, pokazalo se [2] da je diferencijalna jednačina kretanja u odnosu na z koordinatu, nelinearna diferencijalna jednačina sa koordinatom z na treći stepen.

$$\ddot{z} + \zeta z^3 = 0 \quad (1)$$

gde je sa ζ označen odgovarajući konstantni koeficijent koji zavisi od parametara sistema [2]. Ovakva nelinearna diferencijalna jednačina ima tačna rešenja u formi Jakobijevih eliptičkih funkcija. [2]:

$$z(t) = sn(A, B) \quad (2)$$

Gde se uzima u obzir da su ovo funkcije od dva parametra.

Imajući eksplicitno rešenje za kretanje, dalja analiza ponašanja ovakvog mehanizma je značajno olakšana i omogućeno je razmatranje različitih fenomena ovakvog mehanizma u sklopu različitih uređaja i senzora.

U slučaju drugog mehanizma, FP (Sl.2), zbog nemogućnosti eksplicitnog predstavljanja položaja elemenata preko jedne koordinate, ne postoji mogućnost za primenu Lagranževe jednačine druge vrste i u skladu sa tim daljeg analitičkog razmatranja. Umesto toga, ovde su na raspolaganju Lagranževe jednačine prve vrste.

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial q_i} - \lambda_j \frac{\partial g_j}{\partial q_i} = 0, \quad (3)$$

U jednačini (3) je sa L označena Lagranževa funkcija, a q označava izabranu koordinatu. Tačka stoji za izvod po vremenu.

Kao što je poznato, one ne moraju biti pisane u funkciji generalisanih koordinata, već proizvoljnog broja koordinata, i gde su u jednačine uključeni Lagranževi množitelji, čiji broj odgovara broju potrebnih veza između uvedenih koordinata. Tako, naprimer u slučaju posmatranog mehanizma (Sl.2.) kao koordinate su usvojene Dekartove koordinate x_A, y_A, x_B i y_B . Budući da je broj stepeni slobode jedan, potrebno je uvesti tri dopunske jednačine na osnovu geometrijskih veza između koordinata. Sa ovim, za analizu mehanizma FP je formiran sistem algebarsko – diferencijalnih jednačina od četiri diferencijalne jednačine (4-7) i tri algebarske (8-10) [4].

$$m_1 \ddot{x}_1 = (G^T \cdot \lambda)_1 \quad (4)$$

$$m_1 \ddot{y}_1 = m_1 g + (G^T \cdot \lambda)_2 \quad (5)$$

$$m_1 \ddot{y}_1 = m_1 g + (G^T \cdot \lambda)_2 \quad (6)$$

$$m_2 \ddot{y}_2 = m_2 g + (G^T \cdot \lambda)_4 \quad (7)$$

$$g_1 = x_1(t)^2 + y_1(t)^2 - l_1^2 \quad (8)$$

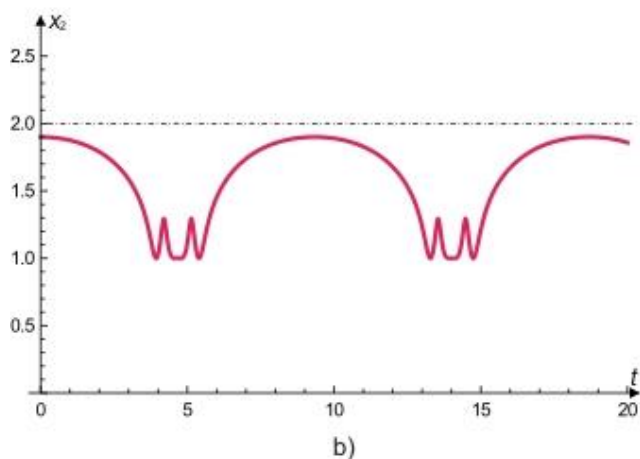
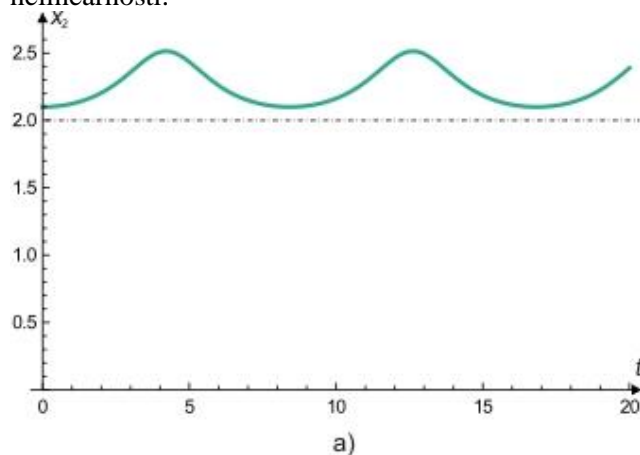
$$g_2 = (x_2(t) - x_1(t))^2 + (y_2(t) - y_1(t))^2 - l_3^2 \quad (9)$$

$$g_3 = [x_2(t) - l_3]^2 + [y_2(t) - (l_1 + l_2)]^2 - l_2^2 \quad (10)$$

U jednačinama (4-7) veličina G^T predstavlja transponovanu matricu G koja je jednaka

$$G = \frac{dg}{dp} \quad (11)$$

Analiza ovakvog sistema je moguća samo numerički, pogodno izabranim numeričkim postupkom. Na Sl. 3 su prikazana dva slučaja kretanja poluge OA. Kao što se vidi, radi se o periodičnom kretanju, ali ne po harmonijskom zakonu. Dijagrami ukazuju na postojanje velike nelinearnosti.



Sl. 3. Primeri kretanja elementa OA za dva različita sistema parametara

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu su prikazani mehanički modeli dva mehanizma koji se mogu primeniti u sklopu senzora za dijagnostiku i merenje vibracija niskih frekvencija. U tom cilju je iskorištena mogućnost ostvarenja niske sopstvene frekvencije oba predstavljena mehanizma. Kao važna karakteristika oba prikazana mehanizma je njihova relativna jednostavnost. Mali broj elemenata, kao i mali broj potrebnih veza između elemenata smanjuje međusobne interakcije, kao i ukupno prigušenje u samom mehanizmu. Ovo onda utiče

na povećanje same osetljivosti senzora u kojima su ovakvi mehanizmi ugrađeni, a što pored širokog frekventijskog opsega, predstavlja važnu meru kvaliteta nekog senzora. Mehanizam FP (Folded Pendulum Mechanism) je već našao implementaciju u senzoru koji je razvijen na Univerzitetu u Salernu i koji je trenutno poznat pod nazivom UNISA sensor. Smatra se da ovakav senzor može biti od velikog značaja prilikom monitoringa velikih infrastrukturnih objekata, ali i kod monitoringa objekata iz istorijskog nasleđa, na čemu istraživači iz Univerziteta u Salernu intenzivno rade. Mehanizam Infra pendulum je nedavno zaveden kao patent, i teorijska razmatranja ovog mehanizma su poslednjih nekoliko godina intenzivna. Pored njihove implementacije u sensorima niske frekvencije, ovi mehanizmi mogu biti korišćeni i u cilju vibro izolacija, gde se zahteva izolacija, tamo gde se zahtevaju sistemi niske sopstvene frekvencije.

Napomena

Ovaj rad je finansijski podržan od strane Fakulteta tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu, u sklopu Projekta br. 054/2018.

6. REFERENCE

- [1] Barone, F, Giordano, G.: *The UNISA folded pendulum: a very versatile class of low frequency high sensitive sensors*, Measurement, Volume 118, p.p. 339-347, March 2018.
- [2] Starossek, U.: *A low-frequency pendulum mechanism*, Mechanism and Machine Theory, Volume 83, p.p. 81-90, 2014.
- [3] Starossek, U.: Patent: [DE 10 2014 013 636 B4.](https://patents.google.com/patent/DE102014013636B4), 26.01.2017.
- [4] Rakarić, Z, Kovačić, I, Zuković, M.: *On the Dynamic behaviour of a Folded Pendulum Mechanism*, 25th International conference of Noise and Vibrations, Tara, 2016.

Autor: Vanr. prof. dr Zvonko Rakarić,
Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka,
Departman za Tehničku mehaniku, Trg Dositeja
Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381
21 485 22404 Fax: +381 21 454-495.

E-mail: zvonko@uns.ac.rs

Bijelić Z., Milanović, B., Bijelić, M., Bijelić, Ž.

UPRAVLJANJE INTEGRISANIM KVALITETOM SA ASPEKTA OPTIMIZACIJE INTEGRISANIH RAZVOJNIH PROMJENAMA

Rezime: U uslovima izuzetno dinamičnih promjena i uslovima veliki konkurencije u svim oblastima privređivanja, upravljanje kvalitetom se mora posmatrati sa aspekta upravljanja integrisanim razvojnim promjenama. Upravljanje kvalitetom je sastavni dio cjeline, odnosno sistema za upravljanje razvojnim promjenama. Razvojne promjene po karakteru mogu biti adaptivne pod uticajem okruženja ili proaktivne rezultat unutrašnjih osmišljenih razvojnih aktivnosti na bazi procjene budućih procesa u okruženju.

Cilj rada je da se primjenom naučnih metoda pokaže da se problem upravljanje integrisanim kvalitetom, kao jednom od ključnih komponenti razvoja, mora upravljati sa aspekta optimizacije integrisanih razvojnih promjena. Faktori razvoja više nisu međusobno nezavisne promjenljive, već su uzicajno isprepleteni. Ovakva situacija traži od nauke upravljačka rješenja koja će biti optimalna sa aspekta integrisanih kriterijuma vrednovanja, odnosno sa aspekta postavljenog numeričkog kriterijuma vrijednosti.

Ključne reči: Integrisani kvalitet, razvojne promjene, optimizacija, upravljanje

1. UVOD

Kvalitet privređivanja u svim ljudskim djelatnostima postao je dominantan faktor upravljanja. Kvalitet se ne može više posmatrati kao parcijalna preformansa nekog proizvoda ili usluge, već se mora posmatrati kao sistemsko pitanje. Ovdje se sistem posmatra sa aspekta opšte teorije sistema i kibernetike. Predmet naučno-istraživačkog posmatranja su integrisani tehničko-tehnološki, prirodno-biološki i organizacioni sistemi [1]. Danas u uslovima globalizacije, potpune otvorenosti okruženja privređivanja i uslovima savremenih informacionih sistema imamo sve veću isprepletenost uticaja sve većeg broja faktora na kvalitet privređivanja u svim društvenim djelatnostima. U ovako kompleksnoj upravljačkoj situaciji, znanje je postalo najvažniji resurs za efikasno upravljanje. Uspješno integrisano upravljanje kvalitetom podrazumijeva istovremeno uspješno upravljanje integrisanim znanjima. Multidisciplinarna znanja, odnosno integrisana upravljačka i tehnološka znanja moraju biti jedna sistemski cjelina.

2. OPŠTE NAPOMANE

2.1 Integrisani kvalitet

U literaturi postoji mnogo definicija za kvalite, a time i pojam integrisanog kvaliteta. Iz ugla teorije i prakse kvalitet bi se mogao definisati kao skup performansi nekog integrisanog sistema i procesa, s koje se mogu različito vrednovati u zavisnosti od toga ko vrednuje i kada vrednuje. Iz ovog se

nameće zaključak da kvalitet nije apsolutna kategorija, odnosno pojava, već relativna. Ovo iz razloga što kvalitet na kraju vrednuje korisnik, odnosno kupac proizvoda ili usluga [4]. Posmatrano sa aspekta hijerarhijskih sistema kvalitet je veoma složen hijerarhijski sistem. Integrisani kvalitet bi se mogao definisati kao cjelina u koju su integrisane sve komponente kvaliteta. Matematički posmatrano integrisani kvalitet je skup koji predstavlja uniju većeg broja skupova.

Upravljanje kvalitetom predstavlja skup aktivnost i akcija kojima se utiče na kvalitet proizvoda, rada i organizovanja [5].

Integrisani kvalitet se može posmatrati kao skup ulaznih elemenata u sistem ili kao skup izlaznih elemenata iz sistema kojim se upravlja (kibernetički sistem). U prvoj varijanti kvalitet posmatramo kao rezultat procesa kojim se integrisani elementi sa svojim kvalitetom transformišu u izlaz koju ima određene vrijednosne karakteristike. U drugoj varijanti integrisani kvalitet je skup izlaznih performansi nekog proizvoda ili usluga, odnosno procesa privređivanja.

Ako bilo koji sistem privređivanja posmatramo kao cjelinu, uvijek treba da je sistem (podsystem) upravljanja kvalitetom dio te cjeline. Svaki društveni, ekonomski, tehnološki, biološki i tehnički kibernetički sistem mora imati svoj sistem upravljanja kvalitetom koji je dio cjeline sistema kojim se upravlja.

Ako objekat upravljanja integrisanim kvalitetom označimo sa S, ciljeve upravljanja sa G, a skup ograničenja sa L, onda se matematički

model upravljanja može napisati u firmi upravljačkog zadatka S_e koji je određen sa trojnim skupom:

$$S_e = (S, G, L) \quad (1)$$

Relativno je lako preciznu definiciju upravljanja i napraviti matematičku formu. Međutim, izuzetno je teško odrediti smisao svakog od elemenata skupa, pogotovo sa aspekta matematičkog modeliranja [5].

2.2 Razvojne promjene

Promjene su ključni faktor razvoja u svim oblastima privređivanja u svim organizacionim sistemima na makro i mikro nivou. Promjene po prirodi stvaraju energiju, odnosno motivaciju za progres i veći životni standard. Za promjene se najčešće kaže da su postale determinanta uspjeha u životu pojedinačnih i kolektivnih entiteta. Mnogi autori promjenu definišu kao odstupanje od nekog stanja. Ovakva definicija promjenu više karakteriše kao negativnu nego pozitivnu vrijednost. Zato je promjenu najbolje posmatrati iz ugla matematike kao kretanje na osi (pravoj liniji) u pozitivnom ili negativnom smjeru, odnosno promjenu položaja sa pozitivnom i negativnom numeričkom mjerom. Neka je X_0 – pozicija prije promjene, X_1 – pozicija poslije promjene. Ako je $(X_1 - X_0) > 0$ imamo pozitivno (razvojno), a ako je $(X_1 - X_0) < 0$ negativno (krizno) vrijednosno stanje.

Ako je rezultat promjene korisnije, odnosno efikasnije i efektivnije stanje sistema ili procesa onda imamo razvojnu promjenu, u suprotnom imamo kriznu situaciju čiji ishod često može da bude katastrofalno stanje, stanje haosa i umiranja (nestanka) bilo da se radi o organizacionim, biološkim ili tehničkim sistemima. Sistemi koji u dužem vremenskom periodu imaju razvojni, odnosno rastući karakter su razvojni sistemi.[1]

Razvojne promjene su uvijek vezane za buduće vrijeme, zbog čega je upravljanje razvojnim promjenama izuzetno kompleksno i zahtjeva visok stepen upravljačkih i tehnoloških znanja i visok stepen odgovornosti ljudi koji projektuju razvojne promjene.

Na slici 1 data je grafička ilustracija razvojnog sistema. Sa slike se vidi da je osnovna karakteristika razvojnog sistema dinamičnost odnosno promena stanja sistema od S_1, S_2, \dots, S_k . Pored dinamičnosti razvojni sistem je otvoren prema okruženju i istim se mora upravljati, što znači da je razvojni sistem uvijek kibernetički. [2]

Rezultat razvojnih promjena vidljiv je uvijek u nekom manjem ili dužem vremenu u budućnosti, Zbog ove činjenice ljudi po prirodi svoga bića ne

vole da se bave razvojnim promjenama. Uspješnost razvojne promjene je funkcija većeg broja faktora u zavisnosti od samog karaktera promjene. Uspješnost promene zavisi od zavisi od energije, odnosno snage onog ko sprovedi promenu, zavisi od motivacije, zatim od otpora promjene, od stanja ambijenta, kriterijuma vrednovanja i slično. Svi navedene parcijalne komponente nisu u cjelosti nezavisne i međusobno su isprepletene. Uspješnost razvojne promjene (URP) kao zavisno promjenljive je funkcija većeg broja nezavisnih promjenljivih (X_i). Ključni faktori od kojih zavisi uspjeh razvojne promjene su:

1. Spoočnost (snaga) promjene $X_1(t)$,
2. Otpor prema promjenama $X_3(t)$,
3. Motivacija za promjene $X_4(t)$,
4. Uticaj okruženja na promjene $X_5(t)$,
5. Rizika promjene $X_6(t)$,
6. Brzina promjene $X_7(t)$ i
7. Ostalo $X_8(t)$.

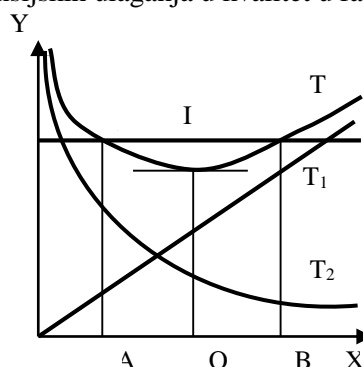
Analogno, može se inverzno iskazati i rizik razvojne promjene, jer sam rizik je često dovoljno pouzdana mjera pri projektovanju razvojnih promena. [1]

Svođenjem svih nezavisno promjenljivih $X_i(t)$ na jednu, primjenom fazi skupova i tehnoloških znanja vezano za konkretnu razvojnu promjenu, može se odrediti optimalna vrijednost uspjeha promjene u posmatranoj diskretnoj vremenskoj fazi.

2.3 Kvalitet i razvoj

Kvalitet i razvoj su u veoma jakoj korelaciji, Kvalitet se u najvećoj mjeri određuje u fazi razvoja ne samo tehničkih sistema (proizvoda), već i kod bioloških (ljudi) i organizaionih sistema.

Kao integrisana mjera kvaliteta može su uzeti nivo finansijskih ulaganja u kvalitet u fazi razvoja.



Sl. 1. Otimizacija kvaliteta sa aspekta ulaganja

Ako je stepen kvaliteta u fazi razvoja X , a ulaganje (troškovi) u kvaliteta Y problem možemo matematički modelirati na osnovu grafičkog prikaza datog na slici 1. Sa rastom kvaliteta u fazi razvoja rastu troškovi ulaganja u razvoj (T_1). Ako u fazi razvoja nije obezbjeđen zadovoljavajući nivo

kvaliteta, onda u fazama koje slijede moraćemo imati povećano ulaganje, odnosno troškove (T_2). Veći stepen kvaliteta u fazi razvoja (X) znači veći troškovi razvoja, ali manji troškovi u sljedećim životnim fazama. Ukupni troškovi biće zbir ove dvije vrste troškova.

$$T = T_1 + T_2 = aX^p + b / X^k \quad (2)$$

U formuli (2) a , b , p , m su konstante koje određuju karakter funkcije troškova u zavisnosti od stepena kvaliteta u fazi razvoja.

Primjenom diferencijalnog računa lako se određuje optimalni nivo kvaliteta sa aspekta kriterijuma ukupnog ulaganja u kvalitet.

3. SISTEMSKA ANALIZA STANJA

3.1 Jaz između nauke, obrazovanja i prakse

Problem nauke, obrazovanja i prakse u ovom radu se se posmatra za prostor Republike Srbije i Bosne i Hercegovine. Danas su rijetki naučni radnici koji su spremni da se kritički osvrću na stanje u nauci i obrazovanju. Za to postoji više razloga, Prvi razlog što su to obično stariji ljudi, a poznata je da stariji ljudi se teže upuštaju u promjene. Drugo je činjenica da naučni radnici imaju relativno zatovoljavajući materijalni status i nemaju motivaciju za razvojne promjene..

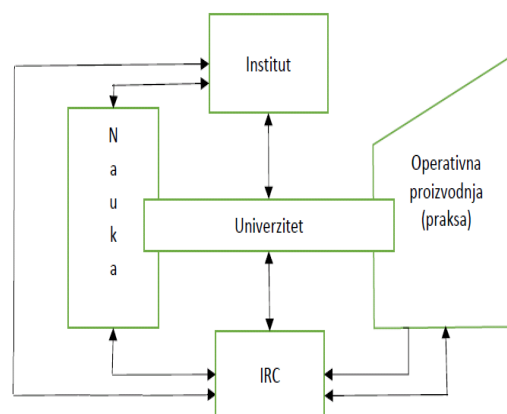
Zadatak teorijske nauke je prvenstveno da da odgovor šta je moguće, dok je zadatak primjenjene nauke i razvoja da da odgovor na koji način je moguće realizovati ono što je teoriska nauka utvrdila kao moguće. Ovo posljednje je tehnologija. Pored odgovora vezano za moguću tehnologiju, potrebno je uvijek dati odgovor i na pitanja kad je najbolje nešto realizovati i ko to može najefikasnije da realizuje. Na kraju za svaki razvojni projekat je ključno da se napravi systemska analiza mogućih efekata, a prije svaga sa aspekta ekonomije.

Sistem vrednovanja naučno-istraživačkog rada doveo je da paradoksa da je nauka postala isključivo sama sebi cilj. Sve manje je naučnih radova i projekata koji su u funkciji primjene u praksi, Pored sistema vrednovanja ovo je posljedica nestanka istraživačko razvojnih organizacija koje su bile veza između nauke i prakse, Istraživanja pokazuje da se mora ponovo uspostaviti neka inovirana organizaciona forma istraživačko razvojnih aktivnosti. Na slici 2 dat je jedan od mogućih modela

Danas imamo situaciju da praksa privređivanje pokazuje mali interes za uslugama nauke, jer su današnji privredni subjekti uglavnom kratkorošno orjentisani na profit, a ne dugoročno i razvojno na

kapital i rast. Naučni radnici sa univerziteta najčešće vrše transfer znanja koja se nameću iz razvijenih zemalja stavljajući se na taj način direktno u funkciju razvijenih zemalja i njihovih korporacije.

Ključni problem koji primjenjena nauka mora rješavati u praksi je problem efikasnog upravljanja brzim i intenzivnim razvojnim promjenam. Promjene u okruženju zahtjevaju od entiteta privređivanja intenzivne promjene u kratkom vremenu, a što nosi ogroman rizik.



Sl. 2. Organizacioni model u funkciji povezanosti nauke i prakse

3.2 Jaz između savremenog i tradicionalnog sistema upravljanja kvalitetom

Postojanje jaza između savremenog i tradicionalnog koncepta posmatranja i upravljanja kvalitetom može se lako uočiti ako se posmatraju strukture savremenog i tradicionalnog kvaliteta.

Osnovne karakteristike savremenog pristupa su:

1. Kvalitet je strateško i systemsko pitanje,
2. Visok kvalitet čedi novac,
3. Odgovornost kvaliteta je na svim zaposlenima (elementima sistema),
4. Cilj je stalno poboljšanje kvaliteta,
5. Kvalitet se mjeri sa nula (0) grešaka,
6. Naglasak na preventivnom djelovanju,
7. Kvalitet definiše kupac (korisnik).
8. Razvojno usmjeren na kraći rok i
9. Kvalitet upravljanja.

Osnovne karakteristike tradicionalnog pristupa su:

1. Kvalitet je tehničko pitanje,
2. Izrazito visok kvalitet troši novac,
3. Odgovornost na profesionalcima za kvalitet,
4. Cilj zadovoljiti projektovane preformanse,
5. Kvalitet se mjeri i iskazuje numerički,
6. Naglasak na otklanjanju grešaka,
7. Kvalitet definiše proizvođač i kupac,
8. Razvojno usmjeren na duži rok i
9. Upravljanje kvalitetom.

Analizirajući date karakteristike lako se uočava sistemski razlika u savremenom i tradivionalnom konceptu pristupa problemu kvaliteta. U uslovima globalizacije u svim sferama privređivanja, mora se praviti optimalna kombinacija navedenih karakteristika u svakoj situaciji. Nametanje savremenog koncepta je mehanizam upravljanja razvijenih siromašnima (razvijenih zemalja, korporacija i drugih entiteta siromašnim zemljama, korporacijama i drugim entitetima).

3.3 Jaz između apstraktnih i realnih sistema

Iz teorije sistema i kibernetike poznato je da su elementi sistema se uvijek moraju ponašati u funkciji cilja sistema. Sistem se projektuje tako da niži hijerarhijski nivoi su logistička podrška projektovanom cilju sistema [6]. Ako posmatramo realne sisteme, odnosno objekte za koje se postavljaju apstraktni sistemi, najčešće u formi raznih modela matematičkog ili nekog drugog opisnog oblika, dolazimo do spoznaje da ponašanje elemenata sistema kod organizacionih i bioloških sistema veoma često nije u funkciji osnovnog cilja sistema. [1]. U uslovima dinamičnih promjena privređivanja vezano za upravljanje sa aspekta kvaliteta ovaj problem je sve više izražen. Istraživanja pokazuju da se veoma često razni sistemi upravljanja kvalitetom projektuju formalno, jer se rijetko primjenjuju u praksi upravljanja kvalitetom. Rezultat toga da je kvalitet proizvoda i usluga upitan. Proizvodi u sebi često imaju ugrađene razne komponente koje ugrožavaju sigurnost potrošača prvenstveno sa zdravstvenog aspekta. Posljedice ovakvog ponašanja su razni destruktivni konflikti.

3.4 Model upravljanja integrisanim kvalitetom na bazi matematičke optimizacije

Uspješno upravljanje integrisanim kvalitetom sa aspekta upravljanja razvojnim promenama nije moguće bez primjene matematičkog modeliranja. Cilj svakog upravljanja sa aspekta razvoja je projektovanje optimalne razvojne putanje [6]. Projektovanje optimalna razvojne putanje odnosno optimalnih razvojnih promjena po strukturi, intenzitetu i brzini promene je izuzetno kompleksan matematički model i teško rješiv. U takvoj situaciji problem se može rješavati integracijom ulaza i izlaza razvojnog sistema u jednu zavisnu i jednu nezavisnu promjenljivu primjenom fazi skupova [1].

Ako se sve parcijalne komponente na ulazu sistema kvaliteta i sve vrijednosne parcijalne komponente izlaza sistema integrišu u jedan ulaz (X_k) i jedan izlaz (Y_k) onda se može uspostaviti matematička korelacija između integrisanog izlaza

i integrisanog ulaza sistema kvaliteta u formi:

$$Y_k = F(X_k) \quad (3)$$

Funkcija data izrazom (3) uvijek se može postaviti u formi neke matematičke funkcije polinomskog ili drugog oblika. Primjenom diferencijalnog računa jedne promjenljivie može se odrediti optimalno rješenje. Primjenom tehnike fazi skupova moguće je odrediti optimalno vrijeme diskretnih razvojnih promjena, a time i optimalni intenzitet i optimalnu brzinu promjene.

4. ZAKLJUČCI

Integrisani kvalitet proizvoda, usluga ili upšte privređivanja je jedna od najvažnijih faktora upravljanja integrisanim razvojnim promjenama. Uspješno upravljanje integrisanim kvalitetom sa aspekta optimizacije razvojnih promjena nije moguće bez primjene matematičkog modeliranja. Kvantitativnim iskazivanjem vrijednosti komponenti kvaliteta, primjenom fazi skupova, problem matematičke optimizacije kvaliteta sa aspekta razvojnih promjena se može svesti na funkciju sa jednom promjenljivom Za uspješno modeliranje i optimizaciju potrebna su multidisciplinarna i ekspertiska znanja integrisana u jednu sistemsku cjelinu.

5. REFERENCE

- [1] Bijelić, Z., Razvoj modela optimizacije upravljanja integrisanim razvojnim promjenama, Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, 2018.
- [2] Zelenović, D., Inteligentno privređivanje, Prometej, Novi Sad, 2011.
- [3] Bijelić, Z., Milanović, B., Bijelić, M., Razvoj integrisanih modela primjenom integrisane optimizacije u funkciji integrisanog kvaliteta, ETIKUM 2017 pp 9-12, Novi Sad, 2017.
- [4] Mitrović, Ž., Osnove integrisanog upravljanja kvalitetom proizvoda, Institut za unapređenje robnog prometa, Beograd, 1985.
- [5] Viner, N., Kibernetika, ICS, Beograd, 1975.
- [6] Petrović, R., Specijalne metode optimizacije sistema, Tehnička knjiga, Beograd, 1977.

Autori: Prof. dr Zdravko Bijelić, mr. Biljana Milanović, Mitar Bijelić i Željka Bijelić.
 Institut, LOGOS“ u osnivnju Novi Sad, Srbija.
 E-mail: bijeliczdravko51@gmail.com
 milanovicbiljana82@gmel.com

Bijelić Z., Milanović, B., Bijelić, M., Miletić, D.

**TRADICIONALNO I SAVREMENO SISTEMSKO UPRAVLJANJE KVALITETOM
SREDSTAVA NVO**

Rezime: *Proizvodi za vojne potrebe, a prvenstveno sredstva naoružanja i vojne opreme (NVO), u skladu sa standardima, moraju imati visok stepen pouzdanosti bezbjednosnih i funkcionalnih karakteristika kvaliteta za širok spektar promjenljivog ambijenta. Da bi bili zadovoljeni ovako visoki zahtjevi kvaliteta mora se procesima: razvoja, osvajanja, proizvodnje, skladištenja, održavanja i korišćenja upravljati na bazi posebnog sistema kvaliteta koji se koristi u proizvodnji sredstava NVO. Kompleksnost upravljanja kvalitetom sredstava NVO, zahtjeva visok stepen tehnoloških i upravljačkih znanja i odgovornosti od svih ljudi koji su dio sistema upravljanja proizvodnjom i upravljanja logistikom sredstava NVO.*

Istraživanja data u ovome radu, a koja su rezultat problema iz prakse, pokazuju da stanje ambijenta u kojem se vrši testiranje kvaliteta sredstava NVO, može dovesti do pogrešnog suda o statusu sredstva NVO sa aspekta kvaliteta. Ovaj problem se najčešće pojavljuje kod sredstava NVO koji se proizvode na bazi stranih razvojnih i tehnoloških rješenja.

Ključne reči: *integrisani kvalitet, razvojne promjene, optimizacija, upravljanje*

1. UVOD

Visok kvalitet proizvoda sredstava vojne industrije, odnosno sredstava naoružanja i vojne opreme (NVO) je najvažnija preformansa upravljanja u lancu od ideje pa do upotrebe. U spektru komponenti kvaliteta najbitnije su komponente pouzdanost sigurnosnih, odnosno bezbjednosnih funkcija i pouzdanost izvršne funkcije sredstava NVO. Pod bezbjednosnom komponentom se ovdje podrazumijeva bezbjednost ljudi i materijalnih sredstava u svim procesima kako razvojno proizvodnim, tako i procesima upotrebe u mirnodopskim i ratnim raznim uslovima. Pod izvršnom funkcijom podrazumijeva se projektovana tehnička funkcija koju sredstvo NVO treba da ima pri upotrebi. Ekonomska komponenta sa aspekta troškova je najčešće u drugom rangu vrednovanja. Međutim, ovo ne znači da se upravljanje razvojem, proizvodnjom i kvalitetom sredstava NVO sa aspekta ekonomije ne odvija na bazi efikasnih metoda upravljanja. Upravo obrnuto, jer je vojna industrija izuzetno profitabilna privredna grana na svjetskom tržištu, ista je istovremeno sve više izložena oštroj tržišnoj konkurenciji. U takvim uslovima pored tehničkog kvaliteta na svjetskom tržištu izuzetno važna komponenta konkurentnosti je i cijena sredstava NVO. Pored kvaliteta i cijene veoma bitan je marketing, lobiranje i dobri politički i ekonomski odnosi sa zemljama koje su kupcima sredstava NVO. Međutim, danas imamo stalni rast nelegalne trgovine sredstava NVO.

U vanrednim okolnostima proizvodnje sredstava NVO, prije svega ratnim, tradicionalni elementi kvaliteta se često drugačije vrednuju nego u mirnodopskim uslovima. Komponenta vrijeme je veoma često najbitnija, a komponenta sigurnost se veoma često stavlja u drugi plan. U ratnim sukobima je veoma važna komponenta zastrašivanje neprijatelja, a što se često može postići i sa sredstvima koja nemaju veliku pouzdanost bezbjednosne i izvršne komponente. Savremeno upravljanje sredstvima NVO podrazumijeva da se pri proizvodnji i upotrebi mora voditi računa i o faktoru zaštite životne sredine, a posebno na geografskim prostorima na kojima postoje istorijska kulturna dobra.

Rad ima originalan naučnistraživački karakter. Prvi cilj rada je da se na bazi primjenjenih multidisciplinarnih istraživanja, sprovedenih u praksi, pokaže kako ambijent testiranja kvaliteta sredstava NVO može da utiče na sud o stepenu kvaliteta proizvoda. Drugi cilj rada je da se primjenom naučnih metoda pokaže da je neophodna primjena modela optimizacije upravljanja integrisanim faktorima razvoja sistema upravljanja kvalitetom sredstava NVO. Rad je rezultat sinteze istraživanja sprovedenih prije tri decenije i originalnih modela upravljanja razvojnim promjenama u oblasti integrisanog upravljanja kvalitetom [1, 2, 3, 4, 5]. Postavljeni hipotezu u radu su potvrđene sa velikom vjerovatnoćom.

2. TRADICIONALNO UPRAVLJANJE KVALITETOM SREDSTAVA NVO

2.1 Pouzdanost mjera kvaliteta

Tehnički kvalitet sredstava NVO je najvažnija preformansa kvaliteta. U spektru komponenti tehničkog kvaliteta najbitnije su komponente pouzdanost sigurnosne, odnosno bezbjednosne funkcije i pouzdanost izvršne funkcije sredstava NVO. Sve aktivnost počev od istraživanja, razvoja, osvajanja, proizvodnje i sistema kontrole kvaliteta moraju biti u funkciji ostvarenja visoko projektovane sigurnosne pouzdanosti, a zatim i pouzdanosti izvršne funkcije. Da bi se postigle ovako projektovane preformanse kvaliteta sa aspekta pouzdanosti svi podsistemi, uređaju i komponente bilo kojeg sredstva NVO moraju imati visok nivo tehničkog kvaliteta i podliježu standardima kvaliteta sredstava za vojnu upotrebu. Zbog ove činjenice civilne kompanije zbog svoje poslovne filozofije kvaliteta privređivanja veoma teško mogu obezbijediti zahtjevani nivo kvaliteta gotovih sredstava NVO ili komponenti za proizvodnju sredstava NVO.

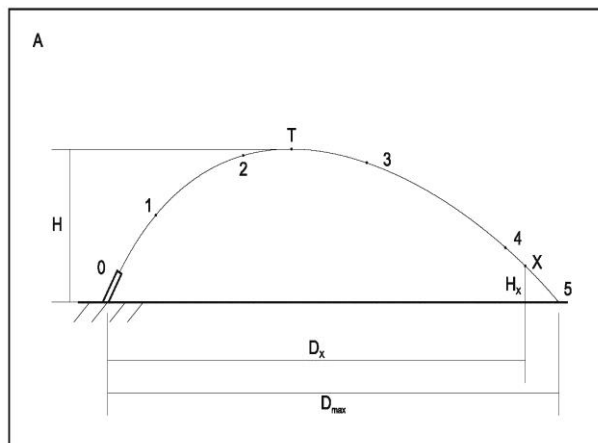
Današnji savremeni koncept kvaliteta po kojem su svi zaposleni odgovorni za kvalitet i gdje su svi zaposleni orjentisani na finansijski rezultat kompanije nije prihvatljiv za proizvodnju sredstava NVO. Kontrola kvaliteta u procesu razvoja, osvajanja i proizvodnje sredstava NVO mora biti totalno automan organizacioni dio i njihov kriterijum vrednovanja i ponašanja mora biti isključivo tehnički kvalitet. Takva kontrola kvaliteta je u cjelosti odgovorna za kvalitet. Eventualni finansijski problemi u kompanijama, ne smiju da utiču na odstupanje od projektovane tehnologije kontrole kvaliteta i na vrednovanje samog stepena kvaliteta. [2, 4, 6, 7, 8, 9]

2.2 Primjer iz prakse

Bivši poslovni sistem „Rudi Čajavec, Banja Luka i kompanija „Slavko Rodić“ Bugojno proizvodili su blizinske upaljače za minobacačku i artiljerijsku municiju. Blizinski upaljač radi na bazi iz fizike poznatog Doplerovog principa. Profesionalna elektronika iz Banja Luke radi je upravljački elektronski sklop, a „Slavko Rodić“ Bugojno: mehanički mehanizam za osiguranje, izvor za napajanje električnom energijom (turbina), antenske prstenove sa kućištem i integraciju upaljača.

Karakter proizvodnje sa aspekta serijlnosti bio je velikoserijski. Zbog ove činjenice i razvojne politike u bivšoj Jugoslaviji, proizvodnja elektronskog upravljačkog sklopa prenešena je na lokacije jedne od izrazito nerazvijenih opština. Uspješno je osvojena proizvodnja sa visokom

ocjenom osposobljenosti za proizvodnju sredstava NVO za bivšu JNA. Odnosi i saradnja između učesnika u zajedničkoj proizvodnji bila je na visokom nivou. Upaljači su se najvećim dijelom proizvodili za izvoz i obezbjeđivali su visoke finansijske rezultate.



Sl. 1. Putanja mine i granate

U jednoj periodu tokom 1985. godine pri ispitivanju kvaliteta proizvoda u realnim uslovima na poligonu Prevlaka počeli su se pojavljivati problemi kvaliteta sa aspekta smanjena pouzdanosti sigurnosne i izvršne funkcije. Na uzlaznom dijelu putanje (slika 1) počele su se pojavljivati povremeno prerane eksplozije (putanja od tačke 1 do 2) i učestalije rane eksplozije (putanja tačka 2 do 3). Optimalna visina eksplozije je tačka 4, a dozvoljeno rasipanje na dijelu putanje od tačke 3 do tačke 5. Dozvoljeno rasipanje je projektovano primjenom statističkih metoda [12]. Pored problema ranih eksplozija ni statističko rasipanje ispravnih pojedinačnih eksplozija nije zadovoljavalo kriterijum kumulativnog kvaliteta uzorka. Korišćena metoda ispitivanja na uzorku je destruktivna metoda kojom se upaljači uništavaju eksplozijom minobacačke mine ili artiljerijske granate pri ispitivanju kvaliteta. Ovo onemogućava bilo kakvo posmatranje i analizu neispravnih upaljača u uzorku ispitivanja, odnosno eksperimenta.

U cilju utvrđivanja uzroka nezadovoljavajućeg kvaliteta upaljača formirani su ekspertski timovi čiji zadatak je bio da se izvrši analiza proizvodnog procesa svih učesnika u procesu proizvodnje upaljača. Proces istraživanja analize proizvodnog procesa je bio jako kompleksan jer se upaljač sastoji od nekoliko stotina elektronskih i hemijskih komponenti i mašinskih pozicija. Sa aspekta upravljanja poznato je da složenost upravljanja je funkcija matematičkog faktorijala broja elemenata. [2, 6]. Poseban problem bio je činjenica da se upaljač proizvodio u dva potpuno

odvojena poslovna sistema. U takvoj situaciji proces istraživanja su neminovno pratili konflikti između učesnika na proizvodnji upaljača i koperanata koji su proizvodili elektronske komponente i sirovinske mašinske i hemijske materijale. Svi su pokušavali da nađu problem kod drugog, a ne da se otkrije eventualna devijacija u sopstvenom procesu proizvodnje. Ključna analiza je bila usmjerena na kontrolno ispitne operacije. Istraživačka analiza proizvodno tehnoloških procesa i dodatna ispitivanja kvaliteta ulaznih komponenti i dijelova dovela su do saznanja da nizak nivo kvaliteta nije posljedica stanja sistema proizvodnje [13]. U takvoj situaciji poslije dužeg ubjeđivanja vojnih struktura (kupca) izvršena su ispitivanja na poligonu Manjača i Nikinci. Neočekivano, rezultati su bili na zadovoljavajućem nivou prema pravilima ispitivanja kvaliteta (PKP). Poslije toga sumnja je stavljena na elektronske smetnje unutrašnje prirode i elektronska ometanja sa strane na poligonu Prevlaka. Poslije ponovljenih ispitivanja na poligonu Prevlaka problem je riješen spontano zahvaljujući multidisciplinarnim znanjima kordinatora istraživanja. Došlo se do spoznaje da je problem termodinamičke prirode, a ne lošeg kvaliteta u procesu proizvodnje i lošeg kvaliteta sklopova i komponenti upaljača. Sumnja na eventualne elektromagnetne smetnje su se takođe pokazale kao netačna. [12,14]

Problem koji je izazivao prerane i rane eksplozije bio je rezultat rose koja se stvarala unutar upaljača, jer su ispitivanja vršena ujutru veoma rano kad je povećana magla i koncentracija vlage u vazduhu iznad površine mora.

Prva naučna spoznaja iz ovog eksperimentalnog istraživanja je to da vema često i ambijent eksperimentalnog ispitivanja može dovesti do pogrešnog zaključka o kvalitetu ne samo sredstava NVO, već i drugih proizvoda.

Naučna spoznaja ovih istraživanja da se danas složeni istraživački problemi ne mogu rješavati bez primjene multidisciplinarnih znanja i ljudi koji posjeduju takva znanja.

3. SISTEMSKI ASPEKTI UPRAVLJANJA KVALITETOM SREDSTAVA NVO

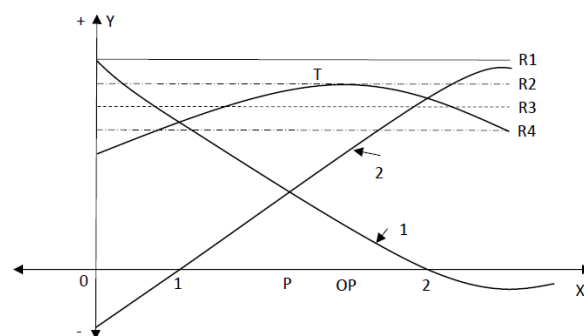
3.1 Savremeni pristup

Savremeni i tradicionalni pristup upravljanja kvalitetom sredstava NVO na prvo mjesto stavlja pouzdanost bezbjednosne komponente kvaliteta proizvoda. Razlika je u tome, što tradicionalni sistem vrijednosti bezbjednosne komponente je u suštini sistem zaštite na radu proizvođača i korisnika sredstava NVO. Savremeni sistem vrijednosti, po međunarodnim standardima podrazumijeva da sredstva NVO poslije korišćenja

ne smiju imati negativan bezbjednosni uticaj na životnu sredinu geografskog prostora na kojem se koriste sredstva NVO. U takvom sistemu bezbjednosti poseban akcenat u međunarodnim pravilima ratovanja ima segment zaštite objekata i druge imovine kulturne vrijednosti. Ovakav pristup, učesnike u razvojnim i proizvodnim aktivnostima sredstava NVO, dovodi u situaciju da prilikom svojih aktivnosti moraju voditi računa o etičkim normama mogućih posledica upotrebe sredstava sredstava NVO. Međutim, danas su savremeni ratni sukobi najčešće sukobi lokalnog karaktera, gdje često obe sukobljene strane koriste sredstva NVO istog proizvođača. Često imamo situaciju da se programirano koriste sredstva koja ugrožavaju prirodni geografski prostor i uništavanje objekata kulturno historijske vrijednosti.[13, 15]

3.2 Matematička optimizacija upravljanja kvalitetom sredstava NVO

Rješavanje kompleksnosti upravljanja integrisanim kvalitetom sredstava NVO nije moguće bez primene tehnologije matematičkog modeliranja.



Sl. 3. Grafički prikaz matematičkog modela optimizacije stepena integrisanosti tradicionalnih i savremenih vrijednosti upravljanja kvalitetom [2]. (X-Stepen integrisanosti, Y- Efikasnost upravljanja kvalitetom, R- Ograničenja, kriva 1 i 2 skup integrisanih faktora smanjenja i povećanja integrisanog kvaliteta)

Matematički modeli omogućuju da se na bazi projektovanja vrijednosne hijerarhije elemenata sistema kvaliteta može postaviti sistemski model u kojem su svi elementi koji određuju kvalitet integrisani u jedan ili više integrisanih ulaza (X) u sistemu kvaliteta. Istovremeno se na isti način vrijednosti (preformanse) kvaliteta gotovog proizvoda integrišu u jedan ili više integrisanih izlaza (Y). Na slici 3 prikazana je opšta grafička matematička na bazi kojih je moguće projektovati optimalno upravljanje kvalitetom.[2, 7, 8, 10, 11]

5. ISTRAŽIVANJA

Naučnoistraživački problem kojim je predmet ovog rada je upravljanje integrisanim faktorima promjene kvaliteta sredstava NVO sa aspekta uticaja eksperimentalnog ambijenta. Prvi cilj rada je da se na bazi primjenjenih multidisciplinarnih istraživanja, sprovedenih u praksi, pokaže kako ambijent testiranja kvaliteta sredstava NVO može da utiče na sud o stepenu kvaliteta proizvoda. Drugi cilj rada je da se primjenom naučnih metoda pokaže da je neophodna primjena modela optimizacije upravljanja integrisanim faktorima razvoja sistema upravljanja kvalitetom sredstava NVO. Postavljeni ciljevi su u cjelosti ostvareni.

U radu su postavljene sljedeće istraživačke hipoteze:

1. Osnovna hipoteza:

Ambijent eksperimentalnih ispitivanja može dovesti do pogrešne ocjene stepena kvaliteta sredstava NVO.

2. Dodatne hipoteze:

Može se uspješno matematički modelirati upravljanje faktorima kvaliteta u cilju optimizacije stepena integrisanosti razvojnih faktora kvaliteta.

3. Posebna hipoteza:

Za uspješno matematičko modeliranje i integrisano eksperimentalno ispitivanje kvaliteta sredstava NVO potrebna su multidisciplinarna tehnološka i upravljačka znanja.

Sve postavljene hipoteze su potvrđene sa velikom vjerovatnoćom.

U radu su korišćenje sljedeće metode naučnoistraživačkog rada: analiza i sinteza, matematičko modeliranje optimizacije, komparativno posmatranje, indukcija i dedukcija i metod logičkog zaključivanja

Potrebno je nastaviti sa daljim istraživanjima, a prije svega sa primjenom matematičkog modeliranja u praksi upravljanja kvalitetom sredstava NVO.

6. ZAKLJUČAK

Istraživanja na bazi kojih je nastao ovaj rad pokazuju da stanje ambijenta eksperimentalnih istraživanja može dovesti do pogrešnog suda o kvalitetu sredstva NVO. Ova pojava je se najčešće manifestuje kod ispitivanja sredstava koja se osvajaju i proizvode na bazi licenci odnosno stranih tehnologija.

Za uspješno upravljanje kvalitetom sredstava NVO u uslovima povećane složenosti upravljanja potrebno je primjenjivati matematičko modeliranje faktora integrisanog kvaliteta. prvenstveno za upravljanje kvalitetom sa aspekta pouzdanosti bezbjednosne funkcije.

7. REFERENCE

- [1] Bijelić, Z., Milanović, B., Miletić., Development of mathematical model for optimal management of technological development changes, MMA 2018, pp 297-300. Novi sad, 2018.
- [2] Bijelić, Z., Razvoj modela optimizacije upravljanja integrisanim razvojnim promjenama, Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, 2018.
- [3] Bijelić, Z., Model ispitivanja pouzdanosti uređaja koji se koriste jednokratno, IS'90, Zbornik radova, strana 457-460, Novi Sad, 1990.
- [4] Bijelić, Z., Optimizacija automatizovanosti testiranja elektronskih uređaja, IS'90, Zbornik radova, strana 23-27, Novi Sad, 1990.
- [5] Bijelić, Z., Milanović, B., Bijelić, M., Razvoj integrisanih modela primjenom integrisane optimizacije u funkciji integrisanog kvaliteta, ETIKUM 2017 pp 9-12, Novi Sad, 2017.
- [6] Zelenović, D., Inteligentno privređivanje, Prometej, Novi Sad, 2011.
- [7] Bijelić, Z., Cvijić, M., Own production technology as a key out of poverty, Conference Capitalism in transition 2012, Zbornik radova, pp181-190, Beograd, 2012.
- [8] Bijelić, Z., Matematičko modeliranje razvoja poslovnih sistema i procesa, MASTA 2017, Zbornik radova, strana 83-90. Banja Luka, 2014.
- [9] Mitrović, Ž., Osnove integrisanog upravljanja kvalitetom proizvoda, Institut za unapređenje robnog prometa, Beograd, 1985.
- [10] Petrović, R., Specijelne metode optimizacije sistema, Tehnička knjiga, Beograd, 1976.
- [11] Stanić, J., Uvod u teoriju tehn-ekonomske optimizacije, Mašinski fakultet, Beograd..
- [12] Maynard, N. B., Industrijski inženjering I, II, III i IV, Privredni pregled, Beograd, 1984.
- [13] Patrinoić, J., Priručnik za međunarodno ratno pravo, Vojnoizdavački zavod, Beograd.
- [14] Bijelić, Z. i dr., Projekat istraživanje preranih i ranih eksplozija na MES sa blizinskim upaljačem, Banja Luka, 1985.
- [15] Bijelić, Z. i dr., Projekat „Livnica eksploziva u ratnim okolnostima“ Banja Luka, 1993.

Autori: Prof. dr Zdravko Bijelić, mr. Biljana Milanović, Mitar Bijelić i dr Dragan Miletić.
Institut, LOGOS“ u osnivnju Novi Sad, Srbija.
E-mail: bijelijczdravko51@gmail.com
milanovicbiljana82@gmel.com

Matin, I., Vukelić, Đ., Hadžistević, M., Štrbac, B., Santoši, Ž., Šokac, M., Kulundžić, N.

RAČUNAROM PODRŽAN INTEGRISAN PRISTUP PARAMETARSKOM PROJEKTOVANJU PLASTIČNOG PROIZVODA I ALATA

Rezime: U radu je predstavljen integrisan pristup u projektovanju plastičnog proizvoda primenom reverzibilnog inženjerstva (RE), re-inženjering-a (ReE) i sistema za projektovanje proizvoda i alata. Integracija RE sa ReE ima za cilj smanjenje vremena projektovanja i izrade plastičnog proizvoda.

Ključne reči: reverzibilno inženjersko modeliranje, re-inženjering, projektovanje alata

1. UVOD

Rekonstrukcija digitalnih geometrijskih modela fizičkih objekata, je intenzivno proučavana tokom poslednjih godina, zahvaljujući razvoju i širenju tehnologija 3D skeniranja i povećanju broja upotrebljivih aplikacija [1-9]. Reverzibilno inženjerstvo (RE) eksploatiše 3D podatke, stečene na fizičkom objektu i opisuje njegove površine kao polaznu osnovu za dalju rekonstrukciju [2,3,10-11,25-26].

Paulič i dr. [1] i Brajliah i dr. [12] su predstavili metod akvizicije podataka na osnovu fizičkog objekta. Ovaj metod RE modeliranja je veoma popularan u industriji. Sastoji se od dobijanja virtualnog CAD modela primenom optičke 3D digitalizacije primenom razvijenog softvera. Autori mogu definisati, popraviti i orijentisati poligonalnu mrežu. Na geometrijski složenom obliku objekta, autori su predstavili opštu proceduru za stvaranje solid modela primenom programskog sistema SolidWorks-a. RE je upotrebljen da bi se formirao CAD model, koji predstavlja osnovu za stvaranje novog modela sa modifikovanom geometrijom i poboljšanim mehaničkim karakteristikama.

Mnoga istraživanja su se bavila re-inženjeringom (ReE) proizvoda i proizvodnog procesa sa ciljem poboljšanja geometrijskih specifikacija, mehaničkih i tehnoloških svojstava proizvoda. Chang i dr. [13,14] su predložili integrisani pristup testiranja komponenata i sklopova. Autori su prikazali adekvatne topološke i geometrijske karakteristike proizvoda u optimalnim granicama koje su neophodne za dalje testiranje svojstava proizvoda i procesa izrade. Garcia i dr. [15] primenjuju metodu konačnih elemenata (MKE) i algoritam za projektovanje oblika proizvoda kako bi smanjili napon pritiska, napon smicanja, i masu projektovanog proizvoda. Autori su upotrebili

CAD i CAE kako bi unapredili neadekvatan dizajn proizvoda.

RE i ReE se upotrebljavaju za sistematsku procenu proizvoda u svrhu njegove rekonstrukcije, što podrazumeva i generisanje direktne kopije proizvoda u slučajevima kada ne postoji konstrukciona i tehnološka dokumentacija. Oblast RE je prepoznata kao bitan korak u procesu razvoja proizvoda. Primene ReE uključuju između ostalog i regeneraciju oštećenog ili slomljenog proizvoda i projektovanje novog simulacionog modela [3,10,11,16].

Mnoge studije ukazuju na mogućnost integracije RE i brze izrade prototipa za stvaranje savremenog dizajna proizvoda [3-6, 9-22-24].

Na osnovu predhodnih istraživanja i uočenih problema i nedostataka, postavljen je za cilj ovog istraživanja razvoj integrisanog sistema za rekonstrukciju plastičnih proizvoda. Centralni segment u ovom pristupu predstavlja kombinovanje RE, ReE i projektovanja alata. Svrha je stvaranje novog proizvoda geometrijski sličanog postojećem sa unapređenim eksploatacionim osobinama. Sledeći bitan segment je priprema tačnog CAD/CAE modela rekonstruisanog dela koji je neophodan kod projektovanja alata za injekciono presovanje plastike. RE podrazumeva sekvencijalni razvoj diskretnog modela za prikupljanje podataka, obradu i faze predloga za promenu podataka. To uključuje fizički objekat, oblak tačaka, poligonalni model, površinski model i digitalizovani parametarski CAD model. Radni proces ReE podrazumeva razvoj diskretnog modela za detekciju regiona sa visokim vrednostima napona smicanja.

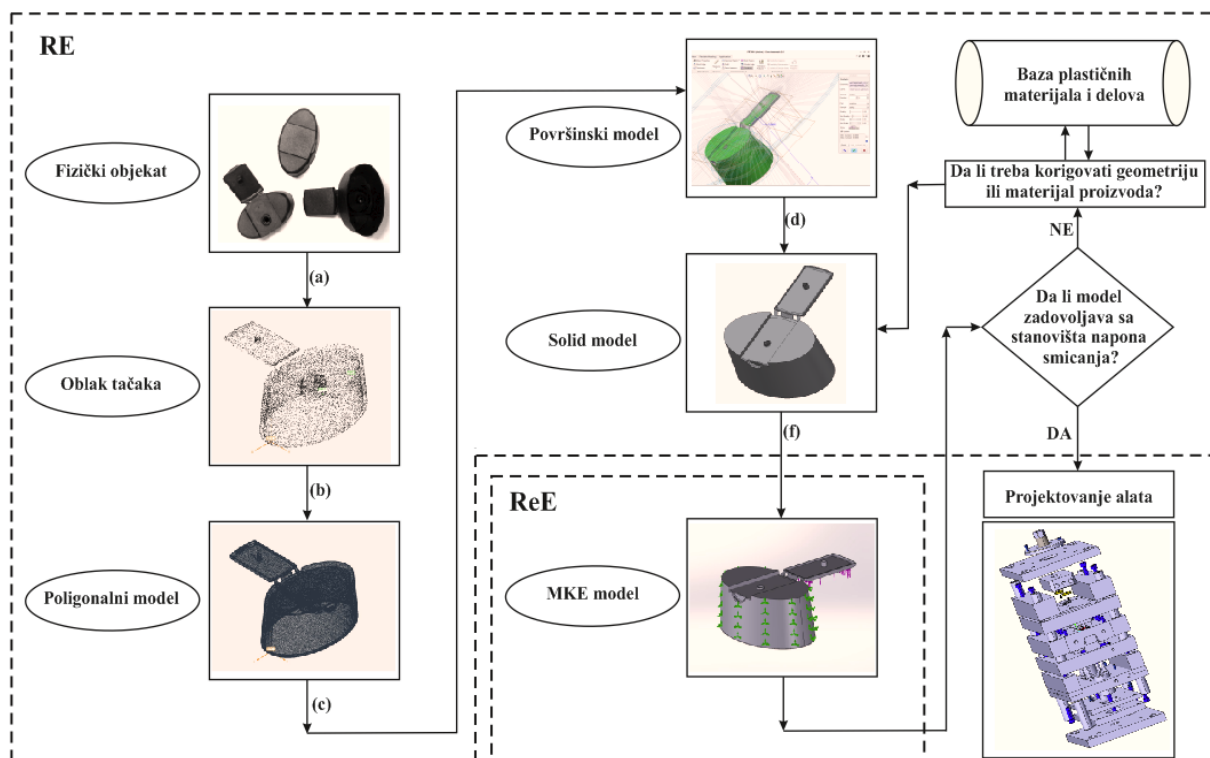
2. METODOLOGIJA

Integrisani tok (RE i ReE) projektovanja je prikazan modelom na sl. 1. Geometriju oštećenog dela, odnosno fizičkog objekta treba korigovati,

kako bi se poboljšala funkcionalnost i prevazišli nedostaci u postojećem dizajnu. Fizički objekat, koji se koristi u ovoj studiji slučaja, je deformisani poklopac gela za tuširanje, koji u upotrebi nije imao zadovoljavajuće mehaničke osobine. Napon smicanja i površinskog pritiska koji se ostvaruje prilikom otvaranja i zatvaranja poklopca prevazilazi vrednosti dozvoljenih napona u materijalu. Neadekvatna geometrija šarki i

poklopca je generisala značajnu koncentraciju napona, koja izaziva inicijalne prsline. Usled brzo nastupajućeg zamora materijala posle samo nekoliko otvaranja poklopca dolazilo je do jasno vidljivih deformacija i loma.

Optički skener za 3D digitalizaciju Atos Triple Scan je upotrebljen za digitalizaciju fizičkog objekta u oblak tačaka metodom trostrukog skeniranja.



Legenda: (a) Akvizicija podataka; (b) spajanje oblaka tačaka; (c) popunjavanje praznina; (d) solidifikacija; (f) generisanje poligonalnog modela

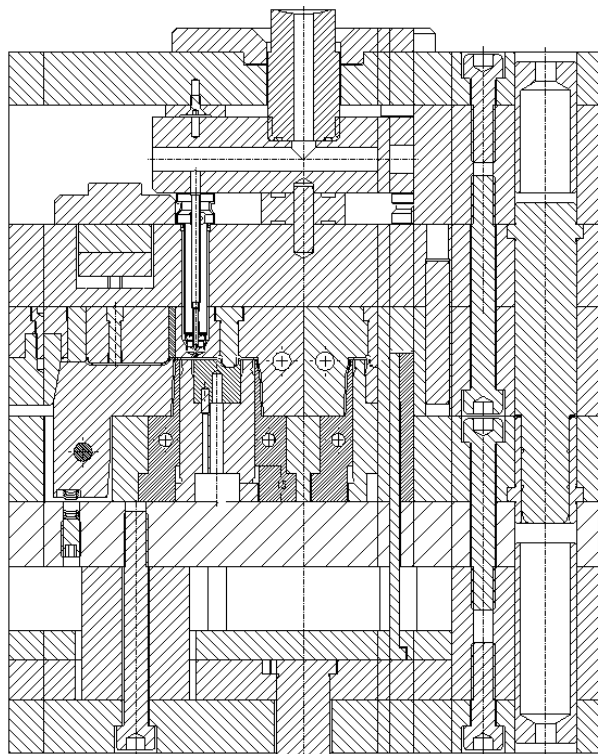
Sl.1 Integrisani tok projektovanja plastičnog proizvoda

Nakon skeniranja, akvizicije podataka, modeliranja površine i konvencionalnog solid modeliranja, model je spreman za upisivanje tetraedara i definisanje presečnih tačaka (nodula) poligonalne mreže. Metoda konačnih elemenata se generiše u programskom sistemu Pro/Mechanica, sa ciljem ispitivanja napona smicanja i površinskog pritiska. S obzirom na visoke vrednosti napona smicanja na 3D modelu se vrši korekcija geometrije i promena materijala. Tako korigovan ReE dizajn modela se testira sa stanovišta injektionog presovanja numeričkom simulacijom primenom Pro/Plastic Advisor-a. Nakon tog se određuju parametri presovanja i hlađenja, koji predstavljaju osnovu za konstrukciju alata. Faze RE i ReE su: prikupljanje podataka, generisanje oblaka tačaka, rekonstrukcija poligonalnog 3D modela i popunjavanje praznina, i simulacije napona smicanja. Poligonalni 3D model se unosi u softver

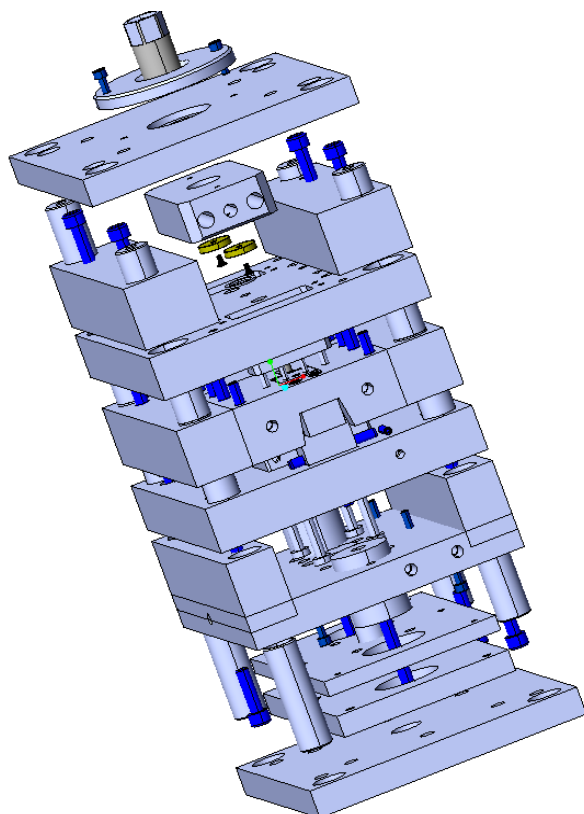
za simulaciju injektionog presovanja, bez gubitka semantike i topoloških informacija. Solid model se unosi u Pro/MoldDesign radi generisanja alatne šupljine u formi inverznog solida. Osnovni parametri injektionog presovanja određeni simulacijom su: dužina tečenja, položaj ulivne pozicije, temperatura alata, temperatura topljenja plastične mase, pritisak ubrizgavanja, maksimalni pritisak ubrizgavalice, vreme hlađenja, vreme izbacivanja i dr. Nakon simulacije odabrano je jedinjenje sastavljeno od 66% ABS i 33% PP.

PTC Creo se koristi za modeliranje jezgra, alatne šupljine kokile i ostalih pripadajućih delova alata. Dimenzionisanje alata sa potrebnim proračunima sa vrši u specijalizovanom sistemu SAPA. Tehnički crtež alata za injektiono presovanje poklopca gela za tuširanje je prikazan na slici 2., a 3D model alata na slici 3. Alat se sastoji iz standardnih ploča (Meusburger i HASCO) i specijalnih ploča sopstvene

proizvodnje. Hlađenje alata je rešeno U-rasporedom kanala kružnog poprečnog preseka. Sredstvo za hlađenje je jedinjenje sastavljeno iz 75% vode i 25% etil glikola. Alat obezbeđuje automatsko odvajanje ulivnog podsistema prilikom izbacivanja otpreska.



Sl. 2. Presek alata za injeksiono presovanje



Sl. 3. 3D Model sklopa alata

3. ZAKLJUČAK

Predstavljani integrisani metod RE i ReE je zadovoljio postavljene zahteve u smislu poboljšanja eksploatacionih i estetskih karakteristike proizvoda. Cilj ovog istraživanja je bio projektovanje i proizvodnja odgovarajućeg proizvoda sa prihvatljivom geometrijom i ostalim karakteristikama. Opisani proces modeliranja je parametarski objektno orijentisan i zasnovan je na tipskim oblicima.

Integracija RE, ReE i projektovanja alata se pokazala kao pogodna i podobna u postizanju agilnih karakteristika savremenog dizajna proizvoda i tehnologije njegove izrade. RE i CAD sistemi bili su ključni za razvoj parametarskog CAD modela, koji se nakon toga testirao primenom MKE na površinski pritisak i napon smicanja. Simulacija naponskog stanja uslovlila je promenu geometrije i materijala proizvoda. Smanjeno je vreme projektovanja i izrade alata.

Buduće istraživanje u oblasti ReE će biti usmereno na dalju optimizaciju mehaničkih karakteristika proizvoda, kako bi se smanjila njegova masa. U razvijenu metodologiju se može integrisati i inspekcija fizičkog i CAD modela primenom softvera GOM Inspect. Buduća istraživanja se takođe mogu usmeriti i na druge metode 3D digitalizacije (fotogrametrijsku metodu i sl.).

4. REFERENCE

- [1] Paulic, M., Irgolic, T., Balic, J., Cus, F., Cupar, A., Brajliah, T., Drstvensek, I.: *Reverse Engineering of Parts with Optical Scanning and Additive Manufacturing*, Proceeding of 24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, Procedia Engineering, Vol. 69, pp. 795-803, 2014.
- [2] Matin, I., Hadzistević, M., Hodolic, J., Vukelic, D., Markovic, D., Potran, M., Puskar, T.: *Reconstruction of the dental CAD model*, Proceeding of 11th International scientific conference on flexible technologies - MMA, pp. 501-504, Novi Sad, 20-21 September 2012.
- [3] Fahraz, A., Chowdary, B.V., Gonzales, L.: *An integrated design approach for rapid product development: A case study through application of reverse engineering, re-engineering and fast prototyping tools*, Journal of Engineering, Design and Technology, Vol. 11, Issue: 2, pp. 178-189, 2013.
- [4] Buonamici, F., Carfagni, M., Furferi, R., Governi, L., Lapini, A., Volpe, F.: *Reverse engineering of mechanical parts: A template-based approach*, Journal of Computational Design and Engineering, Vol. 5, pp. 145-159, 2018.
- [5] Solaberrieta, E., Minguez, R., Barrenetxea, L., Sierra, E., Etxaniz, O.: *Computer-aided dental*

- prostheses construction using reverse engineering*, Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, Vol. 17, pp. 1335-1346, 2014.
- [6] Varady, T., Martin, R., Cox, J.: *Reverse engineering of geometric models - an introduction*. Computer-Aided Design, Vol. 29, pp. 255-268, 2007.
- [7] Voicu, A., Gheorghe, I.G., Badita, L.L., Cirstoiu, A.: *3D Measuring of complex automotive parts by multiple laser scanning*, Applied Mechanics and Materials, Vol. 371, pp. 519-523, 2013.
- [8] Wang, J., Gu, D., Gao, Z., Yu, Z., Tan, C., Zhou, L.: *Feature-based solid model reconstruction*, Journal of Computing and Information Science in Engineering, Vol. 13, pp. 211-223, 2013.
- [9] Wang, J., Gu, D., Yu, Z., Tan, C., Zhou, L.: *A framework for 3D model reconstruction in reverse engineering*, Computers and Industrial Engineering, Vol. 63, pp. 1189-1200, 2012.
- [10] Chowdary, B.V., De Noon, A., Ali, F., Imbert, C.: *An investigation for improvement of the 3D-digitization process: a reverse engineering approach*, Journal of Manufacturing Technology Management, Vol. 22, Issue: 1, pp. 131-147, 2011.
- [11] Afeez, A., Sanjay., Kumar, A.: *Application of CAD and reverse engineering methodology for development of complex assemblies*, Journal of Engineering Design and Technology, Vol. 11, Issue: 3, pp. 375-390, 2013.
- [12] Brajljić, T., Tasić, T., Drstvensek I., Valentan B., Pogacar, V., Balic, J., Acko, B.: *Possibilities of using three-dimensional optical scanning in complex geometrical inspection*, Strojniski vestnik Journal of Mechanical Engineering, Vol. 57, pp. 826-833, 2011.
- [13] Chang, K.H., Chen, C.: *3D shape engineering and design parameterization*, Computer-Aided Design and Applications, Vol. 8, pp. 681-692, 2011.
- [14] Chang, K.H., Siddique, Z., Edke, M. and Chen, Z.: *An integrated testbed for reverse engineering of aging systems and components*, Computer-Aided Design and Applications, Vol. 3, pp. 21-30, 2006.
- [15] Garcia, M.J., Boulanger, P., Henau, M.: *Structural optimization of as-built parts using reverse engineering and evolution strategies*, Structural and Multidisciplinary Optimization, Vol. 35, pp. 541-550, 2008.
- [16] Chintala, G., Gudimetla, P.: *Optimum material evaluation for gas turbine blade using Reverse Engineering (RE) and FEA*, Procedia Engineering, Vol. 97, pp. 1332-1340, 2014.
- [17] Beniere, R., Subsol, G., Gesquiere, G., Le Breton, F., Puech, W.: *A comprehensive process of reverse engineering from 3D meshes to CAD models*, Computer-Aided Design, Vol. 45, pp. 1382-1393, 2015.
- [18] Li, L., Li, C., Tang, Y., Du, Y.: *An integrated approach of reverse engineering aided remanufacturing process for worn components*, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 48, pp. 39-50, 2017.
- [19] Ferreira, J.C., Alves, N.F.: *Integration of reverse engineering and rapid tooling in foundry technology*, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 142, pp. 374-382, 2003.
- [20] Geren, N., Akcali, O.O., Bayramoglu, M.: *Parametric design of automotive ball joint based on variable design methodology using knowledge and feature-based computer assisted 3D modelling*, Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol. 66, pp. 87-103, 2017.
- [21] Seno, T., Ohtake, Y., Kikuchi, Y., Saito, N., Suzuki, H., Nagai, Y.: *3D scanning based mold correction for planar and cylindrical parts in aluminum die casting*, Journal of Computational Design and Engineering, Vol. 2, pp. 96-104, 2015.
- [22] Zhou, J., Li, J., Hu, Y., Yang, J., Cheng, K.: *Plastic mold design of top-cover of out-shell of mouse based on CAE*, Advanced in Control Engineering and Information Science, Procedia Engineering, Vol. 15, pp. 4441-4445, 2011.
- [23] Matin, I., Vukelić, Đ., Hadžistević, M., Štrbac, B., Santoši, Ž., Lukić, D.: *An integrated design approach for plastic part development*, Proceeding of 13th International scientific conference on flexible technologies - MMA, pp. 145-149, Novi Sad, 28-29 September 2018.
- [24] Matin, I., Hadžistević, M., Vukelić, Đ., Milutinović, M., Golebski, R.: *Application of numerical simulation of injection molding of medical accessory*, Journal for Technology of Plasticity, Vol. 41, pp. 47-54, 2016.
- [25] Sokac, M., Margan, V., Car, Z., Budak, I.: *Comparative analysis and evaluation of measurement capabilities of contact and non-contact devices*, Proceeding of International Conference on Innovative Technologies, IN-TECH 2016, Prague, pp. 263-266, 06.-08.09.2016.
- [26] Sokac, M., Santosi, Z., Budak, I., Car, Z., Vukelic, D.: *Combination of contact and optical 3d digitizing methods for their application in reverse engineering*, Proceeding of International Conference on Innovative Technologies, IN-TECH 2017, pp. 65-68, Ljubljana, 13-15.09.2017.

Autori: Dr Ivan Matin, Dr Đorđe Vukelić, Dr Miodrag Hadžistević, Dr Branko Štrbac, M.Sc. Željko Santoši, M.Sc. Mario Šokac, M.Sc. Nenad Kulundžić, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +3812148502332, Fax: +38121454495.
E-mail: matini@uns.ac.rs;
vukelic@uns.ac.rs;
miodrags@uns.ac.rs;
strbacb@uns.ac.rs;
zeljkos@uns.ac.rs;
marios@uns.ac.rs;
kulundzic@uns.ac.rs.

Štrbac, B., Veselinović, P., Matin, I., Hadžistević, M.

ANALIZA TAČNOSTI KOORDINATNE MERNE MAŠINE PRIMENOM METODE
ODZIVNE POVRŠINE

Rezime: U cilju procene tačnosti koordinatnih mernih mašina (KMM) uglavnom se primenjuju preporuke standarda ISO 10360-2 koji preporučuju korišćenje graničnih mernih ali se koriste druga referentna merila kao što su koračno merilo, ploča sa otvorima, ploča sa kuglama, MCG sistem, itd. Pored ocene tačnosti, na ovaj način se održava metrološka sledljivost ovih mernih sistema a takođe se određuje merna nesigurnost ali samo za ove metrološke zadatke. Zbog složene hadverske strukture, tačnost ovih mernih sistema varira od orijentacije kalibrisanog merila i njegove dužine. Kako bi se ispitaio uticaj ovih parametara na tačnost KMM korišćena je dizaj eksperimenta prema metodologiji odzivne površine

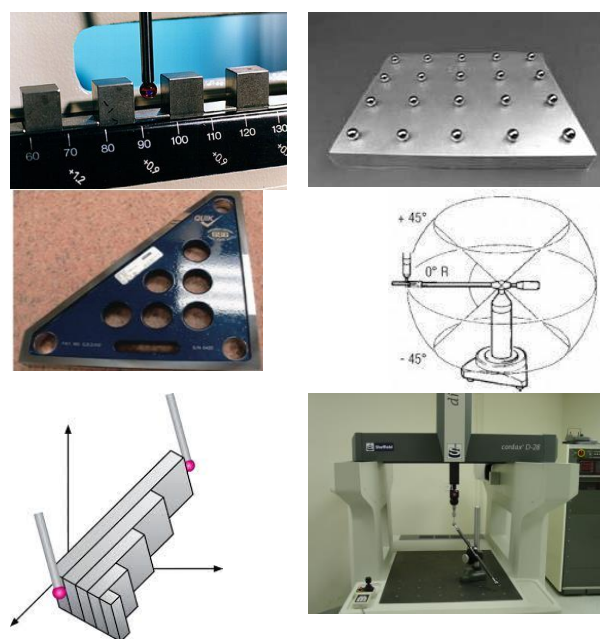
Ključne reči: tačnost, ball - bar, merna nesigurnost, odzivna površina, KMM.

1. UVOD

Kada se sprovodi merenje na koordinatnoj mernoj mašini (KMM) uglavnom se ne daje iskaz merne nesigurnosti. Uglavnom se daje podatak o tačnosti KMM, što podrazumeva merenje referentnih radnih predmeta. Ovi radni predmeti se mere prema određenoj strategiji i u određenim uslovima okoline. Izmerena odstupanja od kalibracionih vrednosti mogu se koristiti kao pokazatelji performansi KMM, ali je često zabluda da je ova vrednost merna nesigurnost za sva merenja sprovedena na KMM. Samo u slučaju istog mernog zadatka (merenje rastojanja između dve tačke) ovo se može uzeti kao merna nesigurnost. Isto tako, ovi testovi se ne mogu koristiti kao nesigurnost merenja pri merenju npr. ravnosti [1]. Ova merenja se nazivaju i testovi performansi i u širokoj su upotrebi za proveru stanja KMM i održavanje metrološke sledljivosti. Prema poznatim standardima, merilo kao što je ball bar, merilo sa koracima, ploča sa otvorima, i ploča sa kuglicama se koriste da bi se utvrdile zapreminske greške, provera hardvera i procena merne nesigurnosti KMM-a za određeni merni zadatak, slika 1. Najpoznatiji standardi su ANSI/ASME B89.4.1 [1], nemački VDI/VDE 2617 [2], britanski BS 6808 [3], japanski JIS B7440 [4], ISO 10360 [5], i asocijacija proizvođača KMMA [6]. Ove metode testa performansi preporučuju različite metodologije pri testiranju i razlikuju načine određivanja parametra performansi. Neki standardi ukazuju na maksimalni opseg izmerenih dužina kao parametar performansi, drugi uspostavljaju rezultate standarde devijacije. Tačnost KMM, ili merna nesigurnost merenja rastojanja dve tačke, može se utvrditi koristeći informacije prikupljene iz testova

performansi i mogu se prikazati u vidu izraza $A+B$ L-prikaz.

U ovom radu predstavljen je pristup za ocenu tačnosti (merne nesigurnosti) KMM kroz test performansi mereći kalibrisano ball bar-a merilo sa različitim dužinama i u različitim položajima i orijentacijama u radnom prostoru merne mašine prema izabranom planu eksperimenta koristeći metodologiju odzivne površine. Statistička analiza varijansi realizovana je kako bi poboljšala evoluciju rezultata, procenila merna nesigurnost kao parametar performansi i da bi se, takođe, odredio uticaj promenljivih na mernu nesigurnost. Praktičan primer je izvršen koristeći KMM portalnog tipa u Laboratoriji za metrologiju Univerziteta u Novom Sadu.



Sl. 1. Referentni radni predmeti za ocenu tačnosti KMM

2. METODOLOGIJA

Prema pristupu testa performansi, istraživanje hardverskih grešaka KMM-a se mora izvršiti merenjem različitih kalibrisanih dužina u određenom položaju i određenih orijentacija u odnosu na ose mašine. Smatra se da ova dva faktora najviše utiču na hadverske greške mašine zbog geometrijskih grešaka koje variraju u zavisnosti od položaja uzorkovane tačke u mernom prostoru mašine [8, 9]. Pored toga, faktor „broj tačaka u strategiji merenja“ je takođe uključen u dizajn eksperimenta. Naime, pri korišćenju ball bar-a meri se kalibrisane kuglice i centar kuglice se određuje metodom najmanjih kvadrata (LS). Zbog konstrukcije ball bara-a kalibrisanu kuglu je nemoguće meriti po celoj površini nego samo po delu. Iz tog razloga bi bilo zanimljivo ispitati da li broj tačaka u mernoj strategiji ima uticaj na izmerenu dužinu. Istraživanje uticaja dužine, pozicije i orijentacije, i broja mernih tačaka u radnom okruženju na KMM grešku merenja može se utvrditi koristeći se statističkim tehnikama. Dizajn eksperimenta se može smatrati moćnim alatom pri planiranju i izvršavanju eksperimentalnih testova i pri analizi rezultata [10]. U ovom istraživanju korišćena je metoda odzivne površine, tj. Box-Behnkenov dizajn koji predlaže kako odabrati tačke eksperimenta kada je potrebno ispitati uticaj više faktora na tri nivoa uz mogućnost efikasne procene koeficijenata matematičkih modela prvog i drugog reda.

2.1 Plan eksperimenta

Prema Box-Behnken dizajnu, za broj faktora tri i tri ponavljanja za svaku eksperimentalnu tačku, za dizajn bez bloka ukupan broj opservacija je bio 45. Eksperiment je bio potpuno randomiziran. Box - Behnken dizajn je prikazan u tabeli 1.

Tabela 1. Box - behnken dizajn

Faktor	Nivo			
	kod	-1	0	1
Dužina ball bara	100	150	300	
Orijentacija	X	XY	XYZ	
Broj tačaka	20	60	100	

Ovako dizajniran eksperiment u odnosu na pun faktori eksperiment $3^3=27$ ili centralni kompozitni plan (20 eksperimenata) ima ukupno 15 eksperimenata što znatno smanjuje vreme sprovođenja eksperimenta ako se u obzir uzmu i ponavljanja eksperimentalnih tačaka.

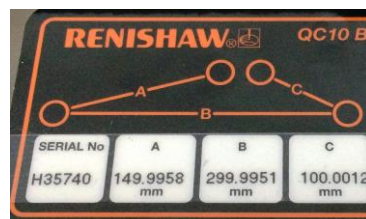
Nivoi usvojeni za dužinu ball bar-a su raspoložive vrednosti dužine transdusera ball bar i one su

redom: 100mm (novo -1), 150mm (novo 0) i 300mm (novo 1).

Nivoi usvojeni za orijentaciju su bili orijentacija duž X ose (nivo -1), dijagonalu XY (nivo 0) i dijagonalu XYZ (nivo 1) u radnoj zapremini za proveru uticaja geometrijskih grešaka KMM. Nivoi usvojeni za broj tačaka u mernoj strategiji merenja kuglice su bili 20 (novo -1), 60 (novo 0) i 100 (novo 1) tačaka nasumično raspoređenih po dostupnoj površini kuglice.

2.2 Eksperimentalna postavka

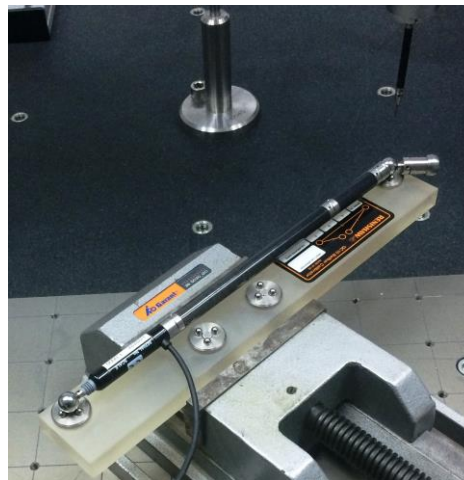
Eksperiment je vršen na KMM Carl Zeiss Contura G2 RDS čija je proizvođačka specifikacija za merenje rastojanja između dve tačke: $MPE_E=1.9+L/330 \mu m$ (L je dužina merenja izražena u mm). Kalibrisane dužine ball-bar-a su prikazane na slici 2.



Sl. 2. Kalibracione dužine ball bar-a

Greške merenja su izračunate kao razlika između merenih i kalibrisanih ball bar dužina.

Radni predmet koji je meren je ball bar koji se koristi za dijagnostiku mašina alatki preko kružnog test. Tokom merenja ball bar se nalazio u kalibru, slika 3. U ovom istraživanju izostala je vrednost standardne nesigurnosti merenih dužina i standardne nesigurnosti lopti koje se uzorkuju i samim tim nije bilo moguće adekvatno proceniti mernu nesigurnost. Međutim, preko standardne devijacije (tip A nesigurnosti) i specifikacije mašine (tip B) moguće je odrediti nepotpunu proširenu mernu nesigurnost.

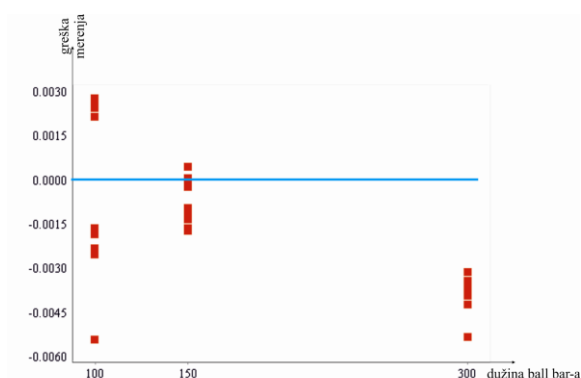


Sl. 3. Merenje ball bara na KMM za eksperimentalnu postavku 300mm i XY položaj

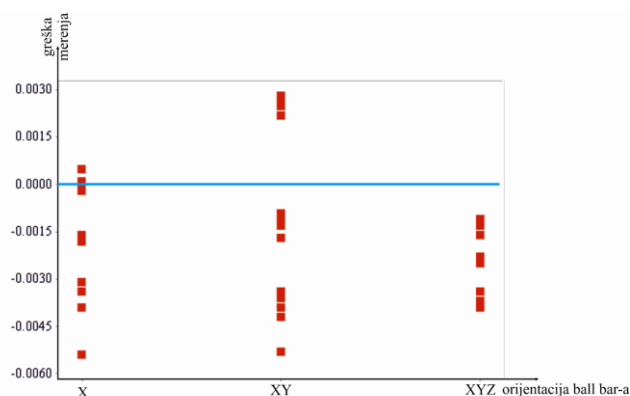
3. REZULTATI I DISKUSIJA

Dužine ball bar-a su izmerene prema eksperimentalnoj postavci i greške merenja, u zavisnosti od orijentacije i položaja, dužine ball bar-a i broja tačaka kao i karakteristike raspodele greške KMM merenja, su date na slikama 4a-d. Sa slika se može primetiti da uz zavisnosti od dužine ball bara najveća greška je pri merenju od 300mm dok merenje od 100mm ima najveće rasipanje tj. standardnu devijaciju. U slučaju orijentacije najveće odstupanje je na eksperimentalnoj postavci XY i takođe i najveće rasipanje rezultata.

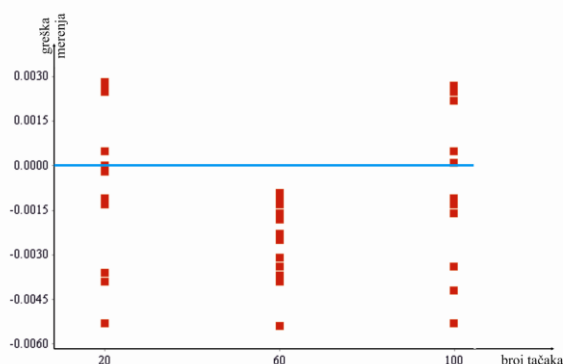
Što se tiče broja mernih tačaka merenje sa 20 i 100 tačaka gotovo da ima isti raspored grešaka dok je merenje 60 tačaka ima najveću tačnost i najmanje rasipanje. U cilju ispitivanja statističke signifikantnosti razmatranih parametara i postavljanje odgovarajućeg statističkog modela prema metodi odzivne površine potrebno je sprovesti analizu varijanse (ANOVU) kojom je utvrđeno da je kod linearnog modela signifikantni faktori, za nivo poverenja 99%, dužina i orijentacija ball bar-a ali zbog male vrednosti R-Sq linearni model je neadekvatan.



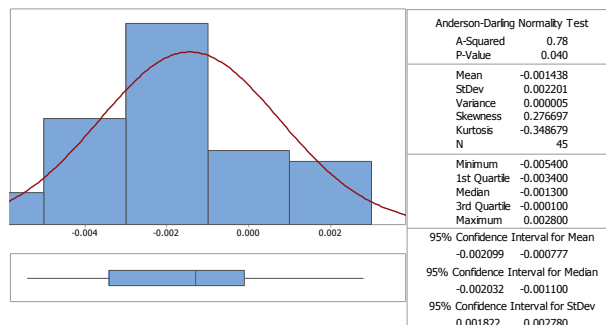
Sl. 4a. Zavisnost greške merenja od dužine ball bar-a



Sl. 4b. Zavisnost greške merenja od orijentacije ball bar-a



Sl. 4c. Zavisnost greške merenja od broja mernih tačaka u strategiji merenja

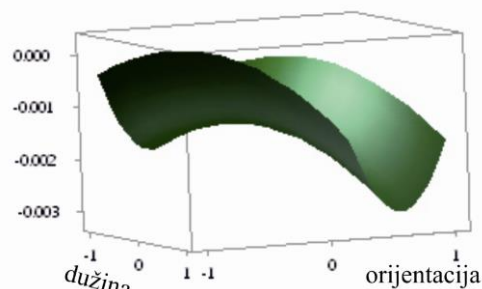


Sl. 4d. Statistički pokazatelji raspodele greške KMM merenja

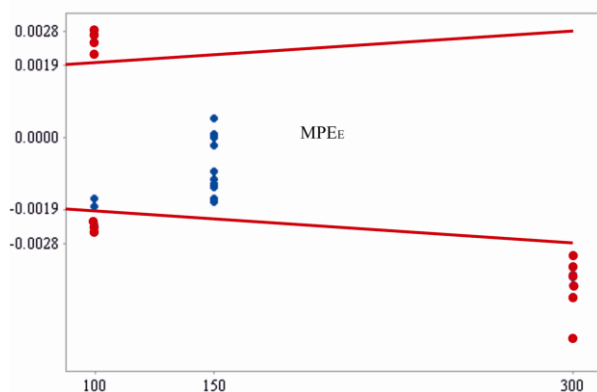
Predložen je kvadratni model koji ima mnogo veću adekvatnost i takođe je utvrđeno da je interakcija između dužine i orijentacije ball bar-a signifikantna. Odzivna površina je prikazana na slici 5. Na ovoj odzivnoj površini broj tačaka je konstantan tj. 60 a sa slike se vidi da međusobni uticaj dužine i orijentacije na grešku KMM merenja. Proračun merne nesigurnosti bi se sveo na određivanju standardne devijacije svih ponovljenih merenja i lako ju je odrediti prema upustvima ISO 15330-3:2011 [11] koja koristi kalibrisane standarde. Međutim, kako je već rečeno, ne postoje podaci za standardne nesigurnosti kalibracije i proračun merne nesigurnosti je izostavljen u ovom radu. Umesto

toga, vršeno je istitivanje dali se sve određene greške merenja nalaze u specifikacijskim granicama KMM, tj da ne prelaze MPE_E (slika 6).

greška merenja



Sl. 5. Odzivna površina



Sl. 6. Položaj grešaka u odnosu na specifikaciju KMM

Sa slike 6 se može uočiti da KMM pri merenju veličina od 100mm i 300mm izlazi iz specifikacijskih granica dok za 150mm vrednosti su u okviru granica. Verovatan razlog ovog odstupanja loše utvrđene kalibracione vrednosti za dužine trandusera.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu korišćena je metoda odzivne površine kako bi se ispitaio uticaj tri faktora na grešku merenja KMM. Mereno je kalibrisano merilo ball bar koje se za vreme merenja nalazilo u priboru. Eksperimentalni rezultati su pokazali jak uticaj dužine merenja i orijentacije na grešku merenja kao i njihova interakcija, međutim poređenjem grešaka merenja sa MPE_E se došlo do zaključka da kalibracija dužina 100mm i 300mm nije bila adekvatna.

5. REFERENCE

- [1] Štrbac, B., Radlovački, V., Spasić-Jokić, V., Delić, M., Hadžistević, M. *The difference between GUM and ISO/TC 15530-3 method to evaluate the measurement uncertainty of flatness by a CMM*, MAPAN, 32, p.p. 251–257, 2017.
- [2] ANSI/ASME B89.4.1:1997. *Methods for performance evaluation of coordinate measuring machines*. New York: American Society of Mechanical Engineers; 1997.
- [3] VDI/VDE 2617-6-1:2007. *Accuracy of coordinate measuring machines*, parts 1–4. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure (VDI/VDE); 2007.
- [4] BS 6808-3:1989 *British standard—coordinate measuring machines*, parts 1–3. London: British Standards Institute; 1989.
- [5] JIS B7440. *Japanese industrial standard. Test code for accuracy of coordinate measuring machines*. Tokyo: Japanese Standards

Association; 2003.

- [6] ISO 10360:2010. *Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM), parts 1–2*. Geneva: International Organization for Standardization (ISO); 2010.
- [7] CMMA. *Accuracy specification for coordinate measuring machines*. London: Coordinate Measuring Machine Manufacturers Association, 2001.
- [8] Śladek, J., Gaška, A. *Evaluation of coordinate measurement uncertainty with use of virtual machine model based on Monte Carlo method*, Measurement, 45, (6), p.p. 1564–1575, 2012.
- [9] Pérez, P., Aguado, S., J.A. Albajez, J.A., Santolaria, J. *Influence of laser tracker noise on the uncertainty of machine tool volumetric verification using the Monte Carlo method*, Measurement, 133, 81–90, 2019.
- [10] Vrba, I., Palenčar, R., Hadžistević, M. Štrbac, B., Spasić-Jokić, V., Hodolić, J. *Different Approaches in Uncertainty Evaluation for Measurement of Complex Surfaces Using Coordinate Measuring Machine*, Measurement Science Review, 15 (3), 111–118, 2015
- [11] ISO/TS 15530-3:2011. *Geometrical product specifications (GPS) – coordinate measuring machines (CMM): technique for determining the uncertainty of measurement – part 3: use of calibrated workpieces or standards*, 2011.

Autori: Doc. dr Branko Štrbac, Peđa Veselinović, Dr Ivan Matin, 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: strbacb@uns.ac.rs
veselinovicp71@gmail.com
matini@uns.ac.rs
miodrags@uns.ac.rs

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

UTICAJ POVRŠINSKE HRAPAVOSTI I TEMPERATURE NA KOEFICIJENT EMISIVNOSTI ČELIKA

Rezime: Koeficijent emisivnosti čelika EN 42CrMo4 određen je u zavisnosti od površinske hrapavosti i temperature. Eksperimentalno ispitivanje je sprovedeno na dva radna predmeta različite površinske hrapavosti pri hlađenju primenom infracrvene termografske tehnike (ITT). Rezultati su pokazali da koeficijent emisivnosti čelika EN 42CrMo4 raste sa površinskom hrapavošću i opada tokom hlađenja, kao i da se kreće u granicama od 0.15 do 0.7. Za ispitivanje uticaja površinske hrapavosti i temperature na koeficijent emisivnosti navedenog čelika korišćene su trodimenzionalne infracrvene (3D IR) slike. Zaključeno je da je pri višim temperaturama uticaj površinske hrapavosti na porast koeficijentata emisivnosti signifikantniji.

Ključne reči: čelik, koeficijent emisivnosti, ITT, VRA

1. UVOD

Infracrvena termografska tehnika (ITT) je beskontaktna i nedestruktivna metoda merenja temperature, koja se zbog mogućnosti merenja temperature na udaljenim i nepristupačnim mesta često koristi kod preventivnog održavanja i monitoringa stanja sistema [1–4]. Princip rada ITT se zasniva na transformisanju prostornih varijacija u emitovanom infracrvenom zračenju sa površine posmatranog objekta u dvodimenzionalnu infracrvenu (IR) sliku, gde su razlike u temperaturnoj distribuciji prikazane pomoću spektra boja ili tonova [5, 6]. Na tačnost merenja temperature pomoću ITT značajan uticaj ima talasna dužina infracrvenog zračenja, vlažnost vazduha, osetljivost infracrvenog detektora, temperatura i koeficijent emisivnosti posmatranog tela [7]. Koeficijent emisivnosti tela predstavlja njegovu sposobnost da apsorbuje i emituje toplotu u poređenju sa idealno crnim telom pri istoj temperaturi, geometrijskim i spektralnim uslovima [8]. Njegova vrednost zavisi od mnogih faktora, kao što su vrsta materijala, površinska hrapavost, mikrostruktura, temperatura, talasna dužina zračenja, itd. [9]. Sproveden je veliki broj ispitivanja u cilju utvrđivanja uticaja navedenih parametara na emisivna svojstva materijala u okviru kojih je najviše pažnje posvećeno metalima i njihovim legurama zbog njihovog niskog i promenljivog koeficijenta emisivnosti. Značajan broj ovih ispitivanja posvećen je čelicima upravo zbog njihove česte i široke primene.

Wen je primenio nekoliko emisivnih modela za ispitivanje ponašanja koeficijenta emisivnosti čelika u zavisnosti od temperature primenom Multispektralne Radijacione Termometrije

(MRT). Rezultati su pokazali da se koeficijent emisivnosti povećava sa povećanjem talasne dužine. Za čelik koji sadrži visok procenat hroma emisivnost je obično niža zbog formiranja zaštitnog oksidacionog sloja [10]. Wen je takođe sproveo nove eksperimente na različitim čelicima u zavisnosti od temperature, talasnih dužina i vremena zagrevanja. MRT sa Linearnim Emisivnim Modelima (LEMs) i Log-Linearnim Emisivnim Modelima (LLEs) su primenjena za predviđanje temperature. Rezultati pokazuju da se spektralna emisivnost čelika smanjuje sa povećanjem talasne dužine i povećava sa porastom temperature. Spektralna emisivnost postiže stabilno stanje posle 3 h zagrevanja usled površinske oksidacije [11]. Xing et. Al. je izmerio normalnu spektralnu emisivnost tokom rasta oksidacionog sloja na površini čelika 430 na talasnoj dužini od 1.5 μm u temperaturnom opsegu od 527 do 827 $^{\circ}\text{C}$ koristeći termoparove [12]. Shi et. al je izmerio spektralnu emisivnost čelika Usibor® 1500P tokom dvostepene austenitizacije u atmosferi argona i vazduha. Fazna transformacija Al–Si premaza i oksidacija dovele su do promena u površinskoj kompoziciji i hrapavosti, što je imalo uticaj na promenu koeficijenta emisivnosti ispitivanog čelika [13].

U prethodnim istraživanjima koeficijent emisivnosti je određivan prilikom porasta temperature čelika. U ovom radu autori su ispitali koeficijent emisivnosti čelika EN 42CrMo4 prilikom hlađenja uz pomoć ITT. Detaljnije ispitivanje uticaja temperature i površinske hrapavosti na koeficijent emisivnosti sprovedeno je pomoću 3D IR slika. 3D IR slike predstavljaju trodimenzionalni prikaz površine radnog predmeta sa strožije definisanim granicama između oblasti

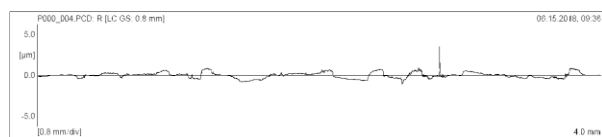
manjih temperaturnih razlika koje su gotovo neprimetne na uobičajenoj IR slici.

2. METODOLOGIJA

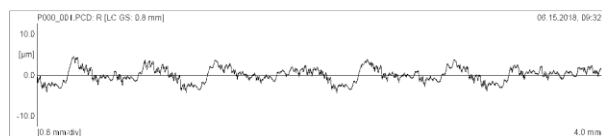
Eksperimentalno određivanje koeficijenta emisivnosti sprovedeno je na uzorcima čelika EN 42CrMo4. Za potrebe eksperimenta izrađena su dva radna predmeta dimenzija 150 mm × 150 mm × 10 mm. Jedan radni predmet je obrađen brušenjem, dok je drugi obrađen glodanjem u cilju dobijanja različitog kvaliteta površine – hrapavosti. Merenje hrapavosti radnih predmeta vršeno je kontaktnom metodom pomoću uređaja MarSurf PS1. Srednja aritmetička hrapavost, R_a izmerena je u 30 tačaka uniformno raspoređenih na površini radnih predmeta. Prosečna vrednost izmerenih srednjih aritmetičkih hrapavosti je uzeta za površinsku hrapavost radnog predmeta (Tabela 1). Na Slici 1 i Slici 2 prikazani su profili hrapavosti radnog predmeta S_1 i S_2 , respektivno.

Tabela 1. Površinska hrapavost radnih predmeta

Način obrade	R_a [μm]	Oznaka
brušenje	0.262	S_1
glodanje	1.385	S_2



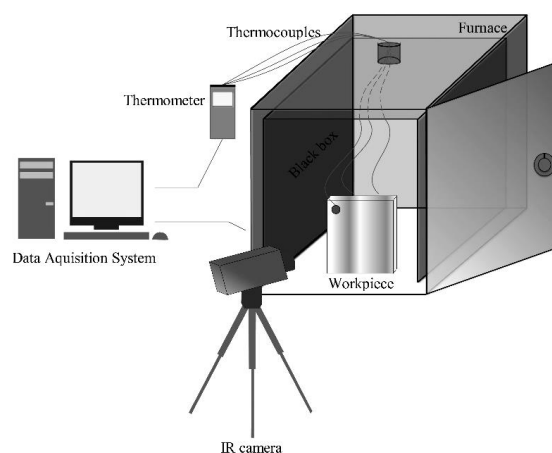
Sl. 1. Profil hrapavosti radnog predmeta S_1



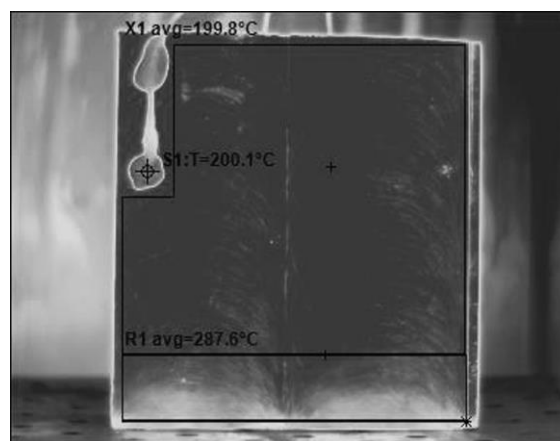
Sl. 2. Profil hrapavosti radnog predmeta S_2

Autori su koristili metodu za određivanje koeficijenta emisivnosti čelika koju su prethodno primenili na leguri aluminijuma [14]. Metoda se zasniva na zagrevanju radnog predmeta u peći do temperature od 200 °C i nakon toga simultanom merenju temperature na površini radnog predmeta IR kamerom i termoparovima u procesu hlađenja. Koeficijent emisivnost se zatim određuje softverskom obradom dobijenih IR slika tako što se njegova vrednost menja od 0 do 1 dok se temperature na IR slici ne izjednače sa temperaturama termoparova. Za zagrevanje radnog predmeta korišćena je peć za termičku obradu u kojoj je pre merenja postavljena crna kutija od lima debljine 2 mm, kako bi se eliminisao uticaj visoko reflektivnih zidova peći na rezultate merenja. Eksperimentalna postavka je prikazana na Slici 3. Za termografsko snimanje

korišćena je IR kamera ThermoPro™ TP8S sa spektralnim opsegom od 8 μm do 14 μm i tačnošću ± 1 °C. Za merenje referentne temperature korišćeni su termoparovi tipa K. Za svaki radni predmet zabeležene su četiri IR slike na temperaturama od 50, 100, 150 i 200 °C. Dobijene IR slike obrađene su u programu *Guide IrAnalyser*, gde je određen prosečan koeficijent emisivnosti za izabranu oblast X_1 (Slika 4). Oblast X_1 obuhvata samo reprezentativne delove površine radnog predmeta, izuzimajući prednji termopar i oblast R_1 . Oblast R_1 je izuzeta iz analize zbog upadnog zračenja koje se odbija od poda peći i doprinosi značajnom povećanju temperature.



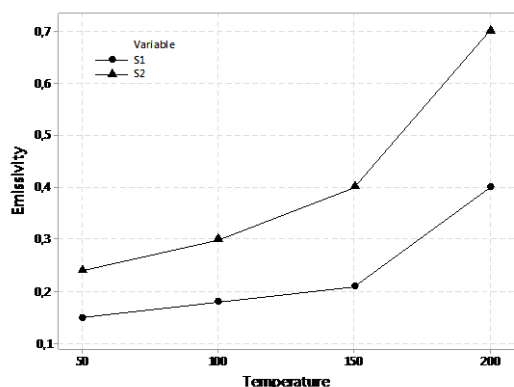
Sl. 3. Eksperimentalna postavka



Sl. 4. IR slika radnog predmeta S_2 ($T=200$ °C)

3. REZULTATI I DISKUSIJA

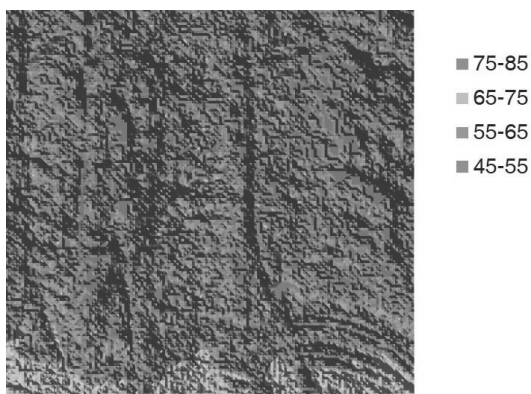
Eksperimentalni rezultati pokazuju da koeficijent emisivnosti čelika EN 42CrMo4 opada tokom hlađenja i raste sa porastom površinske hrapavosti (Slika 5). Koeficijent emisivnost se kreće u intervalu od 0.15 do 0.7 što je svojstveno metalima. Na temperaturama višim od 150 °C uticaj površinske hrapavosti na porast koeficijenta emisivnosti je signifikantniji.



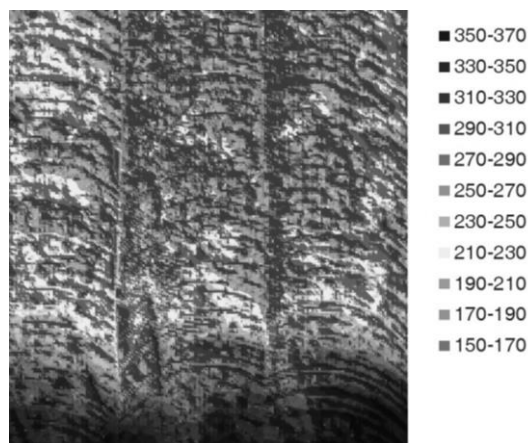
Sl. 5. Koeficijent emisivnosti čelika

Analiza uticaja temperature i površinske hrapavosti na koeficijent emisivnosti čelika sprovedena je pomoću 3D IR slika. Postoje različiti komercijalni programi za konstruisanje 3D IR slika, ali u ovom radu korišćena je metoda koju su autori predložili u radu [14]. Metoda se zasniva na eksportovanju vrednosti temperatura za izabranu oblast X_1 na IR slici u *Excel* tabelu pomoću programa *Guide IrAnalyser*. U *Excel* tabeli podaci su grupisani tako da x i y koordinate determinišu poziciju piksela na IR slici, a z koordinata njegovu vrednost temperaturu. Jednostavnom selekcijom svih podataka i konstruisanjem konturnog dijagrama površine u programu *Excel* dobijaju se 3D IR slike. Na 3D IR slikama se mogu podešavati opsezi i boje temperatura koje će biti prikazane, a da se tom prilikom ne naruši njihov raspored u odnosu na IR sliku.

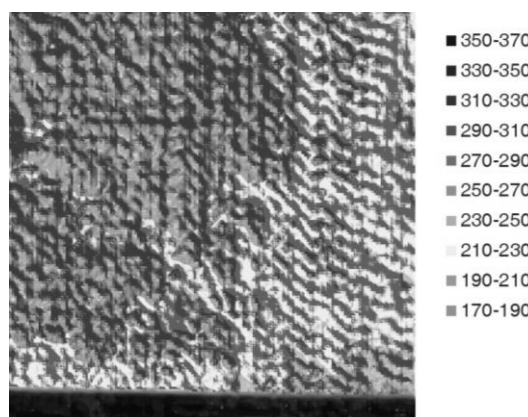
Na 3D IR slikama radnog predmeta obrađenog glodanjem razlika u površinskoj hrapavosti je veća na 200 °C nego na 50 °C. Na višim temperaturama smer glodanja, kao i granice između prolaza alata su upadljivije, što se može videti na 3D IR slikama radnog predmeta S_2 čija je površina obrađena u tri prolaza alata (Slika 6 i Slika 7). Iz navedenog se može zaključiti da površinska hrapavost dovodi do većeg porasta koeficijenta emisivnosti na višim temperaturama.



Sl. 6. IR slika radnog predmeta S_2 ($T=50$ °C)



Sl. 7. IR slika radnog predmeta S_2 ($T=200$ °C)



Sl. 8. IR slika radnog predmeta S_1 ($T=200$ °C)

Na Slici 7 i Slici 8 prikazane su 3D IR slike oba radna predmeta pri istoj temperaturi od 200 °C. Radni predmet S_1 ima manju površinsku hrapavost od radnog predmeta S_2 pa je stoga raspored temperatura na njegovoj površini uniformniji. Najviše temperature na radnom predmetu S_2 se nalaze na mestima prolaza alata, što odgovara mestima sa najvišom izmerenom hrapavosti. Pri dnu obe 3D IR slike primetan je odsjaj koji se javlja usled visoko reflektivnog poda peći, te su to oblasti sa lažnim visokim temperaturama i kao takve su izuzete iz analize.

4. ZAKLJUČAK

Eksperimentalno određivanje koeficijenta emisivnosti čelika EN 42CrMo4 u procesu hlađenja od 200 do 50 °C koristeći ITT je dalo dobre rezultate u poređenju sa rezultatima drugih autora. Ispitivanje je pokazalo da se koeficijent emisivnosti navedenog čelika kreće u granicama od 0.15 do 0.7, kao i da opada sa smanjenjem temperature i raste sa površinskom hrapavošću. Pri višim temperaturama razlike između koeficijenata emisivnosti radnih predmeta su veće, a analizom 3D IR slika je zaključeno da je ova pojava posledica značajnijeg uticaja površinske hrapavosti na koeficijent emisivnosti pri višim

temperaturama. Takođe, u radu je predstavljena nova metoda kreiranja 3D IR slika pomoću program *Excel*, koja je jednostavna i za razliku od komercijalnih programa potpuno besplatna. Premda ITT nije preporučljiva za precizna određivanja koeficijenta emisivnosti metala, post obradom IR slika autori su uspjeli da odrede male varijacije u koeficijentu emisivnosti, čak i pri razlikama između IR slika od 10 °C.

5. REFERENCE

- [1] Krešák J., Peterka P., Kropuch S., Novák L.: *Measurement of tight in steel ropes by a mean of thermovision*, Measurement, Vol. 50, pp. 93-98, 2014.
- [2] Kosec B., Karpe B., Budak I., Ličen M., Đorđević M., Nagode A., Kosec G.: *Efficiency and quality of inductive heating and quenching of planetary shafts*, Metallurgy, Vol. 51, pp. 71-74, 2012.
- [3] Bagavathiappan, S., Lahiri, B., Saravanan, T., Philip, J., Jayakumar, T.: *Infrared thermography for condition monitoring*, IP & T, Vol. 60, pp. 35-55, 2013
- [4] Florez-Ospina, F., Benitez-Restrepo, H.: *Toward automatic evaluation of defect detectability in infrared images of composites and honeycomb structures*, IP & T, Vol. 71, pp. 99-112, 2015
- [5] Practice for Thermographic Inspection of Insulation Installations in Envelope Cavities of Frame Buildings. ASTM International.
- [6] Glavaš H., Jozsa L., Barić T.: *Infrared thermography in energy audit of electrical installations*, Tehnički vjesnik, Vol. 23, pp. 1533-1539, 2016.
- [7] Schreivogel, P., Pfitzner, M.: *Optical convective heat transfer measurements using IT and FDPT*, IJH and MT, Vol. 82, pp. 299-308, 2015
- [8] Rathore, M., Kapuno, R.: *Engineering Heat Transfer*, Jones & Bartlett Publishers, 2011.
- [9] Švantner, M., Honnerová, P., Veselý, Z.: *The influence of furnace wall emissivity on steel charge heating*, IP & T, Vol. 74, pp. 63-71, 2016
- [10] Wen, CD.: *Investigation of steel emissivity behaviors: Examination of Multispectral Radiation Thermometry (MRT) emissivity models*, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 53, pp. 2035-2043, 2010.
- [11] Wen, CD.: *Study of Steel Emissivity Characteristics and Application of Multispectral Radiation Thermometry (MRT)*, Journal of Materials Engineering and Performance, Vol. 20, pp. 289-297, 2011
- [12] Xing, W., Shi, D., Sun, J., Zhu, Z.: *Emissivity model of steel 430 during the growth of oxide layer at 800–1100 K and 1.5 μm*, Infrared Physics and Technology, Vol. 88, pp. 23-31, 2018.
- [13] Shi, C., Daun, K., Wells, M.: *Spectral emissivity characteristics of the Usibor® 1500P steel during austenitization in argon and air atmospheres*, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 91, pp. 818-828, 2015.
- [14] Lanc, Z., Štrbac, B., Zeljković, M., Živković, A., Hadžistević, M.: *Emissivity of Aluminium Alloy using Infrared Thermography Technique*, Materials and Technology, Vol. 52, p.p. 323-327, 2018.

Autori: M.Sc. Zorana Lanc, prof. dr Milan Zeljković, vanr. prof. dr Aleksandar Živković, doc. dr Branko Štrbac, prof. dr Miodrag Hadžistević, Univerzitet Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka, Departman 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,
milanz@uns.ac.rs
acoz@uns.ac.rs,
strbacb@uns.ac.rs
miodrags@uns.ac.rs

Šokac, M., Budak, I., Jakovljević, Ž., Santoši, Ž., Vukelić Đ.

PREGLED STANJA I ANALIZA NAJČEŠĆE PRIMENJIVANIH METODA ZA SEGMENTACIJU SLIKE

Rezime: Uopšteno govoreći, segmentacija predstavlja postupak klasifikacije objekata od interesa i njihove ekstrakcije od pozadine, a kao postupak predstavlja neizostavan korak kod obrade slike. U okviru ovog rada biće predstavljena podela i pregled najčešće primenjivanih metoda za segmentaciju slike. Na osnovu literaturnih izvora izvršena je klasifikacija metoda u odnosu na njihov mehanizam sa kratkim opisom osnovnih podela i analizom najčešće primenjivanih metoda.

Gljučne reči: Segmentacija, slika, analiza slike, klasifikacija

1. UVOD

Tačna ekstrakcija bitnih objekata od interesa u odnosu na pozadinu (segmentacija) danas predstavlja veoma aktuelnu temu u analizi slike. Ovaj problem je privukao veliku pažnju istraživača [1–6] što je rezultiralo razvojem različitih mehanizama segmentacije koji su bazirani na različitim pristupima. Razlog ovome jeste to što rezultati segmentacije imaju veoma veliki uticaj na sve naredne postupke vezane za analizu slike, kao što su reprezentacija i opis objekta, merenje određenih karakteristika, pa čak i na zadatke višeg nivoa, kao što su klasifikacija objekta i interpretacija scene [6]. Segmentacija je kompleksan problem koji može da zavisi od brojnih ulaznih parametara sa slike među kojima su i boja ili tekstura slike [7, 8].

U okviru ovog rada biće prikazana podela i klasifikacija metoda za segmentaciju slike. Cilj istraživanja sprovedenog u okviru ovog rada fokusiran je na najčešće primenjivane metode za segmentaciju, pa nisu uzete obzir detaljnije podele svih postojećih metoda.

2. PREGLED METODA ZA SEGMENTACIJU SLIKE

Prema nekim autorima [9–12], vrši se različita klasifikacija kada su u pitanju algoritmi za segmentaciju slike. Kod pojedinih autora, metode za segmentaciju su prikazane u vidu opšte podele [9, 11, 13–16], dok su kod drugih autora ove metode prikazane dosta opširnije. Kada je u pitanju klasifikacija metoda za segmentaciju,

najpotpuniju podelu su prikazali autori u [13]. Međutim, kako bi se dobila potpunija slika, ova klasifikacija je dodatno proširena dodatnim poddelama, a među njima se nalaze i hibridne metode za segmentaciju [7, 17] koje su nastale kao rezultat kombinovanja dve ili više metoda, a sa ciljem poboljšanja rezultata segmentacije slike.

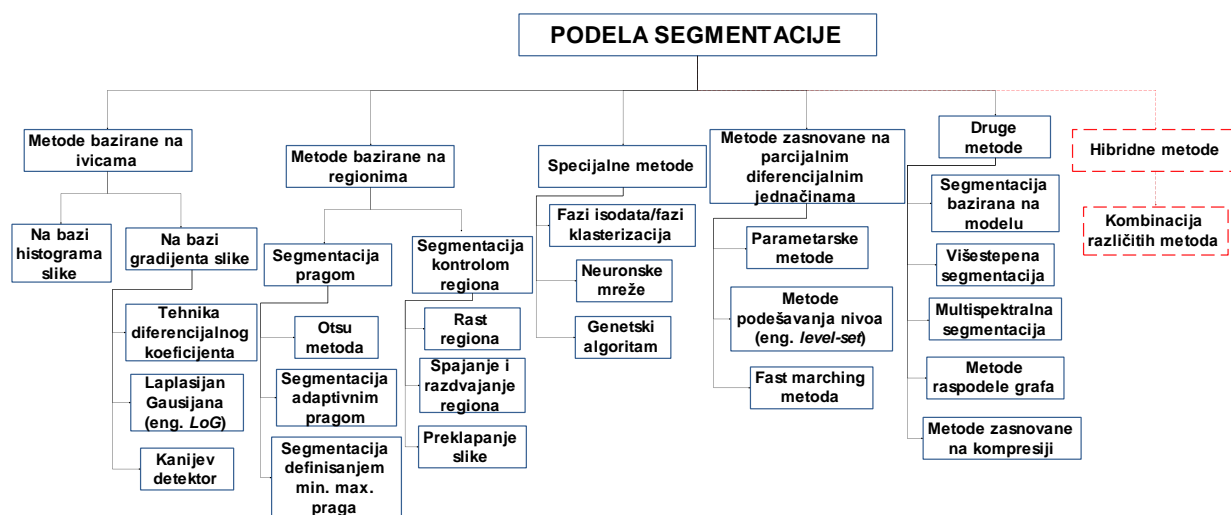
U skladu sa podelama prikazanim u naučnoj literaturi na slici 1 prikazana je podela koja je bazirana na podelama iz više literaturnih izvora [9, 11, 13–15, 18] uz odgovarajuća prilagođavanja i proširenja. Prikazana klasifikacija objedinjuje sve osnovne podele metoda za segmentaciju, međutim, postoji još više pod-podela metoda za segmentaciju.

Na osnovu tabele prikazane na slici 1 može se videti kako se osnovna podela metoda za segmentaciju slike može izvršiti na šest osnovnih grupa, u okviru kojih se nalaze metode za segmentaciju koje pripadaju datim grupama.

2.1 Metode bazirane na ivicama (engl. Edge Based)

Uopšteno gledano, ivica predstavlja jedan skup povezanih 2D piksela koji leže na granici između različitih regiona, gde postoje intenzivni diskontinuiteti kao što su promena intenziteta piksela, različite nijanse boje, različita tekstura itd. [13]. Slika se može segmentirati izdvajanjem takvih vrsta diskontinuiteta. Detekcija ivice može predstavljati kompleksan zadatak pri obradi slike, pogotovu kod slika u boji zbog njihove višedimenzionalne prirode.

Postoji mnogo izazova kod primene metode detekcije ivica, a neki od njih su [13]:



Sl. 1. Klasifikacija metoda za segmentaciju slike (adaptirano iz [11], [13], [14])

- Promena osvetljenja na slici;
- Dinamična pozadina slike;
- Šum ima veliki uticaj na oblikovanje ivice;
- Lažna detekcija ivice (detektovanje ivice gde ona ne postoji);

Primer segmentacije metode bazirane na ivicama (Kenijev detektor – engl. *Canny method*) prikazan je na slici 2a.

2.2 Metode bazirane na regionima (eng. Region Based)

Metode zasnovane na regionima zasnivaju se na kontinuitetu određenog parametra slike. Ove tehnike dele celu sliku u pod-regione u zavisnosti od nekih pravila, npr. svi pikseli u jednom regionu moraju imati isti intenzitet. Metode bazirane na regionu se oslanjaju na uobičajene obrasce vrednosti intenziteta piksela unutar klastera susednih piksela. Klaster se naziva region, a cilj algoritma segmentacije jeste grupisanje regiona prema njihovim funkcionalnim ulogama [13]. U poređenju sa metodom detekcije ivice, algoritmi segmentacije bazirani na regionu su relativno jednostavni i manje osetljivi na šum prisutan na slici [18]. Metode bazirane na regionu vrše particiju slike u regione koji su slični prema skupu unapred definisanih kriterijuma [13, 19]. Primer segmentacije slike korišćenjem metode bazirane na regionima (Otsu metoda) prikazan je na slici 2b.

2.3 Specijalne metode

U ovu grupu spadaju metode za segmentaciju višeg stepena u odnosu na prethodne dve. Ova grupa se može kategorizirati na sledeći način [13]:

- Segmentacija zasnovana na genetskom algoritmu;
- Segmentacija zasnovana na neuronskoj mreži;

- Segmentacija slike zasnovana na klasterizaciji;

Primer segmentacije korišćenjem specijalne metode (Fazi *c-means* klasterizacija/fazi isodata) je prikazana na slici 2c.

2.4 Metode zasnovane na parcijalnim diferencijalnim jednačinama

Koristeći metodu parcijalne diferencijalne jednačine (PDJ) i rešavanje PDJ numeričkim metodama, može se segmentirati slika [20]. Propagacija krivine je popularna tehnika u ovoj kategoriji, sa brojnim aplikacijama. Glavna ideja je da se razvije početna krivulja prema najnižem potencijalu funkcije cilja, gde se njena definicija odražava na zadatak koji treba rešiti. Što se tiče najčešćih inverznih problema, minimizacija funkcionalnosti troškova nije trivijalna i nameće određena ograničenja na rešenje, što se u ovom slučaju može izraziti kao geometrijska ograničenja na evoluirajućoj krivini [20, 21]. Primer metode za segmentaciju zasnovane na PDJ (metoda podešavanja nivoa – engl. *level set method*) prikazan je na slici 2d.

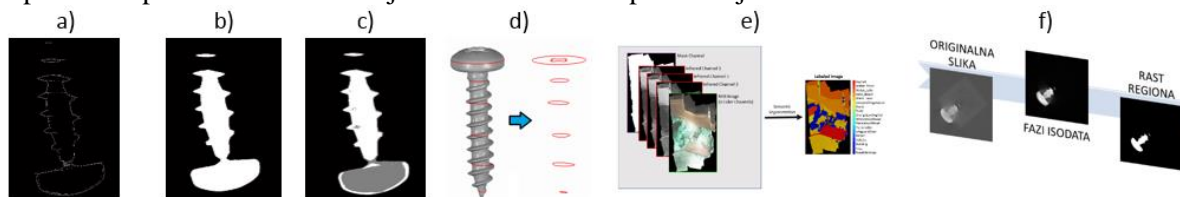
2.5 Druge (ostale) metode

Postoji mnogo drugih metoda segmentacije kao što je npr. višestepena segmentacija, metoda raspodele grafa, multispektralna segmentacija ili metode zasnovane na kompresiji. Više informacija o ovim metodama može se pronaći u radovima [22–26]. Primer drugih metoda segmentacije (konkretno multispektralna metoda segmentacije) [27] prikazana je na slici 2e.

2.6 Hibridne metode

Sa povećanjem kompleksnosti segmentacije slike, nameće se potreba za razvojem novih algoritama i metoda koji će se na adekvatan način

suočiti sa ovim potrebama. Kombinovanjem dve ili više metoda moguće je razviti hibridne metode i postići bolje rezultate segmentacije. Po pravilu, hibridne metode su robusnije, tj. manje osetljive na promene parametara i kod njih se sa istim

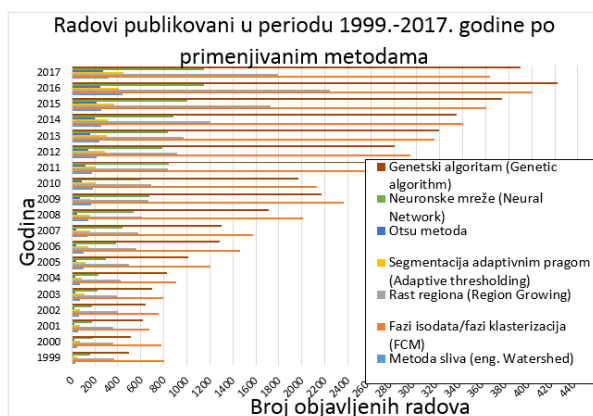


Sl. 2. Pregled osnovnih grupa metoda za segmentaciju baziranih na a) ivicama, b) regionima, c) specijalne metode, d) diferencijalnim jednačinama, e) drugim metodama [27] i f) hibridnim metodama [28]

3. NAJČEŠĆE PRIMENJIVANE METODE ZA SEGMENTACIJU CT SNIMAKA

Kod segmentacije i obrade snimaka generisanih primenom kompjuterizovane tomografije (CT), primenjuju se različite metode, kako u medicini, tako i u mašinskoj industriji. Sa ciljem prikaza rasprostranjenost i upotrebe ovih metoda izvršena je sistematizacija njihove primene u oblasti inženjerstva preko portala *Konzorcijuma biblioteka Srbije za objedinjenu nabavku (KoBSON)*. U obzir su uzeti svi radovi publikovani u periodu od 1999. – 2017. godine (Slika 3) sa pretragom ključnih reči za sledeće metode:

- Metoda sliva (engl. *Watershed*),
- Fazi isodata/fazi *c-means* klasterizacija (engl. skraćeno *FCM*);
- Rast regiona (engl. *Region Growing*);
- Segmentacija adaptivnim pragovanjem (engl. *Adaptive thresholding*);
- Otsu metoda;
- Neuronske mreže (engl. *Neural Network*);
- Genetski algoritam (engl. *Genetic algorithm*).



Sl. 3. Radovi publikovani u periodu od 1999. – 2017. godine u oblasti inženjerstva preko portala KoBSON

Navedene metode su uzete u obzir kao reprezentativne metode koje se često koriste za

parametrima mogu dobiti dobri rezultati segmentacije za relativno širok spektar različitih slika [15]. Primer hibridne metode za segmentaciju (kombinacija dve metode) [28] prikazan je na slici 2f.

potrebe segmentacije. Sa slike 3 može se primetiti trend rasta primene svih metoda tokom poslednjih godina što doprinosi sve popularnijoj primeni računarskih algoritama i metoda kod obrade slike. Od ukupnog broja radova obuhvaćenih analizom, u najvećem broju su primenjivani genetski algoritmi (4226 radova), metode fazi isodata (4006 radova), rast regiona (2242 rada) i neuronske mreže (1148 radova). Kao razlog za sve češće potrebe za primenom metoda zasnovanih na mašinskom učenju može se identifikovati kompleksnost zadatka segmentacije i sve veća rasprostranjenost kompjuterizovane tomografije u identifikaciji različitih procesa.

4. ZAKLJUČAK

U radu je, na osnovu analize većeg broja literaturnih izvora, prikazan pregled metoda za segmentaciju slika, pri čemu je dat poseban osvrt na metode za segmentaciju CT snimaka. Pregled pruža uvid u trenutno stanje u ovoj kompleksnoj oblasti, a istovremeno ukazuje na konstantan razvoj novih metoda za segmentaciju slike, koji je najvećim delom posledica sve strožijih zahteva za tačnom i efikasnom ekstrakcijom informacija sa slike.

5. REFERENCE

- [1] Heinzl, C.: *Analysis and Visualization of Industrial CT Data*, Doktorska disertacija, 2008.
- [2] Hasanzadeh, R. P. R., Rezaie, A. H., Sadeghi, S. H. H., Moradi, M. H., Ahmadi, M.: *A density-based fuzzy clustering technique for non-destructive detection of defects in materials*, NDT and E International, Vol. 40, no. 4, pp. 337–346, 2007.
- [3] Bradley, D., Roth, G.: *Adaptive Thresholding using the Integral Image*, Journal of Graphics Tools, Vol. 12, no. 2, pp. 13–21, 2007.
- [4] Heinzl, C., Kastner, J., Gröller, E.: *Surface extraction from multi-material components for metrology using dual energy CT*, IEEE

- Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 13, no. 6, pp. 1520–1527, 2007.
- [5] Schmitt, R., Isenberg, C., Niggemann, C.: *Knowledge-Based System to improve dimensional CT Measurements*, 4th Conference on Industrial Computed Tomography (iCT), pp. 363–372, 19–21 September, Wels, Austria, 2012.
- [6] Sáenz, D. C., Castillo, N. G., Romeva, C. R., Macià, J. L.: *A fuzzy approach for the selection of non-traditional sheet metal cutting processes*, Expert Systems with Applications, Vol. 42, no. 15–16, pp. 6147–6154, 2015.
- [7] Wang, X.Y., Zhang, X.J., Yang, H.Y., Bu, J.: *A pixel-based color image segmentation using support vector machine and fuzzy C-means*, Neural Networks, Vol. 33, pp. 148–159, 2012.
- [8] Siang Tan, K., Mat Isa, N. A.: *Color image segmentation using histogram thresholding Fuzzy C-means hybrid approach*, Pattern Recognition, Vol. 44, no. 1, pp. 1–15, 2011.
- [9] Zaitoun, N. M., Aqel, M. J.: *Survey on Image Segmentation Techniques*, Procedia Computer Science, Vol. 65, pp. 797–806, 2015.
- [10] Geyer, L. L., Schoepf, U. J., Meinel, F. G., Nance, J. W., Bastarrika, G., Leipsic, J. A., Paul, N. S., Rengo, M., Laghi, A., De Cecco, C. N.: *State of the Art: Iterative CT Reconstruction Techniques*, Radiology, Vol. 276, no. 2, pp. 339–357, 2015.
- [11] Yogamangalam, R., Karthikeyan, B.: *Segmentation Techniques Comparison in Image Processing*, International Journal of Engineering and Technology (IJET), Vol. 5, no. 1, pp. 307–313, 2013.
- [12] Withey, D. J., Koles, Z. J.: *A Review of Medical Image Segmentation: Methods and Available Software*, Methods, Vol. 10, no. 3, pp. 125–148, 2008.
- [13] Saini, R., Dutta, M., Kumar, R.: *A comparative study of several image segmentation techniques*, Journal of Information and Operations Managements, Vol. 3, no. 1, pp. 21–24, 2012.
- [14] Kaur D., Kaur, Y.: *Various Image Segmentation Techniques: A Review*, International Journal of Computer Science and Mobile Computing, Vol. 3, no. 5, p. 809–814, 2014.
- [15] Pantofaru, C., Hebert, M.: *A Comparison of Image Segmentation Algorithms*, Robotics, Vol. 5, no. 40, pp. 123–130, 2005.
- [16] Lazarević, D., Mišić, M., Ćirković, B.: *Postojeće tehnike za segmentaciju slike*, 41. Nacionalna konferencija o kvalitetu, pp. 26–30, 22–23.06., Univerzitet u Kragujevcu, Kragujevac, 2014.
- [17] Liu, D., Yu, J.: *Otsu method and K-means*, Proceedings - 2009 9th International Conference on Hybrid Intelligent Systems - HIS 2009, Vol. 1, no. 2, pp. 344–349, 2009.
- [18] Matta, S.: *Review: Various Image Segmentation Techniques*, International Journal of Computer Science and Information Technologies, Vol. 5, no. 6, pp. 7536–7539, 2014.
- [19] Muthukrishnan, R., Radha, M.: *Edge Detection Techniques for Image Segmentation*, International Journal of Computer Science, Vol. 3, no. 6, pp. 259–267, 2011.
- [20] Saikumar, T., Sainadh Sandeep, K.: *Various Image Segmentation Methods Based On Partial Differential Equation-A Survey*, International Conference on Computer & Communication Technologies 2K14, pp. 183–186, 28–29.03., Hyderabad, Telangana, CMR Technical Campus, Hyderabad, 2014
- [21] Bin, Z., Xiao-Lin, Y., Rui, L., Wei, W.: *Image Segmentation with Partial Differential Equations*, Information technology journal, Vol. 9, no. 5, pp. 1049–1052, 2010.
- [22] Thayammal, S., Selvathi, D.: *A Review On Segmentation Based Image Compression Techniques*, Journal of Engineering Science and Technology Review, Vol. 6, no. 3, pp. 134–140, 2013.
- [23] Torres, A. S., Monteiro, F. C.: *Image segmentation by graph partitioning*, IPB Campus Santa Apolónia, Vol. 805, pp. 802–805, 2012.
- [24] Karande, M., Kshirsagar, D. B.: *Probabilistic model based image segmentation*, The International Journal of Multimedia & Its Applications (IJMA), Vol. 6, no. 2, pp. 11–22, 2014.
- [25] Chan, T., Moelich, M., Sandberg, B.: *Some Recent Developments in Variational Image Segmentation*, Image Processing Based on Partial Differential Equations, Vol. 40, pp. 175–210, 2007.
- [26] Li, Y., Feng, X.: *A multiscale image segmentation method*, Pattern Recognition, Vol. 52, pp. 332–345, 2016.
- [27] Kemker, R., Salvaggio, C., Kanan, C.: *Algorithms for semantic segmentation of multispectral remote sensing imagery using deep learning*, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 145, pp. 60–77, 2018.
- [28] Katić, M., Šokac, M., Budak, I.: *Primjena računalne tomografije kod proizvoda od različitih materijala*, International conference on materials corrosion, heat treatment, testing and tribology, pp. 217–222, 04–07.10., Croatian Society for Materials and Tribology, Zadar, Croatia, 2017.

ZAHVALNICA

U ovom radu su prikazani rezultati postignuti u okviru projekta TR-35020, koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Autori: Mast.inž. Mario Šokac, Vanr. prof. dr Igor Budak, mast.inž. Željko Santoši, Vanr. prof. dr Đorđe Vukelić, Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2332. E-mail: marios@uns.ac.rs; budaki@uns.ac.rs; zeljkos@uns.ac.rs; vukelic@uns.ac.rs
Vanr. prof. dr Živana Jakovljević, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16 11120 Beograd, Tel.: 011 3302 264. E-mail: zjakovljevic@mas.bg.ac.rs

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE ETIKUM 2018

PROCEEDINGS

Session 2:
METROLOGY AND QUALITY CONTROL IN THE
BIOMEDICAL ENGINEERING

Novi Sad, 06 – 08 December 2018

Kostevsek, U., Ekselenski, S., Drstvensek, I., Brajljih, T.

ACCURACY TEST OF DENTAL THREE-DIMENSIONAL OPTICAL SCANNER

Abstract: The paper presents the results of accuracy testing of three-dimensional optical scanner that is used in the process of computer integrated fixed dental construction manufacturing in dental medicine. The main purpose of 3d scanning is to acquire information about real object's geometry and transform the collected data into digital form. This enables changes to the digital model inside computer software and considerably shortens the process of construction modelling. Due to the field of use, the scanner user interface is simple and user friendly. Also, the required accuracy of scanning is not high, due to the possibilities of manually adapting the construction at the implantation. The main purpose of the experiment was to establish the achievable accuracy range of dental scanner for usage in quality control in mechanical engineering in general. Paper presents the experiment and results together with explanation of possible causes of deviations. Also, problem and possible solutions that could influence the scanner's accuracy are discussed.

Key words: optical scanning, accuracy, dental

1. INTRODUCTION

A three-dimensional optical scanner is a device that analyzes real objects or the environment in order to collect data on their shape and dimensions. Scanning is performed according to the principle of projecting a fringe pattern of light on the object and recording the deformation of this pattern with a digital camera system. The collected data is used in the scanner software to create a three-dimensional computer model of a scanned object [1].

Test was performed with OrtoSCAN brand dental scanner (Figure 1), which is specialized for easy scanning of dental prosthetics and further digital modeling. The scanning is based on the principle of triangulation of the pattern deformation images from two cameras at a known angle in relation to the direction of projection. Such a scanning principle enables scanning of complex shapes of pocket and groove surfaces, self-calibration and consequently more accurate results. For the projection of a fringe pattern of light, OrtoSCAN scanner uses a white LED projector, which allows greater precision and reliability than laser beam scanning. The sharp lines of the sample are provided based on the optimization of the projector settings and the coordinated settings of the turning of the object and cameras with high resolution [2].

2. EXPERIMENT

The aim of the experiment was to establish the

frame of the accuracy of the 3D scanner, since we were interested in how precise it could be used for general measurements in mechanical engineering. It was decided that for the experiment gauge blocks sizes from 10 to 60 mm will be used. Gauge blocks were placed in the scanner plate with the adapted clamping device. The clamping device was adapted to the dimensions of the scanner chamber and was adjustable for different dimensions of the gauge blocks.



Fig. 1. OrtoScan Optical scanner

Before the start of the scan, the Dental Scanner software communication window offers the option of determining the scope of the measurement. On the screen the status inside of the scanner is shown with a horizontal line that can be moved vertically to determine the lower line of the measuring range. If the horizontal line is in the lower position (0%), the scanning area includes gauge blocks and a large part of the clamping device. In this case, the scanner software algorithm assembled and aligned the data of individual scans based on the overlapping geometry of the gauge block and the clamping device. Measurements where the horizontal line was moved above the clamping device and thus reduced the scanning area to only gauge block, the software algorithm used to align individual scans in a common computer model only by taking into account the geometry of the gauge block (Figure 2).

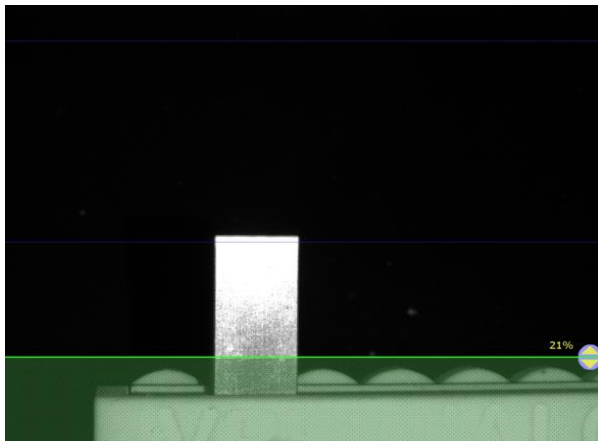


Fig. 2. Measuring range selection

2.1 Data processing

In order to establish deviations, dimension of the scanned 3D model of gauge blocks had to be determined. This was done with GOM Inspect CAQ software package. Each gauge block results were processed according to the protocol shown on Figure 3.

The first step in setting the dimensions is to transfer the STL file to the GOM Inspect software environment. Measurements were made between two planes that determine the nominal measure of the gauge block. One of these planes was used to define a best-fit plane, the other serves to determine the points. The plane, which served as a reference, is generated on the basis of the average values of the total selected area. On the other plane, the same number (9) of points were selected for each of the measurements of the gauge block in and in the same order. The distance between the points and the plane were calculated in the normal direction. Figure 3 shows a 30 mm block, with associated points and distances from the best-fit

reference plane. The distance number represents the distance between the both surfaces that determine the nominal value of the gauge block. In the program, the distance marked with the symbol L. (last in each result table), represents the normal distance of individual points from the plane.

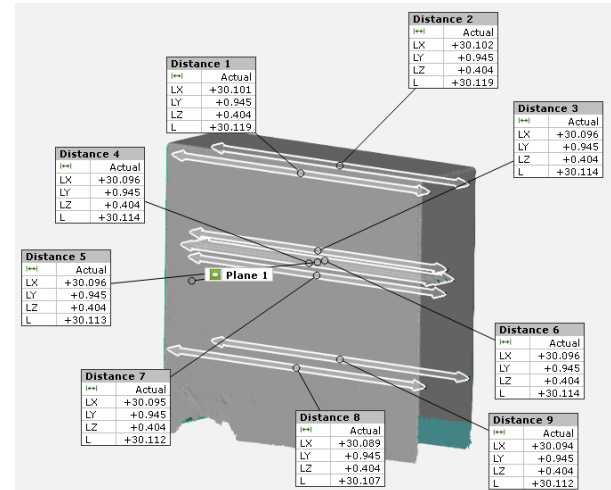


Fig. 3. Processing of measurement results

2.2 Results

The results of the measurements are divided into two sets. The first set represents the results of the measurements that were made when scanning the gauge block with the clamping device, while the second set presents the results generated by scanning only gauge blocks without the included geometry of the clamping device.

The average deviation represents the arithmetic mean of all the results (9 points) of individual measurements. For each of the gauge blocks, 10 consecutive measurements were performed, each of which included a distance analysis of 9 points. Thus, for each gauge block, 90 results were available (deviations from the nominal distance of the gauge block). For each block and each measurement separately, it was necessary to determine the average deviation value and convert the results into a graphic form. Because of the different sizes of the gauge blocks, the results are presented in the form of deviations from the nominal values of the gauge blocks.

Figure 4 represents the results of the average measurement deviations which were obtained with the included clamping device. The most accurate measurement is in the case of a gauge block of size 40 mm, with an average deviation of 0.026 mm. The least accurate results are in the case of a gauge block size of 60 mm, where the average deviation from the nominal value of the gauge block is 0.120 mm (failing our expectation of achieving 0.1mm accuracy).

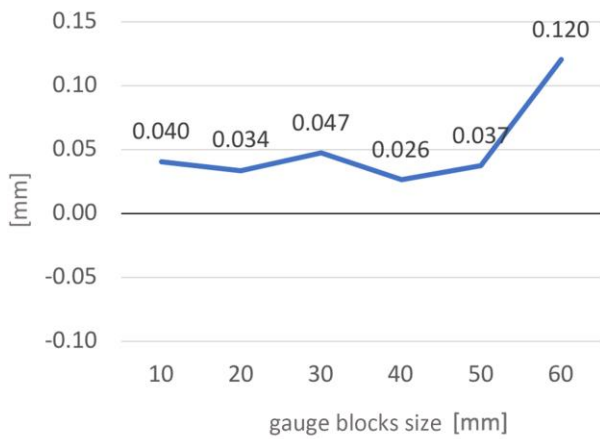


Fig. 4. Average deviations of measurements with included clamping device geometry.

Figure 5 represents the results of average deviations of measurements, where the clamping device was not included in the scope of the scanned geometry. The minimum average deviations from the nominal values of the gauge block were found in the analysis of the results of a gauge block of size 10 mm, with an average deviation of -0.010 mm. The maximum average deviation occurs at gauge block of size 50 mm and are -0.061 mm. The expected accuracy of 0,1mm was thus achieved in the case of measurements were clamping device was not included in the scanning range.

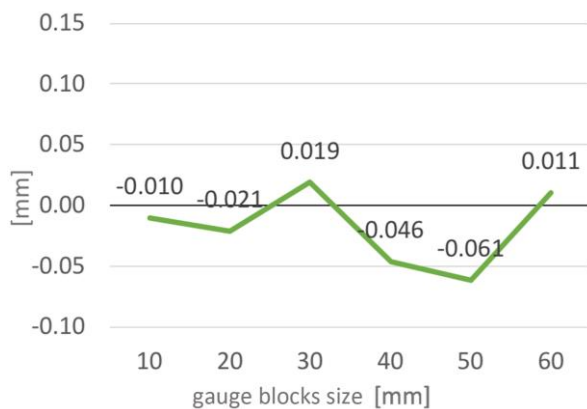


Fig. 5. Average deviations of measurements without included clamping device geometry.

A standard deviation is a statistical indicator by which it is possible to measure the dispersion of the value contained within a population (or a set of data) [3].

The standard deviation of measurements, where the clamping device is included in the scanning range, is shown in Figure 6. The most dispersed data is in the case of a gauge block of size 60 mm, because the standard deviation is 0.020 mm and in comparison, with the other results it stands out. Gauge block size 40 mm scanning represents the most concentrated

measurement results, because the standard deviation is only 0.003 mm.

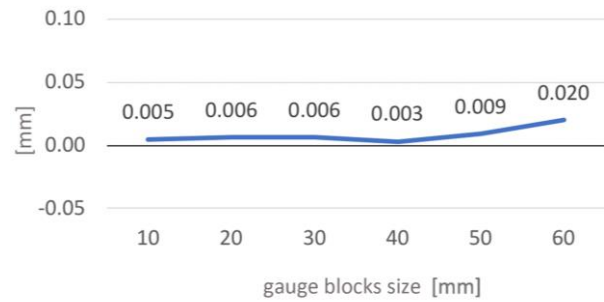


Fig. 6. Standard deviation in measurements with included clamping device geometry.

The standard deviations of measurements, where the clamping device was not included in the scanning range, are presented in the Figure 7. The highest standard deviation was obtained at gauge block size 20 mm and is 0.016 mm. The minimum spread of data is in the results of a 40 mm gauge block, with the standard deviation of 0.004 mm. Total range of standard deviation in the case of second set of measurements, where the clamping device was not included in the scanning range is 0.012 mm.

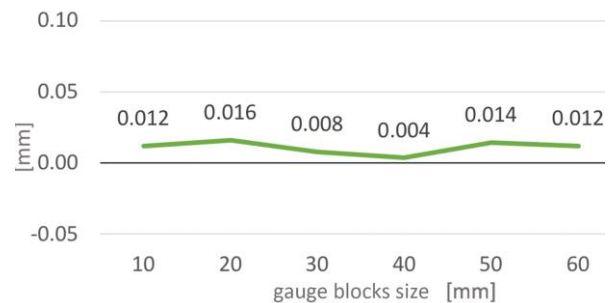


Fig. 7. Average deviations in measurements without clamping device geometry.

Figures 8 and 9 represent the maximal and minimal values of the measurements of each point according to the measurement procedure described in the previous chapter. As in the case of the previous results, here too are (due to different sizes of gauge blocks) the results given in the form of deviations from the nominal values of the gauge blocks.

The accuracy range of measurements with the clamping device geometry included is shown in Figure 8. The maximal measured value of the deviation is 0.115 mm in the case of a gauge block size 60 mm, and remarkably stands out in comparison with the other values. The minimum deviation value occurs at 40 mm gauge block and is 0.018 mm. The range of measurement accuracy is therefore between 0.155 mm and 0.018 mm,

what is together 0.137 mm. The results of the gauge block of size 60 mm have a widest range of 0.093 mm, the minimum range occurs in the results of a 40 mm block and is 0.015 mm.

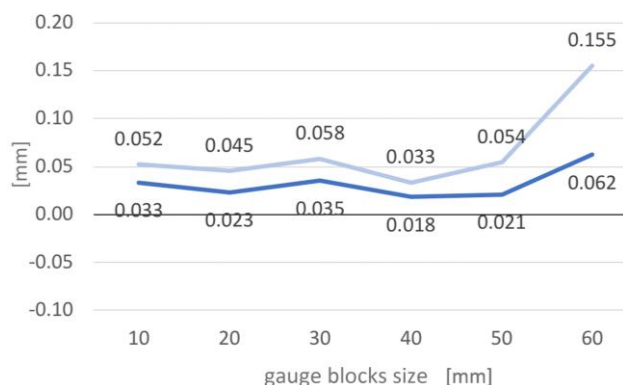


Fig. 8. Accuracy range of measurements, which has included clamping device geometry.

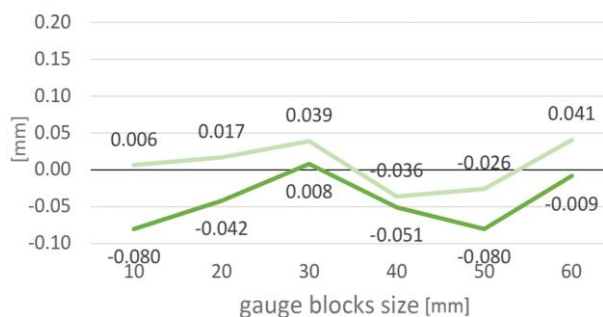


Fig. 9. Average deviations of measurements, without clamping device geometry.

The range of the accuracy of second set of measurements, where the clamping device was not included in the scanning range, is shown on Figure 9. The maximum value of the deviation occurs in a gauge block of size 60 mm and is 0.041 mm. The minimum value was measured with a gauge block of sizes 10 and 50 mm, with both deviation results at -0,080 mm. The total accuracy range is 0.121 mm. The maximum range of measurements of a single block is found in the results of a gauge block of size 10 mm at 0.086 mm, and the smallest in the results of measurements of a gauge block of size 40 mm at 0.015 mm.

5. CONCLUSIONS

The results of the described experiment present the achievable accuracy range that can be expected of OrtoScan optical scanner.

Most of the measurement results are within the expected accuracy of 0.1 mm deviations from the nominal values of the gauge blocks. Bigger deviations in measurements occurred in gauge block of size 60 mm. The reason for such deviations is probably that the size of 60 mm

block is already at the limits of the scanner's measuring volume. Particularly interesting are the differences between the results of the scans with and without the clamping device geometry data being processed or not. It can be observed that in cases without clamping device geometry, smaller values of measurements of gauge blocks were obtained, which are also closer to the nominal value of gauge block size. In the results of the measurements with the clamping device geometry included, the narrower scattering of results was achieved and also the narrower range of highest and lowest measured values. For this reason, we can conclude that the scanning accuracy is not affected only by the scanning method, but also by the method of data processing at the assembly of individual scans in the common 3D geometry. It can be assumed that a better repeatability of the measurements is due to the fact that in cases of including the clamping device geometry there was more data available to the assembling algorithm. Also, the shape of the geometry could have an influence on the accuracy. The clamping device has a much more complex geometry than the gauge block itself. That could also contribute to less scattering of data when such a geometry is assembled from individual scans into a common three-dimensional geometry.

More positive deviations from the nominal value are probably due to the application of the coating layer due to the glossy surfaces of metal blocks in order to be able to obtain the gauge block geometry by fringe pattern scanning.

6. REFERENCES

- [1] Brajljli, T, Tasič, T, Drstvenšek, I, Valentan, B, Hadžistević, M, Pogačar, V, Balič, J, Ačko, B: *Possibilities of using three-dimensional optical scanning in complex geometrical inspection*, *Strojniški vestnik* 57, 11 str. 826-833, 2011.
- [2] 3Dmed skener OrtoSCAN (<http://www.3dmed.si>).
- [3] Ačko, B.: *Meroslovje in kakovost*, Faculty of Mechanical Engineering, Maribor, 2011.

Authors: Urska Kostevsek MSc, Spela Ekselenski BSc, prof. dr. Igor Drstvensek and assis. dr. Tomaz Brajljli, University of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering, Smetanova street 17, 2000 Maribor, Slovenia, Phone.: + 386 (0)2 220 7598.

E-mail: urska.kostevsek@um.si
spela.ekselenski@student.um.si
igor.drstvensek@um.si
tomaz.brajlihi@um.si

Zupančić, K., Pavlič, A., Karpe, B., Ilić Mićunović, M., Puškar, T., Kosec, B., Bizjak, M., Nagode, A.

THE PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS IN DENTAL MEDICINE

Abstract: The purpose of presenting work was the characterisation of the microstructure, mechanical properties and thermal characteristics of the dental composite for fillings. The testing samples from composite material were in the shape of cylinder. They were prepared by two different routes i.e. by polymerisation of single layers from which the sample is composed and by polymerisation of the surface across the whole volume of the sample. Compression strength, hardness and thermal conductivity were measured. The surface of both samples and the microstructure analysis of the composite material were performed with scanning electron microscope (SEM) with attached EDXS detector. Based on performed tests, it was found that the composite fillings have appropriate physical and mechanical properties for the substitution of the solid tooth tissues. The composite filling must be made precisely in absolute dry conditions. Only in this way the appropriate sealing of the composite filling will be ensured.

Key words: dental composite, thermal conductivity, scanning electron microscopy, mechanical properties

1. INTRODUCTION

Dental materials represents materials which are used in dentistry, especially for dental restorations (fillings, crowns, bridges), prosthetic materials (dentures), dental implants, dressings etc. For dental materials variety materials as metals, ceramics, polymers, and composites can be used [1, 2]. Composites are mixture of two materials which differ in physical and chemical properties. One component is called matrix, while the other is reinforced phase. Composites are used because overall properties of the composites are superior to those of the individual components [3].

Dental resin composites typically contain mixture of soft, organic resin matrix (polymer) and hard, inorganic filler particles (ceramic). They were developed to overcome the disadvantages of amalgam restorative materials. Namely, dental amalgams are unaesthetic, and toxic. Thus, dental composite resins have increased in prevalence over the past 10 years [4]. Dental composites exhibit good aesthetic properties and direct-filling capabilities. Composite fillings can be used as restorative materials as well as for the supply of smaller and medium-sized defects in the posterior region [5, 6, 7].

Since dental materials are exposed to specific conditions in mouth, i.e. acid environment, high chewing forces and different temperatures the potential materials have to poses some certain material properties [8]. Therefore, in this research a microstructure characterisation was performed as well as mechanical properties (compressive strength

and hardness) and thermal conductivity of Ceram.X One Universal nano-ceramic restorative composite were measured.

2. EXPERIMENTAL

Testing samples for scanning electron microscopy and compression strength measurements were in the shape of cylinder with the diameter of 8,65 mm and height of 11,7 mm and 13,41 mm, respectively. The samples were prepared by two different routes, i.e. by polymerization of single layers (Fig. 1 a) from which the samples are composed and by polymerization of the surface across the whole volume of the sample (Fig 1. b).

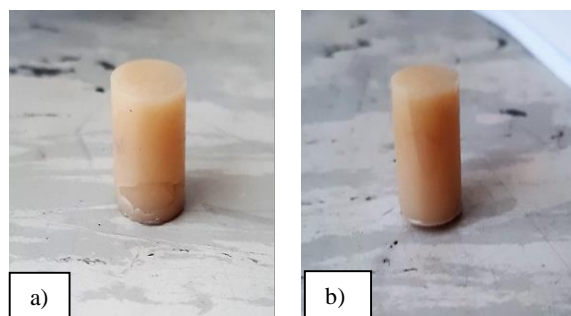


Fig. 1: Samples for the compression strength measurements

The sample for thermal properties measurements was also in the shape of cylinder; however, with a diameter of 30 mm and the height of 10 mm. It was prepared with the polymerisation from the side and from the top of each layer. For the polymerisation of the all samples the light of wavelength from 380

to 515 nm was used. The intensity of polymerisation was 1200 mV/cm².

The microstructure characterisation was performed by scanning electron microscope Jeol JSM 5610 with attached EDXS detector (Fig 2). Before that the samples were metallographically prepared by grinding and polishing. The compression strength was measured by Gleeble, while hardness by Vickers method. For the thermal properties Hot disc TPS 2200 was used (Fig. 3).



Fig. 2: Scanning electron microscope Jeol JSM 5610 with attached EDS detector



Fig. 3. Hot disk TPS 2200 for measurements of thermal properties

3. RESULTS AND DISCUSSION

In the paper the material properties of dental composite for fillings were determined. The microstructure which is shown in Fig. 4 consists of organic resin which cannot be identified with EDS analysis. However, the most commonly used monomer for both anterior and posterior resin is Bis-GMA, which is derived from the reaction of bisphenol-A and glycidyl methacrylate. This resin is commonly referred to as Bowen's resin, after its inventor. Other monomers are urethane dimethacrylate (UEDMA), and triethylene glycol dimethacrylate (TEGDMA) [3].

From the EDXS results (Table 2) it was confirmed that the light particles in the microstructure represents ytterbium fluoride (YbF₃), while the dark particles are from the glass components composed of different oxides, namely BaO, SiO₂ and Al₂O₃. The size of these particles are approximately 1 μm.

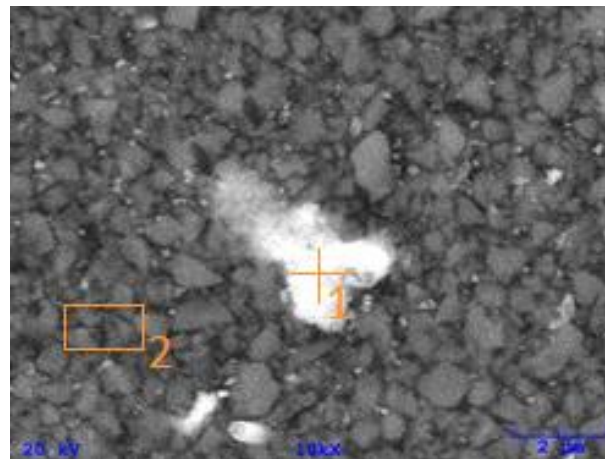


Fig. 4. Microstructure of dental composite (BEI)

Table 1: The results of EDXS analysis in wt. %

Site	O	Al	Si	Ca	Ba	Yb	F
1	8,2	7,1	40,3	0,4	43,9	-	-
2	3,8	-	26,7	-	11,2	67,9	6,5

The surfaces of the cylinders which were prepared by different production routes and are explained in Experimental show different inhomogenities; namely, the sample prepared by polymerisation of single layers (Fig. 1 a) show cracks (Fig 5), while the surface of cylinder prepared by polymerisation of the surface across the whole volume of the sample (Fig 1. b) show pores of different sizes (Fig. 6).

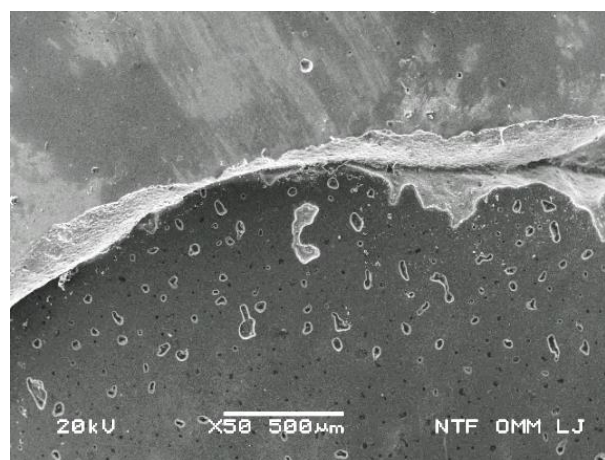


Fig. 5. The surface of the sample prepared by polymerisation of single layers (SEI).

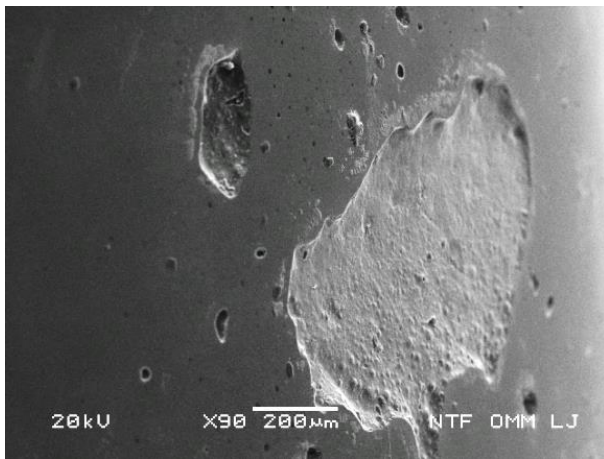


Fig. 6. The surface of the sample prepared by polymerisation of the surface across the whole volume of the sample (SEI)

The results of compression tests which were made with Gleeble showed that the sample prepared by polymerisation of single layers possessed much higher stresses (1200 MPa) than sample prepared by polymerisation of the whole volume (400 MPa) despite the cracks which were observed with the SEM. The hardness of the composite was 120 HV which is somewhat lower than the hardness of amalgam (147,8 HV).

The thermal conductivity of dental composite was measured to be 0,5168 W/(m·K), while of the amalgam was 23,0 W/(m·K). Due to the sensitivity of dental pulp a lower thermal conductivity is of a great advantage.

4. CONCLUSIONS

The dental composites have become more and more popular in dentistry since exhibit good mechanical properties, ease of application and high translucency. Besides that, they are non-toxic and aesthetic.

In this paper the surface and microstructural characterisation was made as well as compression strength, hardness and thermal conductivity measurements were performed on the dental composite prepared by two different route.

It was found that the microstructure consists of organic resin and light particles of ytterbium fluoride (YBF₃) and dark particles of glass which is composed of different oxides, namely BaO, SiO₂ and Al₂O₃.

The surface of the composite prepared by polymerisation of single layers showed cracks, while sample polymerised across whole volume showed pores.

The compression test showed that the sample prepared by polymerisation of single layers exhibited much higher stress (1200 MPa) in

comparison to the sample polymerised across whole volume (400 MPa)

The measured hardness of the composite was 120 HV which is somewhat lower than the measured hardness of amalgam (147,8 HV).

The thermal conductivity of dental composite was 0,5168 W/(m·K), while of the amalgam was 23,0 W/(m·K).

5. REFERENCES

- [1] Stamenković, D., Obradović-Đuričić, K., Ivanović, V., Vulićević, Z., Marković, D., Todorović, A., Raić, K., Pavlović, G., Popović, G., Veličković, S.: *Stomatološki materijali: knjiga 1*. Beograd: Data Status, 2009.
- [2] Ferrance, J.L.: *Resin composite – State of the art, Dental materials*, 27, p.p. 29 – 38, 2011.
- [3] Ravi, R.K., Alla, R.K., Shammam, M., Devarhubli, A., *Dental Composites - A Versatile Restorative Material: An Overview*, Indian Journal of Dental Sciences, 5, p.p. 111 – 115, 2013.
- [4] Lawson, N.: *Composite dental materials: Wear, Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*, Clinical and Community Sciences, UAB, Birmingham, USA, 2016.
- [5] Moszner, N., Salz U.: *New development of polymeric dental composites*, Prog. Polym. Sci., 26, p.p. 535 – 576, 2001.
- [6] Beyth, N., Farah, S., Domb, A. J., Weiss, E. I.: *Antibacterial dental resin composites*, Reactive & Functional Polymers, Reactive & Functional Polymers, 75, p.p. 81–88, 2014
- [7] Craig, R.G., Powers, J.M.: *Restorative dental materials*, Mosby, 2002.
- [8] Karpe, B., Vodlan, M., Kopač, Ig., Budak, I., Nagode, A., Pavlič, A., Puškar, T., Kosec, B.: *Thermal properties of materials used in dental medicine*, Journal of Advanced Technologies and Materials, 43, 1, p.p. 1- 4, 2018.

Authors:

Katja Zupančič, Assoc. Prof. Dr. Aleš Nagode, Prof. Dr. Borut Kosec, Assist. Prof. Dr. Blaž Karpe, Prof. Dr. Milan Bizjak, University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenia, Phone: +386 1 2000410, Fax: +386 1 470 4560.

E-mail: zupancic.kaatja@gmail.com;
ales.nagode@omm.ntf.uni-lj.si
borut.kosec@omm.ntf.uni-lj.si
blaz.karpe@omm.ntf.uni-lj.si
milan.bizjak@omm.ntf.uni-lj.si

Assoc. Prof. Dr. Alenka Pavlič, University of Ljubljana, Faculty of Medicine, Vrazov trg 2, 1000 Ljubljana, Slovenia, Phone: +386 1 543 77 02, Fax: +386 1 5437 701.

E-mail:

alenka.pavlic@mf.uni-lj.si

Dr. Milana Ilić Mićunović, University of Novi Sad, Faculty Technical Sciences, Trg D. Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Phone.: +381 21 4852255, Fax: +381 21 4852313.

E-mail:

milanai@uns.ac.rs

Assoc. Prof. Dr. Tatjana Puškar, University of Novi Sad, Faculty of Medicine, Hajduk Veljkova 3, 21000 Novi Sad, Serbia, Phone: +381 21 420677, Fax: +381 21 662-4153.

E-mail:

tatjanapuskar@yahoo.com

*Corresponding author:

Assoc. Prof. Dr. Aleš Nagode,

E-mail: ales.nagode@omm.ntf.uni-lj.si

Mitić, J., Manić, M., Petrović S., Krasić, S., Vitković, N., Trajanović, M.

REKONSTRUKCIJA GEOMETRIJSKOG MODELA NEDOSTAJUĆEG DELA NA
TELU DONJE VILICE ČOVEKA

Rezime: Rekonstrukcija nedostajućeg dela humane kosti donje vilice predstavlja značajan izazov u ortodontiji i hirurgiji. Normalan izgled i osnovna funkcija kosti predstavlja glavni cilj rekonstrukcije. U ovom radu predstavljen je postupak rekonstrukcije 3D geometrijskog modela nedostajućeg dela humane donje vilice. Proces rekonstrukcije zasniva se na poštovanju individualne morfologije pacijenta. Za potrebe rekonstrukcije razvijen je model veštačke neuronske mreže prilagođen morfometrijskim parametrima očitanih sa medicinskih slika. Na ovaj način u potpunosti je zadovoljena geometrijska tačnost kreiranog modela. Geometrijska tačnost kreiranog modela testirana je primenom analize devijacije u CAD programu CATIA. Rezultati analize su i više nego zadovoljavajući.

Ključne reči: rekonstrukcija, defekt, donja vilica, veštačke neuronske mreže

1. UVOD

Donja vilica čoveka predstavlja jednu od osetljivijih kosti u skeletnom sistemu čoveka. Povrede i bolesti su samo neka od uzroka koja za posledicu mogu imati nastanak deformiteta na donjoj vilici. Uloga lekara je od velikog značaja jer se od njih očekuje: efikasno vraćanje funkcije kosti i postizanje estetskih rezultata. 3D digitalni model nedostajuće koštane strukture maksilofacijalnim hirurzima bi pomogao u određivanju dimenzija i oblika implanta, obradi frakture i pravilnom postavljanju osteofiksacionog materijala.

Tehnike razvijene u antropologiji za rekonstrukciju humanih kostiju pružaju dragocenu pomoć u polju medicine. Kreiranje 3D digitalnih modela tehnikama reverznog inženjeringa i geometrijskim morfometrijskim metodama (eng. Geometric Morphometric Methods - GMM) predstavlja osnovu u polju „Virtualne antropologije“ [1]. Virtuuelni pristup u proučavanju anatomskih podataka i kvantitativne analize složenih oblika predstavlja ključne elemente virtualne antropologije.

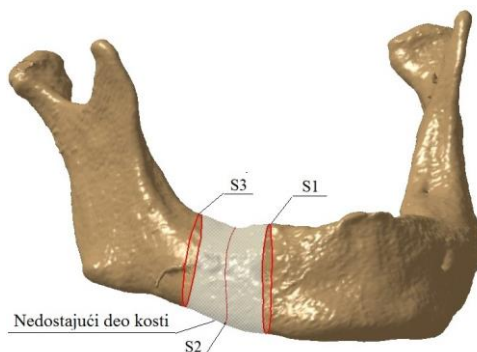
Veza između virtualnog pristupa i medicinskog problema je uslovlila formiranje različitih tehnika u modeliranju nedostajućeg dela kosti [2]. Sa tehničkog aspekta, geometrijsko modeliranje 3D nedostajućeg dela koštane strukture predstavlja veoma složen proces. Pored funkcionalnih zahteva, 3D digitalni model mora da zadovolji i individualne karakteristike pacijenta [3]. Dodatni izazov predstavlja i geometrija kosti koja je neponovljiva zbog svoje slobodne forme.

U okviru ovog rada biće predstavljen postupak rekonstrukcije 3D geometrijskog modela

nedostajućeg dela koštane strukture. Postupak rekonstrukcije bazira se na matematičkom modelu zasnovanom na primeni veštačke neuronske mreže. Za potrebe rekonstrukcije razvijen je model veštačke neuronske mreže (eng. Artificial Neural Networks - ANN) prilagođen morfometrijskim parametrima koji se mogu očitati sa medicinskih slika. Uspostavljanjem matematičkih relacija između morfometrijskih parametara i anatomskih tačaka (skup tačaka koji se koristi za opis morfoloških oblika) omogućen je precizan opis geometrijskih entiteta humane kosti. Na ovaj način, geometrijska preciznost kreiranog modela je zadovoljena.

2. MATERIJAL I METODA

Primera radi, nedostatak kosti nalazi se na desnoj strani tela donje vilice, omeđenom krivama S_1 i S_3 , prikazano na slici 1. Oštećenje (kompleksna fraktura) je kreirano na uzorku korišćenjem odgovarajućih inženjerskih tehnika za modeliranje i u saradnji sa maksilofacijalnim hirurzima.



Sl.1. Nedostajući deo kosti

Proces kreiranja nedostajućeg dela humane kosti donje vilice sastoji se od sledećih koraka:

- predprocesiranje sirovih podataka;
- formiranje poligonalnog modela;
- definisanje referentnih geometrijskih entiteta;
- merenje vrednosti morfometrijskih parametara i anatomskih tačaka;
- kreiranje ANN modela;
- izračunavanje predikcionih vrednosti koordinata anatomskih tačaka;
- kreiranje CAD modela;

2.1. Predprocesiranje podataka

Analiza je sprovedena na osnovu 22 CT snimka zdravih muških donjih vilica starosti od 24-82 godina. CT snimci su dobijeni na Toshiba MSCT skeneru Aquillion u skladu sa standardnim protokolom: 120 kV, 150 mA, debljina poprečnih preseka od 1 mm, rezolucija u ravni 0.8 x 0.8 mm, matrica akvizicije 512 x 512. Prva faza u postupku kreiranja 3D geometrijskog modela je predprocesiranje sirovih podataka. Postupak se zasniva na formiranju volumetrijskog snimka kosti u DICOM formatu i njihovoj obradi u odgovarajućem CAD softveru.

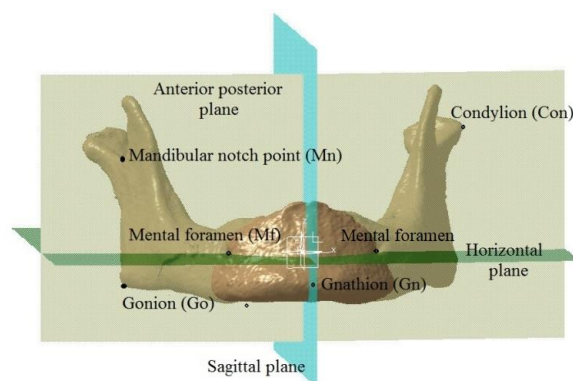
2.2. Formiranje poligonalnog modela

Redukovanje i filtriranje volumetrijskog modela vrši se u CAD aplikaciji CATIA. Redukovanje uvezenog modela, uklanjanje nepravilno formiranih poligona i ozdravljenje modela predstavlja površinsku rekonstrukciju čiji je krajnji cilj kreiranje poligonalnog modela.

2.3. Definisanje referentnih geometrijskih entiteta

Postupak definisanja referentnih geometrijskih entiteta vrši se na poligonalnom modelu donje vilice u skladu sa morfologijom i anatomijom humane kosti. Pravilna i tačna identifikacija referentnih geometrijskih entiteta (tačaka, linija, ravni, osa) predstavlja osnovni preduslov za uspešno modeliranje. Iz tog razloga identifikacija referentnih geometrijskih entiteta bazirana je na Metodi Anatomskih Entiteta (eng. Method of Anatomical Features - MAF) [4]. Najpre su na poligonalnom modelu definisane karakteristične anatomske tačke [5], koje su poslužile za definisanje ravni koordinatnog sistema. Polaznu osnovu u definisanju Medio-Sagitalne ravni predstavlja karakteristična anatomska tačka Gnation (Gn) i distanca između anatomske tačke Mental Foramen (MF) definisane sa obe strane humane kosti. Horizontalna i Koronalna ravan koordinatnog sistema definisane su u zavisnosti od Medio-Sagitalne ravni [6]. Centar koordinatnog sistema je postavljen na sredini distance između

anatomske tačke Mental Foramen definisane na levoj i desnoj strani kosti, slika 2.

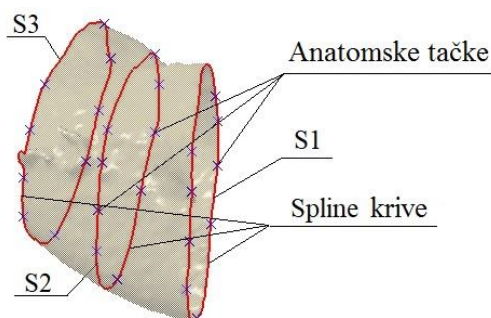


Sl. 2. Ravni koordinatnog sistema

2.4. Merenje vrednosti morfometrijskih parametara i anatomskih tačaka

Pravilno pozicioniranje karakterističnih anatomskih tačaka je jako bitno jer njihov položaj utiče na definisanje morfometrijskih parametara. Na donjoj vilici čoveka može se izdvojiti centralni i bilateralni morfometrijski parametri koji u potpunosti mogu da opišu njenu konfiguraciju [5]. U ovom slučaju, kompleksna fraktura na telu donje vilice, uticala je na nemogućnost definisanja i očitavanja 2 morfometrijska parametara (gnation-kondilarnu distancu Gn-ConD i dužinu tela donje vilice LMB).

Na svim poligonalnim modelima donje vilice najpre je kreirana kompleksna fraktura omeđena krivama S_1 , S_2 i S_3 . Na kreiranom modelu frakture izdvojene su 27 anatomske tačke, definisane na spline krivama dobijenih presecanjem poligonalnog modela sa odgovarajućim anatomskim ravnima, slika 3. Ovako definisane anatomske tačke formiraju oblak anatomskih tačaka nad kojim se vrši obrada podataka.



Sl. 3. Nedostajući deo omeđen krivama

2.5. Kreiranje ANN modela

Za matematičko modeliranje podataka korišćen je softver MATLAB. Upotrebom MATLAB Neural Net Toolbox izvršeno je uspostavljanje preciznih veza između promenljivih. U realizaciji ANN modela korišćeno je 22 uzorka donje vilice,

od kojih je 75% uzorka korišćeno za obuku matematičkog modela, dok je preostalih 25% za testiranje. Za ulazne promenjive korišćene su izmerene vrednosti 7 morfometrijskih parametara, dok su za izlazne promenjive korišćene vrednosti koordinata 27 anatomskih tačaka. Vrednosti koordinata (X, Y i Z) anatomskih tačaka izmerene su na osnovu unapred definisanog koordinatnog sistema.

Obuka ANN za predikciju položaja anatomskih tačaka izvršena je *Levenberg-Markeovim* (*trainlm*) algoritmom. U cilju realizacije ANN modela visokih performansi neophodno je izvršiti podešavanje parametara treniranja, testiranjem više neuronskih mreža različitih struktura. Vrednost 0.1 za koeficijent učenja, 0.2 za momentum i 1475 za maksimalan broj epoha prilikom treninga su određene vrednosti sa kojim algoritam propagacije greške unazad ima najbolje performanse predikcije. Testiranjem su dobijene i optimalne vrednosti parametara arhitekture: jedan sakriveni sloj, 30 neurona u sakrivenom sloju i longitudinalna-sigmoidalna (*logsig*) aktivaciona funkcija. Srednja kvadratna greška i apsolutna greška (razlika između dobijene vrednosti predikcije i izmerene vrednosti) korišćene su za ocenu tačnosti matematičkog modela.

2.6. Izračunavanje predikcionih vrednosti koordinata anatomskih tačaka

Statistički ocenjen kao adekvatan, kreirani ANN model je pogodan za dalju upotrebu. Na osnovu strukture ANN modela sa najboljim performansama, matematička relacija između ulaznih i izlaznih promenjivih se može definisati na sledeći način:

$$Y = \left[\frac{1}{1 + e^{-(X \cdot W_{ji} + b_j)}} \right] * W_{kj} + b_{ok} \quad (1)$$

gde je: X vektor ulaznih promenjivih, W_{ji} , b_j - koeficijenti u sakrivenom sloju, W_{kj} , b_{ok} - koeficijentu u izlaznom sloju i Y vektor izlaza.

Primenom (1) za ulazne vrednosti morfometrijskih parametara očitanih sa medicinskog snimka (koji nije bio deo početnog trening skupa), vrednost izlaznih signala – koordinata anatomskih tačaka se dobija tako što se željeni ulazni signal zameni sa X dok se težinski faktori zamene sa W_1 i W_2 , a bijasi sa b_1 i b_2 .

$$Y = b_2 + W_2 * \text{logsig}(b_1 + W_1 * X) \quad (2)$$

gde su: W_1 težinski faktori u sakrivenom sloju, W_2 težinski faktori u izlaznom sloju, b_1 bijasi u sakrivenom sloju i b_2 bijasi u izlaznom sloju.

2.7. Kreiranje CAD modela

Formiranje nedostajuće površine izvršeno je na osnovu dobijenih predikcionih vrednosti koordinata 27 anatomskih tačaka. Formiranje površine je izvršeno u CAD softveru CATIA, prikazano na slici 4.

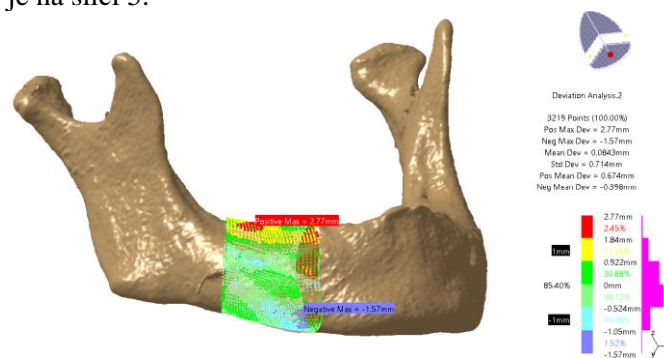


Sl. 4. Kreiran geometrijski model nedostajućeg dela

3. REZULTAT I DISKUSIJA

Kreiran 3D geometrijski model nedostajućeg dela donje vilice analiziran je merenjem površinske devijacije u CAD aplikaciji CATIA. Analiza devijacije je sprovedena između ulaznog-inicijalnog modela i modela kreiranog na osnovu dobijenih predikcionih vrednosti.

Dobijene vrednosti rezultata analize ukazuju da veći deo dobijene površine (85.40%) ima devijacije u odnosu na početni model u rasponu od -1.00 do 1.00 mm. Vrednost maksimalne pozitivne devijacije iznosi 2.77 mm, dok je maksimalna negativna -1.57 mm, tabela 1. Analiza odstupanja između početne i konstruisane površine prikazana je na slici 5.



Sl. 5. Rezultat analize devijacije

Tabela 1. Rezultati analize devijacije

Analiza devijacije			
	Vrednosti maks.odstupanja (mm)		U granici od -1 do 1 (%)
Model	2.77	-1.57	85.40

U cilju dodatne provere tačnosti izračunata je i vrednost relativne greške za svaku koordinatu anatomske tačke. Rezultati analize predstavljeni su u tabeli 2.

Tabela 2. Srednja vrednost relativne greške

Srednja vrednost relativne greške (%)			
	X	Y	Z
Model	0.588	0.699	0.977

Predstavljeni rezultati u ovoj analizi poslužili su za ocenu rezultujućeg modela i donošenja zaključka o njihovom geometrijskom kvalitetu. Nakon sagledavanja rezultata predstavljenih na slici 5, može se uočiti da se najveća vrednost maksimalne pozitivne devijacije (2.77 mm) nalazi u regionu zuba koji nije obuhvaćen analizom (zbog razlike po broju i topologiji od pacijenta do pacijenta).

Takođe, vrednost srednje relativne greške izračunate za svaku koordinatu anatomske tačke ne prelaze 1.00%, što predstavlja jako dobar rezultat.

4. ZAKLJUČAK

Usled povreda, preloma i/ili bolesti humana donja vilica u znatnoj meri može biti oštećena. Jedan od problema koji se može javiti u preoperativnom planiranju je kako izvršiti rekonstrukciju koštane strukture ako je normalan izgled nepoznat.

Upravo iz tog razloga, u ovom istraživanju razvijen je varijacioni – matematički model donje vilice koji je prilagođen određenom pacijentu. Varijabilnost modela ogleda se u mogućnosti prilagođavanja matematičkog modela novom skupu podataka očitano sa medicinskih slika.

Nad kreiranim matematičkim modelom sprovedena je analiza kojim je pokazana efikasnost i tačnost modela. Sagledavajući rezultate analize predstavljenih u ovom istraživanju može se zaključiti da je kreirani matematički model u potpunosti adekvatan za primenu u rekonstrukciji nedostajućeg dela humane kosti donje vilice.

Dalji razvoj istraživanja biće usmeren u preciznijoj analizi morfoloških karakteristika, obezbeđivanju većeg broja primeraka kostiju radi sprovođenja detaljnije analize i primeni na druge kosti koštano-zglobnog sistema.

5. ZAHVALNICA

Rezultati prezentovani u ovom radu su realizovani u okviru projekta „III 41017 Virtuelni koštano zglobni sistem čoveka i njegova primena u kliničkoj i predkliničkoj praksi“ pod pokroviteljstvom Ministarstva prosvete, nauke, tehnološkog razvoja Republike Srbije u periodu od 2011-2018.

6. REFERENCE

- [1] Weber, G.: *Virtual Anthropology (VA): a call for glasnost in paleoanthropology*, The Anatomical Record, Volume 265, Issue 4, pp. 193–201, 2001.
- [2] Benazzi, S., Fiorenza, L., Kozakowski, S., Kullmer, O.: *Comparing 3D virtual methods for hemimandibular body reconstruction*, The anatomical Record, Volume 294, Issue 7, pp. 1116-1125, 2011.
- [3] Zachow, S., Lamecker, H., Elsholtz, B., Stiller, M.: *Reconstruction of mandibular dysplasia using a statistical 3D shape model*, International Congress Series, Volume 1281, pp. 1238-1243, 2005.
- [4] Majstorović, V., Trajanović, M., Vitković, N., Stojković, M.: *Reverse engineering of human bones by using method of anatomical features*, Cirp Annals, Volume 62, Issue 1, pp. 167-170, 2013.
- [5] Arsić, S., Perić, P., Stojković, M., Ilić, D., Stojanović, M., Ajduković, Z.: *Komparativna analiza linearnih morfometrijskih parametara humane mandibule dobijenih direktnim i indirektnim merenjem*, Vojnosanitetski Pregled, Volume 67, Issue 10, pp. 839-846, 2010.
- [6] Mitić, J., Vitković, N., Manić, M., Petrtović, S., Rashid, M., Trajanović, M.: *Primena metoda veštačke inteligencije za rekonstrukciju geometrijskog modela tela donje vilice čoveka*, IMK-14-Istraživanje i razvoj u teškoj mašingradnji, Volumen 24, Issue 2, pp. 59-62, 2018.

Autori: Jelena Mitić¹, Prof. dr Miodrag Manić¹, prof. dr Sladana Petrović², prof. dr Sonja Krasić³, Doc.dr Nikola Vitković¹, prof. dr Miroslav Trajanović¹

¹Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Serbia, Tel: +381 18 588 255.

E-mail: jelena.mitic153@gmail.com

nvitko@gmail.com

miodrag.manic@masfak.ni.ac.rs

miroslav.trajanovic@masfak.ni.ac.rs

² Univerzitet u Nišu, Medicinski fakultet, Bulevar Dr Zorana Đinđića 81, 18000 Niš, Serbia, Tel: +381 18 42 38 770.

E-mail: sladjana-petrovic@hotmail.com

³ Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Serbia, Tel: +381 18 588 200.

E-mail: krasic.sonja@gmail.com

Maletin, A., Marković, D., Petronijević Šarčev, B., Puškar, T., Veljović, T., Nešković, I., Ristić, I.

MERENJE STEPENA KONVERZIJE MONOMERA DENTALNIH CEMENTNIH MATERIJALA NA BAZI KOMPOZITNIH SMOLA

Rezime: *Stepen konverzije monomera utiče na strukturu dentalnih cementnih materijala na bazi kompozitnih smola u smislu mehaničkih svojstava kao i hemijske stabilnosti i utvrđeno je da nikada ne iznosi 100%. U uslovima nepotpune polimerizacije kada je nivo konverzije daleko ispod očekivanog može se očekivati i slabija snaga veze cementnog materijala i zubne strukture što značajno utiče na klinički uspeh restaurativne procedure u stomatologiji.*

Stepen konverzije monomera određuje se primenom različitih metoda kao što su mikro Raman spektroskopija, infracrvena spektroskopija sa Furijeovom transformacijom (FTIR), diferencijalna termalna analiza (DTA) i diferencijalna skening kalorimetrija (DSC). U radu će biti prikazane mogućnosti primene FTIR metode.

Ključne reči: *dentalni cementi, kompozitna smola, konverzija monomera, FTIR*

1. UVOD

U literaturi stepen konverzije (degree of conversion, DC) definiše se kao procenat dvostrukih ugljenik-ugljenik C=C veza monomera koje prelaze u jednostruke C-C veze polimera i računa kao odnos dvostrukih C=C veza u polimerizovanom i nepolimerizovanom materijalu [1].

U cilju izračunavanja stepena konverzije monomera primenjuje se sledeća jednačina :

$$DC = [1 - R_{\text{polimerizovano}} / R_{\text{nepolimerizovano}}] \times 100$$

DC- stepen konverzije monomera (u %)

R-odnos površine pika na 1638 cm^{-1} i 1608 cm^{-1} u polimerizovanom i nepolimerizovanom materijalu

Alifatične C=C veze u polimerizovanom i nepolimerizovanom materijalu odgovaraju piku od 1638 cm^{-1} . Aromatične C=C veze u nepolimerizovanom materijalu odgovaraju piku od 1608 cm^{-1} . Aromatične C=C veze ne podležu promenama tokom reakcije polimerizacije te se pik od 1608 cm^{-1} uzima kao interni standard u svrhu izračunavanja stepena konverzije monomera [2].

Teoretski, u toku polimerizacionog procesa svi molekuli monomera konvertuju se u polimere. Međutim, dimetakrilatni monomeri pokazuju određeni procenat rezidualnih neizreagovanih dvostrukih C=C veza u polimeru tako da stepen konverzije varira između 55 i 75% [3].

U osnovi, stepen konverzije monomera utiče na strukturu dentalnih cementnih materijala na bazi smola u smislu mehaničkih svojstava kao i

hemijske stabilnosti i utvrđeno je da nikada ne iznosi 100% [1,2]. Za dentalne kompozitne materijale trenutno dostupne na tržištu stepen konverzije varira između 36 i 67% [4].

Konverzija monomera u polimer važna je determinanta fizičko-mehaničke snage novonastalog polimera [1,5-7]. Niži stepen konverzije za posledicu može imati izmenjena biomehanička svojstva materijala, u smislu smanjene tvrdoće, povećane hidrolitičke degradacije, smanjene otpornosti na lom i habanje kao i značajno oslobađanje rezidualnog monomera i sledstveno tome izmenjenu biokompatibilnost materijala [1,8]. U uslovima nepotpune polimerizacije odnosno kada je nivo konverzije daleko ispod očekivanog može se očekivati i slabija snaga veze materijala i zubne strukture [9].

2. IZBOR METODE ZA ODREĐIVANJE STEPENA KONVERZIJE MONOMERA

U svrhu određivanja stepena konverzije polimernih materijala različite su metode koje se mogu primeniti. Najčešće korišćene su direktne metode poput mikro Raman spektroskopije [1,2,5,6,10], infracrvene spektroskopije sa Furijeovom transformacijom (FT-IC) [3,8,11] i diferencijalne skening kalorimetrije [12] a ređe su pitanju indirektna tehnika kao što su struganje (eng. scraping) [13] i merenje površinske tvrdoće [14].

Diferencijalna skening kalorimetrija (DSC) meri toplotu stvorenu tokom reakcije polimerizacije, koja je proporcionalna procentu ili koncentraciji izreagovalog monomera [12].

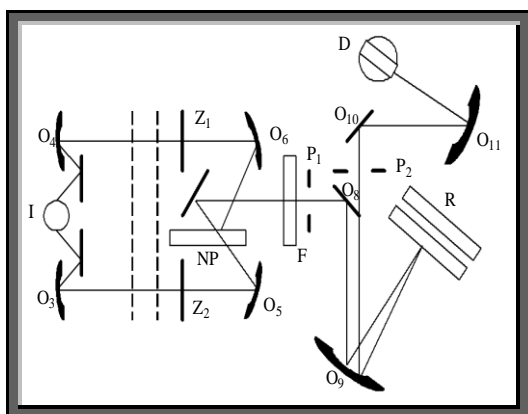
Diferencijalna termalna analiza (DTA) predstavlja modifikaciju DSC metode sa primenom u određivanju stepena konverzije za grupu svetlosno polimerizujućih materijala na bazi kompozitnih smola. U osnovi je jednostavna metoda koja ne zahteva specijalnu pripremu uzoraka u smislu stvaranja praha ili sečenja uzoraka [11].

Spektroskopija je disciplina koja se bavi proučavanjem međudelovanja elektromagnetnog zračenja i materije. Infracrvena spektroskopija sa Furijeovom transformacijom (FT-IC) i mikro Raman spektroskopija, smatraju se vrlo korisnim i primenjivim u određivanju stepena konverzije dentalnih kompozitnih materijala i adhezivnih sistema [15].

Tehnika Raman spektroskopije sa uspehom se primenjuje u svrh: identifikacije mineralnih komponenti intaktnog zuba, identifikacije mineralnih komponenti nakon tretmana, određivanja stepena konverzije različitih materijala i ispitivanja međuspoja zubna struktura-materijal. Spada u neinvazivne metode bez potrebe za izmenom fizičkog stanja uzorka pre analize [2].

Mikro Raman spektroskopija i FT-IC nude mogućnost dobijanja informacija o hemijskoj strukturi ispitivanog materijala kao i određivanje stepena konverzije monomera merenjem količine konvertovanih dvostrukih C=C veza [16]. FT-IC metoda je dokazano pouzdana tehnika određivanja stepena konverzije koja detektuje vibracije C=C veza pre i posle polimerizacije [3]. Neki smatraju da je osnovni nedostatak ove metode u tome što rezultat analize reprezentuje polimerizacionu reakciju dela uzorka, što može biti problem ako je polimerizacija uzorka disproporcionalna [11].

3. INFRACRVENA SPEKTROSKOPIJA SA FURIJEOVOM TRANSFORMACIJOM



Sl. 1. Šematski prikaz optičkih delova infracrvenog spektrofotometra.

Izvor zračenja (I) predstavlja električno grejno Nernst-ovo vlakno, koje se sastoji od smeše oksida cirkonijuma, torijuma i cerijuma. Zrak iz izvora deli se na dva dela pomoću ogledala (O_1) i (O_2), pri čemu se obrazuju referentni zrak i zrak za analizu. Oba zraka, nakon fokusiranja ogledalima (O_3) i (O_4), padaju na oslabljivače (Z_1) i (Z_2), čija je funkcija da se odnos intenziteta dva zraka tako podesi da propustljivost bude 100 % kada je uzorak potpuno transparentan, a 0%, kada je put zraka potpuno blokiran. Naizmenični pretvarač (NP) predstavlja obrtni element sa frekvencijom obrtanja od oko 30 Hz. Prilikom obrtanja naizmenično omogućava prolaz gornjeg ili donjeg zraka ka ogledalu (O_7). Kao rezultat ovakve akcije, na zarezu (P_1) biće naizmenično, u veoma kratkim vremenskim intervalima, fokusirani referentni zrak i zrak za analizu. To omogućava detektoru da vrši stalno poređenje između dva zraka, pa je apsorpcija uvek data relativno u odnosu na referentni zrak, čime se obezbeđuje veća tačnost i eliminiše uticaj eventualnih nestabilnosti i kolebanja u električnom i optičkom sistemu na rezultat merenja. Pored ovih delova tu su još i filter (F), difrakciona rešetka (R) koja igra ulogu monohromatora i razlaže zrak i jednu po jednu usku oblast talasnih dužina fokusira na razrez (P_2). Na kraju zrak stiže do detektora (D), koji je najčešće neki termo-par koji se zagreva dejstvom energije zračenja i proizvodi električni impuls odgovarajućeg intenziteta. Ovaj impuls stvara odgovarajući odziv, koji se softverski prevodi u apsorpcionu traku, a skup ovakvih traka predstavlja infracrveni (IC) spektar uzorka.

Infracrveni spektri mogu se snimiti za uzorke u gasnom, tečnom ili čvrstom stanju. Čvrste supstance se obično ispituju u obliku paste ili presovane pločice. Pasta se dobija kada se fino sprášeni uzorak pomeša sa nekoliko kapi gustog, najčešće parafinskog ulja. Na taj način dobija se suspenzija koja se ispituje u obliku tankog filma između dve pločice natrijum hlorida (NaCl). Mešanjem fino sprášenog uzorka, sa isto tako fino sprášenim KBr i presovanjem ove smeše pod vakuumom, dobija se pločica (ili pastila) čiji IC spektar odražava apsorpcione karakteristike uzorka.

Furijeova transformacija predstavlja matematičku operaciju, koja kada se primeni na interferogram (pomoću računara) direktno daje intenzitet zračenja propuštenog kroz uzorak u zavisnosti od frekvencije $I(\nu)$, što odgovara IC spektru snimljenom na jednozračnom instrumentu.

Da bi se dobila zavisnost transmitancije ($T[\%]=I/I_0 \times 100$), od frekvencije, koju direktno daju klasični dvozračni instrumenti, funkcija $I(\nu)$ se deli sa referentnom funkcijom $I_0(\nu)$, smanjenom

pod istim uslovima kao i I(v), samo bez uzorka.

Promena intenziteta monohromatskog interferisanog zračenja sa veličinom X (pomeranje) je interferogram.

3.1. FT-IC spektar dentalnog komercijalnog cementnog materijala

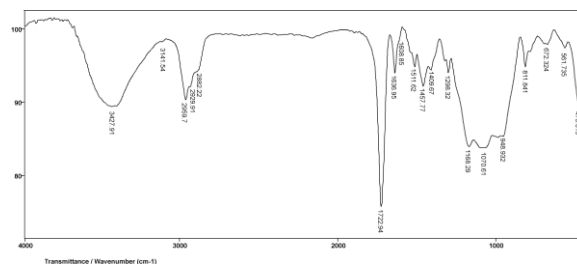
Na slikama 2. i 3. prikazani su FT-IC spektri komercijalnog dentalnog cementnog materijala na bazi smola Maxcem Elite (Kerr Dental, USA), pre i nakon polimerizacije.

Valencione C=O vibracije iz hidroksietilmetakrilata (HEMA) absorbuju na talasnim dužinama 1722 cm^{-1} i kao što je i očekivano ne dolazi do znatnog pomeranja položaja ove trake u polimeru. Njen overton na 3500 cm^{-1} prekriven je pojačanom apsorpcijom u oblasti $3700\text{--}3200\text{ cm}^{-1}$, koja potiče od valencione apsorpcije OH-grupe. U polimernim lancima javljaju se i sekundarne OH grupe kao i intermolekulske vodonične veze OH grupa, pa dolazi do širenja trake od apsorpcije OH-grupa kao i njeno pomeranje ka kraćim talasnim dužinama, sa 3457 cm^{-1} u monomeru, na 3437 cm^{-1} u polimeru. Apsorpcije OH-grupe u monomeru i polimeru praćene su i pojavom deformacionih vibracija, δOH , u njihovim spektrima na 1456 cm^{-1} . Apsorpcije simetričnih vibracija $=\text{CH}_2$ grupe iz sp^2 hibridizovanog C atoma, pomeraju se ka nižim talasnim dužinama, u poređenju sa monomerom, sa 3141 na 3103 cm^{-1} , zbog jačeg rezonacionog efekta dvostrukih veza u dugom polimernom lancu. Asimetrične valencione $\nu_{\text{as}}(\text{CH}_3)$ vibracije okarakterisane su pojavom traka na 2959 cm^{-1} i na 2882 cm^{-1} . Traka na 2929 cm^{-1} potiče od C-H vibracija metilenske grupe. Prisustvo aromatskih struktura je potvrđeno prisustvom traka na 1608 i 1511 cm^{-1} usled vibracija C=C grupe aromatskog prstena, kao i apsorpcijom na 811 cm^{-1} usled uvrtnja $=\text{CH}$ -grupa iz disupstituisanog benzena.

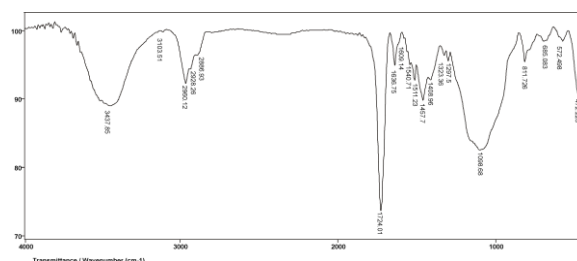
Karakterističan dublet za izopril grupu u spektru HEMA na 1379 i 1321 cm^{-1} se gubi u spektru polimera jer usled polimerizacije dolazi do reakcije $\text{CH}_2=$ grupe i stvaranje alifatske strukture, pa je prisutna samo traka na 1323 cm^{-1} deformacionih CH_3 vibracija u ravni $\delta(\text{CH}_3)$.

Traka koja se javlja na 1298 cm^{-1} potiče od valencionih asimetričnih C-O-C vibracija hidroksietilmetakrilata i prisutna je i u spektru polimera. Takođe, simetrične valencione vibracije iste ove grupe C-O-C iz metakrilata absorbuju na 1070 cm^{-1} uz prateću traku na 1168 cm^{-1} . Polimerizacijom metakrilata C-O-C simetrične valencione vibracije se pomeraju na 1098 cm^{-1} i dolazi do širenja pomenute trake jer se na bliskoj talasnoj dužini u polimeru javlja i apsorpcija iz

C=C-O-C grupe hidroksietilmetakrilata.



Sl. 2. FT-IC spektar smole komercijalnog cementa pre polimerizacije.



Sl. 3. FT-IC spektar smole komercijalnog cementa nakon polimerizacije.

4. ZAKLJUČAK

Metoda infracrvene spektroskopije sa Furijeovom transformacijom predstavlja sofisticiranu i pouzdanu metodu za određivanje stepena konverzije monomera dentalnih cementnih materijala na bazi smola.

5. REFERENCE

- [1] Miletic, V., Santini, A., Trkulja, I. Quantification of monomer elution and carbon-carbon double bonds in dental adhesive systems using HPLC and micro-Raman spectroscopy. *Journal of Dentistry*, 37,177-184,2009.
- [2] Miletic, V., Santini, A. Remaining unreacted methacrylate groups in resin-based composite with respect to sample preparation and storing conditions using micro-Raman spectroscopy. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 87B,468-474,2008.
- [3] Amirouche-Korichi, A., Mouzali, M., Watts, DC. Effects of monomer ratios and highly radiopaque fillers on degree of conversion and shrinkage-strain of dental resin composites. *Dental Materials* 25,1411-1418,2009.
- [4] Acquaviva, PA., Cerutti, F., Adami, G., Gagliani, M., Ferrari, M., Gherlone, E., Cerutti, A. Degree of conversion of three composite materials employed in the adhesive cementation of indirect restorations: A micro-Raman analysis. *Journal of Dentistry*,37,610-615,2009.

- [5] Ottavia Navarra, C., Breschi, L., Turco, G., Diolosa, M., Fontanive, L., Manzoli, L., Di Lenarda, R., Cadenaro, M. Degree of conversion of two-step etch-and-rinse adhesives: In situ micro-Raman analysis. *Journal of Dentistry*, 40,711-717,2012.
- [6] Ho, YC., Lai, YL., Chou, IC., Yang, SF., Lee, SY. Effects of light attenuation by fibre posts on polymerization of a dual-cured resin cement and microleakage of post-restored teeth. *Journal of Dentistry*, 39,309-315,2011.
- [7] Santini, A., Miletic, V., Swift, MD., Bradley, M. Degree of conversion and microhardness of TPO-containing resin-based composites cured by polywave and monowave LED units. *Journal of Dentistry*, 40,577-584,2012.
- [8] Vrochari, AD., Eliades, G., Hellwig, E., Wrbas, KT. Curing efficiency of four self-etching, self-adhesive resin cements. *Dental Materials*, 25,1104-1108,2009.
- [9] Da Silveira Teixeira, C., Silva-Sousa, YC., Damiao de Sousa-Neto, M. Effects of light exposure time on composite resin hardness after root reinforcement using translucent fibre post. *Journal of Dentistry*, 36,520-528,2008.
- [10] Miletic, V., Santini, A. Micro-Raman spectroscopic analysis of the degree of conversion of composite resins containing different initiators cured by polywave or monowave LED units. *Journal of Dentistry*, 40,106-113,2012.
- [11] Imazato, S., McCabe, JF., Tarumi, H., Ehara, A., Ebisu, S. Degree of conversion of composites measured by DTA and FTIR. *Dental Materials*, 17,178-183,2001.
- [12] Dewaele, M., Asmussen, E., Peutzfeldt, A., Munksgaard, EC., Benetti, AR., Finne, G., Leloup, G., Devaux, J. Influence of curing protocol on selected properties of light-curing polymers: Degree of conversion, volume contraction, elastic modulus, and glass transition temperature. *Dental Materials*, 25,1576-1584,2009.
- [13] Knežević, A., Tarle, Z., Ristić, M., Alajberg, I. Utjecaj intenziteta svjetla za polimerizaciju na stupanj konverzije kompozitnih materijala (I dio). *Acta Stomatologica Croatica*, 39,427-434,2005.
- [14] Koupis, NS, Vercruyssen, CWJ, Marks, LAM, Martens, LC, Verbeeck, RMH. Curing depth of (polyacid-modified) composite resins determined by scraping and a penetrometer. *Dental Materials*, 20,908-914,2004.
- [15] Santini, A., Miletic, V. Quantitative micro-Raman assessment of dentine demineralization, adhesive penetration, and degree of conversion of three dentine bonding systems. *European Journal of Oral Sciences*, 116,177-183,2008.
- [16] Navarra, CO., Cadenaro, M., Armstrong, SR., Jessop, J., Antonioli, F., Sergo, V., Di Lenarda, R., Breschi, L. Degree of conversion of Filtek Silorane Adhesive System and Clearfil SE Bond within the hybrid and adhesive layer: An in situ Raman analysis. *Dental Materials*, 25,1178-1185,2009.

Autori: Doc. dr Aleksandra Maletin, prof. dr Dubravka Marković, doc. dr Branislava Petronijević Šarčev, prof. dr Tatjana Puškar, doc. dr Tanja Veljović, asist. dr Isidora Nešković, doc. dr Ivan Ristić, Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet, Hajduk Veljkova 3, Tel: +381 21 420 677, Fax: +381 21 6624153, Tehnološki fakultet, Bulevar cara Lazara 1, Tel: +381 21 485 2350, Fax: +381 21 454-495, 21 000 Novi Sad, Srbija
 E-mail: aleksandra.maletin@mf.uns.ac.rs
dubravka.markovic@mf.uns.ac.rs
branislava.petronijevic@mf.uns.ac.rs
tatjana.puskar@mf.uns.ac.rs
tanja.veljovic@mf.uns.ac.rs
isidora.neskovic@mf.uns.ac.rs
ivan.ristic@uns.ac.rs

Petronijević Šarčev, B., Maletin, A., Šarčev, I., Marković D., Puškar, T., Miletić V.

MERENJE POTENCIJALNO ŠTETNIH MATERIJA IZ KOMPOZITNIH SMOLA ZA PRIMENU U STOMATOLOGIJI

Rezime: Kompozitne smole nisu inertne u oralnoj sredini i mogu da otpuštaju svoje komponente što može da uzrokuje biološki nepovoljne efekte na organizam. Predmet istraživanja je kvalitativna i kvantitativna analiza izluženih supstanci iz kompozitnih kor smola primenom tačne hromatografije visoke performanse.

Ključne reči: restauracija zuba, kompozitni kor materijali, monomeri, izluživanje, tačna hromatografija visoke performanse

1. UVOD

Kompozitne smole nisu inertne u oralnoj sredini i mogu da otpuštaju svoje komponente, inicijalno kao posledica nepotpune polimerizacije, a tokom vremena i kao posledica degradacije [1].

Degradacija kompozitnih smola može da smanji dužinu trajanja restauracije, kao i da uzrokuje biološki nepovoljne efekte na organizam sa izluženim supstancama.

Kompozitne smole nakon postupka restauracije u oralnoj sredini mogu da otpuštaju nepolimerizovane monomere [1,2,3], aditive i punioce što je potencijalno opasno i može da dovede do kompromitujućih lokalnih i sistemskih posledica. Postoje podaci o alergogenom efektu monomera [4,5], dok mnogi sastojci koji se otpuštaju iz kompozitnih smola mogu da budu citotoksični [6], genotoksični i mutageni, kao i toksični za reproduktivni sistem [7].

Izbor adekvatnog materijala za preprotetsku restauraciju krune treba da se zasniva na balansu između njegovih mehaničkih svojstava, hemijske postojanosti i estetskih zahteva. Izloženost supstancama koje se izlužuju iz restaurativnih kompozitnih materijala može predstavljati opasnost po zdravlje pacijenta [1].

U ovom radu biće prikazana kvalitativna (identifikacija) i kvantitativna (količina) analiza uzoraka kompozitnih kor materijala primenom tačne hromatografije visoke performanse.

2. MATERIJAL I METODE

Istraživanjem je obuhvaćeno 6 kor kompozitnih materijala (Tabela 1), koji su podeljeni u tri grupe prema načinu

polimerizacije. U svakoj grupi su ispitana po 2 materijala sa zajedničkim načinom polimerizacije.

Tabela 1. Testirani kompozitni kor materijali

materijal	način polimerizacije	proizvođač
Clearfil [®] Core	hemijski polimerizujući	Kuraray Medical Inc.Japan
Clearfil [™] DC Core Automix	dvojno polimerizujući	Kuraray Medical Inc.Japan
Clearfil [™] Photo Core	svetlosno polimerizujući	Kuraray Medical Inc.Japan
Bisco Core-Flo [™]	hemijski polimerizujući	Bisco Inc. USA,
Bisco Bis-Core [™]	dvojno polimerizujući	Bisco Inc. USA,
Bisco Light-Core [™]	svetlosno polimerizujući	Bisco Inc. USA,

Za ispitivanje otpuštanja rezidualnih monomer su korišćeni polimerizovani uzorci materijala oblika diska prečnika 5mm i debljine 2mm (Slika 1.).



Sl. 1. Polimerizovani uzorci materijala oblika diska

Za određivanje koncentracije izluženih monomera, ispitano je po 5 uzoraka svakog od 6 materijala.

Polimerizovani i polirani uzorci kompozitnog materijala su nakon 10 min potapani u 1ml rastvora 75% etanola/ dejonizovane vode (HPLC Gradient Grade solvents) u tamne, staklene bočice i čuvani u vodenom kupatilu na 37°C. Posle 28 dana, uzorci kompozitnih materijala su izvađeni iz bočica sa rastvorom etanola i kompletan rastvor etanola je uzet za HPLC analizu. Uzorci etanola su čuvani u tamnoj posudi na 4° C do analize. Priprema uzoraka za HPLC analizu se sastojala od uparavanja etanola i rekonstituisanja analita u 1 ml acetonitrila. Rekonstituisani uzorci su zatim procedeni kroz mikrofiltre (45 µm) i prenošeni u viala. U cilju određivanja sadržaja izluženih monomera, zapremina od 10 µl ovog finalnog uzorka je injektirana u HPLC sistem. HPLC analiza je rađena nakon 28 dana od momenta potapanja kompozitnog materijala u rastvor etanola.

2.1 Određivanje koncentracije monomera iz kor kompozitnih materijala HPLC-PDA metodom

Kvalitativna (identifikacija) i kvantitativna (količina) analiza uzoraka je rađena primenom tečne hromatografije visoke performanse. Razdvajanje analita vršeno je u HPLC sistemu (Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA, USA) na reverzno-faznoj XDB-C18 koloni (Zorbax Eclipse), dužine 75mm, unutrašnjeg prečnika 4.6mm i sa česticama veličine 3.5µm (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA). Ispred separacione kolone je instalirana pretkolona, dužine 12.5mm i prečnika 4.6mm, unutar koje su bile čestice veličine 5µm (Zorbax Eclipse, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA). Mobilna faza se sastojala od vode i acetonitrila (HPLC Grade, Sigma–Aldrich, Dorset, UK), čiji odnos se menjao tokom analize:

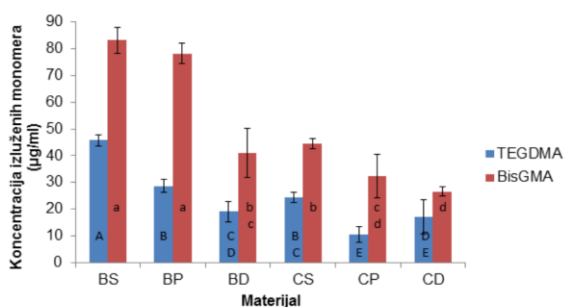
(A: H₂O, B: CH₃CN): 40% B (0–4 min); 70% B (4–9 min); 100% B (9–11 min); 40% B (11,01–17 min). Brzina protoka mobilne faze je bila 1ml/min i injektovana zapremina je bila 10µL. Za detekciju monomer korišćen je PDA UV detector, a praćenje apsorbanci je vršeno u opsegu 190-430nm (Total scan). Snimanje je vršeno na dva kanala: prvi kanal (A) je bio na talasnoj dužini 275nm, drugi (B) na 205nm. Za obradu dobijenih rezultata HPLC analizom, korišćen je program Xcalibur 1.3.

Od referentnih standarda za BisGMA i TEGDMA (>98% purity; Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) su primarnim razblaženjem dobijeni osnovni rastvori monomera koncentracije 1000µg/mL. Standardni rastvori monomera su dobijeni razblaživanjem osnovnih rastvora u acetonitrilu, a koncentracije standardnih rastvora za kalibraciju bile su: 2.5, 5, 10, 15 i 20 µg/mL.

Prisustvo monomera u uzorku, odnosno kvalitativna analiza, vršena je poređenjem retencionih vremena komponenti u uzorku sa retencionim vremenima komponenti u standardu, analiziranog pod istim uslovima. Sa hromatograma standardnih rastvora očitana su retencionna vremena. Retenciono vreme referentnog standarda za TEGDMA je bilo 4,44min, a za BisGMA 6,67min.

Određivanje količine monomera je vršeno eksternom kalibracijom. Konstruisana je kalibraciona kriva koja je predstavljala zavisnost površine ispod odgovarajućeg hromatografskog pika od koncentracije monomera. Ova zavisnost je definisana korišćenjem linearne regresione analize, i dalje je korišćena za kvantifikovanje koncentracije monomera u rastvorima uzoraka. Granica kvantifikacije (LoQ) i granica detekcije (LoD) su određene kao koncentracije monomera pri kojima su odnos signala i šuma 10 odnosno 3. Dobijene vrednosti za granicu kvantifikacije su bile 0.325µg/mL za TEGDMA i 0.442 µg/mL za BisGMA. Dobijene vrednosti za granicu detekcije su bile 0.097µg/mL za TEGDMA i 0.132 µg/mL za BisGMA.

3. REZULTATI



Sl. 2. Izluživanje monomera (srednje vrednosti i standardne deformacije).

Kolone koje sadrže isto veliko slovo nisu pokazale statistički značajnu razliku između koncentracija izlužene TEGDMA-e ($p > 0.05$). Kolone koje sadrže isto malo slovo nisu pokazale statistički značajnu razliku između koncentracija izlužene BisGMA-e ($p > 0.05$).

Posmatrano unutar svake ispitivane grupe, hemijski polimerizujući kompoziti su pokazali statistički značajno veće izluživanje TEGDMA-e i BisGMA-e nego svetlosno i dvojno polimerizujući kompoziti. U Bisco grupi, dvojno polimerizujući kompozit je imao najniže koncentracije izluženih monomera. U Clearfil grupi, svetlosno i dvojno polimerizujući kompoziti nisu pokazali statistički značajne razlike u izluživanju TEGDMA-e i BisGMA-e iako je srednja vrednost za TEGDMA-u bila nešto niža kod svetlosno polimerizujućeg, a BisGMA-e kod dvojno polimerizujućeg kompozita (Slika 2).

Posmatrano između grupa, značajno veće koncentracije izluženih monomera su registrovane kod Bisco kompozita u poređenju sa istovrsnim kompozitima iz Clearfil grupe, osim u slučaju izluživanja TEGDMA-e iz dvojno polimerizujućih materijala.

4. DISKUSIJA

In vitro ispitivanje citotoksičnosti kor materijala i tečnih kompozita pokazuje njihovu veću citotoksičnost u poređenju sa tradicionalnim kompozitnim smolama [6]. Kor materijali s obzirom da imaju više punioca i da su bolje polimerizovani, trebalo bi da su manje citotoksični, iako su rezultati istraživanja Watahe i sar (2003) to opovrgli. Zbog specifičnih uslova u kojima se ispituje citotoksičnost materijala, indeks citotoksičnosti je najčešće izražen procentom preživelih ćelija u odnosu na kontrolni uzorak. Teflon se uzima kao inertan materijal koji nije citotoksičan [1,9].

Koncentracije izlužene TEGDMA-e u destilovanoj vodi su 0,13mg/ml [9], dok su toksični efekti TEGDMA-e uočeni na gingivalnim fibroblastima pri koncentracijama od 0,1mg/ml [10]. Toksične koncentracije BisGMA su iznad 102.5 mg/l, a toksične vrednosti TEGDMA su iznad 535.4 mg/l [10]. Doza koja izaziva smrt kod 50% životinja (LD 50) je za Bis-GMA 5000 mg/kg, TEGDMA 10837 mg/kg i HEMA 5888 mg/kg [10].

U našem radu dobijene su vrednosti izlužene TEGDMA-e od 10-45µg/ml, a BisGMA-e od 25-85 µg/ml. Iako su ove vrednosti znatno niže od navedenih toksičnih koncentracija, ne može se isključiti uticaj izluženih supstanci na pojedine ćelijske funkcije i njihov metabolizam, a bez izazivanja smrti ćelija.

5. ZAKLJUČCI

Hemijski polimerizujući kompozitni kor materijali su pokazali statistički značajno veće izluživanje monomera TEGDMA-e i BisGMA-e nego svetlosno i dvojno polimerizujući kompozitni materijali. Za klinički rad se preporučuje primena svetlosno i dvojno polimerizujući kor materijali iz obe ispitivane grupe s aspekta mogućih štetnih efekata izluženih monomera.

6. LITERATURA

- [1] Van Landuyt KL, Nawrot T, Geebelen, De Munck J, Snauwaert J, Yoshihara K, Scheers H, Godderis L, Hoet P, Van Meerbeek B. How much do resin-based dental materials release? A meta-analytical approach. Dent Mater 2011;27:723-747.
- [2] EC, Peutzfeldt A, Asmussen E. Elution of TEGDM and BisGMA from a resin and a resin composite cured with halogen or plasma light. Eur J Oral Sci 2000;108:341-345.
- [3] Sideridou ID, Achilias DS. Elution study of unreacted Bis-GMA, TEGDMA, UDMA, and Bis-EMA from light-cured dental resins and resin composites using HPLC. Inc. J Biomed Mater Res Part B: Appl Biomater 2005;74B:617-626.
- [4] Durner J, Spahl W, Zaspel J, Schweikl H, Hickel R, Reichle FX. Eluted substances from unpolymerized and polymerized dental restorative materials and their Nernst partition coefficient. Dent Mater 2010;26:91-99.
- [5] Schedle A, Ortengren U, Eidler N, Gabauer

- M, Hensten A. Do adverse effects of dental materials exist? What are the consequences, and how can they be diagnosed and treated? *Clin Oral Implants Res* 2007;18:232–56.
- [6] Brackett MG, Bouillaguet S, Lockwood PE, Rotenberg S, Lewis JB, Messer RL, et al. In vitro cytotoxicity of dental composites based on new and traditional polymerization chemistries. *J Biomed Mater Res B: Appl Biomater* 2007;81:397–402.
- [7] Kleinsasser NH, Wallner BC, Harreus UA, Kleinjung T, Folwaczny M, Hickel R, et al. Genotoxicity and cytotoxicity of dental materials in human lymphocytes as assessed by the single cell microgel electrophoresis (COMET) assay. *J Dent* 2004;32:229–234.
- [8] Schweikl H, Hiller KA, Bolay C, Kreissl M, Kreismann W, Nusser A, Steinhauser S, Wiczorek J, Vasold R, Schmalz G. Cytotoxic and mutagenic effects of dental composite materials. *Biomaterials* 2005;26:1713–1719.
- [9] Moharamzadeh K, Van Noort R, Brook IM, Scutt AM. HPLC analysis of components released from dental composites with different resin compositions using different extraction media. *J Mater Sci: Mater Med* 2007;18:133–137.
- [10] Issa Y, Watts DC, Brunton PA, Waters CM, Duxbury AJ. Resin composite monomers alter MTT and LDH activity of human gingival fibroblasts in vitro. *Dent Mater* 2004;20:12–20.

Autori: Doc. dr Branislava Petronijević Šarčev, Doc. dr Aleksandra Maletin, Doc dr Ivan Šarčev, Red. Prof Dubravka Marković, Van. prof dr Tatjana Puškar, Van prof Vesna Miletić Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet, Hajduk Veljkova 3, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21420670, Fax: +381 21 66 24 153.

e-mail: branislava.petronijevic@mf.uns.ac.rs
aleksandra.maletin@mf.uns.ac.rs
ivan.sarcev@mf.uns.ac.rs
dubravka.markovic@mf.uns.ac.rs
tpuskar@mf.uns.ac.rs
vesna.miletic@stomf.bg.ac.rs

Šipovac, M., Jović, A., Vicko, K., Kojić, S., Stefanović, S., Petrović, B.

SEM AND EDS ANALYSIS OF PRIMARY TEETH CEMENTUM

Abstract: *Teeth cementum is investigated by dentists, archaeologists and forensic experts. Following preparaton protocols for the primary teeth and using scanning electronic microscope equipped with a dispersive spectrometer we have examined qualitative properties and the thickness of the primary teeth cementum. There was a statistically significant difference in the concentration of the elements between thirds of the root regarding Ca, P, Mg, Zn and O₂. Thickness of the primary teeth cementum was constant in the apical cervical direction. It is necessary to conduct new research and expand findings about factors that determine primary teeth cementum characteristics.*

Key words: *primary teeth, dental cementum, qualitative properties*

1. INTRODUCTION

Dental cementum is hard mineralized tissue, covering anatomical root and providing space for anchoring periodontal fibers that are connecting teeth with alveolar bone [1]. The quantitative and qualitative properties of permanent teeth cementum are most often investigated, while the attention to primary teeth is directed in terms of testing the influence of fluoride on pathological root resorption [2]. Although cementum almost completely covers the anatomical root of the teeth in the area of root furcation reaches a thickness of 150-200 μm . Cement formation is a complex process and its thickness changes throughout life. It is continuously synthesized and maintained at all stages of life. These gradual and lifelong changes make it possible to study the aging process and have been shown to provide valuable information for estimating age at death [2,3]. Teeth cementum is almost identical to bone tissue and consists of collagen and hydroxyapatite crystals. The mineral component of cementum is not sufficiently investigated in relation to other mineralized tissues. The formation of cementum is characterized by the creation of incremental lines [4]. An analysis of primary teeth cementum in dentistry and dental anthropology attracts attention of researchers in the field of bioarheology and forensics. During these studies, primary teeth of historical children's skeletons, as well as recent clinical samples, were used to determine age at the time of death. In the meantime, the definitive correlation between morphological changes seen

on incremental lines has not yet been established [1], while on the other hand, the estimation of the time of death based on the analysis of the teeth cementum is considered valid forensic method [5].

2. METHODS

The study was conducted with the written consent of the parents of children whose extracted teeth corresponded to the research criteria and with the approval of the Ethics Committee of the Dental Clinic of Vojvodina Novi Sad, Serbia.

2.1 Samples preparation

A total of 30 primary teeth had been extracted from orthodontic or surgery reasons. Extracted teeth were placed in distilled water on the temperature of +4 °C, no more than seven days. Teeth were placed in a plastic mold with Epoxi resin (Crystal Clear). Epoxy resin had been made by mixing acitvator and condenzator in a five-minute period of time. After 24 h, teeth were cut using dental low-speed handpiece (6000 rpm) and diamond disk (IsoMet4000, Buehler, Dusseldorf, Germany) with constant water spray cooling. First, the root was separated from the crown, and then the roots were cut six times. Two cuts were made in the cervical, middle and apical third of the roots. In this way two samples were created for each third of the root with a thickness of 1.5 mm (Figure 1).

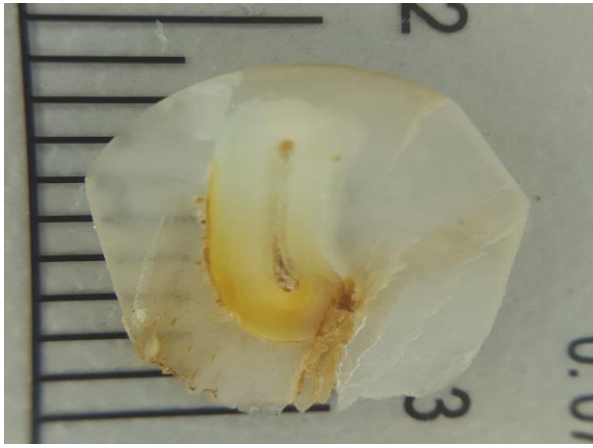


Fig. 1. Appearance of the primary teeth cementum sample after cutting

After cutting, the polishing pattern of growing fineness of the samples (Smirdex Waterproof from P 400 to P 1600, Made in Greera) was followed.

2.2 SEM/EDS analysis

A scanning electronic microscope equipped with a dispersive spectrometer (SEM / EDS) energy was used to test the qualitative properties of primary teeth cementum. The samples were placed in the SEM and were observed at magnification of 100x, 400x and 1000x. Using SEM, we analyzed the width of the cementum band by each third of the root. By reading the results using the SEM TM3030 and the EDS Bruker software, data on the presence of microelements in the tooth cement: Ca, P, Mg, Sr, Zn, O₂ were obtained.

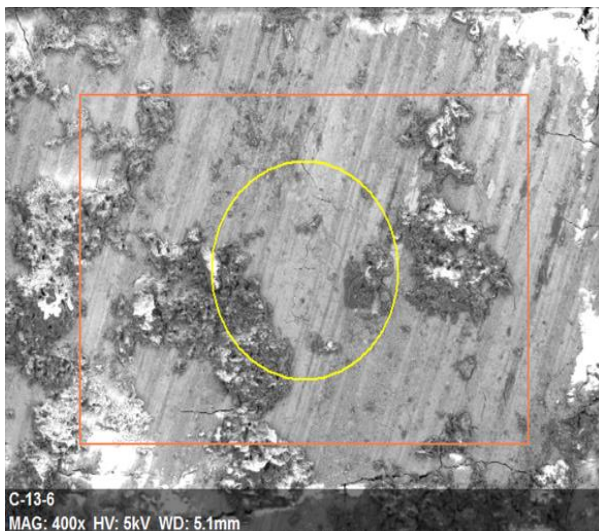


Fig. 2. Selected area for EDS analysis

One – way ANOVA was used for the statistical analysis. Tukey HSD post – hoc test was used to indicate which groups were significantly different from which others.

3. RESULTS

The thickness of the primary teeth cementum ranges from 10-180 μm. Results are shown in Table 1.

There was no statistically significant difference in the thickness of the cementum in the horizontal sections ($p=0.4289$) (Table 1).

Table 1. Thickness of the primary teeth cementum in the horizontal sections in A – apical, M – medium and C – cervical third of the root

Root third	A	M	C
N	47	42	27
Mean	83.6	82.5	71.1
SD	51.6	33.7	33.8

The mean values (\pm SD) of the representation of elements in the apical, middle and cervical third of the roots of primary teeth in the test sample are shown in Table 2.

Table 2. Weight percent of elements in A- apical, M – medium and C – cervical third of the primary teeth cementum

wt%	Root third	N	Mean	SD	SE
Ca	A	10	37.534	4.8116	1.52155
	M	10	34.025	5.3014	1.67646
	C	10	30.504	7.3255	2.31651
P	A	10	14.305	2.4381	0.77099
	M	10	12.227	1.4783	0.46749
	C	10	11.549	2.7876	0.88152
Mg	A	10	0.406	0.2289	0.07238
	M	10	0.5	0.1036	0.03276
	C	10	1.407	0.8532	0.26981
Sr	A	10	0.148	0.2371	0.07498
	M	10	0.313	0.1348	0.04264
	C	10	0.127	0.1838	0.05812
Zn	A	10	0.013	0.0283	0.00895
	M	10	0.297	0.1348	0.04264
	C	10	0.012	0.0379	0.012
O ₂	A	10	22.969	2.3819	0.75322
	M	10	22.629	2.242	0.70897
	C	10	23.231	2.6654	0.84289

There was a statistically significant difference in the weight percent of the elements between a third of the root regarding Ca, P, Mg, Zn and O₂ (Table 3).

Table 3. Statistical differences in the weight percent of elements in primary teeth cementum

wt%	d.f.	F	P
Ca	2	3.5328	0.0434
P	2	3.8909	0.0327
Mg	2	11.5885	0.0002
Sr	2	2.878	0.0736
Zn	2	39.6607	< 0.01
O ₂	2	5.0433	0.0138

After Tukey HSD Post-hoc test performing, intergroup differences are found between apical and cervical third for Ca (p=0.03), between same thirds for P (p =0.0338), for Mg between apical and cervical (p=0.0005) and medium and cervical (p=0.0014) third.

4. DISCUSSION

The technique of collecting and preparing samples of human teeth for scientific research is specific, especially for ethical reasons. After death, parts of the teeth root outside the alveolar bone are susceptible to changes and for this reason are not suitable for scientific analysis [6].

Microscopic techniques confirm that the cementum is a thin, mineralized tissue that covers dentin root, which is primarily present as an acellular cementum on the cervical root and an cellular cementum covering the apical root. Although cementum has many common features with bones, it is a uniquely mineralized tissue and acellular cementum is important for fixing teeth with surrounding periodontal ligaments [1]. Cementum almost completely covers the anatomical root of the teeth and in the area of root furcation reaches a thickness of 150-200 µm [3-5]. These data relate to cementum of permanent teeth. The results of our research show that the thickness of the primary teeth cementum doesn't differ significantly in horizontal sections. Also its thickness is smaller compared to permanent teeth. This difference in relation to permanent teeth can be explained by the process of physiological resorption which primarily involves the root.

Resources for the methodology for hard tissues often neglect cementum and approaches that it can be of great value for the study of this tissue. The conducted study provides directions of additional research on the primary teeth cementum and the possibility of extrapolation of the obtained results in clinical dental and anthropological studies. As with permanent teeth, with the use of all microscopy techniques, both light and electronic, the presence of dark and light lines on a transverse cut is observed. It was noticed that one pair of cementum lines, one bright and one dark line corresponds to one year of the person's life. It is believed that these dark lines are stopped mineralization phase during continuous fibroblast growth, which leads to a change in the direction of providing mineral crystals [7,8]. For the cementum, it is a characteristic anatomy (tooth cementum anulation, TCA) of the tooth root with a focus on the acellular cementum, which is usually seen in the middle third of the root [9,10]. Using the described methodology, we could not clearly see the anulation on the primary teeth samples. Variations in cementogenesis that alter the appearance of the lines can be caused by various factors, including, for example, biomechanical forces, nutrition, hormone cycle or environmental conditions such as temperature, ultraviolet light, humidity, altitude or pollution [9]. Cementum lines, which have been observed in more than 50 different species of mammals worldwide, have been shown to reflect the natural metabolic rhythm of seasonal changes. Seasonal rhythms in cement-based anulations, as observed in changes in dark and light strips, can be explained by the metabolism of parathormon and calcium resorption [2,3]. When examining the composition of mineralized tissue such as the primary teeth cementum, the results of EDS methods can significantly depend also on the variability of the results that depend on the degree of mineralization or anatomical localization in the sample and the preparation of samples for the research. Due to all, preparation of materials and sample processing in this research was conducted according to the methodology published by Charles [1]. Acellular cementum located in the cervical third of the teeth root is more mineralized than cellular cementum [11,12]. Ca and P are the most common elements in teeth cementum which confirms the form of the calcium hydroxy apatite. The concentration of Mg ranges from 0.5-0.9, which is in line with the results of our study and it increases from surface to deeper layers of teeth cementum [13,14]. Trace element such as Zn have not yet been studied, but we noticed that its weight percent varies by third of the primary teeth root.

5. CONCLUSION

Based on the findings from previous research, teeth cementum is a complex mineralized tissue that changes during lifetime. However, primary teeth cementum is an insufficiently investigated area. The differences in the representation of chemical elements in the horizontal sections and the constant thickness of primary teeth cementum in the apical - cervical direction were noticed. Bearing in mind this fact, it is necessary to expand research into factors that influence the properties of primary teeth cementum.

Acknowledgment

This paper was financed by H2020 ERC project BIRTH No. 640557 and Serbian national project III 47001.

6. REFERENCES

- [1] Charles, KD., Condon, K., Cheverud, JM., Buikstra, JE.: *Cementum annulation and age determination in Homo sapiens. I. Tooth variability and observer error*, Am J Phys Anthropol, 71, p.p. 311-320, 1986.
- [2] Condon, K., Charles, KD., Cheverud, JM., Buikstra, JE.: *Cementum annulation and age determination in Homo sapiens. II. Estimates and accuracy*. Am J Phys Anthropol, 71, p.p. 321-330, 1986.
- [3] Großkopf, B.: *Incremental lines in prehistoric cremated teeth. A technical note*, Z Morphol Anthropol, 77, p.p. 309-311, 1989.
- [4] Kay, RF., Rasmussen, DT., Beard, KC.: *Cementum annulus counts provide a means for age determination in Macaca mulatta (Primates, Anthropoidea)*, Folia Primatol (Basel) 42, p.p. 85-95, 1984.
- [5] Grue, H., Jensen, B.: *Review of the formation of incremental lines in tooth cementum of terrestrial mammals*, Dan Rev Game Biol, 11, p.p. 1-48, 1979.
- [6] Lieberman, D.: *The Biological Basis for Seasonal Increments in Dental Cementum and Their Application to Archaeological Research*, Journal of Archaeological Science, 21, p.p. 525-539, 1994.
- [7] Halberg, F., Lagoguey, M., Reinberg, A.: *Human circannual rhythms over a broad spectrum of physiological processes*, Int J Chronobiol, 8, p.p. 225-268, 1983.
- [8] Jankauskas, R., Barakauskas, S., Bojarun, R.: *Incremental lines of dental cementum in biological age estimation*, Homo, 52, p.p. 59-71, 2001.
- [9] Kagerer, P., Grupe, G.: *Age-at-death diagnosis and determination of life-history parameters by incremental lines in human dental cementum as an identification aid*. Forensic Sci Int, 118, p.p. 75-82, 2001.
- [10] Renz, H., Schaefer, V., Duschner, H., Radlinski, RJ.: *Incremental lines in root cementum of human teeth: an approach to their ultrastructural nature by microscopy*. Adv Dent Res, 11, p.p. 472-474, 1997.
- [11] Solheim, T.: *Dental cementum apposition as an indicator of age*, Scand J Dent Res 98, 510-519, 1990.
- [12] Dreyfuss, F., Frank, R.: *Microradiographie et microscopie électronique du ciment humain*, Bull Group, Int Rech Sci Stomatol Odontol, 7, p.p. 167-181, 1964.
- [13] Furseth, R., Johansen, E.: *A microradiographic comparison of sound and carious human dental cementum*, Arch Oral Biol, 13, p.p. 1197-1206, 1986.
- [14] Bosshardt, D., Selvig, K.: *Dental cementum: the dynamic tissue covering of the root*, Periodontology, 13, p.p. 41-75, 2000.

Authors: **dr Milica Šipovac^{1,2}**, **dr Aleksandar Jović²**, **dr Kristina Vicko²**, **Sanja Kojić³**, **Prof. dr Sofija Stefanović^{1,4}**, **Vanr. prof. dr Bojan Petrović²**

1- University of Belgrade, Faculty of Philosophy, 18-20 Čika Ljubina Street Belgrade, Serbia

2- University of Novi Sad, Faculty of Medicine, Hajduk Veljkova Street Novi Sad, Serbia

3- University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6 Novi Sad, Serbia

4- BioSense Institute, Dr Zorana Đinđića Street 1 Novi Sad, Serbia

E-mail: milica.sipovac@uns.ac.rs
jovicacika@hotmail.com
kristina.vicko@yahoo.com
sanjakojic@uns.ac.rs
sofija.stefanovic17@gmail.com
bojan.petrovic@mf.uns.ac.rs

Vicko, K., Puškar, T., Jevremov, J., Kojić, S., Stojanović, G., Petrović, B.

THE EFFECTS OF SAMPLE PREPARATION AND NANOINDENTATION PROTOCOL ON SURFACE MECHANICAL PROPERTIES OF PRIMARY TEETH ENAMEL

Abstract: *Analysis of mechanical properties and microstructural features of primary teeth enamel is important for adhesive restorative material development and successful execution of various interventions in clinical dentistry. The aim of this study was to assess the influence of two specimens preparation techniques for nanoindentation, with and without embedding the samples in resin, as well as topographical origin of the samples on actual values of the mechanical properties and reliability of the nanoindentation testing. Nanoindentation results can provide valuable quantitative information about mechanical properties of enamel, although the preparation and evaluation of the measurements must consider that the obtained values are influenced not only by the properties of the small indented volume, but also by the material around it.*

Key words: *nanoindentation; enamel; specimen preparation.*

1. INTRODUCTION

Enamel as one of the hardest biological tissue, has attracted considerable interest from both material researchers and clinical practitioners. The functional requirements of enamel are met due to its excellent mechanical properties in order to have the ability to bear a wide range of masticatory loads and consequent contact stresses without failure and fractures [1]. In the analysis of the enamel-conditioner-adhesive system, knowledge of exact characteristics is necessary of each link in the chain separately. The effects of acid etching time on enamel surface are the focus of most papers, while the role of structural, mechanical and chemical properties of the enamel itself is investigated insufficiently [2,3]. Even though there is a large number of dental products on the market, it is still not possible to confirm that there is a product that would satisfy all the criteria for achieving ideal adhesion. Also, the problem of inadequate marginal seal of fillings, loose sealants and orthodontic bracket fails during fixed appliance therapy is not in compliance with the extremely rapid development of dental materials and techniques [4]. Precise assessment of enamel mechanical structure could provide insights into a better prediction of the outcome of adhesion than it has been so far.

As a basic mechanical material characteristic, elastic modulus of enamel was broadly investigated [5,6,7]. The reported values varied significantly depending on the indentation technique used and

the specimen direction measured. In reference to location, occlusal surface of enamel has higher elastic modulus than crosssection surface, this variation is believed to be a reflection of the anisotropic property of enamel [7].

It has been clearly emphasized that since the enamel is a composite material, its properties should be investigated at the microstructural as well as nanostructural level [8]. There are pertinent and classic reports on the micro mechanical properties of permanent teeth enamel but at the same time there are limited research investigating primary teeth enamel [8,9].

2. MATERIAL AND METHODS

2.1 Enamel sample preparation

Six intact deciduous molar teeth were included in this study. Teeth were obtained from the Department of Paediatric and Preventive Dentistry, Dental Clinic of Vojvodina, Faculty of Medicine, University of Novi Sad, after obtaining informed consent of the donating patients and their parents. After extraction, teeth were cleaned with prophylaxis brush and deposits and soft tissue residues were removed. Then, they were examined according to the clinical parameters using a sharp explorer and visual inspection. Teeth assessed to exhibit no cavities, anatomic abnormalities, distinct cracks and surface pigments were selected. Included teeth were stored in distilled water at +4°C in one bottle prior to the experiment for a period no longer than 2 weeks. After that period, all

teeth were dissected first in buccoral direction parallel to the long axis, then transversely, and finally into mesiodistal direction into flat disc shape sections, using a water-cooled diamond-impregnated low-speed saw (Isomet Low-Speed Saw, Buehler; Lake Bluff, IL, USA). All samples were polished before indenting using motorised silicon carbide discs of various grit sizes (200, 600 and 1200). Diamond paste of decreasing grits (1.0 and 0.5 micron) was used for fine polishing. Then, the fragments of 2 teeth were embedded in resin (Protocol 1), while the sections of 2 teeth were assessed without resin (Protocol 2). The final fragments had dimensions of 2 mm height \times 4 mm in diameter. The samples of the proximal and occlusal surfaces of the 2 remaining teeth enamel were divided into 2 groups. The total number of samples was 16 for proximal surfaces and 8 for occlusal surfaces (Figure 1).

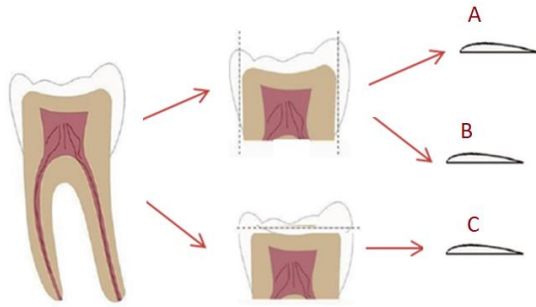


Fig. 1. Schematic presentation of steps in sample preparation

2.2. Nanoindentation

Indentation is a technique for mechanical characterisation of surface. This nanoindenter uses most commonly used method for determining material hardness known as Oliver-Pharr method, according to which hardness is equivalent to load to contact surface ratio (1):

$$H = \frac{P_{max}}{A} \quad (1)$$

P_{max} is maximum force used and A is contact surface between the tip of nanoindenter and the tested object [11]. A is determined by the formula (2):

$$A = 3\sqrt{3} h_c^2 \tan^2 \alpha \quad (2)$$

Where h_c is penetration depth and α is the peak of nanoindenter [12].

Young's modulus can be obtained from the expression (3):

$$P = \frac{\pi \tan \theta}{2\gamma^2} \frac{E}{(1 - \nu^2)} h^2 \quad (3)$$

ν is Poisson's ratio of the material, γ is $\pi/2$, P is load on surface, h is displacement, θ is indenter included half-angle and E is Young's (elastic) modulus [13].

Nanoindentation tests were performed using Agilent Nanoindenter G200. The nanoindenter system has resolution of load of 50 nN and displacement of 0.1 nm. Tests were conducted with a Berkovich diamond nanoindenter tip. Indentation method with predefined force (G-Series, Basic Hardness, Modulus, Tip Cal, Load Control method) was used for all nanoindentation measurements.

The prepared enamel samples were mounted in the sample holder using double sided adhesive tape (Figure 2).

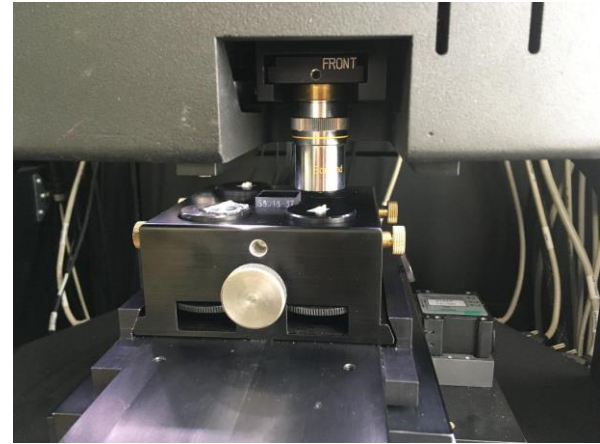


Fig. 2. The samples mounted in the sample holder of the Agilent Nanoindenter G200

For sample with resin forty-nine indentations per sample were made to evaluate the mechanical properties of the analysed samples. The indentations were distributed throughout the matrix 7 x 7 with 150 μ m distance between indentations. For samples without resin fifteen indentations per sample were made. The indentations were placed unequally on the focused sample plane.

Maximum load on sample was set to 200 mN with one indentation per place, peak hold time was 1s and the load time was set to 15 s. The value for Poisson's ratio was taken from the literature and was set to 0.25 [10].

3. RESULTS AND DISCUSSION

Nanoindentation is frequently used in past ten years to measure the absolute hardness and elastic modulus of primary teeth enamel. In these reports it has been concluded that primary teeth are not immature or miniature permanent teeth, but have specific and characteristic mechanical properties. There are several studies reporting in depth mechanical properties of primary teeth enamel [14,15]. The mean hardness of the primary tooth enamel is 3.81 ± 0.73 GPa, while the mean elasticity modulus of this enamel is 96.84 ± 7.68 at 50 mN and 82.10 ± 12.47 at 150 mN. However,

Mahoney *et al.*, [16] reported deciduous enamel hardness values of 4.88 ± 0.41 GPa at 50 mN and 4.87 ± 0.29 GPa at 150 mN. There are consistent reports that as a consequence of the anisotropic nature of dental tissues, mechanical properties may vary widely within the same tooth [17] and it has been noted as well that hardness decreases from incisal edge to cervical margin. Similarly, both hardness and elastic module continuously decreased from surface to dentinal-enamel junction [18].

Figure 3. shows surface of the sample on magnification x10 for one of the indentation places with clearly visible cut marks.

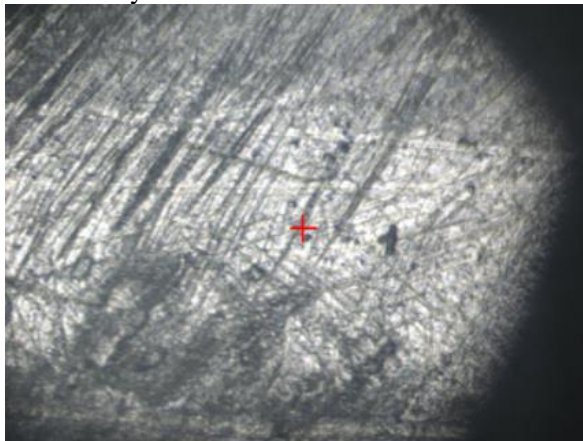


Fig. 3. The surface of the teeth and primary indentation position for sample with resin – Protocol 1

For tests performed in this indentation research results (Hardness and Young's Modulus) have smaller values than the values found in literature. This differences are consequence of inability to adequately prepare this type of samples for nanoindentation measurements since, nanoindentation protocol requests for planar sample with polished surface and if polish teeth extensively the surface of the enamel will be removed. However, difference in the sample preparation protocol 1 and 2 appeared to have no effect on investigated parameters. That can be seen by observing Figure 4. and Figure 5. In contrast to that, larger displacement has been observed in occlusal samples (Figure 6.) compared to proximal (Figure 7.) suggesting that the anatomical origin of sample influences the sample behaviour during nanoindentation resulting in higher standard deviation, lower hardness and increased number of unperformed measurements.

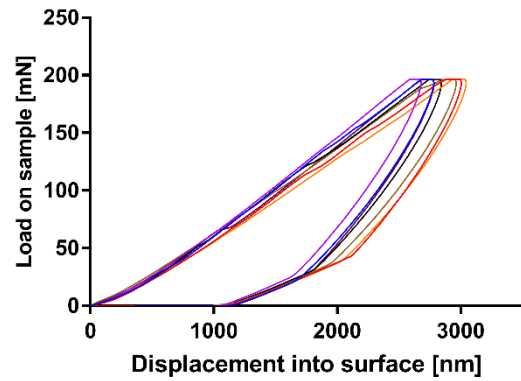


Fig. 4. Load vs. Displacement nanoindentation curves for Protocol 1

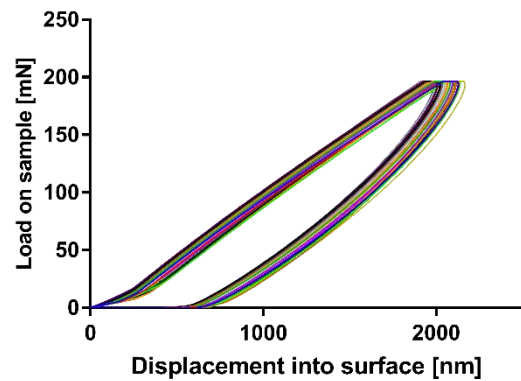


Fig. 5. Load vs. Displacement nanoindentation curves for Protocol 2

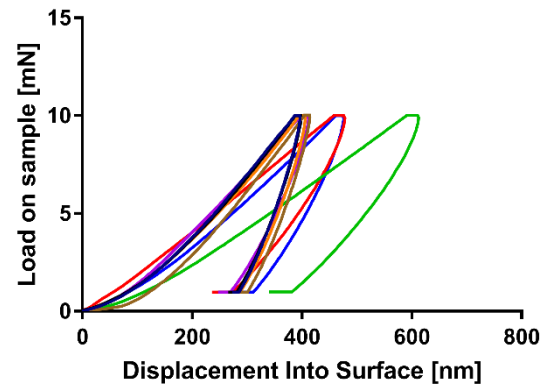


Fig. 6. Load vs. Displacement curves for group proximal surfaces

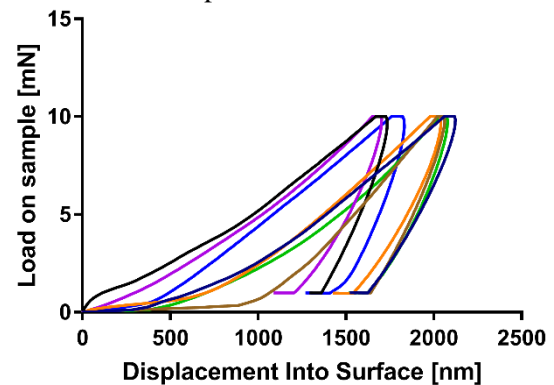


Fig. 7. Load vs. Displacement curves for group occlusal surfaces

4. CONCLUSION

There has been a wide range of application of nanoindentation in the mechanical characterization of dental materials at nano and micro level. However, direct application of this technique to biological tissues often leads to incorrect results. For precise measurement of enamel mechanical properties, the choice of sample preparation method and appropriate indentation parameters are crucial.

ACKNOWLEDGEMENT: This work is supported by H2020 project BIRTH no. 640557 and partially financed by Provincial Secretariat for Higher education and Scientific Research project no. 142-451-2457/2018-01/02, and this work is also supported by the Collegium Talentum 2018 Programme of Hungary.

5. REFERENCES

- [1] He LH, Swain MV.: *Understanding the mechanical behaviour of human enamel from its structural and compositional characteristics*. Journal of the mechanical behavior of biomedical materials. 2008 Jan 1;1(1):18-29.
- [2] Zhu JJ, Tang AT, Matinlinna JP, Hägg U. *Acid etching of human enamel in clinical applications: A systematic review*. The Journal of prosthetic dentistry. 2014 Aug 1;112(2):122-35.
- [3] Cardenas AM, Siqueira F, Rocha J, Szesz AL, Anwar M, El-Askary F, Reis A, Loguercio A. *Influence of conditioning time of universal adhesives on adhesive properties and enamel-etching pattern*. Operative dentistry. 2016 Sep;41(5):481-90.
- [4] da Rosa WL, Piva E, da Silva AF. *Bond strength of universal adhesives: A systematic review and meta-analysis*. Journal of dentistry. 2015 Jul 1;43(7):765-76.
- [5] Stanford, J.W., Weigel, K.V., Paffenberger, G.C., Sweeney, W.T.: Compressive properties of hard tooth tissues and some restorative materials. *Journal of American Dental Association*. 1960 (60): 746–51.
- [6] Xu HH, Smith DT, Jahanmir S, Romberg E, Kelly JR, Thompson VP, Rekow ED. Indentation damage and mechanical properties of human enamel and dentin. *Journal of dental research*. 1998 Mar;77(3):472-80.: 472–80.
- [7] Chan YL, Ngan AH, King NM. Nanomechanical characterization of mineralized tissues in the oral cavity. In *Emerging Nanotechnologies in Dentistry 2012* (pp. 273-288).
- [8] Galil KA, Wright GZ. Acid etching patterns on buccal surfaces of permanent teeth. *Pediatr Dent*. 1979;1(4):230-4.
- [9] Hobson RS, McCabe JF, Rugg-Gunn AJ. The relationship between acid-etch patterns and bond survival in vivo. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2002;121(5):502-9.
- [10] Park J, Lakes RS. *Biomaterials: an introduction*. Springer Science & Business Media; 2007 Jul 23.
- [11] Oliver W.C., Pharr G.M. Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: Advances in understanding and refinements to methodology. *Journal of Materials Research*. 2003 Sep 23;
- [12] A. C. Fischer-Cripps, *Nanoindentation, Mechanical Engineering Series 1*. 2011
- [13] Oyen ML., Cook RF. A practical guide for analysis of nanoindentation data. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*. 2009 Oct 15;1(1):18-29.
- [14] Zielinski V, Reimann S, Jäger A, Bourauel C. Comparison of shear bond strength of plastic and ceramic brackets. *J Orofac Orthop*. 2014;75(5):345-57.
- [15] Öztürk B, Malkoç S, Koyutürk AE, Çatalbaş B, Özer F. Influence of different tooth types on the bond strength of two orthodontic adhesive systems. *Eur J Orthod*. 2008;30(4):407-12.
- [16] Zafar MS, Ahmed N. Nanomechanical characterization of exfoliated and retained deciduous incisors. *Technol Health Care*. 2014;22(6):785-93.
- [17] Jikou Zhou, Luke L. Hsiung 2006. Depth-dependent mechanical properties of enamel by nanoindentation. *Journal of Biomedical Materials Research Part A* DOI 10.1002/jbm.a

Authors: dr Kristina Vicko, Prof. dr Tatjana Puškar, Assoc. prof. dr Bojan Petrović, University of Novi Sad, Faculty of Medicine, Hajduk Veljkova, 21000 Novi Sad, Serbia,
E-mail: kvicko@uns.ac.rs
tpuskar@uns.ac.rs
bojan.petrovic@mf.uns.ac.rs

Jovana Jevremov, MSc. Sanja Kojić, Prof. dr Goran Stojanović, University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Serbia,
E-mail: jevremov.jovana@uns.ac.rs
sanjakojic@uns.ac.rs
sgoran@uns.ac.rs

Jeremić Knežević, M., Knežević, A., Boban, J., Đurović Koprivica, D., Milekić, B., Puškar, T.

DIGITALNI IMIDŽING U STOMATOLOGIJI

Rezime: Digitalni imidžing u stomatologiji se koristi kao pomoćno sredstvo pri postavljanju dijagnoze i od velikog je značaja za prikupljanje informacija koje se ne mogu dobiti kliničkim pregledom. Snimanje zuba, vilica i okolnih anatomskih struktura daje doprinos svim granama stomatologije u svim uzrasnim kategorijama. Metode koje se koriste mogu biti intraoralne i ekstraoralne. Najčešće korišćeni snimci su retroalveolarni i nagrizni, ortopantomografija (OPT), standardna kompjuterska tomografija (CT), Cone-beam CT (CBCT), kao i Magnetna rezonanca (MRI). Korist primenjenih dijagnostičkih metoda treba da bude veća od potencijalnog rizika po zdravlje pacijenta.

Ključne reči: digitalno snimanje, stomatologija, imidžing u stomatologiji

1. UVOD

Radiologija i imidžing dijagnostika u stomatologiji su od suštinskog značaja kako za uočavanje anatomskih struktura, njihovih odnosa i varijacija, tako i za otkrivanje patoloških promena i postavljanje adekvatne dijagnoze. Digitalno snimanje je pomoćno sredstvo pri postavljanju dijagnoze i od velikog je značaja za prikupljanje informacija koje se ne mogu dobiti kliničkim pregledom. Snimanje zuba i okolnih struktura daje doprinos svim granama stomatologije u svim uzrasnim kategorijama. Wilhelm Conrad Rontgen je napravio istorijski podvig u medicinskoj dijagnostici otkrićem rendgenskih zraka 1895. godine. Samo dve nedelje nakon ovog otkrića, stomatolog Kenig je snimio zub pomoću rendgenskih X-zraka [1]. Napredovanjem nauke i dijagnostike, lekari su uporedo brinuli o biološkom efektu i potencijalnoj šteti koju može proizvesti jonizujuće zračenje. Tokom snimanja, korist primenjenih dijagnostičkih metoda treba da bude veća od potencijalnog rizika po zdravlje pacijenta.

Stomatološka radiologija je prešla sa filmske tehnologije (koja uključuje proces razvijanja filma) na digitalnu koja se bazira na elektronskim sensorima i kompjuterima. Najveća prednost u odnosu na sisteme bazirane na filmu je mnogo veći opseg ekspozicija. Ovo znači mnogo manji broj ponavljanja, što značajno smanjuje dozu koju primi pacijent (ALARA princip) [2].

Pri postavljanju dijagnoze, stomatologu na raspolaganju stoje različite metode snimanja. Osnovna podela je na intraoralno i ekstraoralno. Intraoralni rendgen snimak pruža mogućnost vizualizacije detalja i koristi se za detekciju pojedinačnih karijesa i razvojnih anomalija zuba. Ekstraoralni snimci se koriste pri analizi rasta vilica, razvojnih anomalija vilica, kao i pri sumnji

na postojanje oboljenja temporomandibularnog ili viličnog zgloba. U intraoralne radiografske metode značajne za stomatološku praksu spadaju: retroalveolarni, nagrizni i retrokoronarni snimci. Ekstraoralne metode uključuju: ortopantomografiju (OPT), standardnu kompjutersku tomografiju (CT), Cone-beam CT (CBCT), cefalometrijsku radiografiju i sijalografiju.

Indikacije za snimanje mogu biti različite: pri postavljanju dijagnoze karijesa, oboljenja pulpe, pre hirurških intervencija, pri sumnji na patološke promene, u ortodontiji i dečijoj stomatologiji za utvrđivanje položaja zuba, prisustva zuba i korenova, kao i stanja alveolarne kosti.

Najčešće metode snimanja u svakodnevnoj stomatološkoj praksi su ortopantomogram – OPT snimak i retroalveolarni snimak [3].



Sl. 1. Usporedni snimak stanja u ustima i OPT

2. PREDNOSTI DIGITALNOG NAČINA SNIMANJA U ODNOSU NA ANALOGAN

- doze zračenja su smanjene za 80%
- skraćeno vreme snimanja
- moguće je arhiviranje snimaka i ponovno štampanje
- trenutno stvaranje slike i mogućnost poboljšanja slike
- sve digitalne snimke moguće je izraditi na filmu, CD-u ili poslati na e-mail
- slika je kvalitetnija i oštija

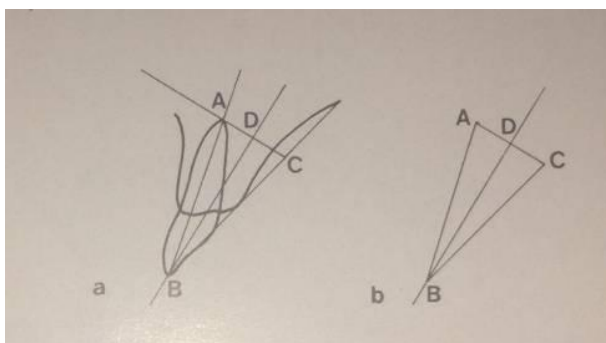
- za izradu snimka digitalnom metodom se ne koriste mračna komora i hemijska sredstva
- moguće je kvantifikovati parametre željenih anatomskih struktura u realnim proporcijama: širina alveolarnog grebena, visina alveolarnog grebena, dužina korenskog kanala zuba, veličina ciste ili tumora, kao i vrednost interkondilarnog rastojanja [4].

3. INTRAORALNE METODE SNIMANJA

3.1. Retroalveolarni snimak

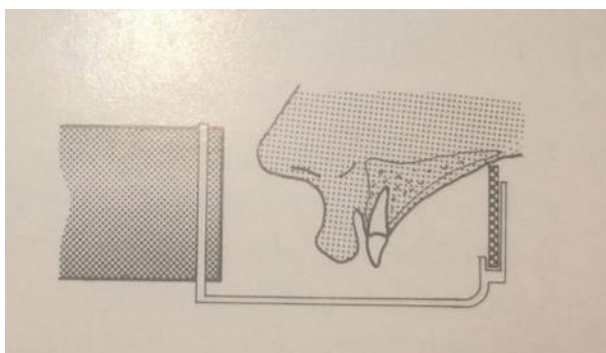
Retroalveolarno snimanje je tehnika koja se svakodnevno koristi u prikazivanju zuba, apikalnih struktura, korena i korenskih kanala, kao i okolne kosti. Za ovu vrstu snimanja filmovi se mogu postaviti na dva načina:

1. Primenom ortoradijalne projekcije kada centralni zrak pada na film upravo na simetralu ugla film-osovina zuba.



Sl. 2. Ortoradijalna projekcija

2. Primenom paralelne projekcije centralni zrak pada na film pod pravim uglom.



Sl. 3. Paralelna projekcija

To je radiografska metoda koja pruža precizne informacije, ali na ograničenim područjima u usnoj duplji. Snimak može da obuhvati 2-4 zuba i zbog minimalnog zračenja često se koristi u stomatologiji za dijagnostiku različitih oboljenja zuba i bolesti zuba. Značajan je pri otkrivanju karijesa, infekcija pulpe, periapikalnih infekcija,

pri endodontskom lečenju, pri postavljanju implantata.



Sl. 4. Retroalveolarni snimak

3.2. Retrokoronarni snimak

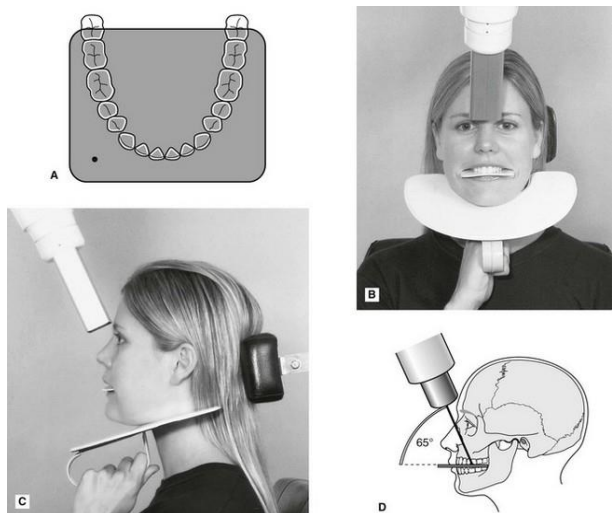
Retrokoronarno snimanje se naziva još i "tehnikom ugriza u krilce". Ova tehnika prikazuje delove krunica zuba, čime omogućava jasnu sliku interproksimalnog prostora zuba i otkrivanje interproksimalnog karijesa. Koristi se za ranu dijagnostiku karijesa, sekundarnog karijesa, prikaze patoloških procesa na krunicama zuba, ranu dijagnostiku parodontopatija i slično. Sam naziv "ugriz u krilce" (eng. *Bitewing*) odnosi se na malo parče papira ili plastike koji se nalazi u centru rendgenskog snimka, koji pacijent pregrize i time omogućava da snimak prikaže i maksilarni i mandibularni deo u jednakim proporcijama.



Sl. 5. Retrokoronarni snimak

3.3. Nagrizni ili okluzalni snimak

Okluzalno snimanje se koristi u slučajevima potrebe za prikazom većeg broja zuba ili većeg dela vilice kada prethodne tehnike nisu uspešne. Ovom metodom prikazuje se krov ili pod vilice i korisna je pri pronalaženju neizraslih zuba, hiperdoncije, fraktura vilica, apscesa i cisti. U ovom slučaju film se postavlja na okluzalnu ravan, dok ga pacijent pridržava zubima u položaju maksimalne interkuspacije.



Sl. 6. Postupak snimanja za okluzalni ili nagrizni snimak.

Prema položaju filma i upadnom uglu centralnog zraka razlikujemo više projekcija:

- Standardna i kosa projekcija gornje vilice
- Prednja i kosa zadnja projekcija donje vilice [5].



Sl. 7. Prikaz gornje vilice i zuba na nagriznom snimku

4. EKSTRAORALNE METODE SNIMANJA

4.1. Ortopantomogram

Osnovna prednost ove metode je brz prikaz zuba gornje i donje vilice, maksilarnih sinusa, nazalnih septuma, kao i koštanih struktura TMZ. OPT nije pouzdana metoda u prikazivanju oblika, veličine i položaja kondila mandibule, jer debljina snimljenog sloja iznosi oko 15 mm, a neizostavna je i distorzija slike. Ova metoda se može koristiti pri postavljanju dijagnoze frakture kondila mandibule i kondilarne i facijalne asimetrije, ali se i tada kombinuje sa drugim projekcijama ili CT[6]. Aparat se sastoji iz horizontalne rotirajuće ručice koja drži izvor rendgenskog zračenja i pokretnog mehanizma koji drži film na suprotnom kraju. Pacijentova glava se nalazi između generatora rendgenskog zračenja i filma.

Rendgenski zraci su kolimisani tako da stvaraju vrlo uzan snop širine 4-7 mm kada dospeju na film, nakon prolaska kroz glavu pacijenta. Visina snopa pokriva i gornju i donju vilicu. Ručica se pomera i njeno pomeranje može biti opisano kao rotacija oko trenutnog centra koji se pomera po određenoj trajektoriji[4].

Efektivna doza koju primi pacijent pri jednom panoramskom snimanju je približno jednaka dozi koja se primi pri četiri intraoralna snimanja.



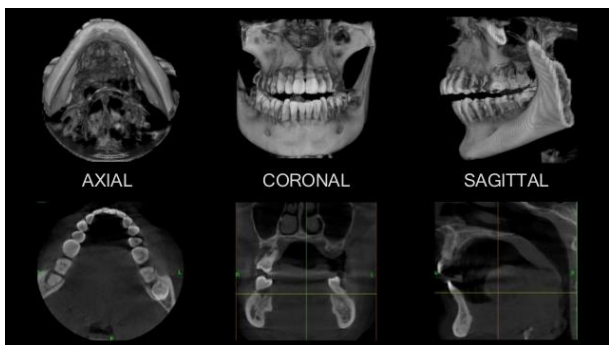
Sl. 8. Ortopantomogram



Sl. 9. Prikaz mešovite denticije na OPT snimku.

4.2. Kompjuterska tomografija (CT) i CBCT

CT i CBCT su metode koje se koriste u vizualizaciji koštanih kontura kondila i mandibularne jame. Pacijent sedi ili stoji dok se mašina rotira oko njega 20-40 sekundi. Prednost ovih metoda u odnosu na tomografiju je niža doza zračenja i mogućnost dobijanja 3D slike. Koriste se pri postavljanju dijagnoze ciste i tumora (osteoplastičnih ili osteolitičnih) u mandibuli i maksili, oboljenja sinusa maksilarisa, pri proceni stanja tkiva u implantologiji i ortopediji vilica. Takođe, primenu su našle i kod traume TMZ, razvojnih anomalija (hipoplazija, hipertrofija, malformacije kondila), inflamatornih oboljenja, kao i degenerativnih oboljenja [7,8].



Sl. 10. CBCT- prikaz aksijalne, koronalne i sagitalne projekcije

4.3. Sialografija

Sialografija je radiografska procedura koja se koristi u dijagnostici oboljenja i praćenja stanja pljuvačnih žlezda. Ona se izvodi uvođenjem radioopaknog kontrastnog sredstva u duktalni sistem radi ispitivanja duktalnog i acinusnog sistema glavne pljuvačke žlezde. Takođe se koristi u detekciji opstrukcije kanala kamenom. Metoda se sastoji od tri faze: preoperativne, faze punjenja i pražnjenja[4].



Sl. 11. CBCT sialografija.

5. ZAKLJUČAK

Digitalna radiografija je odlična alternativa konvencionalnoj radiografiji i njena popularnost nastavlja da raste. Najvažnija prednost digitalnih radiografskih metoda je eliminisanje strukturnih smetnji, što omogućava detekciju detalja koje ljudsko oko ne razlikuje. Da bi se poboljšala tačnost, klinička perspektiva za očitavanje, tumačenje i unošenje slika u softver bi trebala da bude omogućena. Najveći nedostaci prethodnih softvera i opreme su prevaziđeni tehnološkim napretkom. Međutim, korisnici mogu očekivati probleme tehničke vrste i potrebu za budućom nadogradnjom hardvera i softvera, bez obzira na tip sistema. Međutim, pažljivim planiranjem i realnim očekivanjima, može se izbeći nezadovoljstvo u performansama sistema, i

rezultati neće izostati.

6. REFERENCE

- [1] Jauncey GEM. *The birth and early infancy of X-rays*. Am J Physics,13:362-379,1945.
- [2] NCRP REPORT No. 145. "Radiation Protection in Dentistry", 2004.
- [3] Freny R. Karjodkar.: *Textbook of Dental and Maxillofacial radiology*, Jaypee Brothers Medical Publishers (P) Ltd; First Edition, 2006.
- [4] Eric Whaites.: *Essentials of Dental Radiography and Radiology*, Churchill Livingstone, Fourth edition, 2007.
- [5] Petrović V: *Atlas stomatološke rendgenologije*, Medicinska knjiga, Beograd-Zagreb, 1988.
- [6] Petersson A. *What you can and cannot see in TMJ imaging--an overview related to the RDC/TMD diagnostic system*. Journal of oral rehabilitation, 37(10):771-8, 2010.
- [7] Hintze H, Wiese M, Wenzel A. *Cone beam CT and conventional tomography for the detection of morphological temporomandibular joint changes*. Dento maxillo facial radiology,36(4):192-7, 2007.
- [8] 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,132(4):429-38, 2007.

Autori: doc.dr Milica Jeremić Knežević, doc.dr Aleksandar Knežević, Asist.dr Jasmina Boban, doc.dr Daniela Đurović Koprivica, doc.dr Bojana Milekić, prof.dr Tatjana Puškar, Univerzitet u Noviom Sadu, Medicinski fakultet, Katedra za stomatologiju, Hajduk Veljkova 12, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 6612222
E-mail:
milica.jeremic-knezevic@mf.uns.ac.rs
aleksandar.knezevic@mf.uns.ac.rs
jasmina.boban@mf.uns.ac.rs
daniela.djurovic-koprivica@mf.uns.ac.rs
bojana.milekic@mf.uns.ac.rs
tatjana.puskar@mf.uns.ac.rs

Ilić Mićunović, M., Kosec, B., Budak, I., Kojić, V., Santoši, Ž., Agarski, B., Šokac, M.

ISPITIVANJE KARAKTERISTIKA MIKROSTRUKTURE KOŠTANOG GRAFTA PRIMENOM IMAGEJ SOFTVERA

Rezime: Biomaterijali služe da zamene funkcije živih tkiva u ljudskom telu i ispune odgovarajuće biološke funkcije. Zato je njihova biokompatibilnost, koja zavisi od karakteristika samog grafta, od vitalnog značaja. Osnovni cilj u okviru ovog istraživanja je ispitivanje mikrostrukture koštanog grafta Bio-Oss. Ispitivani su parametri na različitim delovima uzorka grafta pomoću ImageJ softvera za analizu slike, bazirani na mikro CT snimcima. Regije od interesa i pragovi graničnih vrednosti radi određivanja mineralne gustine koštanog grafta podešavani su ručno za svaku sliku. Rezultati studije su utvrdili promenu površine koštanog tkiva u uzorku.

Ključne reči: Graft, ImageJ, Mikro CT, ROI, BMD

1. UVOD

Biomaterijali obuhvataju široku klasu materijala koji se koriste u medicini i stomatologiji za svrhe lečenja i reparacije, zamene ili unapređenja funkcionalne vrednost ljudskih organa i tkiva. Sa razvojem biotehnologija i nova otkrića na ovom polju, ispitivanje biomedicinskih materijala su postala aktuelna za istraživače iz različitih oblasti [1,2]. Biomaterijali moraju imati dobru biokompatibilnost kako bi se izbegla koagulacija, tromboza ili hemoliza, jer su u direktnom kontaktu sa telom [3]. Čisti sintetički materijali teško mogu ispuniti sve ove zahteve istovremeno. Prema tome, površina biomedicinskih materijala, s obzirom na direktan kontakt sa telom, mora biti hemijski ili fizički modifikovana.

Oralne hirurške intervencije bazirane na rekonstrukciji koštanih defekata upotrebom grafta predstavlja pouzdan i efikasan način za regeneraciju [4]. Formiranje direktne strukturalne i funkcionalne veze između grafta i pratećeg tkiva - osteointegracija je kriterijum koji se koristi za prikaz početne stabilnosti i procenu dugoročnog uspeha [5]. Uspešna osteointegracija je usko povezana sa kvalitetom i količinom kosti u alveolarnom grebenu i površinske strukture samog grafta. Resorpcija rezidualnog grebena posle rutinske ekstrakcije je jedan od važnih faktora koji imaju potencijalni uticaj na mineralnu gustinu kosti i masu u implantiranom području, jer utiču na kvalitet i količinu koštanog tkiva.

Bio-Oss® (Geistlich) je jedan od najčešće korišćenih implantata u parodontalnoj hirurgiji. Dobija se od goveđe kosti i predstavlja porozni, neorganski koštani matriks. Upotrebljava se sa

ciljem dobijanja boljih osteokonduktivnih uslova i radi smanjenja resorpcija autolognih implanata [6].

Osnovni cilj rada je ispitivanje mineralne gustine kosti (BMD - eng. Bon mineral density) Bio-Oss® koštanog grafta. Ispitivanje gustine grafta je realizovano pomoću ImageJ Java softvera za analizu slike primenom na Mikro CT snimcima. U okviru istraživanja takođe su ispitivane regije od interesa (ROI) i njihova pravilna selekcija na Mikro CT snimcima.

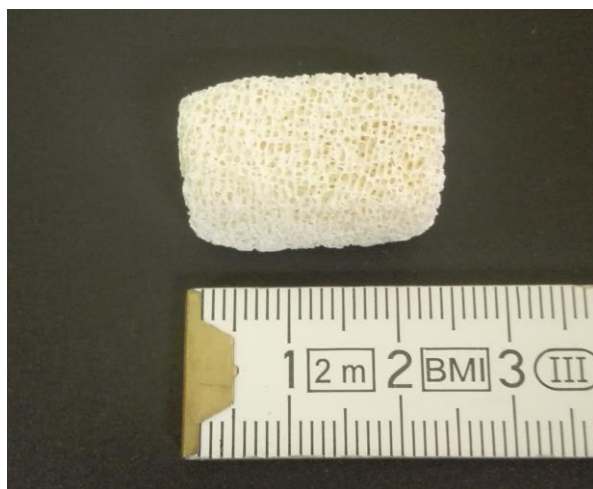
2. MATERIJALI I METODE

2.1 Mikro CT

Rentgensko ispitivanje je česta metoda koja se koristi za procenu kliničkog stanje koštanog grafta. Iako su tehike zasnovane na X zracima neinvazivne, one pružaju samo dvodimenzionalne (2D) slike niske rezolucije. Nasuprot tome, mikro (kompjuterizovana) tomografija (Mikro CT) je nedestruktivna procedura koja obezbeđuje kvantitativne i tačne procene trodimenzionalnih (3D) uzoraka kostiju. Poslednjih godina mnoge studije zasnivaju svoju procenu strukture vlične kosti na mikro nivou upravo na mikro CT snimcima [7-9], kao i površinske strukture koštanog grafta [10, 11]. Kroz brojne studije utvrđene su prednosti ovih snimaka, naročito za in vitro procenu 3D koštane strukture.

Uzorci koštanog grafta Bio-Oss (slika 1) su snimljeni i analizirani Mikro CT-om visoke rezolucije, (SkyScan2214, firme Bruker, Belgija). SkyScan2214 omogućava tomografiju u nano razmerama i pokriva najširi spektar veličine objekta i prostornih rezolucija. Uređaj omogućava 3D rekonstrukciju unutrašnje mikrostrukture

predmeta veličine >300mm u prečniku, kao i submikronske rezolucije za male uzorke. Uređaj poseduje trenutno na svetu najbrži softver za 3D hijerarhijsku rekonstrukciju, koji ubrzava slikanje objekta unutrašnje mikrostrukture 10-100 puta u poređenju sa tradicionalno korišćenim algoritmima ili rekonstrukciju sa ubrzanim GPU-om. Pomoću NRecon softvera (CTAn, Skyscan, Belgija) rekonstruisano je 881 slajdova po uzorku. Graft je sniman po dužini, u interval od 0,028 mm.



Sl. 1. Bio-Oss koštani graft

Za ispitivanje koštanog grafta regija od interesa se posebno definiše za svaku sliku zbog različite strukture grafta. Na osnovu ROI određuje se mineralna gustina grafta u različitim zonama.

2.2 ImageJ softver

ImageJ 1.52h JAVA softver za analizu slika razvio je Nacionalni instituti za zdravlje. Program omogućava izračunavanje broja piksela slika, razmaka ili uglova. Takođe omogućava Fourier-ovu transformaciju slike i kreiranje histograma. Zahvaljujući naprednim performansama, ImageJ može rešiti većinu problema oko obrade i analize slike [12].

Slike su kalibrisane prostornom kalibracijom. Isti parametri ekspozicije su upotrebljeni na svim slikama, a granične vrednosti su ručno podešavane. Snimak sa mikro CT je sačuvan u JPEG formatima. Pomoću softvera određuje se oblast koja se meri (izbor gustine boja) - regija od interesa (ROI). Svaki piksel koji predstavlja određenu boju izabran je zajedno pri podešavanju graničnih pragova koji omogućava selekciju svih ostalih piksela u ROI. U okviru područja se broje pikseli kao odnos ukupne ROI. Prosečna gustina se određuje na osnovu skale od 0-255. Broj 255 (8 bita) predstavlja najsvetliji piksel na ekranu, dok broj 0 predstavlja oblasti najtamnijih piksela na slici, a zbog nepravilnog oblika Bio-Oss bloka, ROI je podešavana za svaku pojedinačnu sliku da

bi omogućila precizno definisanje površine od interesa. Program računa svaki piksel na slici, a zatim se izvršava izračunavanje neophodno da bi dobio broj koji predstavlja gustinu uzorka.

3. REZULTATI

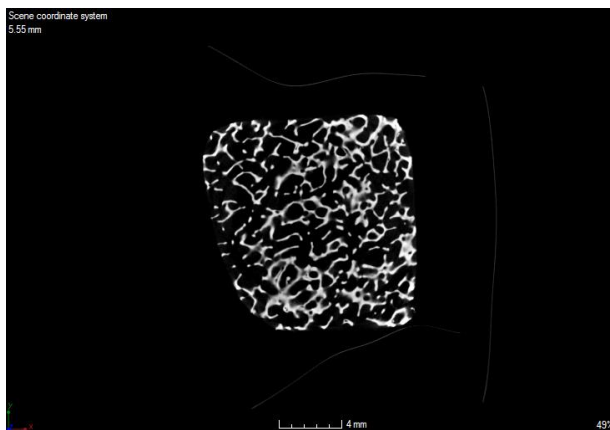
U okviru rada ispitivano je 5 slika grafta: prva, srednja, poslednja i po jedna slika između prve i srednje, odnosno srednje i poslednje slike da bi se ispitala promena u ROI i BMD na mikro CT snimcima.

U cilju ispitivanja mineralne gustine koštanog grafta, određene su specifične regije od interesa za svaki snimka. ROI se definisao kao konveksni omotač oko regije, tako da obuhvati sve piksele koji su od značaja. ROI podešavanja u ImageJ softveru su određena pomoću ROI menadžera, postavljanjem pravilnog oblika koji obuhvata celu regiju od interesa, a zatim finim podešavanjem (tzv. „Brush Tool“) od svega nekoliko piksela, kako bi se definisao konveksni omotač (slika 2b). Sve izvan regije od interesa je odstranjeno sa slike opcijom *Edit>Clear Outside*, da ne bi ometalo podešavanje graničnih vrednosti. Opcijom *Measure* u ROI menadžeru dobijene su površine koje obuhvataju maske regije od interesa (tabela 1).

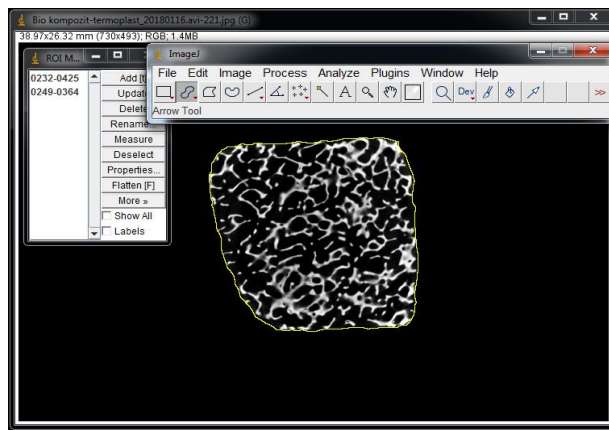
Da bi se razlikovale regije koje obuhvataju koštano tkivo i pozdina, neophodno je odrediti pogodan raspon graničnih vrednosti (eng. *threshold*). Originalna mikro CT slika sadrži granične vrednosti u rasponu od 0 do 255 (slika 2a). Ručnim podešavanjem dodeljena je crvena boja svim pikselima koji čine koštano tkivo, a pozadina je ostala crne boje (slika 2c). Ispitivanje BMD-a se zasniva na određivanju površine selektovanih piksela crvenom bojom na osnovu kojih su definisane maske koštanog tkiva (slika 2d) i preko ROI menadžera određena njihova površina (tabela 1).

Tabela 1. Rezultati analize ROI i BMD u ImageJ softveru

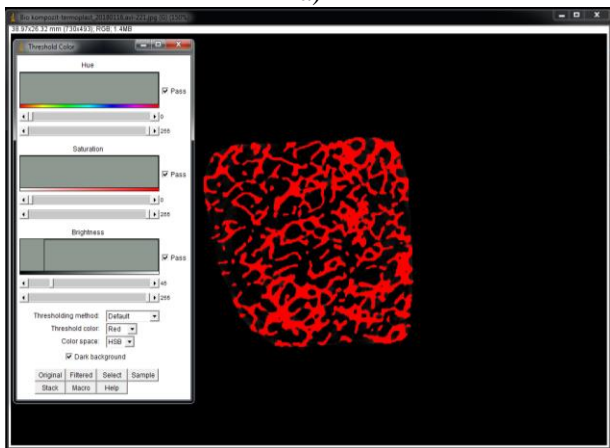
	Površina	Srednja vrednost	Min	Max
ROI 1	30,570	30,651	0	85
BMD 1	6,027	160,187	67	255
ROI 2	161,719	33,806	0	97
BMD 2	70,627	125,090	21	255
ROI 3	168,305	54,123	0	255
BMD 3	65,230	131,541	29	255
ROI 4	172,319	58,115	0	255
BMD 4	69,365	132,227	39	255
ROI 5	50,478	33,843	0	255
BMD 5	13,574	112,506	25	255



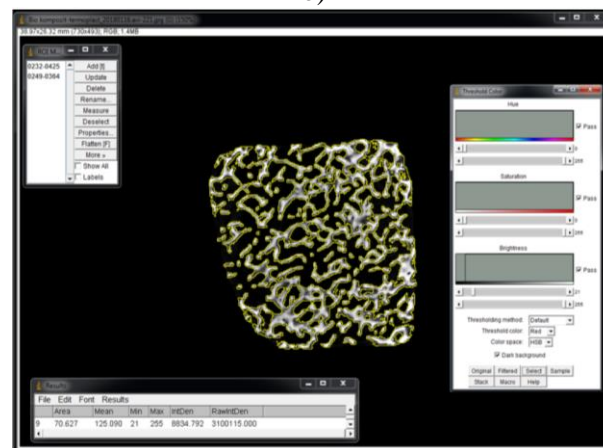
a)



b)



c)



d)

Sl. 2. Mikro CT snimak koštanog grafta: a) originalna slika b) maska regije od interesa; c) podešavanje graničnih vrednosti; d) maska koštanog tkiva grafta

U tabeli 1 prikazani su rezultatu regija od interesa i mineralne gustine koštanog grafta sa pet mikro CT snimaka (ROI i BMD 1-5). Površina predstavlja selektovanu oblast u kvadratnim pikselima. Područje je određeno kalibrisanim jedinicama, prostornom kalibracijom u milimetrima. Srednja siva vrednost je prosečna siva vrednost u okviru ROI. Ovo je zbir svih sivih vrednosti piksela podijeljena sa brojem piksela. Prijavljeni u kalibrisanim jedinicama (npr. optička gustina). Minimalne i maksimalne vrednosti se odnose na sivu vrednost u okviru ROI.

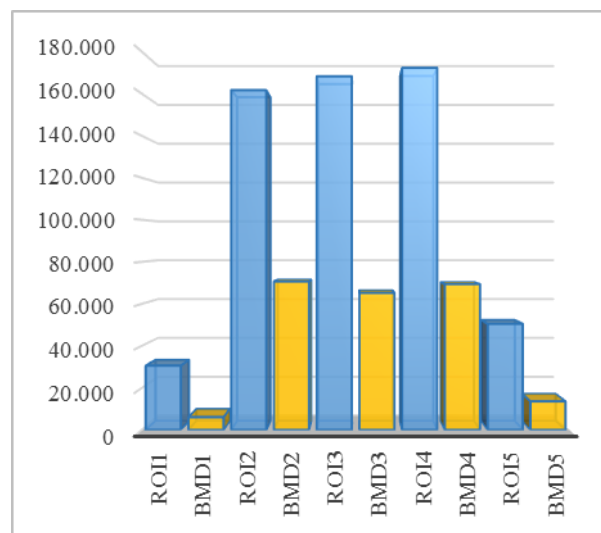
Površina ROI i maske koje obuhvataju koštano tkivo na početku i kraju uzorka zauzimaju začajno manje područje u odnosu na središnje delove mikro CT snimka Bio-Oss grafta (slika 3).

4. ZAKLJUČAK

U radu je ispitivana regija od interesa i mineralna gustina grafta pomoću softvera za obradu slike *ImageJ 1.52*, bazirana na mikro CT snimcima.

Metoda ispitivanja regije od interesa je bazirana na definisanje konveksnog omotača koji obuhvata sve piksele koštanog tkiva grafta. Na

osnovu definisanih regija, ispitivana je mineralna gustina grafta podešavanjem graničnih pragova i oduzimanjem pozadine.



Sl. 3. Mineralna gustina koštanog grafta kroz uzorak (1-5)

Rezultati ispitivanja ovih parametara na pet reprezentativnih slika sa Mikro CT-a obuhvatajući krajeve i sredinu uzorka, pokazali su ujednačene površine koštanog tkiva u srednjim snimcima, dok

je gustina opadala na krajnim snimcima uzorka grafta.

Dalja ispitivanja bi uključila komparativno ispitivanje sa drugim proizvođačima koštanih graftova, kao i poređenje sa nativnim koštanim tkivima.

ZAHVALNICA: Rad predstavlja deo istraživanja na projektu ev. broj 142-451-3619/2017-01/02. koji je finansiran od strane Autonomne Pokrajine Vojvodine.

5. REFERENCE

- [1] Narayan, R.J., Roeder, R.K.: *Recent advances in biological materials science and biomedical materials*, The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society, Vol. 62, pp. 38-38, 2010
- [2] Li, H., Yan, Y.G, Wei, J., Ma, J., Gong, M., Luo, X.M., Zhang, Y.F.: *Bone substitute biomedical material of multi-(amino acid) copolymer: in vitro degradation and biocompatibility*, Journal of Materials Science: Materials in Medicine, pp. 2555-2563, 2011
- [3] Huang, Y-C., Xiao, J., Leung, V.Y.L., Lu, W.W., Hu, Y., Lu, K.D.K.: *Lumbar intervertebral disc allograft transplantation: healing and remodelling of the bony structure*, European Cells and Materials, Vol. 32, pp. 216-227, 2016
- [4] Wittneben, J.G., Buser, D., Salvi, G.E.: *Complication and Failure Rates with Implant-Supported Fixed Dental Prosthesis and Single Crowns: A 10-Year Retrospective Study*, Clinical implant dentistry and related research, pp. 356-364, 2014
- [5] Khan, S.N., Ramachandran, M., Kumar, S.S.: *Osseointegration and more: review of literature*, Indian Journal of Dentistry, pp. 72-76, 2012
- [6] Vuletić, M., Knežević, P., Jokić, D., Rebić, J., Žabarović, D., Macan, D.: *Alveolar Bone Grafting in Cleft Patients: from Bone Defect to Dental Implants*, Acta Stomatologica Croatica, pp. 250-257, 2014
- [7] Nampo, T, Watahiki, J, Enomoto, A, Taguchi, T, Ono, M, Nakano, H, Yamamoto, G, Irie, T, Tachikawa, T, Maki, K.: *A new method for alveolar bone repair using extracted teeth for the graft material*. Journal Periodontol pp. 1264–1272, 2010
- [8] Muhlberger, G., Svejda, M., Lottersberger, C., Emshoff, R., Putz, R., Kuhn, V.: *Mineralization density and apparent density in mandibular condyle bone*. Oral Medicine, Oral Pathology, and Oral Radiology, pp. 573–579, 2017
- [9] Rebaudi, A., Benedicenti, S.: *Sinus grafting with magnesiumenriched bioceramic granules and autogenous bone: a microcomputed tomographic evaluation of 11 patients*. The International Journal of Periodontics and Restorative Dentistry, pp.53–61, 2010
- [10] Morinaga, K., Kido, H., Sato, A., Watazu, A., Matsuura, M.: *Chronological changes in the ultrastructure of titanium bone interfaces: analysis by light microscopy, transmission electron microscopy, and micro computed tomography*. Clinical Implant Dentistry and Related Research, pp. 59–68, 2016
- [11] Ohashi, T., Matsunaga, S., Nakahara, K., Abe, S., Ide, Y., Tamatsu, Y., Takano, N.: *Biomechanical role of peri-implant trabecular structures during vertical loading*. Clinical Oral Investigations, pp. 507–513, 2010
- [12] Deshoju, A. K., Chandra, R.V., Reddy, A.A., Reddy, B.H., Nagarajan, S., Naveen, A.: *Efficacy of a Novel Zn-Substituted Monetite- Based Scaffold in the Treatment of Periodontal Osseous Defects*, Journal of the International Academy of Periodontology, Vol. 19/1, pp. 2–9, 2017

Autori: Dr Milana Ilić Mićunović, Vanr. prof. dr Igor Budak, Mast. inž. Željko Santoši, Doc. dr Boris Agarski, Mast. inž. Mario Šokac, Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel: +381 21 485 2350, Fax: +381 21 454495.

Prof. dr Borut Kosec, Univerzitet u Ljubljani, Fakultet prirodnih nauka i inženjerstva, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenija, Tel.: +386 1 2000410, Fax: +386 1 4704560

Dr Vesna Kojić, naučni saradnik, Institut za onkologiju Vojvodine, Put Doktora Goldmana 4, 21204 Sremska Kamenica, Srbija, Tel: +381 21 526 120

E-mail: milanai@uns.ac.rs
budaki@uns.ac.rs
zeljkos@uns.ac.rs
agarski@uns.ac.rs
marios@uns.ac.rs
borut.kosec@omm.ntf.uni-lj.si
vesna.kojic@sbb.rs

Gušić, I., Puškar, T., Veljović, T., Mirnić, J., Milekić, B., Đurić, M.

PRIMENA BIOMATERIJALA U REGENERACIJI POTPORNIH ZUBNIH TKIVA

Rezime: Parodontcijum predstavlja potporni aparat zuba koga čine morfološki različita tkiva organizovana u jedinstvenu funkcionalnu celinu. Parodontopatija je hronično inflamatorno oboljenje ovog aparata koje dovodi do ireverzibilne destrukcije svih potpornih struktura. Uobičajenim terapijskim pristupom može se kontrolisati inflamatorni aspekt bolesti i zaustaviti njeno napredovanje, ali zbog složene građe i međusobnih odnosa teško je postići regeneraciju izgubljenih tkiva. Iz tog razloga, razvijene su brojne regenerativne strategije i pristupi koji podrazumevaju primenu različitih biomaterijala kako bi se obezbedilni optimalni uslovi za zarastanje svih struktura. Ovaj rad prikazuje različite vrste biomaterijala koje se koriste u regeneraciji destruisanih tkiva.

Ključne reči: parodontopatija, regenerativna terapija, biomaterijali

1. UVOD

Parodontopatija je hronično inflamatorno oboljenje potpornog aparata zuba- parodontcijuma, koje nastaje kao rezultat interakcije mikroorganizama dentalnog biofilma i inflamatorno-imunološkog odgovora domaćina [1]. Patološki procesi u okviru ovog oboljenja dovode do destrukcije mekih i čvrstih parodontalnih tkiva što konačno rezultira gubitkom zuba.

Lečenje parodontopatije uglavnom podrazumeva mehaničko uklanjanje dentalnog biofilma i patološki izmenjenih struktura sa ciljem da se eliminiše inflamacija i stvore povoljni uslovi za zarastanje tkiva i efikasno održavanje oralne higijene. Međutim, iako je konvencionalna parodontološka terapija uspešna, mogućnost da dovede do regeneracije oštećenog tkiva često nije moguća [2]. Regeneracija parodontcijuma je verovatno jedan od najsloženijih procesa u ljudskom organizmu. Morfološki, parodontalna tkiva čine gingivalni epitel, gingivalno vezivno tkivo, periodontalni ligament i komponente tvrdih tkiva, alveolarne kosti i cementa na površini korena. Ova specifična kompozicija zahteva visoko koordinisani proces zarastanja, gde se cementogeneza i insercija novoformiranih vlakana periodoncijuma dešavaju istovremeno i paralelno sa formiranjem nove kosti u parodontalnom defektu. Ovaj unapređen proces zarastanja može se delimično ostvariti samo kada postoje favorizujući lokalni i sistemski uslovi uz primenu optimalnih regenerativnih materijala.

Biomaterijali i proizvodi koji se koriste u regenerativnoj parodontološkoj terapiji mogu se uvrstiti u jedan od tri regenerativna koncepta:

primena koštanih graftova, barijerne membrane i modifikatora zarastanja rane (faktori rasta, amelogenin itd). Svaki od dostupnih materijala ima svoje prednosti ali i značajne nedostatke. Imajući ovo u vidu danas se favorizuje kombinovana primena biomaterijala koji pripadaju različitim regenerativnim konceptima.

Cilj ovog rada je da se prikažu svojstva različitih biomaterijala koji se koriste u regenerativnoj parodontološkoj terapiji.

2. KOŠTANI GRAFTOVI

Prema poreklu, koštani zamenici ili koštani graftovi, podeljeni su u četiri kategorije: autograftovi (poreklom od iste jedinke), alograftovi (poreklom od druge jedinke iste vrste), ksenograftovi (poreklom od druge biološke vrste) i alograftovi (sintetički koštani zamenci).

U odnosu na njihov biološki potencijal, ovi materijali mogu biti: osteogeni (imaju ćelije tj. osteoblaste koji direktno stvaraju novu kost), osteoinduktivni (imaju potencijal da indukuju stvaranje nove kosti) i osteokonduktivne transplantate (služe kao podloga za formiranje nove kosti).

Idealni materijal koštanog zamenika treba da bude biokompatibilan, sa fizičko-hemijskom strukturom sličnom prirodnoj kosti, da stimuliše stvaranje novih krvnih sudova i prorastanje fibrovaskularnog tkiva sa inkorporacijom materijala u novu kost. Osim toga, treba da bude osteogen ili osteokonduktivan i da podleže koštanoj remodelaciji sa stopom resorpcije sličnoj stopi formiranja nove kosti. Pored navedenih osobina, koštani graftovi imaju sposobnost da

čuvaju prostor za koštanu regeneraciju i stabilizuju krvni ugrušak.

Autograftovi se smatraju zlatnim standardom među koštanim supstituentima [3]. Imaju osteogeni potencijal zbog prisustva živih koštanih ćelija, kao i osteoinduktivno svojstvo zbog prisustva koštanog matrnog proteina. Istovremeno, ovi graftovi su i osteokonduktivni zahvaljujući porusnoj mineralizovanoj komponenti kosti. Nedostatak materijala je potreba za dodatnim operativnim zahvatom, mogućnost postoperativnih komplikacija i često ograničena količina dobijenog materijala.

Alograftovi se dobijaju od humanih donora. Obično je to suvo zaleđena kost ili kiselinom demineralizovana suvo smrznuta kost iz koje su eliminisane sve ćelije te nema osteogeni potencijal. Osteoinduktivni i osteokonduktivni potencijal ovih graftova značajno varira u zavisnosti od načina pripreme i vrste materijala.

Ksenograftovi obično su porekla goveđe kosti i čini ih hidroksilapatit koštanog matriksa nakon uklanjanja organske komponente. Ksenograftovi su osteokonduktivni obzirom da imaju porusnu građu sličnu humanoj kosti ali ne sadrže humane ćelije niti osteokonduktivne agense [4]. Trenutno najpoznatiji derivat bovinog porekla je Bio-Oss®. To je osteokonduktivni material koji se postavlja tako da bude u što prisnijem kontaktu sa površinom dobro vaskularizovane kosti.

Aloplastični materijali su velika grupa hemijski i strukturno različitih materijala drugačijih mehaničkih i bioloških svojstava. Ovi materijali uključuju: trikalcijum-fosfat, kompozitne polimere, bioaktivnu keramiku i kalcijum-fosfatnu keramiku. Nemaju osteogene ćelije niti osteoinduktivne proteine te se smatraju osteokonduktivnim [5].

U literaturi postoje oprečni podaci o tome da li i jedan od navedenih graftnih materijala zaista promoviše regeneraciju parodontijuma, s obzirom na to da većina utiče na koštanu regeneraciju a rekonstrukcija parodontijuma podrazumeva izgradnju i ostalih potpornih tkiva [6].

3. USMERENA TKIVNA REGENERACIJA PRIMENOM BIOMEMBRANA

Membrane za usmerenu tkivnu regeneraciju prvi put su opisane početkom osamdesetih godina prošlog veka i predstavljaju pionirski korak u parodontalnom tkivnom inženjeringu [7].

Princip usmerene tkivne regeneracije se zasniva na postavljanju mehaničke barijere-membrane preko koštanog defekta (Slika 1. i 2.).



Sl. 1. Izgled infrakoštanih defekta na gipsanom modelu.



Sl. 2. Barijerna membrana postavljene preko infrakoštanih defekta na gipsanom modelu.

Cilj ovog postupka je da se mehanički selektuju ćelije koje naseljavaju krvni ugrušak tj. da se prevenira prodor epitelnog i vezivnog tkiva u koštani defekt i omogući nesmetana repopulacija hirurške rane ćelijama periodontalnog ligamenta i koštanog tkiva. Osim toga, barijerne membrane služe da očuvaju prostor i povećaju stabilnost krvnog ugruška. Mehaničku barijeru u okviru pasivne "vođene" regeneracije tkiva predstavlja biomembrana izrađena od različitih materijala.

Neresorptivne biomembrane najčešće su na bazi ekspaniranog politetrafluor-etilena (e-PTFE) i ojačane titanijumom. Imaju uglavnom dobre mehaničke osobine ali zahtevaju sekundarnu hiruršku intervenciju kako bi se uklonile što predstavljala najveći nedostatak tehnike. Ovo je dovelo do proizvodnje resorptivnih biomembrana. One su najčešće proizvedene od kolagena svinjskog ili goveđeg porekla, polilaktičke kiseline, kao i materijala na bazi poliglikolne kiseline. Ovi materijali su biokompatibilni, ali ne i bioinertni jer se tokom procesa njihove razgradnje može očekivati reakcija okolnog tkiva.

Brojne studije su pokazale da se značajno bolji rezultati, u smislu parodontalne regeneracije, dobijaju kada se koriste barijerne membrane i graftni materijal nego kada se primenjuju samo graftovi ili samo biomembrana [8].

4. MATERIJALI U AKTIVNOJ REGENERACIJI PARODONCIJUMA

Aktivna regeneracija obolelog parodoncijuma podrazumeva primenu bioloških produkata koji imaju sposobnosti da indukuju i ubrzaju proces formiranja tkivnog matriksa i ćelijske diferencijacije nakon hirurške intervencije. Ovi materijali podstiču proces zarastanja postoperativne rane, ali im uglavnom nedostaju mehanička svojstva koja bi im pomogla u očuvanju prostora i stabilizaciji ugruška. Neki od ovih produkata dodati su u solidan, bioresorptivni nosač kako bi im se nadoknadila mehanička svojstva.

Trenutno su, za upotrebu u parodontalnoj regeneraciji, dostupna dva preparata sačinjena od faktora rasta ili diferencirajućih faktora to su: derivat glednog matriksa u formi gela (Emdogain®) i trombocitni faktor rasta umešan u beta trikalcijum fosfatni koštani graf (GEM 21S®).

Emdogain dokazano pospešuje regeneraciju parodontalnih tkiva tako što imitira uslove koji su postojali u toku njihovog prirodnog razvoja. Sastoji se prvenstveno od amelogenina ali i drugih glednih proteina [9]. Emdogain, ima sposobnost da inhibiše proliferaciju epitelnih ćelija i dodatno omogućuje nesmetanu regeneraciju alveolarne kosti i mekih tkiva parodoncijuma. Benefit od upotrebe derivata glednog matriksa potvrđena je humanim histološkim studijama, prikazima slučajeva, meta-analizama randomizovanih kliničkih ispitivanja i velikih multicentričnih studija [10]. Emdogain® se koristi ne samo u parodontološkoj regeneraciji već i za transplantaciju zuba nakon traumatske avulzije [11].

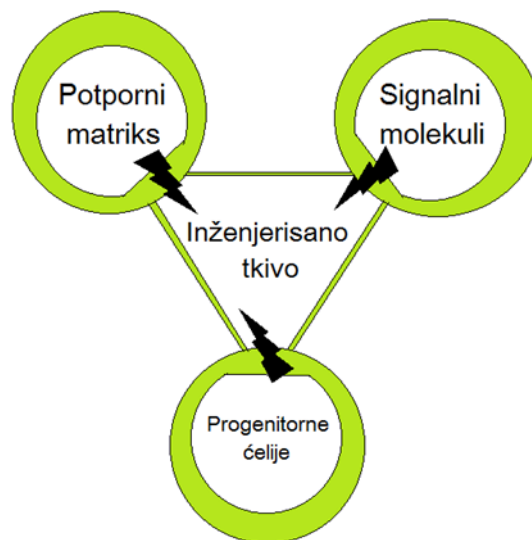
Tkivni inženjering podrazumeva formiranje tkiva van organizma i njihovu implantaciju na mesto defekta. Predstavlja koncept aktivne regeneracije parodontalnih tkiva kombinacijom živih ćelija i bioloških posrednika u odgovarajućem matriksu u in vivo ili in vitro uslovima. Osnovni princip tkivnog inženjeringa je korišćenje tkivnog matriksa, progenitornih ćelija i faktora rasta. Ovaj koncept se označava kao trijada tkivnog inženjeringa (Slika 3.).

Utvrđeno je da postnatalne progenitorne ćelije imaju veliki regenerativni potencijal, što ih čini atraktivnim kandidatima za primenu u tkivnom inženjeringu. Ćelije periodoncijuma, zbog svoje multipotentnosti, smatraju se korisnim izvorom za regeneraciju parodontalnih tkiva koja čine alveolarna kost, cement i periodontalni ligament. Obećavajuću ulogu u regeneraciji parodoncijuma pokazuju i ćelije periosta, gingivalnog tkiva i mezenhimalne matične ćelije koštane srži [6].

Najvažnije uloge potpornog matriksa su da

služi kao okvir koji održava oblik defekta i pruža prostornu podršku regiji koja zarasta sprečavajući upadanje okolnog tkiva u ranu. Služi kao trodimenzionalni substrat za ćelijsku adheziju, migraciju, proliferaciju i produkciju ekstracelularnog matriksa. Kao i potencijalnu ulogu u oslobađanju faktora rasta.

Postoje brojne vrste potpornog matriksa, napravljenih od različitih biomateriala i različitim tehnikama proizvodnje a sve sa ciljem da se što uspešnije primene u regeneraciji različitih tkiva i organa.



Sl. 3. Trijada tkivnog inženjeringa

Polipeptidni faktori rasta su prirodni biološki posrednici koji regulišu najznačajnije procese u ćeliji uključujući i regeneraciju tkiva. Faktori rasta svoj uticaj ostvaruju vezivanjem za specifične receptore na ćelijskim površinama koje dalje prenose signale do ćelijskog nukleusa.

Najznačajniji faktori rasta koji učestvuju u regeneraciji parodontalnih tkiva su: trombocitni faktor rasta, transformacioni faktor rasta, faktor rasta sličan insulinu, fibroblastni faktor rasta, Osteogeni protein, koštani morfogenetski protein – BMP-2, BMP-3 i angiogenetski faktor rasta [6]. Većina ovih faktora rasta se oslobađa na mestu povrede ili u hirurškoj rani i imaju izuzetno važnu ulogu u zarastanju. Faktori rasta su ćelijski specifični, što znači da svaki faktor deluje na određenu vrstu ćelija. Njihovim kombinovanjem može se uticati na regeneraciju nemineralizovanih i mineralizovanih tkiva parodoncijuma, što povećava regenerativni efekat.

Za sada je primena tkivnog inženjeringa u parodontologiji uglavnom u predkliničkoj fazi istraživanja ali pomaci koji su učinjeni sa faktorima podstiču dalji razvoj ove oblasti.

Parodontalna regeneracija može se postići primenom različitih regenerativnih materijala i hirurških pristupa. Postoje različiti modaliteti i kombinacije biomaterijala. Kako bi se napravio pravilan odabir neophodno je dobro poznavanje njihovih pojedinačnih i udruženih svojstava. Npr. utvrđeno je da se značajnija regeneracija parodonticijuma postiže kada se Bio-Oss® kombinuje sa biomembranom nego kada se primeni režanj operacija samo sa Bio Oss®-om. Slično kliničko poboljšanje, kao kod vođene tkivne regeneracije, uočeno je kada se Bio Oss® kombinuje sa proteinom glednog matriksa [8]. Međutim, kada se suvosmrznuta kost kombinuje sa biomembranom ne dobija se dodatna korist u odnosu na samostalnu primenu ovog grafnog materijala [12]. Primena amelogenina je vrlo efikasna ali deluje da dodatna primena ksenografta unapređuje njegov klinički efekat [13].

5. ZAKLJUČAK

Prema današnjim saznanjima ne postoji jedan superioran izbor među različitim regenerativnim mogućnostima, ali postoji klinička strategija zasnovana na dokazima koja pomaže pri odabiru odgovarajućeg materijala i hirurške tehnike. Cilj ove strategije je da se obezbedi optimalna terapija za svakog pojedinačnog pacijenta i konkretan koštani defekt. Ovaj pristup uzima u obzir karakteristike pacijenta i tri osnovna uslova parodontalne regeneracije:

- formiranje krvnog ugruška u prostoru između režnja i površine korena.
- stabilnost ugruška kako bi se obezbedio kontinuum sa površinom korena i izbeglo formiranje dugačkog epitelnog pripoja.
- zaštita tretirane regije mekim tkivima kako bi se izbegla kontaminacija bakterijama.

Odabir regenerativnog materijala bazira se uglavnom na anatomiji defekta i dizajnu odabrane hirurške tehnike [8].

6. REFERENCE

- [1] Albandar JM, Rams TE. Risk factors for periodontitis in children and young persons. *Periodontol 2000* 2002;29:207-222
- [2] Ramseier CA, Rasperini G, Batia S, Giannobile V. Advanced reconstructive technologies for periodontal tissue repair. *Periodontol 2000* 2012;59:185-202
- [3] Mellonig JT. Autogenous and allogeneic bone grafts in periodontal therapy. *Crit Rev Oral Biol Med* 1992;3:333-352
- [4] Buser D, Hoffmann B, Bernard JP, Lussi A, Mettler D, Schenk RK. Evaluation of filling materials in membrane-protected bone defects. A comparative histomorphometric study in the mandible of miniature pigs. *Clin Oral Implants Res* 1998;9:137-150
- [5] Yukna RA. Synthetic bone grafts in periodontics. *Periodontol 2000* 1993;1:92-99.
- [6] Bartold PM, Gronthos S, Ivanovski S, Fisher A, Huttmacher DW. Tissue engineered periodontal products. *J Periodont Res* 2016; 51: 1-15
- [7] Karring T, Nyman S, Gottlow J, Laurell L. Development of the biological concept of guided tissue regeneration—animal and human studies. *Periodontol 2000* 1993;1:26-35.
- [8] Cortellini P, Tonetti MS. Clinical concepts for regenerative therapy in intrabony defects. *Periodontol 2000* 2015;68:282-307
- [9] Zilm PS, Bartold PM. Proteomic identification of proteinase inhibitors in the porcine enamel matrix derivative, EMD. *J Periodontal Res* 2011;46:111-117
- [10] Esposito M, Grusovin MG, Coulthard P, Worthington HV. Enamel matrix derivative (Emdogain) for periodontal tissue regeneration in intrabony defects. *Cochrane Database Syst Rev* 2005;19: CD003875.
- [11] Hamamoto Y, Takahashi K, Sakurai H, Akiba K, Izumi N, Kanoh H, Yoshizawa M, Saito C. The use of enamel matrix derivative (Emdogain) for improvement of probing attachment level of the autotransplanted teeth. *Dent Traumatol* 2005;21: 336-340
- [12] Guillemin M, Mellonig J, Brunswold M. Healing in periodontal defects treated by decalcified freeze-dried bone allografts in combination with e-PTFE membranes. (I) Clinical and scanning electron microscope analysis. *J Clin Periodontol* 1993; 20: 528-536.
- [13] Trombelli L, Farina R. Clinical outcomes with bioactive agents alone or in combination with grafting or guided tissue regeneration. *J Clin Periodontol* 2008; 35: 117-135.) .

Autori: Doc. dr Ivana Gušić, Vanr. Prof. dr Tatjana Puškar, Doc. dr Tanja Veljivić. Doc. dr Jelena Mirnić, Doc. Dr Bojana Milekić, Red. Prof. dr Milanko Đurić. Univerzitet Novi Sad, Medicinski fakultet, Klinika za stomatologiju, Hajduk Veljkova 12, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 6612-222, E-mail: ivana.gusic@mf.uns.ac.rs
tatjana.puskar@mf.uns.ac.rs
tanja.veljovic@mf.uns.ac.rs
jelena.mirnic@mf.uns.ac.rs
bojana.milekic@mf.uns.ac.rs
milanko.djuric@mf.uns.ac.rs

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE ETIKUM 2018

PROCEEDINGS

Session 3:
METROLOGY AND QUALITY IN THE FIELD OF
ENVIRONMENTAL PROTECTION

Novi Sad, 06 – 08 December 2018

Fir, B., Kosec, B., Karpe, B., Budak, I., Jeklič, D., Agarski, B., Tanasić, Z., Dečman, I., Bernetič, J., Soković, M., Nagode, A.

WASTE GENERATION AND EMISSIONS INTO THE AIR DURING PRODUCTION OF ARMOUR STEEL

Abstract: In the frame of the presented study, the material balance, energy consumption, waste generation, and emissions into the air during the production of plates from high strength low alloy steel for armour protection PROTAC 500 were analysed in industrial environment of SIJ ACRONI d.o.o. production plants. The production stages included in the evaluation are steel smelting in electric arc furnace together with slab continuous casting, reheating of slabs in pusher-type furnace, and slab hot rolling.

Key words: emissions, waste generation, air, armour steel, production

1. INTRODUCTION

Armoured vehicles must provide sufficient safety without significant loss of driving performance. When selecting or developing the appropriate materials for the armour it is necessary to achieve the best possible compromise between the required mechanical properties of materials, its density and the final price of the product [1,2]. With the appropriate production technology, which includes synthesis, hot forming, heat treatment, etc. [3], high strength low alloy steel of good functional properties at affordable prices can be produced. By improving the strength and toughness of the steel, the required thickness and the weight of the armour can be reduced.

Steel PROTAC 500 belongs to the group of high strength low alloy (HSLA) steels. It is made in Slovenian steelwork SIJ ACRONI d.o.o. by standard industrial procedures. The relevant mechanical properties, shown in Table 1, are achieved by quenching and tempering [4].

Table 1. Mechanical properties of steel PROTAC 500 (at ambient temperature) [4]

Hardness	480 – 530 HB
Yield strength	1200 MPa
Tensile strength	1600 MPa
Elongation	8 %
Impact toughness	20 J

Tests of the ballistic properties of the steel have indicated the possibility of using steel PROTAC 500 for light armoured vehicles in NATO system (Figure 1).



Fig. 1. NATO certificate for steel PROTAC 500.

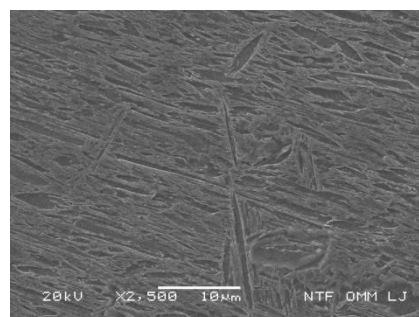


Fig. 2. The microstructure of steel PROTAC 500; tempered martensite (SEM).

In Figure 2 there is the microstructure of the steel PROTAC 500 before the ballistic test. The microstructure consists of tempered martensite.

The amount of produced PROTAC brandmark steel increases rapidly [5]. Figure 3 shows the amount of manufactured PROTAC 500 semi-products during the period from 2010 to 2017, produced by SIJ ACRONI d.o.o.. The industrial production started eight years ago in year 2010.

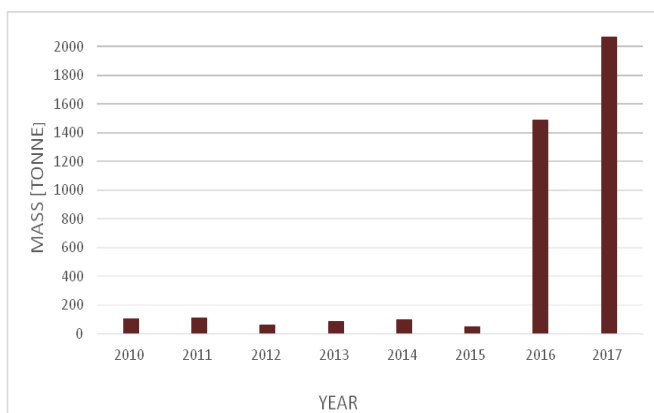


Fig. 3. The amount of PROTAC 500 semi products, produced by slovenian largest steel producer SIJ ACRONI d.o.o.

2. ASSESSMENT AND ANALYSIS

In the material and energy balance analysis [6] we included main production stages: scrub melting in electric arc furnace (EAF) and slab continuous casting, slab reheating, and hot rolling to the final thickness between 6 and 25 mm.

Table 2. Material inputs in EAF steel making process

INPUT		
Inorganic intermediate products		kg/t
Argon	kg/t	10.32
Nitrogen	kg/t	52.76
Oxygen	kg/t	66.43
Metals		kg/t
Ferro chromium	kg/t	281.88
Ferro molybdenum	kg/t	5.81
Ferro nickel	kg/t	12.90
Metal (recovered)	kg/t	48.21
Molybdenum trioxide	kg/t	24,33
Nickel	kg/t	5.96
Nickel oxyde	kg/t	4.08
Minerals		kg/t
Dolomite	kg/t	15.83
CaO	kg/t	92.74
Limestone	kg/t	25.21
Recovery	kg/t	8.90
Waste for recovery		kg/t
Stainless steel scrap (external)	kg/t	123.25
Stainless steel scrap (internal)	kg/t	409.48
Carbon steel scrap (external)	kg/t	305.88

Table 3. Energy inputs used in EAF steel making process

Energy		
Electricity	MJ/t	2354.89
Fuel	MJ/t	398.06
Crude oil products	MJ/t	86.30
Coal	MJ/t	0.03
Natural gas	MJ/t	311.74
Propane	MJ/t	0.02

Table 4. Material outputs in EAF steel making process

OUTPUT		
Slab	kg/t	1000
Waste for disposal		kg/t
Slag	kg/t	58.17
Waste for recovery		kg/t
Grinding dust	kg/t	0.07
EAF dust	kg/t	23.04
Slag	kg/t	191.16
Stainless steel scrap (internal)	kg/t	36.41

Table 5. Outputs of flue gases emissions into the air during EAF steel making process

Emissions to air		
Inorganic intermediate products		kg/t
Carbon dioxide	kg/t	112.79
Carbon monoxide	kg/t	5.72
Nitrogen oxides	kg/t	0.19
Sulphur dioxide	kg/t	0.11

The study does not take into account the more detailed analysis of the emissions of dust particles and the emissions of heavy metals which are also present during steel smelting [7]. Their indicative quantities per ton of manufactured steel are: 0.04 kg/t of dust particles, 7.8×10^{-6} kg/t Cd, 2.6×10^{-3} kg/t Cr, 7.6×10^{-4} kg/t Pb, 1.6×10^{-3} kg/t Mn, 7.2×10^{-4} kg/t Ni, 2.0×10^{-3} kg/t Mo and 2.1×10^{-4} kg/t Cu. The energy consumption (natural gas) during the reheating the slabs in pusher type furnace is approximately 46.69 m³/t of steel.

Table 6. Material inputs of hot rolling process

INPUT		
Inorganic intermediate products		kg/t
Nitrogen gaseous	kg/t	5.57
Oxygen gaseous	kg/t	75.79

Metals	kg/t	
Rolls (alloyed steel)	kg/t	0.87
Slab (from EAF)	kg/t	1131.53

Table 7. Energy inputs during reheating before hot rolling process

Energy input		
Electricity	MJ/t	352.34
Fuel	MJ/t	1965.14
Natural gas	MJ/t	884.06
Propane	MJ/t	1081.08

Table 8. Products and material outputs of hot rolling process

OUTPUT		
Metals	kg/t	
Black quarto plate	kg/t	1000.00
Black hot rolled coil	kg/t	0.00
Used rolls (alloyed steel)	kg/t	0.06
Only hot rolling mill scales	kg/t	0.01
Waste for incineration	kg/t	
Used oil (without water)	kg/t	8.12×10^{-3}
Oily rolls grinding sludge	kg/t	5.17×10^{-4}
Waste for recovery	kg/t	
Stainless steel scrap	kg/t	125.32

Table 9. Outputs of flue gas emissions into the air during slab reheating

Emissions into the air		
Inorganic intermediate products	kg/t	
Carbon dioxide	kg/t	111.10
Carbon monoxide	kg/t	0
Nitrogen oxides	kg/t	0.14

The study does not take into account the more detailed analysis of the emissions of dust particles [8,9] and the emissions of heavy metals which are also present during slab reheating [10]. Their indicative quantities per ton of hot rolled high-strength armour steel PROTAC 500 are approximately 0.003 kg/t of dust particles, and 2.3×10^{-5} kg/t Cr, while the emissions of other heavy metals are practically negligible.

3. CONCLUSIONS

Within the framework of the conducted study, the material balance, energy consumption, waste

generation, and emissions into the air during the production of high-quality steel for armour protection PROTAC 500 were analysed in industrial environment of SIJ ACRONI d.o.o. production plants.

The quantities of steel plates manufactured in years from 2010, when the industrial production of PROTAC 500 steel started, to 2015 were up to a maximum of 100 tons per year. In 2016, production increased to 1487 tonnes, and in 2017 it already exceeded the 2000 tonnes on an annual level.

The production stages included in the evaluation were: steel smelting in electric arc furnace (EAF) together with slab continuous casting, reheating of slabs in pusher-type furnace, and slab hot rolling. Emissions are logically relatively high and, of course, directly related to the amount of steel produced.

4. REFERENCES

- [1] Bernetič, J., Kosec, G., Kosec, B.: *Steel of new generation PROTAC 500*, IRT 3000, 8 (2013) 48, 30-31.
- [2] Bernetič, J., Kosec, B., Kosec, G., Gojić, M., Burzić, Z., Nagode, A., Soković, M., Bizjak, M.: *A new generation of armored steel plate*, Contemporary materials, 7 (2016) 2, 137-141.
- [3] Bakkaloglu, A.: *Effect of processing parameters on the microstructure and properties of an Nb microalloyed steel*, Materials Letters, 56 (2002), 200-209.
- [4] Bernetič, J.: *Development of model for predicting hardenability of high strength low alloy steels: (B. Kosec, A. Smolej)*, Doctoral Thessys, University of Ljubljana, Ljubljana, 2013.
- [5] Kosec, B., Budak, I., Kosec, G.: *LCA method as a tool in steel production*, Metallurgy, 53 (2014) 3, 399.
- [6] Agarski, B., Budak, I., Kosec, B., Hodolič, J.: *An approach to multi-criteria environmental evaluation with multiple weight assignment*. Environmental modeling & assessment, 17 (2012) 3, 255-266.
- [7] Milanković, D., Milanović, B., Agarski, B., Ilić, M., Crnobrnja, B., Nagode, A., Kosec, B., Budak, I.: *Life cycle assessment of an intermodal steel building unit*. RMZ - Materials and geoenvironment. 60 (2013) 1, 67-72.
- [8] Ilić, M., Budak, I., Kosec, B., Nagode, A., Hodolič, J.: *The analysis of particles emission during the process of grinding of*

- steel EN 90MnV8*. Metallurgy, 53 (2014) 2, 189-192.
- [9] Ilić, M., Agarski, B., Budak, I., Vukelić, Đ., Kosec, B., Hodolič, J.: *Particles characterization with static image analysis method*. EMFM 2015 : proceedings, Zenica, 2015, 110-115.
- [10] Kosec, B., Senčič, S., Soković, M., Karpe, B.: *Foundry waste management*. International journal for quality research, 2 (2008) 2, 129-133.

Authors: Brina Fir, Prof. Dr. Borut Kosec, Ass. Prof. Dr. Blaž Karpe, Assoc. Prof. Dr. Aleš Nagode, University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenia, Phone: +386 1 2000410, Fax: +386 1 4704560. E-mail:

firbrina@gmail.com;

borut.kosec@omm.ntf.uni-lj.si;

blaz.karpe@omm.ntf.uni-lj.si;

ales.nagode@omm.ntf.uni-lj.si

Assoc. Prof. Dr. Igor Budak, Ass. Prof. Dr. Boris Agarski, University of Novi Sad, Faculty Technical Sciences, Trg D. Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Phone.: +381 21 4852255, Fax: +381 21 4852313. E-mail: budaki@uns.ac.rs; agarski@uns.ac.rs

Doris Jeklič, SIJ ACRONI d.o.o.,c. B. Kidriča 44, 4270 Jesenice, Slovenia, Phone: +386 4 5840001, Fax: +386 386 4 5840003. E-mail: doris.jeklic@acroni.si

Assoc. Prof. Dr. Zorana Tanasić, University of banja Luka, Faculty of Mechanical Engineering, v-Stepe Stepanovića 71, 78000 Banja Luka, Republika Srpska BiH, Phone: +387 51 433092, Fax: +387 51 433 004. E-mail: zorana.tanasic@mf.unibl.org

Irena Dečman, D. Kumar School, Gogalova ulica 15, 1000 Ljubljana, Slovenia, Phone: +386 1 5636834, Fax: -. E-mail: irena.decman@gmail.com

Dr. Jure Bernetič, SAAT d.o.o., Cesta na Lisice 4, 1000 Bled, Slovenia, Phone: +386 41 308145, Fax: -. E-mail: jure.bernetic@saat.si

Prof. Dr. Mirko Soković, University of Novo mesto, Faculty of Mechanical Engineering, Na Loko 2, 8000 Novo mesto, Slovenia, Phone: +386 7 3930019, Fax: +386 7 3930013. E-mail: mirko.sokovic@gmail.com

*Corresponding author **Prof. Dr. Borut Kosec**, e-mail: borut.kosec@omm.ntf.uni-lj.si

Nikolić, B., Božović, M., Petković, M.

OBUKA ZAPOSLENIH U MALIM I SREDNJIM PREDUZEĆIMA
U OBLASTI ZAŠTITE RADNE I ŽIVOTNE SREDINE

Rezime: *Važno mesto na putu rešavanja globalnih ekoloških problema zauzima obrazovanje i vaspitanje za zaštitu životne sredine. Da bi vaspitno – obrazovni sistem bio u funkciji zaštite životne sredine i odvijao se u skladu sa principima održivog razvoja, potrebno je uvesti i permanentno primenjivati ekološke sadržaje i ekološki pristup vaspitanju i obrazovanju na svim nivoima i u svim oblastima obrazovanja. Osnovni cilj ovog rada upravo je usmeren ka istraživanju i utvrđivanju organizacionih aspekata obuke zaposlenih u malim i srednjim preduzećima, kao oblika vaspitno obrazovnog rada u oblasti zaštite radne i životne sredine. Razmotreni su problemi i mogućnosti organizacije i realizacije obuke zaposlenih u oblasti zaštite radne i životne sredine u malim i srednjim preduzećima.*

Ključne reči: *Preduzeće, obuka, formalno obrazovanje, neformalno obrazovanje, zaštita životne sredine*

1. MODELI OBUKE ZA ZAŠTITU ŽIVOTNE
SREDINE U PREDUZEĆU

Prisustvo i permanentno generalisanje rizika različite prirode i karaktera u radnoj i životnoj sredini nameće potrebu permanentnog učenja zaposlenih – usvajanje, razmena, primena i kreiranje znanja u preduzeću koje je u vezi sa problemima bezbednosti, zaštite zdravlja na radu, zaštite od požara i zaštite životne sredine.

Savremeni pristup učenju – obuci, osposobljavanju, usavršavanju zaposlenih u ovim oblastima podrazumeva, pored organizacije obrazovanja za zaštitu radne i životne sredine unutar funkcije upravljanja ljudskim resursima i primenu savremenih pristupa i strategija koje bi bile usmerene na određivanje aktuelnih i kreiranje novih znanja, sticanje veština i sposobnosti za zaštitu radne i životne sredine, procenu, ocenu i upravljanje profesionalnim rizikom i drugim rizicima u radnoj i životnoj sredini, odnosno permanentnog razvoja kompetencija zaposlenih koje bi uticale, kako na njihovu ličnu bezbednost, tako i na bezbednost sistema odnosno efikasnost organizacije (preduzeća) kao celine. Radi se, zapravo, o potrebama permanentnog učenja koje se ne posmatraju samo u funkciji zaštite životne i radne sredine, već znatno šire, u funkciji razvoja ljudskog društva, osposobljavanje za konstruktivno i anticipativno mišljenje, rešavanje problema, saradnju, prihvatanje odgovornosti, odnosno prognozu, predikaciju i upravljanje rizikom i poboljšanje kvaliteta rada i života uopšte. Pri tom, konceptijske osnove savremenog obrazovnog pristupa podrazumevaju programsku orijentisanost i usklađenost obrazovnih sadržaja sa

specifičnostima i karakteristikama malih i srednjih preduzeća, radnog mesta, prirodom i karakterom rizika i opasnosti, metodama, tehnikama i instrumentima zaštite i upravljanja. Pored programskih, neophodne su i organizacione i didaktičke – metodičke promene (inovacije) u smislu primene aktivnih, participativnih metoda i oblika učenja, savremene obrazovne (informacione i komunikacione) tehnologije.

Takav pristup u učenju i obrazovanju obezbeđuje uslove da se, s obzirom na usmerenost obrazovnog pristupa individualnim korisnicima obrazovnih usluga, preko ostvarivanja pojedinačnih rezultata i efekata u otkrivanju, uočavanju, prepoznavanju rizika u radnoj sredini i adekvatnom pojedinačnom reagovanju i ponašanju, kumulativni efekat ispolji u ostvarivanju postavljenih ciljeva i zadataka u ovoj oblasti na sistematskom nivou, odnosno doprinosi bezbednosti sistema i uspešnosti preduzeća kao celine.

Primena koncepta upravljanja znanjem, omogućava permanentno "učenje na radnom mestu" i time štedi novac i vreme za organizovanje uobičajenih oblika obrazovanja i osposobljavanja. Takođe, sprečava odliv znanja iz preduzeća zbog odlaska zaposlenih jer njihovo znanje, primenom ovog koncepta, ostaje dokumentovano i prenosno drugim zaposlenima (V. Nikolić, 2001. str.119)

Upravljanje znanjem za zaštitu radne i životne sredine omogućava efikasno osposobljavanje zaposlenih u različitim poslovnim preduzećima za ostvarivanje ciljeva bezbednosti i zaštite. Stalan pristup bazama podataka i sistemima znanja koji prate savremene tokove i trendove u oblasti zaštite na radu, zaštite od požara i zaštite radne i životne

sredine, eksterna i interna komunikacija zaposlenih putem različitih zajednica, mapa znanja i mreža znanja omogućavaju permanentno učenje zaposlenih i razvoj ljudskih resursa u ovim oblastima.

Obuka ili trening zaposlenih se može definisati kao "planski napor preduzeća da poboljša performanse zaposlenih na njihovom radnom mestu ili na nekom povezanom radnom mestu" (G. Bošković, 2003, str. 121).

Pod obukom se podrazumevaju promene u specifičnim znanjima, sposobnostima, veštinama, stavovima ili ponašanju zaposlenih. Pojam obuke obično se meša sa pojmom razvoja zaposlenih. Razvoj zaposlenih se odnosi na stvaranje mogućnosti za učenje kako bi se zaposlenima pomoglo u njihovom ličnom razvoju. Mogućnost za razvoj zaposlenih se ne ograničavaju na radno mesto na kojem zaposleni radi – cilj je da se u drugom roku zaposleni pripreme za buduće zahteve posla ili razvoja karijere.

Tradicionalno, obuka zaposlenih je viđena kao instrument da se zaposleni nauče određenim veštinama i ponašanjima koja su im neophodna za obavljanje posla uz standardan nivo performansi. Fokus obuke se sve više pomera na stvaranje uslova da zaposleni razumeju veze i razloge zašto se nešto radi i da budu motivisani za inovativno razmišljanje i kontinuirano unapređivanje kvaliteta.

Efikasna obuka posmatrano sa aspekta zaštite radne i životne sredine podrazumeva obezbeđivanje i razvoj kadrova stručnih i kompetentnih za različita pitanja i problema bezbednosti na radu, zaštita od požara i zaštite životne sredine. Cilj obuke je da se u kratkom roku eliminiše bilo koji deficit u performansama na strani zaposlenih.

Nizak nivo praktičnih znanja mladima stvara probleme prilikom uključivanja u proces rada. Zato u budućem periodu treba praktično obuku učenika stručnih škola sprovesti u malim i srednjim preduzećima.

Stručne škole bi u narednom periodu morale same da nađu načine povezivanja sa malim i srednjim preduzećima. Pored toga, državni organi i lokalne institucije vlasti moraju pronaći dodatna sredstva za potrebe obrazovanja odraslih.

Neformalno obrazovanje se može sticati preko privredne komore i institucija regionalnih agencija i centara, koje je osnovala Republika, agencija za razvoj malih i srednjih preduzeća i preduzetništva. Praksa pokazuje da se raznim oblicima neformalnog obrazovanja (kursevi, seminari, razni oblici praktične nastave, prezentacija novih tehnologija i slične aktivnosti) postiže solidna osposobljenost u praktičnom smislu. U Republici

Srbiji neformalni sistem obrazovanja nema zakonski legitimitet svog konstituisanja i funkcionisanja.

Privredna komora je svoje mesto u obrazovanju našla kao jedan od osnivača regionalne agencije za mala i srednja preduzeća. Međutim, u narednom periodu, komora treba kao i svuda u svetu da nađe svoje mesto i u obrazovanju za zaštitu i očuvanje radne i životne sredine. Imajući u vidu navedene činjenice o prednostima i nedostacima formalnog i neformalnog sistema obrazovanja, neophodno je da Opština u narednom periodu, poštujući pozitivne zakonske propise, učestvuje u razvijanju mehanizma partnerskih odnosa između preduzeća, institucija, tržište rada i obrazovanih institucija.

To se može ostvariti kroz:

- instrumente ekonomskog sistema, kreditnu i poresku politiku, investicioni režim i druge mere (koliko joj propisi dozvoljavaju) da podstiče mala i srednja preduzeća da ulažu u obrazovanje, stručno osposobljavanje, prekvalifikaciju, dokvalifikaciju, inoviranje znanja;
- program finansijske podrške srednje školskom obrazovanju;
- participaciju o utvrđivanju ispunjenosti kriterijuma u pogledu kvaliteta obrazovanja odraslih od strane raznovrsnih institucija na njenoj teritoriji;
- razvijanje mehanizma uticaja, kontrole i zaštite interesa i potreba privatnih subjekata u oblasti obrazovanja uopšte, a posebno u području neformalnog sistema obrazovanja. (Nacrt strategije razvoja malih i srednjih preduzeća, 2003, str. 38)

Izbor metoda i izvora podataka zavisi od svrhe obuke. Ako je svrha obuke, poboljšanje sigurnosti i bezbednosti na radu, onda se u procesu identifikovanja potreba za obukom moraju najpre proučiti sadašnja bezbednost zaposlenih kako bi se obukom unapredile.

Kada je u pitanju identifikovati potrebe iz oblasti zaštite radne i životne sredine svih zaposlenih na različitim nivoima obrazovanja, onda je kao najpogodniji metod anketa mešovitog tipa.

Nakon identifikovanja potreba za obukom, neophodno je napraviti izbor odgovarajućih programa. U tom smislu, neophodno je utvrditi:

- kome je obuka namenjena – koja je ciljna grupa,
- ko izvodi programe,
- koji tip veština treba razviti.

Programima obuke iz oblasti zaštite životne i radne sredine mogu se razvijati različita znanja i veštine koje svrstavamo u tri grupe:

- Bazična tehnička znanja
- Interpersonalne sposobnosti
- Konceptualne integrativne sposobnosti (P. Hafner, 2003, str. 101)

Vrste obuke su različite već prema tome gde se obuka zaposlenih obavlja, šta ona određuje i izbor metoda.

Prema metodu različite vrste obuke se mogu svrstati u dve kategorije:

1. informacioni metodi koji se baziraju na jednosmernoj komunikaciji, kada se polaznicima samo transmituju informacije iz oblasti zaštite radne i životne sredine (predavanja, predavanja spremljena na kasetama, samostalno učenje iz knjiga),
2. eksperimentalni metodi koji se baziraju na permanentnoj interakciji instruktora (ekomenadžera) i polaznika (obuka na radnom mestu, instruktora uz korišćenje računara, obuka na simulatorima, igre simulacije, studije slučaja i analize, igranje različitih uloga, modeliranje, ponašanje, vežbe senzitivnosti itd.).

2. MODELI OBUKE

Prema mestu održavanja obuke, postoje tri osnovne obuke zaposlenih na radnom mestu, u preduzeću i izvan preduzeća .

Uspešnost i efikasnost aktivnosti obuke zaposlenih u preduzeću u značajnoj meri zavisi od modela organizovanja ovih poslova. U praksi se najčešće koristi pet modela (S.Nikolić,2003,str.167):

1. funkcionalni model,
2. kupac model,
3. matrični model,
4. model korporativnog univerziteta,
5. model virtuelne trening organizacije.

Svaki od pomenutih modela ima značajnih implikacija na karakteristike i kvalitet aktivnosti obuke u preduzeću.

Ocena kvaliteta obuke zaposlenih je proces u kojem se prikupljaju podaci potrebni da se ustanovi efikasnost obuke – koristi koje preduzeće i učesnici imaju od sprovedene obuke (smanjenje povreda na radu, veći broj efektivnih časova na poslu, smanjenje otpada, mogućnost reciklaže otpadnih materija, ponovno korišćenje tehnološke vode i dr.). Budući da preduzeće investira određenu sumu novca u obrazovanje i obuku svojih zaposlenih, ono, s pravom, očekuje da rezultati tih investicija, odnosno obuke budu merljivi. Proces ocene obuke zaposlenih treba da obezbedi podatke koji će pokazati da li preduzeće ima koristi od ulaganja u obuku zaposlenih ili ne.

3. ZAKLJUČAK

Oblikovanje i formiranje modela obrazovanja u malim i srednjim preduzećima nije nimalo lak ni jednostavan proces. Problemi su brojni i različiti: zaposleni na svim nivoima nisu uvek spremni da uče; teško promenljiva birokratska struktura i hijerarhijski sistem; neadekvatan sistem komunikacija i informisanja; otpor prema primeni novih ideja i rešenja; nezainteresovanost ili pak marginalizacija pojedinih problema (na primer, zaštita na radu, zaštita od požara i sl.); materijalno – tehnički, finansijski i drugi problemi.

U skladu sa savremenim zahtevima i ciljevima održivog razvoja, promene su takve prirode i karaktera da je u sadržaju svakog posla učenje o novim tehnologijama, rizicima, metodama, standardima i dr. u vezi sa bezbednošću, zaštitom, kvalitetom radne i životne sredine i harmonizacijom ekonomskih vrednosti sa ekološkim i socijalnim dimenzijama svakog poslovanja.

Obuka u oblasti zaštite radne i životne sredine podrazumeva i obezbeđivanje i razvoj kadrova stručnih i kompetentnih za različita pitanja i problema bezbednosti na radu, zaštite od požara i zaštite životne sredine. Mora da ima jasno definisane ciljeve, mora da bude usklađena sa identifikovanim problemima i potrebama sa se planira i da obezbedi promenu iskustva učenja. Idealna je situacija u kojoj obuka zadovoljava kako potrebe preduzeća tako i individualne potrebe zaposlenih.

4. REFERENCE

- [1] Bošković, G.: *Upravljanje ljudskim resursima u industriji*, Ekonomski fakultet, Niš, 2003.
- [2] Vujić, D.: *Menadžment ljudskih resursa i kvalitet*, Centar za primenjenu psihologiju, Beograd, 2003.
- [3] Vuksanović, B.: *Priručnik za učešće javnosti u odlučivanju javnosti o životnoj sredini*, Regionalni centar za životnu sredinu u centralnoj i istočnoj Evropi, Kancelarija u Jugoslaviji, Beograd, 2000.
- [4] Grupa autora: *Zaštita na radu u malim i srednjim preduzećima*, Zaštita rada, Beograd, 2001.
- [5] Đukanović, M.: *Životna sredina i održivi razvoj*, Elit, Beograd, 1996.
- [6] Marković, Ž. D.: *Socijalna ekologija*, Beograd, 2003.
- [7] Nikolić, V.: *Zaštita životne sredine u sistemu savremenog vaspitanja i obrazovanja*, Doktorska disertacija, Fakultet zaštite na radu, Niš, 2001.

- [8] Nikolić, S.: *Upravljanje ljudskim resursima – organizacija preduzeća*, Ekonomski fakultet, Niš, 2003.
- [9] Hafner, P.: *Održivi razvoj i privreda Srbije, Ekonomske teme*, Ekonomski fakultet, Niš, 2002.

Autori: Biljana Nikolić, Marijola Božović, Martina Petković, Visoka tehnička škola strukovnih studija Zvečan, Nušićeva br.6, Zvečan, tel/faks: 028/664-179

E-mail: biljana.nikolic02@gmail.com
marijola.bozovic@gmail.com
martinaeco@yahoo.com

Nikolić, B., Petković, M., Božović, M.

ZAŠTITA RADNE SREDINE U FUNKCIJI EKOLOŠKE BEZBEDNOSTI

Rezime: Pored pozitivnih karakteristika i pojava koje prate rad kao razvojni proces javlja se i niz slučajnih pojava i događaja koji se manifestuju u višestrukom negativnom dejstvu, pri čemu se narušava čovekovo zdravlje, fizički, psihički i moralni integritet, degradira radna i šire životna sredina. Problemi na relaciji priroda-društvo, ekološka kriza počela je da se ispoljava sredinom prošlog veka. Nažalost sve više se širi produbljuje i utiče na smanjenje bezbednosti ljudi i mogućnost društvenog razvoja kako na lokalnom, tako i na globalnom nivou. Zato, zaštita životne sredine i traganje za modelima održivog razvoja postaju imperative održivosti naše vrste, ali i života na Zemlji i predstavljaju prioritetnu aktivnost savremene civilizacije.

Ključne reči: bezbednost radne sredine, ekološka bezbednost,

1. RADNA SREDINA

Čovek menja prirodu, i životnu sredinu uopšte, upravo posredstvom rada. Istovremeno on menja samog sebe, razvija se i usavršava kao biološko i društveno biće. Rad je, prema tome, bio i ostao osnovna, svrshodna ljudska delatnost i nužni uslov čovekovog opstanka i razvoja. Međutim, pored pozitivnih karakteristika i pojava koje prate rad kao razvojni proces javlja se i niz slučajnih pojava i događaja koji se manifestuju u višestrukom negativnom dejstvu, pri čemu se narušava čovekovo zdravlje, fizički, psihički i moralni integritet, degradira radna i šire životna sredina.

Radna sredina se može definisati kao: "ukupnost materijalnih činilaca konkretnog procesa rada i međuljudskih odnosa koje uspostavljaju učesnici u konkretnom procesu rada" (Marković, D.). Ovako definisana radna sredina, ukazuje da radnu sredinu čine dve vrste elemenata i to: materijalni činiloci i društveni odnosi. Materijalni činiloci kako oni koji nisu proizvod ljudskog rada, tako i oni koji to jesu, čine elemente fizičke radne sredine. Društveni odnosi koji uspostavljaju povezivanje ponašanja ljudi u procesu rada predstavljaju elemente socijalne radne sredine. Elementi fizičke radne sredine i socijalne radne sredine čine svojevrsno jedinstvo i međusobno su povezani i uslovljeni.

Radna sredina je sastavni deo čovekove životne sredine. Ona nastaje u okviru čovekovog delatnog odnosa prema njegovoj životnoj (prirodnoj sredini), koja se ispoljava u radu, što se shvata, pre svega, kao proces razmene materije između čoveka i prirode. Upravo zato i životna (prirodna) i radna sredina uvek ostaju u

dijalektičkom jedinstvu. Ta bi klauzula trebala da omogući radnicima i njihovim predstavnicima da budu konsultovani o pitanjima ekološke politike preduzeća (na osnovu mogućih opasnosti u proizvodnom procesu ili proizvodima), da budu obavешteni o neobjavljenim podacima o ekološkim opasnostima i da odbijaju obavljanje poslova za koje smatraju da mogu izazvati ozbiljnije zagađenje životne sredine.

U analizi odnosa između radne i životne sredine često se ističe da čovek u procesu rada, predstavlja ne samo sastavni već i bitni činilac određivanja i elemenata svoje radne sredine, pa time i karaktera čitave životne sredine i svog prirodnog okruženja. Dijalektički i istorijski posmatrani ti odnosi rezultiraju zaključak da sredina u kojoj čovek vrši svoju radnu aktivnost tj. radna sredina nastaje sa nastankom čoveka i da elementi te radne sredine, u zavisnosti od karaktera čovekove aktivnosti, imaju odlučujući uticaj na karakter čovekove životne sredine tj. njegovog prirodnog okruženja. Znači, dijalektička suština odnosa između čoveka, rada i prirode mogla bi se suštinski predstaviti u vidu jednog neprekidnog lančanog razvojnog puta koji počinje od ekološke ravnoteže u prirodi do pojave čoveka koji u određenom trenutku svoje biološke i intelektualne evolucije počinje radnom aktivnošću narušavanje te ekološke harmonije i stvaranje takvih elemenata koji sa jačanjem čovekove moći bitno utiču na promenu zakonitosti koje su dotle vladale u biosferi (Nikolić, V., 2010). To zapravo znači, svesno ili nesvesno, čovek svojim nekontrolisanim načinom rada u procesu savladavanja prirode neprekidno ugrožavane samo radnu već preko nje i životnu sredinu, preteći kako svom tako i opstanku svih živih bića. To je ujedno

i osnovna ideja – filozofska postavka svake organizovane i osmišljene ljudske aktivnosti za formiranje takvih odnosa između čoveka, rada i prirode koji će obezbediti bezbednost radne i životne sredine i održivi razvoj u budućnosti.

Zapravo, negativne posledice čovekove nekontrolisane eksploatacije prirodnog bogatstva ne ogledaju se samo u vidu neposrednih povreda, profesionalnih oboljenja i drugih negativnih pojava u radnoj sredini već se reflektuju mnogo šire i dublje i protežu na čitavu životnu sredinu i prirodno okruženje u kojima nastaju krupni rascepi i poremećaji ukupne biološke ravnoteže u prirodi. Zbog toga postojeći sistem bezbednosti i zdravlja na radu pojmovno i suštinski, zadržavajući svoje specifičnosti, prerasta dosadašnje okvire uže preventive proizvodnog i drugog rada. Zapravo, strateški se usmerava na znatno šire područje bezbednosti koje obuhvata, pored radne sredine, celokupnu čovekovu životnu (prirodnu i društvenu) sredinu tj. njegov biološki i društveni totalitet. U tom smislu zaštita na radu, i zaštita životne sredine, kao preventivne delatnosti, pokazuju tendenciju da se programski i sadržajno prožimaju i integrišu u jedinstveni, funkcionalno uslovljeni, ciljano istovetni, sa zadacima specifični sistem koji se u široj naučnoj javnosti, terminološki i pojmovno sve češće posmatra i definiše kao bezbednost radne i životne sredine (Nikolić, V., 2010., str.34-35).

2. EKOLOŠKA BEZBEDNOST

Ekološka bezbednost naglašava i distributivne aspekte razvoja i činjenicu da korene mnogih od ovih problema možemo tražiti i nalaziti u socio – ekonomskoj nejednakosti i nedostatku socijalne pravde. Otuda koncepte ekološke bezbednosti i održivog razvoja moramo posmatrati kao međusobno povezane i uslovljene. Održivi razvoj se odnosi na ekološki razuman društveno – ekonomski razvoj, a ekološka bezbednost je usredsređena na prevenciju ekoloških i drugih opasnosti i rizika koji mogu ugroziti životnu sredinu.

Zaštita na radu je dobila svoju formu i razvijala se u pravcu razvijanja društva. Donošenjem novog Zakona o bezbednosti i zdravlja na radu 2005.godine, Srbija pravi prekretnicu i ulazi u novo poglavlje razvoja u pogledu rešavanja problema zaštite na radu. Stručni ljudi sakupljeni oko zajedničke želje da doprinesu opštem dobru i da se društveno angažuju u novim društvenim okolnostima, pokazali su i potvrdili da aktivizam zaista može da utiče na širu društvenu zajednicu. Ovim potezima započet je proces usaglašavanja zakonodavstva sa propisima EU.

Cilj nove politike u oblasti bezbednosti i zdravlja na radu je, pre svega sprečavanje povreda na radu i profesionalnih oboljenja, a zasniva se na pokretanju niza aktivnosti u ovoj oblasti delovanja (Zakon o bezbednosti i zdravlja na radu, Sl. glasnik RS,10/2005).

Na početku 21.veka, savremena civilizacija se suočava sa krupnim izazovima modernog doba. Period industrijalizacije i elektrifikacije dovodi do pojave do tada novih i nepoznatih opasnosti i štetnosti. Kao nužna posledica ovih promena, dolazi do promene u prisustvu i načinu razmišljanja o zaštiti radnika.

U savremenim uslovima zaštita zaposlenih kao društvena delatnost može se posmatrati u širem i užem smislu. U širem smislu nju obezbeđuje radno zakonodavstvo i socijalno osiguranje kojima se uređuju prava: na puno i skraćeno radno vreme, odmora i odsustva sa rada, na zaradu i druga primanja, na bezbedne uslove rada i posebnu zaštitu žena, mladih i invalida, pravo na zdravstvenu zaštitu, na pomoć i naknade, pravo za slučaj invalidnosti i druga prava kojima se garantuje socijalna i materijalna sigurnost za slučaj nemogućnosti obavljanja rada. U užem smislu, pod zaštitom se podrazumeva preuzimanje mera i aktivnosti u cilju stvaranja bezbednih uslova rada i zaštite zdravlja radnika od rizika koji se javljaju na radnom mestu i u radnoj sredini.

Strategija bezbednosti i zdravlja na radu u Republici Srbiji za period od 2013. do 2017. godine jeste akt Vlade kojim se na celovit način utvrđuje stanje u oblasti bezbednosti i zdravlja na radu u Republici Srbiji i mere koje treba preduzeti za njen razvoj odnosno definišu aktivnosti, ciljevi i pravci unapređenja ove oblasti. Ova strategija predstavlja nastavak realizacije prethodne Strategije bezbednosti i zdravlja na radu u Republici Srbiji za period od 2009. do 2012. godine i zasnovana je na aktivnostima, ciljevima i pravcima za dalje unapređenje ove oblasti. Kao i u prethodnom periodu Strategija teži da stvori socijalno ekonomsku motivaciju kod svih učesnika u procesu rada, tako da sve veći broj privrednih subjekata aktivno upravlja bezbednošću i zdravljem na radu kako bi se unapredilo stanje u ovoj oblasti.

3. SISTEM BEZBEDNOSTI I ZDRAVLJA NA RADU

Zahtevi za uspostavljanje sistema bezbednosti i zdravlja na radu u savremenim uslovima uključuju uvođenje elemenata koji utiču na stvaranje bezbednih i zdravih radnih uslova, kao što su:

- uvođenje principa prevencije u sprečavanju nastajanja povreda na radu i profesionalnih oboljenja;
- aktivno uključivanje službe medicine rada neposredno u radne i proizvodne procese;
- uvođenje principa odgovornosti organizatora radova za primenu mera iz oblasti bezbednosti i zdravlja na radu;
- izbor predstavnika zaposlenih za bezbednost i zdravlje, koji ima ulogu da odlučuje i saraduje po svim pitanjima iz bezbednosti i zdravlja na radu kod poslodavca;
- uvođenje obaveznog osiguranja zaposlenih radi naknade štete nastale povodom povreda na radu ili profesionalnih oboljenja i dr.

Najveću odgovornost za sprovođenje mera bezbednosti i zdravlja na radu imaju poslodavci. Njihova najveća obaveza je da se pobrinu za bezbednost i zdravlje zaposlenih i da ih uključe u razmatranje ovih pitanja. Zaposleni imaju odgovornost za sopstvenu bezbednost, što se ogleda u načinu na koji postupaju na svojim radnim mestima. Ostvarljivost se zasniva na nivou znanja postojećih ljudskih resursa i mogućnošću primene minimuma mera i troškova sprovođenja tih mera radi ostvarivanja bezbednih i zdravih radnih uslova.

U okviru konteksta odgovornosti, poslodavac preuzima mere neophodne za bezbednost i zaštitu zdravlja zaposlenih, uključujući prevenciju od profesionalnih rizika, obezbeđenje informisanje i obuke, kao i obezbeđenje neophodne organizacije i sredstava.

Primena preventivnih mera koje se preduzimaju na svim nivoima rada podrazumeva ostvarivanje takvih uslova rada kojima se unapred vrši procena rizika i njihovo otklanjanje ili svodenje na najmanju moguću meru, kako bi se izbegle sve mogućnosti nastajanje povreda na radu ili profesionalnih oboljenja zaposlenih. Time se u najvećoj mogućoj meri stvaraju preduslovi za sprečavanje ili eliminisanje rizika od mogućih povređivanja, profesionalnih oboljenja ili oboljenja u vezi sa radom zaposlenih, a što kao cilj ima ostvarivanje uslova za puno fizičko, psihičko i socijalno blagostanje zaposlenih.

Usvajanjem Zakona o bezbednosti i zdravlja na radu primenjeni su i drugi obavezujući principi evropskog komunitarnog prava. Od posebnog je značaja određivanje prava na bezbedan i zdrav rad, koji je u direktnoj vezi sa obrazovanjem i osposobljavanjem u ovoj oblasti kao univerzalnim ljudskim pravom.

Obezbeđivanje funkcionisanja sistema

bezbednosti i zdravlja na radu u skladu sa zahtevima koji proističu iz Zakona o bezbednosti i zdravlja na radu, dokumenata EU i MOR-a ostvaruje se:

1. uvođenjem načela prevencije, primenom preventivnih mera koje se obezbeđuju u skladu sa savremenim propisima o bezbednosti i zdravlja na radu, tehničkim, pravnim, zdravstvenim, obrazovnim, organizacionim i drugim merama, kao i obezbeđivanjem sredstava za otklanjanje rizika od povređivanja i oštećenja zdravlja zaposlenih i sprovođenja rizika na najmanju moguću meru;
2. uvođenjem osiguranja od povreda na radu, profesionalnih oboljenja i oboljenja u vezi sa radom radi obezbeđivanja naknada štete;
3. edukacijom i obrazovanjem iz oblasti bezbednosti i zdravlja na radu zaposlenih i poslodavca;
4. davanjem usluga u oblasti bezbednosti i zdravlja na radu u skladu sa propisima (specijalizovane tehničke, medicinske i naučne institucije, istraživački institute, laboratorije idr.);
5. uključivanjem ljudskih resursa aktivnih u oblasti bezbednosti i zdravlja na radu (inspektori, specijalisti medicine rada, pravnici, inženjeri različitih profila, itd.);
6. istraživanjem u oblasti bezbednosti i zdravlja na radu;
7. uvođenje mehanizma za evidentiranje i analizu podataka o povredama na radu, profesionalnim oboljenjima i bolestima u vezi sa radom, kao i razmenu statističkih podataka između poslodavca, zaposlenih i vlasti;
8. podrškom na svim nivoima za progresivno poboljšanje bezbednosti i zdravlja na radu, naročito u mikro, malim i srednjim preduzećima;
9. saradnjom poslodavaca, sindikata, državnih organa i drugih činilaca u sistemu bezbednosti i zdravlja na radu u donošenju zajedničkih stavova o pitanjima bezbednosti i zdravlja na radu;
10. promovisanjem i afirmisanjem bezbednosti i zdravlja na radu angažovanjem medija, organizovanjem kampanja itd. (www.crnonabelo.com/wp-content/2012/04/strategija_bezbednosti_i_zdravlja_na_radu0083_cyr.pdf) Svakako, sve aktivnosti u ovoj oblasti podrazumevaju učenje i obrazovanje koje će omogućiti usvajanje znanja, razvoj sposobnosti i

veština za siguran i zdrav rad kao neophodnog preduslova za razvoj organizacione kulture i participacije zaposlenih u unapređivanju sistema bezbednosti i zdravlja na radu u radnim organizacijama, ali i razvoju bezbednosne kulture društva u celini.

Autori: Biljana Nikolić, Martina Petković, Marijola Božović, Visoka tehnička škola strukovnih studija Zvečan, Nušićeva br.6, Zvečan, tel/faks: 028/664-179

E-mail: biljana.nikolic02@gmail.com
marijola.bozovic@gmail.com
martinaeco@yahoo.com

4. ZAKLJUČAK

Bezbednost radne sredine-ekološka bezbednost i kvalitet života svakog pojedinca predstavljaju ključni segment u ostvarivanju novog pravca u društvenom razvoju, koji se ogleda u prihvatanju ideje održivosti u segmentu zaštite životne sredine, ekonomiji i socijalnoj sferi društva. Zato je neophodno unapređivati bezbednost radne sredine, a samim tim i ekološku bezbednost svakog pojedinca kako bi se ostvario viši kvalitet života i na taj način omogućila implementacija održivog razvoja u svim društvenim segmentima.

Tako tranzicioni procesi u Srbiji dovode do neravnomernog regionalnog razvoja što predstavlja limitirajući faktor u ostvarivanju bezbednosti radne sredine, a ekonomska situacija uz nizak nivo ekološke svesti usporava i ulaganja u zaštitu životne sredine, što utiče na ostvarivanje ekološke bezbednosti, i u krajnjoj instanci na kvalitet života stanovnika.

5. REFERENCE

1. Marković, Ž. D., *Socijalna ekologija*, Zavod za izdavanje udžbenika, Beograd, 1996.
2. Nikolic, V., *Organizational Learning - An Integrative Approach to Learning in the Workplace*, Proceedings: International Conference of Dependability and Quality Management, Research Center of DQM, Beograd, 2010, pp. 59 -70
3. Nikolić, V., *Savremena poslovna organizacija kao organizacija koja uči u funkciji bezbednosti radne i životne sredine*, Zbornik radova sa VI naučne konferencije "Menadžment i sigurnost" M&S2011, Hrvatsko društvo inženjera sigurnosti, Visoka škola za sigurnost s pravom javnosti, Zagreb., 2011., str.268-282
4. Zakon o bezbednosti i zdravlja na radu, Sl.glasnik RS,10/2005
5. www.crnonabelo.com/wp-content/2012/04/strategija_bezbednosti_i_zdravlja_na_radu0083_cyr.pdf

Đorđević, V., Pravdić, P.

ANALIZA REZULTATA MERENJA BUKE U ŽIVOTNOJ SREDINI U OPŠTINI
TRSTENIK

Rezime: U radu je urađena analiza rezultata merenja buke u životnoj sredini u opštini Trstenik, za proleće 2017. godine, na osnovu izveštaja o ispitivanju – merenju buke Zavoda za javno zdravlje Kruševac, kao akreditovane laboratorije za ispitivanje, za korisnika opštinsku upravu Trstenik. Merenje je sprovedeno na četiri merna mesta u Trsteniku, u tri termina (dnevni, večernji i noćni). Zatim je izvršena analiza dobijenih rezultata merenja, izveden zaključak o prekoračenjima nivoa buke na posmatranim tačkama i dat predlog mera za poboljšanje.

Ključne reči: buka, merenje buke, životna sredina.

1. UVOD

Buka je, prema najčešće korišćenoj definiciji, svaki neželjeni zvuk koji izaziva psiho-fiziološke senzacije (smeta, uznemirava) [1]. Buka i zvuk imaju iste fizičke karakteristike, ali se razlikuju po tome što buka može imati štetna dejstva na zdravlje čoveka.

Komunalna buka, odnosno buka u životnoj sredini, predstavlja jedan od glavnih problema u gradskim sredinama [2]. To je buka koju stvaraju svi izvori koji se nalaze u čovekovom okruženju, isključujući buku na radnom mestu. Ovoj buci su ljudi svakodnevno izloženi i ona je jedan od najvećih problema čovekove okoline, koji direktno utiče na kvalitet života.

Komunalna buka dolazi iz dva osnovna izvora: izvori buke na otvorenom i u zatvorenom prostoru. Glavni izvori buke u čovekovoj okolini su: saobraćaj, industrija, građevinski i javni radovi, rekreacija, sport i zabava. Buka kojoj su izloženi stanovnici modernih gradova, povećala se u poslednjih trideset godina 50% ili više, posebno u urbanim i industrijskim sredinama [3].

Dominantni izvor buke u životnoj sredini je saobraćaj. Istraživanja su pokazala da saobraćajna buka izaziva pad cena nekretnina za oko 5% u proseku i da u periodu ekonomskog razvoja ta vrednost može da poraste i do 12% [2].

Procenjuje se da je u zemljama Evropske unije oko 120 miliona ljudi izloženo nivou saobraćajne buke većem od 55dB (A), dok je 50 miliona od njih izloženo buci većoj od 65dB (A). Nivo buke iznad 55dB (A) izaziva neprijatnost, agresivno ponašanje i poremećaje spavanja, stalna izloženost nivou buke preko 65dB (A) može da izazove hipertenziju, a stalna izloženost nivou buke preko 75dB (A) utiče na povećanje nivoa stresa i povećanje broja ljudi sa srčanim oboljenjima i

može da dovede do oštećenja sluha [2].

U Srbiji nema dovoljno preciznih podataka o broju stanovnika u gradovima koji su ugroženi komunalnom bukom. Koriste se podaci iz zemalja sa sličnim obimom saobraćaja kao npr. Grčka, gde je oko 20% stanovništva izloženo 24 časovnom nivou komunalne buke iznad 65 dB (A) [4].

2. METODOLOGIJA MERENJA BUKE

Merenjem je neophodno odrediti tri osnovne karakteristike buke: jačinu buke, frekvencijski spektar buke i trajanje buke. Od karakteristika buke zavisi izbor: odgovarajuće merne procedure, mernog parametra i merne opreme [5].

Merenje nivoa buke u životnoj sredini se izvodi prema određenim propisima, primenom odgovarajućih metoda merenja. Od karakteristika buke zavisi izbor odgovarajuće merne procedure, mernog parametra i merne opreme. Princip merenja se zasniva na pretvaranju akustične u električnu energiju. Pri merenju treba koristiti aparate koji ispunjavaju ISO standarde. Pre i posle izvršenih merenja treba sprovesti kalibraciju uređaja za merenje.

Lokacije na kojima se izvodi merenje se biraju prema propisima iz Uredbe o indikatorima buke, graničnim vrednostima, metodama za ocenjivanje indikatora buke, uznemiravanja i štetnih efekata buke u životnoj sredini (Sl. glasnik RS br. 75/10). Unutar lokaliteta merne tačke se biraju u skladu sa Pravilnikom o metodama merenja buke, sadržini i obimu izveštaja o merenju buke (Sl. glasnik RS br. 72/10).

Sve dobijene informacije potrebne su da bi se sprovele osnovne procedure upravljanja bukom, ocena stanja nivoa buke i procena štetnog dejstva buke na čoveka.

U ovom radu je urađena analiza rezultata

merjenja buke u životnoj sredini u opštini Trstenik, za proleće 2017. godine, na osnovu izveštaja o ispitivanju – merenju buke Zavoda za javno zdravlje Kruševac [6].

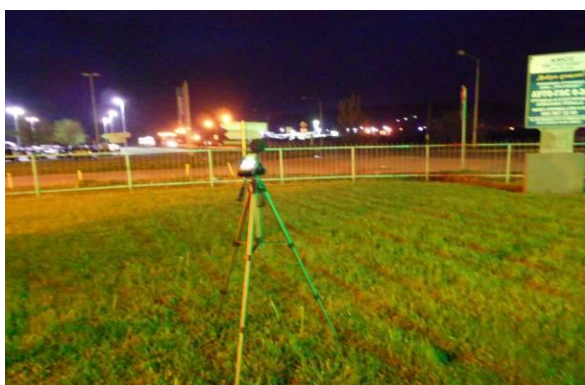
Merenje je sprovedeno na četiri merna mesta u Trsteniku i klasifikacije tih mernih mesta su:

1. gradski centar, zanatska, trgovačka, administrativno-upravna zona sa stanovima, zone duž autoputeva, magistralnih i gradskih saobraćajnica,
2. poslovno-stambena područja, trgovačko-stambena područja i dečja igrališta,
3. gradski centar, zanatska, trgovačka, administrativno-upravna zona sa stanovima, zone duž autoputeva, magistralnih i gradskih saobraćajnica,
4. područja za odmor i rekreaciju, bolničke zone i oporavilišta, kulturno-istorijski lokaliteti, veliki parkovi.

Merne tačke u okviru navedenih mernih mesta su:

1. AMSS (Auto moto savez Srbije) – raskrsnica na ulazu u Trstenik
2. Centar – trg ispred zgrade opštine
3. Prva Petoletka – glavna kapija fabrike
4. Dom zdravlja „Dr Sava Stanojević“ – ulica Vuka Karadžića ispred hitne pomoći

Na prvom mernom mestu (slika 1.) merenje je obavljeno iz dvorišta AMSS u čijem okruženju se nalazi raskrsnica dve jako prometne ulice. U okolini su stambene zgrade, a buka potiče od saobraćaja. Pojas izložen direktnoj buci sa magistrale, širine 25m, s obe strane saobraćajnice.



Sl. 1. Merno mesto AMSS

Na drugom mernom mestu (slika 2) merenje je obavljeno na prostoru trga ispred zgrade Skupštine Opštine Trstenik. Prostor je oivičen višespratnim objektima. Buka potiče od saobraćaja i aktivnosti građanstva. Pojas izložen direktnoj buci: sa magistrale u dubini od 25m do 50m, sa bučnih ulica u dubini od 25m sa obe strane saobraćajnice.

Na trećem mernom mestu (slika 3) merenje je obavljeno ispred glavne kapije fabrike. Ulica je oivičena prizemnim i jednospratnim stambenim

objektima. Buka potiče uglavnom od saobraćaja. Pojas izložen direktnoj buci sa magistrale, širine 25m, s obe strane saobraćajnice.



Sl. 2. Merno mesto centar



Sl. 3. Merno mesto Prva Petoletka

Na četvrtom mernom mestu (slika 4) merenje je obavljeno u kompleksu Doma zdravlja „Dr Sava Stanojević“ u Ulici Vuka Karadžića, na zelenoj površini ispred hitne pomoći. Ulica je oivičena prizemnim i višespratnim objektima različite namene. Buka potiče od saobraćaja iz navedene ulice i aktivnosti građanstva.



Sl. 4. Merno mesto Dom zdravlja

Merenje je sprovedeno u tri termina: dnevni (06-18h), večernji (18-22h) i noćni (22-06h). Interval merenja je iznosio 15min. Ukupno je sprovedeno 5 merenja, kako je prikazano u

sledećoj tabeli.

Tabela 1. Termini merenja [6]

Ref. vremenski interval	Dnevni period 06-18h 13.04.2017.	Večernji period 18-22h 13.04.2017.	Noćni period 22-06h 13. i 14.04.2017.		
Interval merenja	T = 15 min				
merenje	I	II	III	IV	V
Period merenja	10-12h	12-14h	20-22h	22-00h	00-02h

U mernim intervalima na svim lokacijama vremenske prilike nisu mogle da ugroze verodostojnost rezultata merenja:

10:00 – malo oblačno, temperatura 15°C, bez

Tabela 2. Rezultati merenja [6]

Merno mesto (prosečan broj vozila laka /teška na sat)		Izmerene vrednosti nivoa buke u dB (A)						
		Metoda merenja: SRPS ISO 1996-1, SRPS ISO 1996-2						
		dan		veče	Dozvoljeni nivo buke (Sl. gl. RS 75/10)	noć		Dozvoljeni nivo buke (Sl. gl. RS 75/10)
I merenje	II merenje	III merenje	IV merenje	V merenje				
1.AMSS (234/10)	LAeqT	59	59	57	65 dB	54	53	55 dB
	LAF _{max}	74	80	69	/	70	78	/
	LAF _{min}	45	43	43	/	40	34	/
2.Centar (75/2)	LAeqT	58	56	57	60 dB	55	56	50 dB
	LAF _{max}	72	69	80	/	78	71	/
	LAF _{min}	50	47	48	/	48	46	/
3.Prva Petoletka (190/12)	LAeqT	64	63	63	65 dB	57	53	55 dB
	LAF _{max}	79	81	80	/	74	74	/
	LAF _{min}	41	42	36	/	27	30	/
4.Dom zdravlja (89/1)	LAeqT	56	55	53	50 dB	52	48	40 dB
	LAF _{max}	70	76	68	/	71	67	/
	LAF _{min}	42	41	36	/	34	31	/

Za prvo merno mesto (AMSS) izmerene vrednosti spoljašnje buke iznosile su za dan do 59dB, za veče 57dB, a za noć do 54 dB. Prekoračenja nivoa buke tokom celog dana nije bilo. Tokom merenja ustanovljeno je da je buka u životnoj sredini kontinuiranog toka i da potiče od saobraćaja.

Za drugo merno mesto (Centar) izmerene vrednosti spoljašnje buke iznosile su za dan do 58dB, za veče 57dB, a za noć do 56 dB. Prekoračenja nivoa buke tokom dana i večeri nije bilo, a tokom noći je bilo prekoračenja do 6 dB. Buka u životnoj sredini je kontinuiranog toka i najvećim delom potiče od saobraćaja.

vetra, vlažnost 52%, pritisak 996.1 mb;

12:00 – malo oblačno, temperatura 18°C, vetar C3 1,7m/s, vlažnost 45%, pritisak 994.0 mb;

20:00 – vedro, temperatura 13°C, vetar C 1,8m/s, vlažnost 65%, pritisak 1000.1 mb;

22:00 – umereno oblačno, temperatura 12°C, vetar C 1,3m/s, vlažnost 74%, pritisak 999.0 mb;

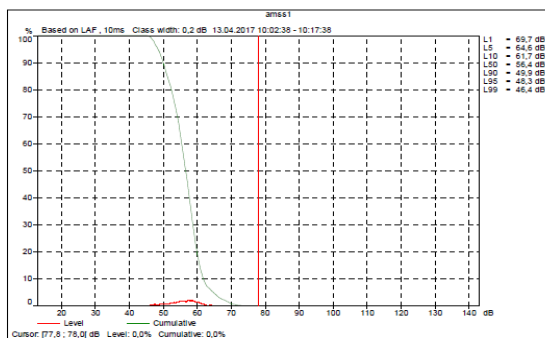
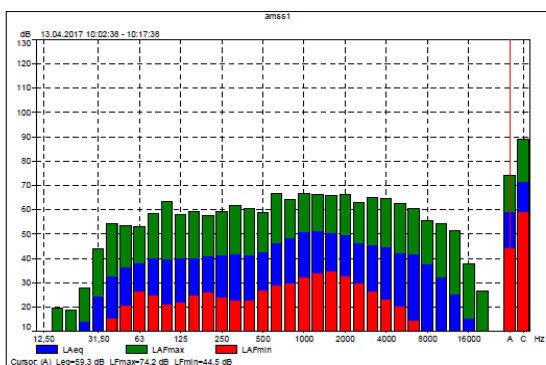
00:00 – umereno oblačno, temperatura 12°C, vetar C 1,8m/s, vlažnost 76%, pritisak 998.0 mb.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati merenja su prikazani u tabeli 2, a grafički prikaz spektralne analize, za merno mesto AMSS u terminu 10:02:38-10:17:38 (I merenje), na slici 5.

Za treće merno mesto (Prva Petoletka) izmerene vrednosti spoljašnje buke iznosile su za dan do 64dB, za veče 63dB, a za noć do 57 dB. Prekoračenja nivoa buke tokom dana i večeri nije bilo, a tokom noći je bilo prekoračenja do 2 dB. Tokom merenja ustanovljeno je da je buka kontinuiranog toka i da potiče od saobraćaja.

Za četvrto merno mesto (Dom zdravlja) izmerene vrednosti spoljašnje buke iznosile su za dan do 56dB, za veče 53dB, a za noć do 52 dB. Prekoračenje nivoa buke tokom dana je bilo do 6 dB, tokom večeri do 3 dB, a tokom noći do 12 dB. Tokom merenja ustanovljeno je da je buka u životnoj sredini nekontinuiranog toka i da najvećim delom potiče od saobraćaja.



Sl. 5. Frekvencijska analiza (I merenje)

U zonama koje se nalaze duž magistralnih i gradskih saobraćajnica, merna mesta 1 i 3, izmerena su prekoračenja nivoa buke u noćnim terminima merenja na mernom mestu 3. U poslovno-stambenom području, merno mesto 2, izmerena su prekoračenja nivoa buke u noćnim terminima merenja. U zoni okruženoj objektima zdravstvene namene, merno mesto 4, izmereni su povišeni nivoi buke u toku dana i večeri, kao i značajno povišeni nivoi buke u toku noći.

Prekoračenja nivoa buke u Trsteniku na posmatranim tačkama tokom dana je bilo do 6 dB, tokom večeri do 3 dB, a tokom noći do 12 dB. Od posmatranih mernih mesta, lokacija na kojoj su zabeležena najmanja osciliranja u sva tri režima merenja je merno mesto Centar. Najviši nivoi buke od 64 dB u dnevnom, 63 dB u večernjem i 57 dB u noćnom periodu su izmereni na mernom mestu Prva Petoletka. Lokacija gde su izmereni najniži nivoi buke sa 55 dB u dnevnom, 53 dB u večernjem i 48 dB u noćnom periodu je merno mesto Dom zdravlja.

4. PREDLOG MERA POBOLJŠANJA

Prvo je potrebno odrediti tzv. crne, sive i bele akustične zone. Nakon toga treba ispitati uticaj saobraćajne buke na zdravlje ljudi koji žive u crnim akustičnim zonama u odnosu na kontrolnu grupu (bela akustična zona grada). Potrebno je pooštriti kontrolu poštovanja propisa o preusmeravanju teških vozila na saobraćajnice oko grada, tj. zabrana saobraćaja takvih vozila kroz

gradsku zonu, sprovesti kontrolu buke koju emituju motorna vozila pri tehničkom pregledu i u svakodnevnom saobraćaju. Važno je i proširivati mrežu ulica sa automatskom regulacijom saobraćaja i uvesti tajmere na semaforima koji traju duže od 1 minuta. Potrebno je postavljanje zelenih zaštitnih pojaseva različitih drvenastih, žbunastih vrsta, duž prometnih saobraćajnica, u cilju smanjenja nivoa komunalne buke.

5. ZAKLJUČAK

Izmereni nivoi buke u Trsteniku, na navedenim lokacijama i periodima merenja, imali su više vrednosti u dnevnom i noćnom periodu, pre svega na lokacijama koje se nalaze duž magistralnih i gradskih saobraćajnica, kao i u zoni okruženoj objektima zdravstvene namene.

Buka u životnoj sredini na posmatranim lokacijama, najvećim delom potiče od saobraćaja, posebno na tačkama koje su saobraćajni magistralni pravci.

Izmerene vrednosti buke, sa navedenim prekoračenjima, mogu nepovoljno da utiču na odmor i opšte stanje zdravlja ljudi, posebno ukoliko je njihovo dejstvo stalnijeg karaktera.

6. REFERENCE

- [1] Prašević, M., Cvetković, D.: *Buka u životnoj sredini*, Fakultet zaštite na radu, Univerzitet u Nišu, 2005.
- [2] Mihajlov, D., Prašević, M., Cvetković, D.: *An analysis of the environmental noise levels on the territory of the city of Niš*, 23th National Conference, 4th International Conference Noise and Vibration, Niš, 2012.
- [3] Bogdanović, G., Trajković, S.: *The problem communal noise in city of Vranje*, Journal of Process Management – New Technologies, International, Vol. 4, No.4, 2016.
- [4] Jakovljević, B., Belojević, G.: *Saobraćajna buka i mentalno zdravlje*, Medicinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, 1998.
- [5] Cvetković, D.: *Fizički parametri radne i životne sredine*, Fakultet zaštite na radu, Univerzitet u Nišu, 2005.
- [6] *Izveštaj o ispitivanju – merenju buke*, Broj: B 5/17, 2017.

Autori: Mast. inž. maš. Violeta Đorđević, Dr Predrag Pravdić, Visoka Tehnička Mašinska Škola Trstenik, Radoja Krstića 19, 37240 Trstenik, Srbija, Tel: +381 37 714 121, Fax: +381 37 714 121;
E-mail: vm1728mm1212@gmail.com
thepera81@gmail.com

Pravdić, P., Gavrilović, S., Terzić, I.

COMMERCIAL FUELS DERIVATIVES FROM CRUDE-OIL AND THEIR MAIN PROPERTIES

Abstract: *Crude oil is not used directly as a fuel but as a feedstuff for the petrochemical factories to produce commercial fuels, synthetic rubbers, plastics, and additional chemicals. Diesel fuel is any liquid fuel used in diesel engines, originally obtained from crude-oil distillation (petrodiesel), but alternatives are increasingly being developed for partial or total substitution of petrodiesel, such as biodiesel (from vegetal oils), and synthetic diesel (usually from a gas fuel coming from coal reforming or biomass, also named gas to liquid fuels, GTL). In all cases, diesel nowadays must be free of sulfur. Kerosene is a crude-oil distillate similar to petrodiesel but with a wider-fraction distillation. Jet fuel is kerosene-based, with special additives (<1%). Rocket propellant RP-1 is a refined jet fuel, free of sulfur and with shorter and branched carbon-chains more resistant to thermal breakdown; it is used in rocketry usually with liquid oxygen as the oxidiser (RP1/LOX bipropellant). Diesel and kerosene should not be taken as fully interchangeable fuels at present, because kerosene has no cetane-number specification and thus it may have large ignition delays (producing lots of unburnt emissions and engine rough-running by high-pressure peaks); besides, kerosene has less lubricity, and diesel-fuel less cold-start ability.*

Key words: *oil, derivatives, environment, pollution, fuels*

1. INTRODUCTION

Crude oil is not used directly as a fuel but as a feedstuff for the petrochemical factories to produce commercial fuels, synthetic rubbers, plastics, and additional chemicals. Oil refineries were originally placed near the oil fields, in part because natural gas, which could not then be economically transported long distances, was available to fuel the highly energy-intensive refining process, but since 1950, for strategic reasons crude oil was transported by tankers and oleoducts to local refineries. Most data are highly variable with crude-oil field; typical ranges are given. [1] Density. Typically 900 kg/m³ (from 700 kg/m³ to 1000 kg/m³ at 20 °C; floats on water). Linear temperature variation fit. The density of spilled oil will also increase with time, as the more volatile (and less dense) components are lost, so that, after considerable evaporation, the density of some crude oils may increase enough for the oils to sink below the water surface. [2] Freezing and boiling points. When heating at 100 kPa a frozen crude-oil sample (from below 210 K), solid-liquid equilibrium may exist in the range 210 K to 280 K, and liquid-vapour above 280 K; vapours start to decompose at about 900 K. [3] Viscosity=5·10⁻⁶..20·10⁻⁶ m²/s at 20 °C. Exponential temperature variation fit. Pour point= 5..15 °C. Vapour pressure. 5..20 kPa at 20 °C (40..80 kPa at 38 °C). Vapours are heavier than air (2 to 3 times). The characteristic

time for evaporation of crude-oil spills at sea is 1 day (25% in volume evaporated). Composition. Each crude-oil field has a different composition, that can be established by a combination of gas-chromatography, fluorescence-spectroscopy and infrared-spectroscopy techniques, and that may be used, for instance, in forensic analysis of oil spills at sea (even after refining, crude-oil derivatives may be associated to their source field). Saturated hydrocarbons content is around 60%wt, aromatics 30%wt, resins 5%wt. Sulfur content is 0.5..2%wt. Heavy metals <100 ppm. Crude-oil vapours are mainly short-chain hydrocarbons (only about 10% in volume have more than 4 carbons). Flash-point and autoignition temperature: some 230 K and 700 K approximately. Ignition limits: lower 0.5..1%, upper 7..15%. Organoleptic: black, brown or dark-green colour, aromatic or sulphide odour. Solubility. <0.4%wt, due mainly to volatile compounds. Surface tension: 0.029 N/m with its vapours, 0.023 N/m with water. Liquefied natural gas tankers (LNG ships) were developed in 1960s. The Algeria-Italy submarine gasoduct started operation in 1983, and the Algeria-Morocco-Spain one in 1997. The latter gasoduct, under the Gibraltar Strait, consists of two 0.5 m in diameter welded steel pipes (tested at 16MPa) with a concrete overcoat to protect it from anchors, 50 m apart, with 45 km undersea length up to 400 m deep (the one under Sicily Strait reaches 600 m depth). Large LNG tanks of up to 50 000 m³ and gasholders of up to 100 000 m³ are used as

accumulators, but underground cavities (natural or artificial) seem a better solution. Before putting the dry natural gas on the market, it is sweetened (H₂S and CO₂ are removed by amine absorption), dehydrated (by glycol absorption, to avoid water freezing and hydrate formation), and some liquefying fractions are extracted (to produce 'LPG', by isentropic expansion); natural gas associated to oil fields may contain appreciable fractions of butane and heavier hydrocarbons, and it is then called 'wet gas'. Differences in natural gas composition have a sizeable impact on heating value, particularly on volume basis; e.g. HHV=36 MJ/m³ for NG from Russia, 38 MJ/m³ for NG from USA, 33 MJ/m³ for NG from Netherlands, 39 MJ/m³ for NG from UK, 42 MJ/m³ for NG from Algeria, etc. Mind also that HHV of LNG is some 2 MJ/kg lower than natural gas, due to its low temperature. Biogas is a flammable gaseous mixture, composed mainly of methane and carbon dioxide, obtained by anaerobic fermentation of condensed biomass (manure or sewage). The production may range from 20..70 m³ of biogas per cubic metre of manure, lasting 10..30 days within a digester (depending on the temperature, that is 20..40 °C), where biomass is first hydrolysed by some bacteria in absence of oxygen, yielding monomers that are made to ferment by other bacteria, yielding alcohol that later turns to acetic acid and finally decomposes to methane plus carbon dioxide, the later step being the controlling stage. LPG (liquefied petroleum gas) are petroleum derivative mixtures (gaseous at ambient temperature, but handled as liquids at their vapour pressure, 200..900 kPa), mainly constituted by propane, n-butane, isobutane, propylene, and butylenes, with composition varying widely from nearly 100% propane in cold countries, to only 20..30% propane in hot countries (e.g. 100% in UK, 50% in the Netherlands, 35% in France, 30% in Spain, 20% in Greece. In Spain, the traditional bottle for domestic use (UD-125) holds 12.5 kg of commercial butane (56% n-butane, 25% propane, 17% iso-butane, 2% pentane, 0,1 g/kg H₂O and 1 mg/kg mercaptans, with $T_b = -0.5$ °C and $\rho_L = 580$ kg/m³ at 20 °C). The new aluminium bottle holds 6 kg (13 kg total, 290 mm diameter and 376 mm height). For higher rates or cold ambient, propane bottles works better. For vehicles EN-589-1993 applies. LPG is also marketed in small expandable containers for laboratory use (containing some 50..300 g of LPG, 190 g is the commonest), and portable 'camping gas' bottles (containing some 2..4 kg of LPG, 2.8 kg is commonest), with a rough molar composition of 40% propane and 60% butanes (n-butane and iso-butane). All

gaseous fuels are odourless (except those containing traces of H₂S), and odour markers (sulfurcontaining chemicals, as thiols or mercaptans, e.g. ethanethiol, CH₃CH₂SH) are introduced for safety because its detection threshold for human smell is 0.4 ppm in volume). [4,5]

2. FUELS AND THEIR MAIN PROPERTIES

Fuels, as for any other type of substance, can be assigned some physical and chemical properties (e.g. density, thermal capacity, vapour pressure, chemical formula, etc. However, most of the times, combustion properties are also assigned to fuels, in spite of the fact that these properties depend on the oxidiser (e.g. air, pure oxygen) and the actual process (e.g. the explosion limits depend on the boundary conditions for a given fuel/oxidiser pair). Fuel price, availability, risk, and so on, could also be considered fuel properties (attributes). Vapour pressure. 50..90 kPa at 20 °C, typically 70 kPa at 20 °C. Heating value. Average Eurosuper values are: HHV=45.7 MJ/kg, LHV=42.9 MJ/kg. Theoretical air/fuel ratio: A=14.5 kg air by kg fuel. Octane number (RON)=92..98. This is a measure of autoignition resistance in a spark-ignition engine, being the volume percentage of iso-octane in a iso-octane / n-heptane mixture having the same anti-knocking characteristic when tested in a variable-compression-ratio engine. Cetane number=5..20, meaning that gasoline has a relative large time-lag between injection in hot air and autoignition, although this is irrelevant in typical gasoline applications (spark ignition). Composition. Gasoline composition has changed in parallel with SI-engine development. Lead tetraethyl, Pb(C₂H₅)₄, a colourless oily insoluble liquid, was used as an additive from 1950 to 1995, in some 0.1 grams of lead per litre, to prevent knocking; sulfur was removed at that time because it inhibited the octane-enhancing effect of the tetraethyl lead.

2.1. Bioethanol and ETBE

Bioethanol is bio-fuel substitute of gasoline; i.e. it is ethanol obtained from biomass (not from fossil fuels), and used as a gasoline blend. Pure bioethanol (E100-fuel) is by far the most produced biofuel, mainly in Brazil and USA. More widespread practice has been to add up to 20% to gasoline by volume (E20-fuel or gasohol) to avoid the need of engine modifications. Nearly pure bioethanol is used for new 'versatile fuel vehicles' (E80-fuel only has 20% gasoline, mainly as a denaturaliser). Anhydrous ethanol (<0.6% water)

is required for gasoline mixtures, whereas for use alone up to 10% water can be accepted. ETBE

(ethanol tertiary butyl ether, C₆H₁₄O, ρ=760 kg/m³, LHV=36 MJ/kg).

Table 1. Gasoline composition*.

60% saturated (4..8 -C-) (is increasing)	15% lineal (n-) 30% branched (iso-) 15% cycle	best combustion, low RON high RON
40% unsaturated (5..9 -C-) (is decreasing)	5% olefins (alkenes) 35% aromatics (benzenes)	bad smell toxic, yield soot, high RON
<500 ppm Sulfur in 2000 <100 ppm Sulfur for 2005		

*A sample showed 21% cycle-hexane, 17% iso-octane, 16% iso-pentane, 16% ethyl-bencene, 15% toluene, 12% n-decane, 3% naphthalene, and all other <1%.

Table 2. Solubility data at 25 °C of some gasoline compounds.

Substance	Solubility of substance in water	Water solubility in substance
ethanol (& methanol)	100%wt	100%wt
benzene	0.18%wt	0.06%wt
cyclohexane	0.006%wt	0.01%wt
iso-octane	0.0003%wt	0.006%wt

ETBE-15 fuel is a blend of gasoline with 15% in volume of ETBE. ETBE is obtained by catalytic reaction of bioethanol with isobutene (45%/55% in weight): $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + (\text{CH}_3\text{CH})_2 = (\text{CH}_3)_3\text{CO-CH}_2\text{CH}_3$. To note that isobutene comes from petroleum. The other gasoline-substitute ether, MTBE (methanol tertiary butyl ether, $(\text{CH}_3)_3\text{CO-CH}_3$), is a full petroleum derivate (65% isobutene, 35% methanol). Bioethanol is preferentially made from cellulosic biomass materials instead of from more expensive traditional feedstock such that starch crops (obtaining it from sugar-feedstocks is even more expensive). In Japan, a bacteria has been bred which produces ethanol from paper or rice-straw without any pretreatment.

2.2 Diesel, kerosene and jet fuel

Diesel fuel is any liquid fuel used in diesel engines, originally obtained from crude-oil distillation (petrodiesel), but alternatives are increasingly being developed for partial or total substitution of petrodiesel, such as biodiesel (from vegetal oils), and synthetic diesel (usually from a gas fuel coming from coal reforming or biomass, also named gas to liquid fuels, GTL). In all cases, diesel nowadays must be free of sulfur. Kerosene is a crude-oil distillate similar to petrodiesel but with a wider-fraction distillation. Jet fuel is kerosene-based, with special additives (<1%). Rocket propellant RP-1 (also named Refined Petroleum) is a refined jet fuel, free of sulfur and with shorter and branched carbon-chains more resistant to thermal breakdown; it is used in rocketry usually with liquid oxygen as the oxidiser (RP1/LOX bipropellant). The tendency to change

to biofuels or GTL fuels is also applicable here. Contrary to its etymology, present-day kerosene and derivatives are less waxy than diesel (i.e. less lubricant). Diesel and kerosene should not be taken as fully interchangeable fuels at present, because kerosene has no cetane-number specification and thus it may have large ignition delays (producing lots of unburnt emissions and engine rough-running by high-pressure peaks); besides, kerosene has less lubricity, and diesel-fuel less cold-start ability. Diesel types. In EU: type A for road vehicles, B for industries (agriculture, fishing; same properties as type A, but red-coloured for different taxation), C for heating (not for engines; blue-coloured). In USA: No. 1 Distillate (Kerosene), and No. 2 Distillate (Diesel). Density=830 kg/m³ (780..860 kg/m³ at 40 °C). Thermal expansion coefficient=800·10⁻⁶ K⁻¹. 880 kg/m³ for biodiesel (860..900 kg/m³ at 40 °C). Boiling and freezing points. Not well defined because they are mixtures. In general, these fuels remain liquid down to -30 °C (some antifreeze additives may be added to guarantee that). Viscosity=3·10⁻⁶ m²/s (2.0·10⁻⁶..4.0·10⁻⁶ m²/s at 40 °C) for diesel; 4.0·10⁻⁶..6.0·10⁻⁶ m²/s for biodiesel. Cetane number=45 (between 40..55); 60..65 for biodiesel. This is a measure of a fuel's ignition delay; the time period between the start of injection and start of combustion (ignition) of the fuel, with larger cetane numbers having lower ignition delays. This is only of interest in compression-ignition engines, and only valid for light distillate fuels (because of the test engine; for heavy fueloil, a different burning-quality index is used, calculated from the fuel density and viscosity). Flash-point=50 °C typical (40 °C

minimum). In the range 310..340 K (370..430 K for biodiesel). Heating value. HHV=47 MJ/kg, LHV=43 MJ/kg (HHV=40 MJ/kg for biodiesel). Composition. All natural fuels are mixtures (and most synthetic fuels too). The analysis can be ultimate (i.e. mass fraction of chemical elements), or structural (mass fraction of identified molecules). The ultimate analysis of desulfurized kerosenes (<0.2% S), by weight, may yield some 84..86% C, some 13..15% H, and 1% impurities and additives. The structural analysis shows, by volume, some 66% of saturated hydrocarbons (linear and cycle chains), 30% aromatics (benzene

derivatives), and 4% olefins (unsaturated hydrocarbons). From the ultimate analysis one may establish a reduced molecular formula (per unit carbon atom) of CH_n with $n=1.8..2$ (e.g. for 86% C and 14% H, $n=(14/1)/(86/12=1.95)$). If the structural analysis is also considered, a mean molecular formula can be found (i.e., with whole number of atoms and typical carbon-chainlength, as $C_{11}H_{21}$, or $C_{12}H_{23}$, or $C_{12}H_{26}$, or $C_{13}H_{26}$, or $C_{14}H_{30}$; dodecene and tridecene are the most usual surrogates). Composition of biodiesel, by weight, may be: 77% C, 12% H, 11% O, 0.01% S.

Table 3. Data for some gaseous fuels.

	NG (Alaska)	NG (Algeria ^a)	NG (North Sea)	Propane (commercial)	Butane commercial)	Biogas (typical)
ρ at 15 °C [kg/m ³] ^b	0.74	0.74	0.74	2.0 gas, 520 liquid	2.4 gas, 560 liquid ^c	1.1..1.2
HHV (LHV) [MJ/kg]	54.3 (49)	54.3 (49)	53 (48)	50 (46)	49 (45)	33 (30)
CH ₄ %vol	99	89	82			60
C ₂ H ₆ %vol		8	9			
C ₃ H ₈ %vol		2	5	>80	<30	
C ₄ H ₁₀ %vol		1	2	<20	>70	
olefins %vol				<20	<20	
N ₂ %vol		1	1			2 ^d
CO ₂ %vol			1			40

^aFor natural gas delivered through LNG carriers, which follows a different treatment than the one pumped through gasoducts (e.g. methane content may be as low as 83% in the latter case).

^bStandard conditions are usually defined as 15 °C and 100 kPa, whereas normal conditions are usually defined as 0 °C and 101 kPa, thus one standard cubic metre equals 0.95 normal cubic metres (sometimes written 1 Sm³=0.95 Nm³).

^cThermal expansion of liquid propane $\alpha=1.5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

^dTypical biogas composition: 55..65% CH₄, 35..45% CO₂, 1..4% N₂, 1..2% H₂ and <1% H₂S and H₂SO₄ before desulfuration.

5. CONCLUSION

Heavy reliance on fossil fuels is cited as one of the main causes of global warming, a topic that has gained traction in the past 20 years. Risks surrounding oil drilling include oil spills and ocean acidification, which damage the ecosystem. Many manufacturers have begun creating products that rely on alternative sources of energy, such as cars run by electricity, homes powered by solar panels, and communities powered by wind turbines. Investors can purchase two types of oil contracts: futures contracts and spot contracts. The price of the spot contract reflects the current market price for oil, while the futures price reflects the price buyers are willing to pay for oil on a delivery date set at some point in the future. The futures price is no guarantee that oil will actually hit that price in the current market when that date comes; it is just the price that, at the time of the contract, purchasers of oil are anticipating. The actual price of oil on that date depends on a multitude of factors. Commodity contracts bought and sold on the spot markets take effect immediately: Money is exchanged, and the purchaser accepts delivery of the goods. In the case of oil, the demand for immediate delivery

versus future delivery is small, due in no small part to the logistics of transporting oil to users.

6. REFERENCES

- [1] ACCC (Australian Competition & Consumer Protection) (2007), "Petrol Prices and Australian Consumers, Report of the ACCC inquiry into the price of unleaded petrol", December 2007
 - [2] AGCM (Autorità Garante della Concorrenza e del Mercato) (2013), "Impianti di distribuzione carburante indipendenti"
 - [3] Atkinson, B. (2007), "Retail Gasoline Price Cycles: Evidence from Guelph, Ontario Using Bi-Hourly, Station-Specific Retail Price Data", Mimeo.
 - [4] Austrian Federal Competition Authority (2010), "FCA's Report on Platts Price Assessments", July 2010
- Autors : Predrag Pravdić¹, Snežana Gavrilović¹, Ivana Terzić¹**
 1) Technical College of Applied Studies in Mechanical Engineering Trstenik, Serbia
 e-mail: thepera81@gmail.com;
gavrilovicsnezana@yahoo.com;
ivana.aa.terzic@gmail.com

Pravdić, P., Gavrilović, S., Terzić, I.**CRUDE OIL PRODUCTS AND REFINING AND THEIR EFFECT TO SURROUNDING ENVIRONMENT**

***Abstract:** Total world production of crude oil is around 85 million barrels per day. The crude oil feeds a network of refineries at key locations located close to consuming centers or next to pipelines or shipping facilities. The crude oil is processed at the refineries and transformed into finished oil products. Crude oil, and its derivative products resulting from refining processes, account for the second largest fossil fuel (after coal) being extracted and produced. Crude oil and condensate are found in raw natural form, and other petroleum products are derived from refining. Generally, crude oil is heated and the hot gases which result are passed into the bottom of a distillation column and become cooler as they move up the column. As the gases cool below their boiling point, they condense into liquid. The liquids are then drawn off the distilling column at specific heights, ranging from heavy residues at the bottom, raw diesel fuels in the mid-sections and raw gasoline at the top.*

***Key words:** oil, derivatives, environment, pollution, fuels*

1. INTRODUCTION

Total world production of crude oil is around 85 million barrels per day. The crude oil feeds a network of refineries at key locations located close to consuming centres or next to pipelines or shipping facilities. The crude oil is processed at the refineries and transformed into finished oil products [1]. Some companies are fully integrated, refining their own crude oil production and then feeding their retail networks with the oil products produced. But for the most part production and refining are not fully integrated and refiners engage in trade to secure supplies for their facilities or to dispose of surpluses. This oil is primarily secured via term contracts as refiners are typically loath to rely too heavily on spot supplies as these may be unreliable and exhibit high price volatility. End users (airlines, manufacturers, etc.) operate similarly. An airline, for instance, usually secures supplies at airports from term suppliers rather than entering the spot market to fuel its fleets. The balance, 5-10%, is sold on the spot market. A spot deal is usually defined as a one-off deal between willing counterparties for a physical commodity. Because the deals are on a one-off basis, the spot market is representative of the marginal barrel in terms of supply and demand. The crude oils that are sold in the market are often blends of oils from individual oilfields which have been gathered and pumped to a single location either at land or in the sea [2]. For instance, North Sea Brent Blend is actually a blend of dozens of oilfields that have been gathered and pumped to the Sullom Voe oil terminal in the North Sea,

from which they are transported by tanker. The major Saudi Arabian and Russian export crude oils are all blends of many different streams of oil. These are blended and sold as a brand, for instance Arab Light or Urals. The crude oils are refined to make oil products. The basic refining process is that of distillation. The crude oil is heated, and oil products bubble off at different temperatures, the lightest at the lowest temperatures and the heaviest at the highest temperatures. These products are typically treated further to make finished oil products such as gasoline that we use in everyday life. A variety of upgrading processes such as cracking, coking and hydrotreating allow refiners to maximize the yield of high value finished products manufactured from crude oil [3,4].

2. CRUDE OIL PRODUCTION AND REFINING IN WORLD

Crude oil, and its derivative products resulting from refining processes, account for the second largest fossil fuel (after coal) being extracted and produced. [5] Petroleum products are used as fuel for everything, from generation plants producing electricity to bunkers and fuel for ships and motor vehicles, to the manufacture of petrochemicals and liquid petroleum gases (LPG), in addition to numerous other manufacturing processes. Crude oil and condensate are found in raw natural form, and other petroleum products are derived from refining. The first product out of the refining column is gas, then naphtha and progressively heavier component parts of the crude being

refined. Crude oil, fuel oils and some heavy marine diesel oils are referred to as „dirty petroleum products“ (DPP) and most products, from marine diesel to waterwhite jet aviation fuel, are usually referred to as „clean petroleum products“ (CPP). [6] Generally, crude oil is heated and the hot gases which result are passed into the bottom of a distillation column and become cooler as they move up the column. As the gases cool below their boiling point, they condense into liquid. The liquids are then drawn off the distilling column at specific heights, ranging from heavy residues at the bottom, raw diesel fuels in the mid-sections and raw gasoline at the top. These raw fractions are then processed further to make several different finished products. [7] Although all fractions of petroleum find uses, the greatest demand is for gasoline. One barrel of crude oil contains only 30–40% gasoline. Market demand, however, requires that over 50% of the crude oil barrel be ‘converted’ into gasoline. To meet this demand, some part of the crude oil must be converted to gasoline. This may be done by ‘cracking’ (ie, breaking down large molecules of heavy heating oil and residues) or ‘reforming’ (ie, changing molecular structures of low quality gasoline molecules).[8] The first and the second groups are the main categories of regional consumption by product group. China and North America consume 10 mb/d of Light Distillates, although North American and global rates of consumption (China excluded) have remained relatively constant since 2004. China’s consumption has increased by approximately three mb/d in that period. [8] World consumption is approximately 30 mb/d in 2014. Middle Distillate consumption in 2014 was 34 mb/d in 2014, up from 29 mb/d in 2004. The main increase in consumption has been in the Middle East and China. Fuel Oil consumption has decreased from 9.5 mb/d in 2004 to eight mb/d in 2014, again with China and the Middle East being the largest consumers. The consumption of other products has increased from 18 mb/d in 2004 to 20 mb/d in 2014, with consumption remaining constant worldwide, except for an increase from five mb/d to seven mb/d in China. The rest of the world’s consumption has remained constant, with the US as the other large consumer, accounting for about five mb/d throughout this period. The largest importers of crude oil are Europe, the US, China, India, Japan, and other Asia Pacific nations (in that order). It should, however, be noted that Singapore alone imports 45.6 million tonnes per annum (for refining). Global imports of crude oil amounted to 1876 million tonnes in 2014. The largest importers of refined products are Europe,

the US, Central and South America, other Asia Pacific countries, Singapore, China and Japan. Singapore alone imports 102 million tonnes per annum, but obviously this is not all for domestic use and reflects the fact that Singapore is a centre for the supply of bunkers, as well as providing oil storage and tanking facilities. Global imports of refined products amounted to 911.5 million tonnes in 2014, of which the US, Europe, the former Soviet Union (FSU) and the Middle East were the largest exporters. Crude oil exports in 2014 amounted to 1876 million tonnes of which the Middle East was the largest, exporting 850 million tonnes, followed by the FSU (294 million tonnes), West Africa (213 million tonnes) and Central and South America (164 million tonnes). [9,10] Finished oil products are those most familiar to the public: automotive gasoline, known also as “gas” in the US and “petrol” in the UK; kerosene, which is used in the airline sector as commercial aviation fuel or in the household sector for illumination and heating; diesel for use in trucking and agricultural machinery; and heating oil, used by homeowners and industrial companies for space heating. The different grades of crude oils are differentiated by their distillation characteristics and the qualities of the products produced from distillation. They are classified as light or heavy, and sweet or sour. Light crude oils contain more light products such as gasoline whereas heavy crude oils contain more heavy residues such as fuel oil. The lighter a product, the less dense it is. Density is measured using either specific gravity or API gravity (e.g. the density of water is 1; anything below that floats, anything above it sinks.) Sweet and sour refers to the level of sulfur, an undesirable impurity that is dangerous and pollutive. Sweet crude oils contain less sulfur; sour crude oils contain more sulfur. Prospectors used to taste the oils they found and could determine the approximate level of sulfur from the taste, hence the sweet/sour terminology. Because these are physical liquids, they have nonstandard parameters of quality, delivery, timing, location and lot size. For instance, in defining a fuel oil for use by a utility, dozens of quality parameters are specified, and the testing regime for each parameter is also defined. Late in the 20th c., fossil fuel depletion indicators, and local and global pollution associated to fossil fuels, have been pressing to come back from 'black fossil power' to 'green renewable power', and, as fuels continue to be the best solution for energy storage, specially for transport applications, biofuels are at the stage again.

Table 1 Total Consumption in 2017

Region	Thousand barrels daily	Share of total
North America	23,347	24.3%
Central & South America	7,125	7.8%
Europe & Eurasia	18,252	20.4%
Middle East	8,706	9.3%
Africa	3,800	4.3%
Asia Pacific	30,856	33.9%
World total	92,086	100%

The terms biofuels, biomass fuels and renewable fuels, may be used indistinctly if they refer to natural or artificial fuels obtained from renewable sources, although other times distinctions are introduced and then biofuels may refer to biomass derivatives directly substituting fossil fuels for the same combustor, biomass may be restricted to unprocessed biomass (forest waste, crops and agriculture waste, animal waste, domestic waste), and renewable fuel may include fuels like hydrogen obtained by electrolysis and not from biomass

3. PRICES OF CRUDE OIL PRODUCTS

Oil production and consumption was mostly within the United States, however, there were few market transactions. Moreover, wartime devastation and the Soviet threat led to the Marshall Plan (also called the European Recovery Program) in 1948. That led to a competitive market price which sold out of the Persian Gulf to Europe. One of the requirements of this agreement was a Free On Board price so that all would pay the lowest price, even the most distant buyers in the U.S.A. Consequently, Europe and other buyers benefited from a very large cut in the price. From 1948 through to the end of the 1960s, crude oil prices ranged between \$2.50 and \$3.00. Thus prices were stable until 1970 when the price was \$3.00 bbd. However, since the 1970s, there have been more fluctuations, such as an oil crisis in 1973 because of an Arab-Israel war called the Yom Kippur War, wherein OPEC members imposed an embargo against the USA and Holland. Consequently, OPEC countries decreased their oil production, which led to a rise in the overall oil price from \$3.00 to \$12.00. Further on in history, the oil price became volatile again because of the revolution in Iran, which led to decreased oil production and, thus, decreased output from 1979 to 1980. Meanwhile, the members of OPEC, particularly Saudi Arabia, refused to increase their output to replace the lost Iranian production, so prices rose again. Iraq's and Iran's crude output fell during the Iran/Iraq War in the 1980s. This event resulted in more than doubling crude oil prices from \$14 in 1978 to \$35

bbd in 1981. The price of crude oil dropped to around \$12 bbd in the first half of 1986, back to the level of 1974. The price of crude oil rose again in 1990 with lower output as a result of the Iraqi invasion of Kuwait. Later the Gulf War, which aimed to liberate Kuwait, led to a steady decline in crude oil prices. World oil consumption rose to nearly 6.2 million bbd while Asian consumption was around 300,000 bbd. The decline in Russian production, which was more than five million bbd, from 1990 to 1996 consequently contributed to the recovery of the price. The price increased rapidly and the reason was associated with the Asian economic crisis in 1997 and 1998, and OPEC's decision to cut production. OPEC increased its quota production from 2.5 million bbd to 27.5 million bbd in 1998. Thus, the Asian economy which was growing rapidly came to a standstill and oil consumption in the Asian Pacific declined. This combination of consumption, decrease and increase in OPEC quota production caused the price to decrease. OPEC decreased its quota production from 1.25 million bbd in April and another 1.335 million in July, consequently prices began to get back in 1999. Since 2000, international oil prices have been described by steep increases and a large amount of fluctuation. Russian output increases dominated non-OPEC output growth around 2000-2007. As a result of the September 11, 2001 terrorist attacks, the price of crude oil fell by a high rate. Spot prices for West Texas Intermediate (WTI) fell by 35% in the middle of November. OPEC reduced its production by 1.5 million bbd in January 2002, also Russia combined and reduced production to 462,500 barrels. The price of crude oil became \$25 by March 2002. In 2003, Venezuelan oil production was beginning to return, the Iraqi invasion commenced and U.S. and Asian demand for crude oil was increasing. The loss of output capacity in Iraq and Venezuela is associated with the rise of OPEC output to match growing international demand which led to excess oil production capacity and erosion. In mid- 2002, excess production capacity was over 6 million bbd, however, this had fallen to under \$2 million. The United States' Energy Information Administration (EIA) forecasts that Brent crude

oil prices will average \$71 per barrel in 2018 and \$68 a barrel in 2019. Meanwhile, Nigeria's Bonny Light crude oil has maintain an international price of \$73.44 per barrel, higher than the Organisation of the Petroleum Exporting Countries (OPEC) basket price of \$73.35 per barrel. The price of Nigeria's Bonny Light is higher than the Nigeria's \$51 per barrel benchmark for 2018 budget. EIA in its Monthly Oil Market report for May, expects oil prices to decline in the coming months because global oil inventories are expected to rise slightly during the second half of 2018 and in 2019. The updated 2019 forecast price is \$2 a barrel is higher than in the May forecast, which sold for an average price of \$77 a barrel, an increase of \$5 per barrel from April and the highest monthly average price since November 2014. Even though the 2019 oil price forecast is higher than it was in the May monthly report, EIA expects oil prices to decline in the coming months because global oil inventories are expected to rise slightly during the second half of 2018 and in 2019.

4. CONCLUSION

Crude oil is typically obtained through drilling, where it is usually found alongside other resources, such as natural gas (which is lighter, and therefore sits above the crude oil) and saline water (which is denser, and sinks below). It is then refined and processed into a variety of forms, such as gasoline, kerosene and asphalt, and sold to consumers. Although it is often called "black gold," crude oil has ranging viscosity and can vary in color from black and yellow depending on its hydrocarbon composition. Distillation, the process by which oil is heated and separated in different components, is the the first stage in refining.

Although fossil fuels like coal have been harvested in one way or another for centuries, crude oil was first discovered and developed during the Industrial Revolution, and its industrial uses were first developed in the 19th century. Newly invented machines revolutionized the way we do work, and they depended on these resources to run. Today, the world's economy is largely dependent on fossil fuels such as crude oil, and the demand for these resources often spark political unrest, since a small number of countries control the largest reservoirs. Like any industry, supply and demand heavily affects the prices and profitability of crude oil. The United States, Saudi Arabia, and Russia are the leading producers of oil in the world. In the late 19th and early 20th centuries, however, the United States was one of the world's leading oil producers, and

U.S. companies developed the technology to make oil into useful products like gasoline.

5. REFERENCES

- [1] OCDE (2008), "Competition Policy for Vertical Relations in Gasoline Retailing", Policy Roundtables, disponible à l'adresse <http://www.oecd.org/competition/abuse/43040511>
- [2] OCDE (2010), "Information Exchanges Between Competitors under Competition Law", Policy Roundtables, disponible à l'adresse <http://www.oecd.org/competition/cartels/4837900>.
- [3] OFT (The Office of Fair Trading) (2003), "UK Petrol and Diesel Sector, An OFT Call for information", January 2013, disponible à l'adresse http://www.offt.gov.uk/shared_offt/markets
- [4] Oladunjoye, O. (2007), "Market Structure and Price Adjustment in the U.S. Wholesale Gasoline Markets", Energy Economics, Vol. 30.
- [5] Peltzman, S. (2000), "Prices Rise Faster Than They Fall", Journal of Political Economy
- [6] Polemis, M. and P. Fotis (2013), "Do gasoline prices respond asymmetrically in the euro zone area? Evidence from cointegrated panel data analysis", Energy Policy, vol. 56.
- [7] Portuguese Competition Authority (2009), "Detailed Analysis of the Liquid Fuel and Bottled Gas Sectors in Portugal, Final Report", 31 March 2009, disponible à l'adresse http://www.concorrencia.pt/vEN/Estudos_e_Publicacoes/Estudos_Economicos/Energia_e_Combustiveis/Documents/Final_Report_on_Liquid
- [8] Purvin et Gertz (2011), "Developments in the International Downstream Oil Markets and their drivers: Implications for the UK refining sector", prepared for Department of Energy and Climate Change (DECC), juin 2011.
- [9] Radchenko, S. (2005), "Oil Price Volatility and the Asymmetric Response of Gasoline Prices to Oil Price Increases and Decreases", Energy Economics, vol. 27.

Autori : Predrag Pravdić¹, Snežana Gavrilović¹, Ivana Terzić¹

1) Technical College of Applied Studies in Mechanical Engineering Trstenik, Serbia
 e-mail: thepera81@gmail.com;
gavrilovicsnezana@yahoo.com;
ivana.aa.terzic@gmail.com;

Tadić, M., Nikolić, I.

MONITORING KISELIH RUDNIČKIH VODA

Rezime: Ispitivane kisele rudničke vode karakteriše povećana kiselost, visok nivo sulfata i povećan sadržaj metala. Kako bi se smanjio njihov negativan uticaj na okolinu, a posebno na prirodne vodene sisteme, predmetne vode se prečišćavaju. Sprovedenim monitoringom procijenjena je efikasnost predloženog sistema prečišćavanja.

Ključne reči: kisele rudničke vode, polutanti, monitoring

1. UVOD

Nastajanje kiselih rudničkih voda (AMD-acid mine drainage) je rezultat oksidativnog rastvaranja sulfidnih minerala [1]. Karakteriše ih povećana kiselost (niska pH vrijednost) koja potiče od sulfata, visoke koncentracije Fe, Al i Mn, a često i visoke koncentracije teških metala i drugih toksičnih elemenata [2,3]. Stoga, predstavljaju ozbiljan ekološki problem, jer ugrožavaju vodne resurse, zemljište, ljude i građevine koji se nalaze na ugroženom području [4].

Problem zaštite vodnih resursa nije moguće riješiti samo primjenom odgovarajućih postupaka prečišćavanja otpadnih voda. Jedino planskim upravljanjem kvalitetom voda moguće je uskladiti različite namjene i načine korišćenja voda.

Monitoring životne sredine je oruđe za procjenu uslova i kretanja u životnoj sredini, pomoć u uspostavljanju politike održivog razvoja i njene implementacije, te razvoja informacija i podataka u cilju stvaranja nacionalne politike u oblasti [5].

U radu je na osnovu rezultata sprovedenog monitoringa sistema prečišćavanja kiselih voda iz rudnika Žuta Prla, procijenjena efikasnost predloženog sistema, u cilju očuvanja i poboljšanja kvaliteta vode u vodotocima, a samim tim i djelova životne sredine.

2. METOD RADA**2.1 Opis lokacije**

Područje ispitivanja, tj. područje bivšeg rudnika Žuta Prla, je locirano u blizini Mojkovca (Crna Gora). Tu su zapravo locirana četiri rudna depozita polimetalne sulfidne rude sa olovom i cinkom kao glavnim predstavnicima, a bakar, srebro i živa propratni minerali: Žuta Prla-Razvršje, Višnjica, Igriste i Brskovo. Depozit Žuta Prla je istraživan od 1951. god. i eksploatisan od 1976. do 1991. god.

Lokalnu klimu karakterišu:

- godišnje količine padavina za područje Mojkovca - 1649mm;
- godišnji prosjek kišnih dana – 124;
- godišnji prosjek sniježnih dana - 42
- godišnji prosjek dana sa sniježnim pokrivačem – 64;
- temperature variraju od najniže do najviše - 15°C do 30°C;
- godišnja prosječna temperatura vazduha je 8,2 °C;
- godišnji prosjek mraznih dana sa temp. ispod nule – 39;
- godišnji prosjek sunčanih dana sa temp. iznad 25 °C – 65.

Zemljište u regionu nema visoki kapacitet za skupljanje vode i otpusna energija je visoka, tako da površinsko odlivanje dominira hidrološkom situacijom.

Nepromoćive jedinice kamenih slojeva su važne za hidrologiju područja ispitivanja. Mladi paleozolski sedimenti srednjeg karbonskog doba su jedinice sa nepromoćivim štitom. Ove jedinice su praćene mezozojskim litološkim kompleksima srednjeg triazičkog doba, čiji su predstavnici eruptivno kamenje i članovi sediment-vulkanskih serija. Teren je formiran od ovih stijena tako da se padavine direktno slivaju u Rudnicu i Taru nakon odronjavanja površine.

Podzemna voda u kamenim slojevima kroz pukotine formirane tektonskim pokretima i površinske vode difuzno odvođe vodu u Rudnicu i Taru.

Najveći dio otpusnih voda iz okoline rudnika se uliva u Taru.



Sl. 1. Kisela rudnička voda na izlazu iz rudnika Žuta Prla

2.2 Formiranje kiselih rudničkih voda

U polimetalnim sulfidnim rudnicima oksidacija gvožđe disulfida i dalje preobražaj u kiselinu se događa kroz nekoliko reakcija. Mogu se razlikovati 3 stadijuma:

- Prvi stadijum procesa počinje sa približno neutralnim pH vrijednostima i završava se pri pH vrijednosti oko 4.5. Pirit se oksiduje direktno preko rastvorenog kiseonika putem hemijskih mehanizama, proizvodeći jone gvožđa Fe^{2+} koji se brzo oksiduju do Fe^{3+} i talože se kao gvožđe(III)–hidroksid. Divalentni metali sulfida, poput MeS, gdje Me može biti Fe, Zn, Cd, Pb, Cu, Ni, itd, će takođe oksidovati direktno proizvodeći odgovarajuće sulfate. To rezultuje opterećenjem kiselih voda rudnika jonima teških metala.
- Drugi stadijum procesa počinje pri vrijednosti pH oko 4.5 i završava oko 2.5. Kako se abiotska oksidacija jona gvožđa usporava pri kraju prvog stadijuma, bakterijska oksidacija preko aktivnosti željeza i bakterija koje oksiduju u prisustvu sumpora, kao što je *Thiobacillus ferrooxidans*, *Thiobacillus thiooxidans* itd, postaje dominantna. Pri pH vrijednostima manjim od 3, povećana rastvorljivost Fe^{3+} jona rezultuje opadajućim nivoom precipitacije gvožđe – hidroksida i stoga dolazi do rasta aktivnost Fe^{3+} jona u rastvoru.
- Treći stadijum procesa počinje nakon što aktivnost Fe^{3+} jona počinje da bude značajna pri vrijednosti pH oko 2.5, gdje se uglavnom precipitacija završava. Fe^{3+} jon je sada glavni oksidans koji poboljšava oksidaciju pirita. Takođe poboljšava i indirektnu oksidaciju drugih minerala sulfida, kao što su galica, halkopirit i sfalerit. Ukupni rezultat u trećem stadijumu je proizvodnja visoko kisele vode sa pH većim od 2.5, sa visokom koncentracijom

sulfata, kiselosti, ukupnim gvoždem, i koncentracijom rastvorenih teških metala [3].

Nivo oksidacije pirita zavisi od mnogobrojnih varijanti poput reaktivnih površinskih oblasti pirita, oblika piritnog sumpora, koncentracije kiseonika, pH rastvora, katalitičkih agenasa, učestalosti protoka, prisustva *Thiobacillus bakterije*, prisustva neutralizirajućih materijala itd. Skoro potpuno odsustvo kiseonika se dešava u prirodi kada se pirit nađe ispod nivoa vode gdje su uslovi oksidacije ograničavajući. Pod ovim uslovima, pirit ostaje skoro potpuno neporeagovan. Međutim, kada su velike zapremine piritnog materijala odlomljene i izložene uslovima oksidacije, što se može desiti u rudnicima kao što su otvorene jame rudnika Brskovo, ili podzemni otvori rudnika Žuta Prla, pirit reaguje, voda rastvara i prenosi proizvode reakcije (gvožđe i druge metale, sulfate i kiselinu) u zemlju i izvore površinskih voda.

2.3 Plan monitoringa

Svrha i zadatak monitoring sistema je da permanentno i sistematski prikuplja odgovarajuće podatke (kvalitativne i kvantitativne) radi pravovremenog i tačnog informisanja, a na bazi toga se preduzimaju odgovarajuće mjere.

Dobro postavljen i efikasan monitoring sistem je jedan od osnovnih preduslova u cilju realne mogućnosti upravljanja kvalitetom otpadnih voda. Pravilnik o kvalitetu i sanitarno-tehničkim uslovima za ispuštanje otpadnih voda u recipijent i javnu kanalizaciju, načinu i postupku ispitivanja kvaliteta otpadnih voda, minimalnom broju ispitivanja i sadržaju izvještaja o utvrđenom kvalitetu otpadnih voda [6] propisuje učestalost ispitivanja otpadnih voda, način i postupak koji će se primijeniti prilikom ispitivanja kvaliteta otpadnih voda, kao i sanitarno-tehničke uslove koji se moraju zadovoljiti prije nego se otpadna voda ispusti u recipijent. Uredba o klasifikaciji i kategorizaciji površinskih i podzemnih voda [7] definiše kvalitet voda koji treba da se održi ili obezbijedi za postizanje dobrog statusa voda. U skladu sa ovom zakonskom regulativom su definisani uslovi koje vode iz rudnika moraju zadovoljiti prilikom ispuštanja u recipijent.

Prije i tokom procesa prečišćavanja analizirani su fizičko-hemijski i hemijski parametri kvaliteta otpadne vode. Pri ovim ispitivanjima primjenjivane su standardne metode [8]. Od fizičkih i hemijskih pokazatelja kvaliteta voda su određivani: temperatura, suspendovane materije (TDS), elektrolitička provodljivost (EP), pH vrijednost, oksido redukcionni potencijal (ORP), rastvoreni kiseonik (O_2), sulfati SO_4^{2-} , Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Veoma kisele vode, koje potokom Žuta Prla otiču iz istoimenog rudnika (slika 1), karakterišu se niskom pH vrijednošću 2.6, visokim nivoom sulfatnih jona 850 mg/l, visokim sadržajem mangana, željeza, aluminijuma, hroma, bakra, olova. Ove vode površinski otiču u rijeku Rudnicu, koja se dalje uliva u rijeku Taru. Prema *Uredbi o klasifikaciji i kategorizaciji površinskih i podzemnih voda, Sl. list CG, br. 2/07*, rijeka Tara se razvrstava u A1 klasu kvaliteta, I kategorija. Koncentracije zagađujućih materija znatno odstupaju od zakonske regulative i negativno utiču na kvalitet vode recipijenta.

Prečišćavanjem voda treba da se smanji sadržaj polutanata u otpadnoj vodi kako bi spriječio ili ublažio njihov uticaj na životnu sredinu. Na taj način njihovo ulivanje u rijeku Rudnicu i Taru ne bi se narušavao ekološki i hemijski status i ekološki potencijal vode vodotoka.

Na osnovu hemijskog sastava kiselih voda rudnika Žuta Prla primijenjen je pasivni sistem prečišćavanja koji se sastoji od sledećih linija obrade:

- Otvoreni kanali krečnjaka,
- Taložni bazen,
- Bazen sa vertikalnim protokom,
- Bazen za uklanjanje mangana.

Mjerenjem pojedinih parametara kvaliteta otpadne vode tokom procesa prečišćavanja, u različitim fazama prečišćavanja, omogućava pravilno rukovanje sistemom, održavanje potrebne efikasnosti procesa i obezbeđuje zahtijevani kvalitet prečišćene vode.

U tabeli 1 prikazani su rezultati analize uzoraka na izlazu iz rudnika Žuta Prla i tokom procesa prečišćavanja na pet mjernih mjesta:

- 1 - Voda na izlazu iz rudnika
- 2 - Otvoreni kanali krečnjaka
- 3 - Bazen sa vertikalnim protokom - ulaz
- 4 - Bazen za uklanjanje Mn (BUM) - ulaz
- 5 - Potok nizvodno od BUM-a

Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli 1, primijenjenim sistemom prečišćavanja se djelimično postižu željeni efekti. U cilju dobijanja kompletnije slike o efikasnosti pasivnog sistema prečišćavanja kiselih drenažnih voda iz rudnika Žuta Prla, potrebno je sprovesti određeni broj serija mjerenja za neposredno prilagođavanje procesa prečišćavanja, u cilju postizanja što boljeg efekta i kvaliteta efluenta u skladu sa zakonskom regulativom.

Tabela 1. Rezultati analize fizičkih i hemijskih pokazatelja kvaliteta voda na izlazu iz rudnika i tokom procesa prečišćavanja

Parametar	Mjerno mjesto				
	1	2	3	4	5
Protok, l/s	0.05	0.02	0.04	0.04	3
t, °C	6.4	7.5	6.6	8	7.2
TDS, mg/l	1637	1399	1858	1807	363
EP, µS/cm	3300	2793	3717	3616	727
pH	2.65	2.93	2.76	6.21	6.4
ORP, mV	3274	446	439	144	125
O ₂ , mg/l	5.3	14.6	15.6	9.5	15.5
SO ₄ ²⁻ mg/l	1640	1620	1950	1990	295
Al, mg/l	27.2	14.2	21.9	< 0.1	< 0.1
As, mg/l	1.4	0.07	0.21	0.003	0.002
Cd, mg/l	0.4	0.3	0.5	0.2	0.04
Cu, mg/l	4.5	2.6	7.9	0.4	<0.02
Fe, mg/l	504	156	358	12	8
Mn, mg/l	94	8.8	20.4	34.8	2.1
Ni, mg/l	0.48	0.46	0.6	0.66	0.065
Pb, mg/l	0.45	0.2	0.52	0.01	<0.003
Zn, mg/l	160	133	154	126	12.6

Tehnički problemi koji se mogu sresti pri održavanju pasivnih sistema prečišćavanja su stabilnost kod nasipa i prelivnika. Druge probleme mogu izazvati štetočine, glodari, insekti i slične životinje.

Na učinak procesa pasivnog sistema prečišćavanja utiču specifični uslovi okoline uključujući variranje toka, hemikalije u AMD-u, pristupačnost i osobine materijala supstrata.

Uklanjanje polutanata se odvija simultano uz procese glavnog toka koji obuhvataju uklanjanje aciditeta, gvožđa, sulfata i aluminijuma, ako ga ima. Podatke o nivou otklanjanja neželjenih metala i drugih parametara vode iz rudnika, treba procijeniti na licu mjesta, uzimajući u obzir uslove koji vladaju.

4. ZAKLJUČAK

Kisele vode iz rudnika koje otiču potokom Žuta Prla karakterišu se povećanom kiselošću, visok nivoom sulfata i povećanim sadržajem metala. Predmetne vode se prečišćavaju, kako bi se minimiziralo zagađenje i uticaj na lokalnu populaciju.

Na osnovu teorijskih saznanja i iskustava iz prakse, možemo zaključiti da pasivni sistemi prečišćavanja kiselih otpadnih voda iz rudnika predstavljaju alternativu konvencionalnim tehnikama neutralizacije alkalnim reagensima

poput kreča, krečnjaka, magnezijuma i ostalih.

Pasivni sistem za prečišćavanje kiselih drenažnih voda rudnika Žuta Prla se sastoji od sledećih linija obrade:

- Otvoreni kanali krečnjaka,
- Taložni bazen,
- Bazen sa vertikalnim protokom,
- Bazen za uklanjanje mangana.

Sprovedenim monitoringom, rezultati ukazuju da je primijenjeni sistem prečišćavanja djelimično funkcionalan. U cilju dobijanja kompletnije slike o efikasnosti pasivnog sistema prečišćavanja kiselih drenažnih voda iz rudnika Žuta Prla, potrebno je sprovesti određeni broj serija mjerenja kako bi se prikupilo što više informacija za neposredno prilagođavanje procesa prečišćavanja, u cilju postizanja što boljeg efekta i kvaliteta efluenta u skladu sa zakonskom regulativom.

5. REFERENCE

- [1] Simate, G. S., Ndlovu, S., *Acid mine drainage: Challenges and opportunities*, Journal of Environmental Chemical Engineering, 2(3), p.p. 1785-1803, September 2014.
- [2] Gazea, B., Kontopoulos A., A Review of passive systems for the treatment of acid mine drainage, *Minerals engineering*, 1, p.p. 23-42, 1996.
- [3] Kontopoulos, A., *Acid Mine Drainage Control*, in *Environment & Innovation in Mining and Mineral Technology*, (M.A. Sánchez, F. Vegara and S.H. Castro, Eds.), University of Concepción-Chile, 1998.
- [4] Mestre, M. A., *Environmental impact of mine drainage and its treatment on aquatic communities*, Doktorska disertacija, School of Geography, Earth and Environmental Sciences, University of Birmingham, October 2009.
- [5] Pavlović, M., *Ekološko inženjerstvo*, drugo izdanje, Technical Faculty "Mihajlo Pupin" Zrenjanin, 2004.
- [6] Vlada Republike Crne Gore, *Pravilnik o kvalitetu i sanitarno-tehničkim uslovima za ispuštanje otpadnih voda u recipijent i javnu kanalizaciju, načinu i postupku ispitivanja kvaliteta otpadnih voda, minimalnom broju ispitivanja i sadržaju izvještaja o utvrđenom kvalitetu otpadnih voda*, Službeni list CG, br. 45/08, Podgorica.
- [7] Vlada Republike Crne Gore, *Uredba o klasifikaciji i kategorizaciji površinskih i podzemnih voda*, Službeni list CG, br. 2/07, Podgorica.

- [8] APHA-AWWA-WEF, *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 21st edition, Washington, 2005.

Autori: Doc. dr Milena Tadić, Vanr. prof. dr Irena Nikolić, Univerzitet Crne Gore, Metalurško-tehnološki fakultet, Džordža Vašingtona, 81000 Podgorica, Crna Gora, Tel: +382 69 660 756, Fax: +382 20 245-406.
E-mail: milenak@ac.me

Tadić, M.

**UTICAJ KONCENTRISANIH I RASUTIH ZAGAĐIVAČA NA KVALITET VODE
RIJEKE MORAČE**

Rezime: Vodeni resursi predstavljaju veliko prirodno bogatstvo Crne Gore. Osnovni uslov za očuvanje kvaliteta prirodnih dobara, a samim tim i za očuvanje rječnih tokova, je povećanje nivoa ekološke svijesti svakog pojedinca. Praćenje kvaliteta otpadnih voda i njihov uticaj na recipijente u koje se ispuštaju, javlja se kao trajni zadatak. Morača je rijeka koja izvire u sjevernoj Crnoj Gori, teče od sjevera ka jugu i uliva se u Skadarsko jezero. S obzirom da se duž toka rijeke Morače nalaze brojni izvori polutanata, u ovom radu sagledan je njihov uticaj tj. u kojoj mjeri doprinose njenom zagađivanju.

Ključne reči: izvori zagađenja; vodotok; zagađujuće materije.

1. UVOD

Razvojem ljudske zajednice, porastom broja stanovnika i njihovom koncentracijom u velikim gradovima, količina otpadnih voda se znatno povećala. Njihovim konstantnim ispuštanjem u rijeke, onemogućen je proces samoprečišćavanja. Rijeke su te koje trpe posljedice nesavjesnog ljudskog ophođenja prema prirodnim dobrima uprkos njihovom neprocjenjivom značaju u mnogim ljudskim aktivnostima: vodosnabdijevanju naselja čistom i pitkom vodom, u poljoprivredi (navodnjavanje), transportu tereta, proizvoda i materija raznih karakteristika, kao i u razvoju raznih turističkih aktivnosti (sportske aktivnosti, takmičenja), i naravno u iskorišćavanju hidroenergetskog potencijala rijeka [1,2,3].

Zaštita voda od zagađenja sprovodi se radi omogućavanja neškodljivog i nesmetanog korišćenja voda, zaštite zdravlja, životinjskog i biljnog svijeta i zaštite životne sredine. Zaštita voda sprovodi se kontrolom, zabranom, ograničavanjem i sprečavanjem unošenjem u vode opasnih i štetnih materija, propisivanjem i preduzimanjem mjera za očuvanje i poboljšanje kvaliteta voda [4].

Višedecenijska permanentna ispitivanja kvaliteta površinskih voda u Crnoj Gori ukazuju na presudan uticaj velikih demografskih i industrijskih centara na pogoršanje njihovog odličnog prirodnog kvaliteta, zbog čega je u djelovima vodotoka u zoni neposrednog uticaja, akvatični ekosistem vrlo ugrožen.

U ovom radu je na osnovu pokazatelja kvaliteta voda rijeke Morače, sagledan uticaj brojnih izvora polutanata duž toka rijeke Morače na promjenu prirodnog kvaliteta recipijenta u svijetlu zakonske regulative.

2. METOD RADA

Kvalitet površinskih voda je od izuzetnog značaja, ne samo za akvatični svijet, već i za ljude koji površinske vode koriste u razne namjene.

Procjena kvaliteta vode rijeke Morače je utvrđena na osnovu fizičkih, hemijskih i mikrobioloških pokazatelja kvaliteta, primjenom standardnih metoda [5].

Rijeka Morača se ispituju na šest lokaliteta: Pernica - 1, Zlatica - 2, Gradska plaža - 3, Gradski kolektor - 4, Grbavci - 5 i Vukovci - 6 (slika 1).

Od fizičkih i hemijskih pokazatelja kvaliteta vode određivani su: temperatura vode, boja, miris, pH vrijednost, elektrolitička provodljivost (EP), suvi ostatak (SO), suspendovane materije (SM), rastvoreni O₂, biološka potrošnja kiseonika (BPK₅), hemijska potrošnja kiseonika (HPK), alkalitet, bikarbonati, tvrdoća vode, kalcijum (Ca²⁺), magnezijum (Mg²⁺), natrijum (Na⁺), kalijum (K⁺), amonijum jon (NH₄⁺), nitrati (NO₃⁻), nitriti (NO⁻), hloridi (Cl⁻), sulfati (SO₄²⁻), fosfati (PO₄³⁻), fenoli, deterdženti.

Mikrobiološke analize su obuhvatile ukupan broj živih, koliformnih i fekalnih klica.



Sl. 1. Hidrološka karta Crne Gore [6]

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Svake godine u nekoliko mjesečnih serija, u periodu jun – oktobar, uglavnom period malih voda, ispituje se i kvalitet i promjene kvaliteta voda vodotoka Morače sa aspekta fizičkih, hemijskih i mikrobioloških parametara.

U posljednje vrijeme, zbog smanjenog obima industrijske proizvodnje odnosno privredne recesije, smanjen je donekle stepen zagađenja voda, tako da je poboljšanje kvaliteta voda odraz ove situacije, a ne sistematskih mjera prečišćavanja i zaštite vodotoka.

U cilju sagledavanja uticaja koncentrisanih i rasutih (difuznih) zagađivača sa slivnog područja na kvalitet vode rijeke Morače, u tabeli 1 su prikazane vrijednosti (min i max) pokazatelja kvaliteta vode sa 6 lokaliteta tj. mjernih mjesta.

Prema kvalitetu vode koji treba da se održi ili obezbijedi za postizanje dobrog statusa voda, vodna tijela površinskih voda u odnosu na njihov ekološki i hemijski status i ekološki potencijal, a vodna tijela podzemnih voda u odnosu na njihov kvantitativni i hemijski status, razvrstavaju se u pojedine klase shodno Uredbi o klasifikaciji i kategorizaciji površinskih i podzemnih voda [7]. U skladu sa ovom Uredbom rijeka Morača uzvodno od Duklje se svrstava u klasu A1, S, K1, kategorija I, a od od Duklje do ušća Skadarskog jezera u klasu A2, C, K2, kategorija II.

Tabela 1. Vrijednosti parametara kvaliteta vode rijeke Morače u ispitivanom periodu

Parametar	Mjerna mjesta					
	1	2	3	4	5	6
t, °C	12.6-20.2	14.2-20.0	14.8-19.6	15.0-20.4	15.8-21.0	15.9-21.6
Boja, mg/l Co-Ptskale	prirodna	prirodna	zelena	zelena-tam.zelena	zelena	zelena-braon zelena
Miris	bez	bez	bez	bez-na kanaliza.	bez	bez
pH	8.0-8.3	8.1-8.2	8.0-8.2	7.5-8.0	7.8-8.4	7.8-8.4
EP, μS/cm	209-222	203-216	238-262	250-281	245-268	243-252
SO, mg/l	135-144	132-153	151-164	161-180	155-169	149-170
SM, mg/l	0	0	0	1-5	0-2	0-51
Rast. O ₂ , mg/l	9.2-10.7	9.6-11.1	8.9-10.8	8.0-10.6	7.5-11.6	7.6-11.6
BPK ₅ , mg/l	1.9-6.2	1.2-1.4	0.9-2.2	2.2-7.6	0.6-4.8	1.0-2.3
HPK, mg/l	1.7-3.2	1.6-1.9	1.0-2.5	3.7-6.0	2.1-4.6	1.5-2.4
Alkalitet, mg/l	120-143	128-142	148-164	155-168	145-166	147-172
HCO ₃ ⁻ , mg/l	146-174	156-174	181-200	189-204	177-202	179-209
Tvrdoća, °N	6.1-6.7	2.9-6.3	7.0-7.5	7.2-8.3	7.0-7.8	6.1-7.6
Ca ²⁺ , mg/l	33.6-45.6	34.1-37.9	41.1-44.6	45.6-57.0	41.8-47.8	33.0-45.4
Mg ²⁺ , mg/l	1.3-6.5	3.9-17.7	4.0-6.4	1.5-4.7	3.9-6.3	4.7-6.4
Na ⁺ , mg/l	2.0-10.4	2.0-2.7	2.4-2.9	2.9-5.3	2.9-3.6	2.7-3.5
K ⁺ , mg/l	0.6-0.9	0.4-1.3	0.7-0.8	0.9-1.5	0.7-1.0	0.6-0.8
NH ₄ ⁺ , mg/l	0.01-0.12	0.00-0.09	0.00-0.14	0.07-0.99	0.00-0.26	0.00-0.11
NO ₃ ⁻ , mg/l	0.21-0.70	0.59-1.86	1.34-2.17	1.22-2.36	1.96-3.14	1.57-3.10
NO ₂ ⁻ , mg/l	0.000-0.002	0.000-0.020	0.003-0.009	0.017-0.066	0.009-0.058	0.006-0.032
Cl ⁻ , mg/l	3.0-4.4	2.7-4.0	2.4-4.4	1.7-5.3	3.4-4.3	2.6-5.0
SO ₄ ²⁻ , mg/l	5.9-8.4	3.8-7.6	4.5-7.4	5.2-7.4	5.3-6.6	2.4-7.3
PO ₄ ³⁻ , mg/l	0.02-0.04	0.03-0.40	0.0-0.05	0.09-0.41	0.05-0.14	0.01-0.14
Fenoli, mg/l	0	0-0.001	0	0-0.002	0-0.001	0
Deter., mg/l	0-0.010	0-0.008	0-0.008	0.002-0.066	0.002-0.020	0.003-0.028
Uk.br.živ.klica	0-35	8-66	41-764	870-40810	270-1050	230-1824
Uk.br.fek.klica	19-67	4-57	29-4200	1056-10900	590-1020	390-704
Uk.br.koli.klica	63-411	59-470	93-18900	14240-21000	1090-10560	720-7980

Temperatura vode rijeke Morače je važan faktor za život u njoj, kao i sa stanovišta sadržaja kiseonika. Povećana vrijednost je izmjerena na mjernoj stanici ispod kanala otpadnih voda Kombinata aluminijuma. Sa stanovišta mirisa voda rijeke Morače je okarakterisana "bez mirisa", izuzev na mjernoj tački Gradski kolektor, gdje je voda imala miris na kanalizaciju. pH vrijednost je jako bitno izmjeriti na terenu, jer u toku transporta može doći do bitne promjene pH vrijednosti uzorka vode. Izmjerene pH vrijednosti su u granicama definisane klase kvaliteta.

Vrijednost suspendovanih materija (tabela 1) je manja od 10 mg/l, što je u skladu sa propisanom klasom kvaliteta, izuzev na mjernom mjestu

Vukovci gdje je voda izvan propisane klase.

Sadržaj rastvorenog kiseonika u rijeci Morači ne pokazuje odstupanja od vrijednosti definisanih datom klasom.

U vodi rijeke Morače BPK₅ se kreće od 0.9 mg/l (Gradska plaža) do 7.6 mg/l (Gradski kolektor). Primjetno je da postoje velika odstupanja u rezultatima prije i posle ispusta otpadnih voda sa Postrojenja za prečišćavanje, što se objašnjava njegovim nedovoljnim kapacitetom, odnosno nemogućnosti obrade kompletne količine pristigle vode na postrojenje. Na osnovu ovog jako značajnog pokazatelja kvaliteta vode rijeke Morača nizvodno od postrojenja je "van klase".

HPK se kreće od 1 mg/l (Gradska plaža) do 6.0 mg/l (Gradski kolektor) i shodno vrijednosti ovog parametra na ovoj dionici voda se svrstava u A3 klasu.

Bikarbonati ne pokazuju značajnija odstupanja.

Amonijak (NH₄⁺) u vodi rijeke Morače je izvan propisanih vrijednosti na svim mjernim tačkama, pri čemu svoju maksimalnu vrijednost dostiže na mjernoj stanici Gradski kolektor, i voda prelazi iz A2 u A3 klasu.

Sadržaj nitrita na svim mjernim mjestima, osim Pernici je izvan propisane klase kvaliteta. Izuzetno visoke vrijednosti su izmjerene na mjernom mjestu Gradski kolektor (0.066 mgN/l) i Grbavci (0.058 mgN/l).

Fenoli čak i u vrlo malim koncentracijama utiču na kvalitet i osobine voda, mogu prouzrokovati jak ukus, miris i boju. Potrebe analiza usmjerenih na sadržaj fenola proizlazi iz činjenice da, posebno hlorfenoli su toksični kod koncentracije od nekoliko mg/l. U vodi rijeke Morače se njihova vrijednost kreće od 0.000 mg/l do 0.002 mg/l.

Deterdženti sadrže površinski aktivne materije (PAM) koje snižavaju površinski napon vode. Veći dio ispitivanog toka po sadržaju PAM-a svrstava vode Morače u A1 klasu. Karakteristično mjesto po sadržaju PAM-a je Gradski kolektor (0.066 mg/l), što svrstava vode Morače u A3 klasu.

Aerobne žive klice u vodi rijeke Morače se kreće od 8 u 1 ml vode (Zlatica) do 40810 u 1 ml vode (Gradski kolektor). Ispod Gradskog kolektora broj aerobnih živih klica se značajno povećava i često je voda rijeke Morače "van klase".

Ukupne fekalne klice se kreću od 4 u 100 ml vode (Zlatica) do 10900 u 100 ml vode (Gradski kolektor). Ispod Gradskog kolektora broj ukupnih fekalnih klica dostiže zabrinjavajuće vrijednosti i svrstava vodu Morače u A3 klasu.

Sadržaj ukupnih koli klica je zabrinjavajući na cjelokupno ispitivanom toku. Tok Morače na dionici Pernica i Zlatica je na osnovu sadržaja koli klica svrstava u A2 klasu, na mjernom mjestu

Gradska plaža u A3 klasu, dok na ostalim mjernim mjestima (gradski kolektor, Grbavci, Vukovci) voda je "van klase".

Koristeći fondovkse podatke (Zavod za hidrometeorologiju i seizmologiju Crne Gore, Ekotoksikološka laboratorija) i uvidom na terenu putem parametara proračuna procijenjena je emisija zagađenja u slivnom prostoru rijeke Morače i njenih pritoka uzvodno od Postrojenja.

Ukupna emisija zagađenja (opterećenja izraženog preko ekvivalentnog stanovnika - ES) materijama organskog porijekla i nutrijenata u slivu Morače prikazana je u tabeli 2.

Tabela 2. Ukupna emisija zagađenja u opštinama u slivu rijeke Morače (kg/dan)

Područje	SM	BPK ₅	N	P	ES
Nikšić	5025	6532	1146	241	108866
Danilovgrad	2149	2356	341	71	39265
Podgorica	10216	10926	2008	518	182100
UKUPNO	17390	19814	3605	830	330231

Anketnim putem i uvidom na terenu procijenjeno je putem parametara proračuna da je opterećenje rijeke Morače na njenom gornjem toku iz rasutih izvora za tri puta veće od opterećenja samog Postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda. To se objašnjava činjenicom da na uzvodnom dijelu rijeke Morače značajan uticaj na njeno zagađenje ima intezivna poljoprivredna proizvodnja i različiti rasuti zagađivači, dok glavno opterećenje Postrojenja čine otpadne vode iz domaćinstava. Otpadne vode privrednih subjekata (uglavnom prehrambene industrije) dovode se na Postrojenje zajedno sa otpadnim vodama iz domaćinstava, pa se tako, prilikom njihovog miješanja, umanjuje negativan uticaj tih otpadnih voda na Postrojenje. Postojeća regulativa kod nas, kao mjera zaštite voda omogućava ocjenu kvaliteta voda, kako efluenta, tako i recipijenta. To podrazumijeva uvođenje standarda kvaliteta efluenta (emisioni standardi), izradu katastra zagađivača kao osnovnog vodoprivrednog dokumenta i za realizaciju ocjenjivanja kvaliteta voda neophodan je veći broj mjernih stanica za kvantitativno-kvalitativna mjerenja.

4. ZAKLJUČAK

Vodeni resursi predstavljaju veliko prirodno bogatstvo Crne Gore. Savremeni način života dovodi do neizbježne degradacije životne okoline, a samim tim i do zagađenja ogromnih vodnih resursa, podzemnih i površinskih, sadržanih kako u jezerima tako i u rječnim tokovima. Osnovni uslov za očuvanje kvaliteta prirodnih dobara, a samim tim i za očuvanje rječnih tokova, je povećanje nivoa ekološke svijesti svakog

pojedince.

Dobijeni rezultati pokazuju da je ispitivani dio toka Morače nizvodno od Postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda grada Podgorice zagađen. Vrijednosti pojedinih parametara kao što su BPK₅, amonijak, nitriti, fosfati, deterdženti, koliformne i fekalne bakterije ukazuju da je došlo do pogoršanja kvaliteta vode rijeke Morače na tom dijelu toka. Pogoršanje kvaliteta vode rijeke Morače objašnjava se činjenicom da je Postrojenje poddimenzionirano, pa se biološkom tretmanu podvrgne samo dio voda koje se dovode. Stoga, neophodno je projektovati i izgraditi novo postrojenje sa savremenim tehničkim rešenjima za tretman otpadnih voda i zadovoljavajućeg kapaciteta.

Uzvodno od Podgorice rijeka Morača je relativno dobrog kvaliteta, koji ne odstupa od karakteristika definisanih Uredbom o klasifikaciji i kategorizaciji površinskih i podzemnih voda. Posljednjih nekoliko godina broj zagađivača na području Podgorice je znatno smanjen kao posljedica ekonomskih prilika u zemlji što bitno utiče i na stepen zagađenosti rijeke Morače.

Metodološkim pristupom osmatranja kvaliteta vodotoka, shodno postojećim propisima, odnosno poređenjem dobijenih podataka sa maksimalno dozvoljenim koncentracijama, ne može se procijeniti ekološki status vode, pogotovo izostankom monitoringa i kada se uzorci ne zahvataju iz iste mase vode.

Osnovni preduslov za realizaciju ciljeva zaštite kvaliteta voda je organizovanje savremenog monitoring sistema, koji svojom konfiguracijom (rasporedom mjernih stanica) i operativnošću treba da omogući brzu detekciju promjena kvaliteta i utvrđivanje uzročnika zagađenja.

Stoga, trebalo bi podstaći izradu katastra zagađivača, monitoringa površinskih voda i implementaciju ostalih ciljeva Okvirne direktive EU o vodi, odnosno izdići problematiku voda na potrebni nivo.

5. REFERENCE

- [1] Dalmacija, B. i sar., *Kontrola kvaliteta u okviru upravljanja kvalitetom*, Prirodno-matematički fakultet, Institut za hemiju, Novi Sad, 2000.
- [2] Tedeschi, S., *Zaštita vodnih sustava i pročišćavanje otpadnih voda*, Građevinski institut, Zagreb, 1983.
- [3] Simičić, H., *Procesi obrade otpadnih voda*, Javna biblioteka Lukavac, Tuzla, 2002.
- [4] Počuča, N., *Ekohidrologija- zagađenje i zaštita voda*, Građevinska knjiga, 2008.
- [5] APHA-AWWA-WEF, *Standard methods for*

the examination of water and wastewater, 21st edition, Washington. 2005.

- [6] <http://www.meteo.co.me>, Zavod za hidrometeorologiju i seizmologiju Crne Gore.
- [7] Vlada Republike Crne Gore, *Uredba o klasifikaciji i kategorizaciji površinskih i podzemnih voda*, Sl. list CG, br. 2/07, 2007.

Autori: **Doc. dr Milena Tadić**, Univerzitet Crne Gore, Metalurško-tehnološki fakultet, Džordža Vašingtona, 81000 Podgorica, Crna Gora, Tel: +382 69 660 756, Fax: +382 20 245-406.

E-mail: milenak@ac.me

CONTAMINATION AND MEASUREMENT OF HYDRAULIC OIL PURITY

Abstract: One of the most important maintenance measures for hydraulic systems is regular monitoring of contamination of hydraulic fluids, their regular maintenance and constant care. The condition of the working fluid significantly affects the reliability of the installed devices and their service life. Contamination is most often determined by measurements of the degree of purity, by the automatic counting of solid particles and requests for the required degree of purity of the working liquid, is determined by the manufacturers of hydraulic equipment. With the knowledge of these requirements and the actual degree of purity, if we take into account other parameters, we can safely assess the current state in order to decide on further maintenance actions. In the paper, the authors in the real case showed an example of the oil balance measurement using the built-in intelligence in the Parker's LCM 20 mobile device.

Key words: hydraulic fluid, contamination, purity, device, measurement, reliability.

1. INTRODUCTION

The greatest influence on the quality change of all types of oil has: temperature, pressure and operating speeds in the system, the presence of moisture and oxygen from the air, wear products, etc. There is a great influence on the environment (dust and other forms of impurities, as well as the possible presence of microorganisms.) Oil analyzes exist as much as they exist. They are used to prevent the occurrence of damage to the device as a consequence of pollution or degradation. Managers are increasingly applying modern methods of maintenance and replacement of oil according to the condition, rather than on the basis of operating hours, calendar time or mileage. Replacement and purification of oil can be mitigated with problems, maintenance and removal of the sample will be inevitable. Costs for oils, spare parts, labor and congestion are becoming more and more expensive, and are gaining an increasingly important place in the maintenance management program. Therefore, continuous monitoring of the state of machines, based on oil analysis, is becoming increasingly important in maintenance programs.

For these reasons, the pollution control of hydraulic oil products is a crude way to improve its state and reliability, longer life expectancy, and reduce the operating costs of all hydraulic systems. Manufacturers of hydraulic oils, for these reasons, are making significant efforts for additional installation, at the distressing sites of the production process, the filter elements as well as the sensors forcing their condition. Also, in certain places at certain time intervals, their sampling is carried out. For the successful use of clean oils it is important to foster the degree of purity by the transfer, storage and filling of the hydraulic system, fig.1 [1]. No less is the constant monitoring of its state by measuring purity using modern measuring equipment and devices.

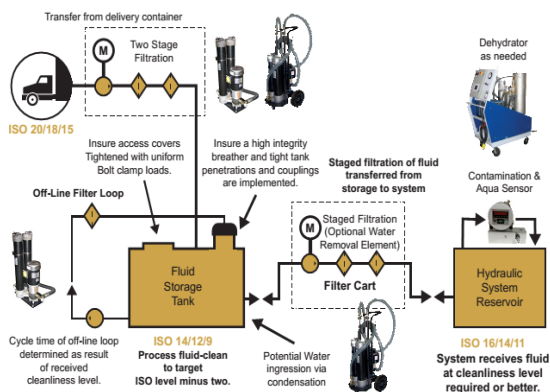


Fig. 1. Example of oil distribution system manipulation

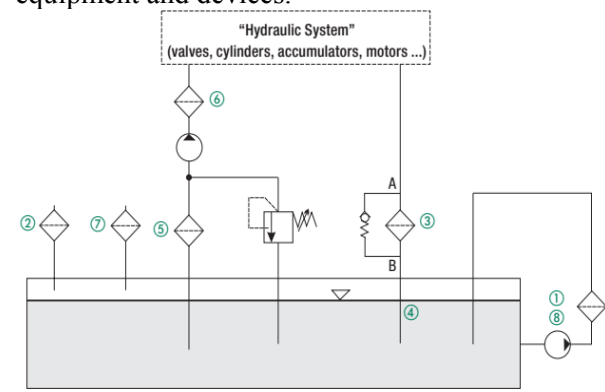


Fig.2 Installation locations of the filters in hyd. systems

2. REQUIRED OIL CLEANING OIL

Most modern hydraulic systems, such as fluid power transfer systems, are designed to work with a certain level of cleanliness of the working fluid. It is called the "required level of purity" and its significance should not be more specific. It

represents the basic level that system filters have to achieve and maintain during its useful working life. According to the purpose of the hydraulic system designers of all hydraulic systems predict, the installation of the corresponding filter, as schematic and shows the solution shown below on figure 2. The requirement for fineness of the built-in filters determines the purpose of the system as well as the working conditions. Also, in order to fully understand the effects of particulate contaminants on components, knowledge of the wear process is needed. Particles of pollutants that come into contact with surfaces will cause damage to surfaces through wear, resulting in loss of performance and failure of the component. This occurs in all production processes to a greater or lesser extent, even during all processing operations of component parts, and therefore, dirt particles must be removed from the process in order to eliminate or minimize the effects and any adverse effects. Many studies and scientific researches have found that the presence of solid particles (dirt) in the hydraulic fluid is the most important factor, which affects the reliability and life span of fluid systems. It is estimated that between (50 to 70) % of the failure of hydraulic plants and machinery is due to dirt in oil and lubricants. The standard is a quantified relationship between the level of system reliability and the level of dirt in the system, as shown by ISO 4406 for contamination, Fig. 3 [2,3,4,5,6,7]. It looks as if the lower level of dirt is, the hydraulic system is more reliable and will have a longer lifetime.



Fig. 3 Ratio of impurity and reliability hydraulic system (Source: UK Ministry of Trade and Industry (DTI))

The cleanliness of the working fluid has been extended to the production processes as part of a general approach to reduce the component damage during initial operation, thereby reducing the probability of failure. All industrial systems function and live by sanitary level contamination, and their contents and influence are controlled by the filtering system, by the installation of filters, fig. 2. The location of their installation determines

which component we protect and the return filter has become a binding component in all hydraulic systems. The UK (DTI) report states that cleanliness monitoring is probably the most sensitive of all surveillance of the state of the art production equipment and, because of its simplicity, is the most cost-effective [5]. The confirmation for this claim can be found in countless works that confirm this. Such techniques are therefore integrated as a controller in most production areas as part of the production of continuous control and testing. The standard defines the specifications of the purity of the early liquid and the measuring means, which gives accurate and consistent data [4,6,7]. The desire is to detect any significant increase in the level of contamination and to undertake some of the repair methods of the device. If the reason for possible cancellation and occurrence of hazardous conditions immediately identifies the appearance of surface wear, it will be minimized. Therefore, the selected measurement method should give accurate results as soon as possible. Hydraulic systems operate according to the principle of recirculation of the working fluid, so that the produced products, which result from wear, circulate through the components, producing even more intense wear. If their presence is not eliminated, the wear intensity of the components will be accelerated, the metal contact surfaces will be removed and the component failure, probably, their retirement. Therefore, all these events, in unforeseen circumstances, are unpredictable and uncertain. Even if there is no malfunction, the surface of the components can be so damaged that they can not achieve the desired performance of the system designer and certainly can not achieve the desired lifespan. By filtration, it can be monitored how the hydraulically driven components cause possible catastrophic consequences, fig.4 [7,8,9]. If the level of filtering of the hydraulic system is properly selected, based on the contaminant, the requirement for sensitivity and component reliability, expected by the user, will be low and under control.

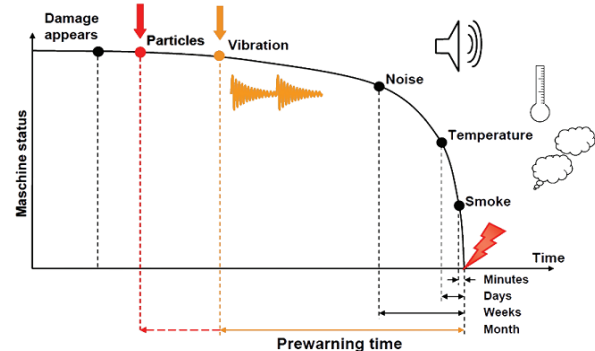


Fig. 4 Weather characteristics of the condition of the device - warnings for hazardous states (CM method)

If there is a small number of small particles (<10 µm), they will be generated as a result of the functioning of the components of the hydraulic system

and are also called "fatigue thrombocytes" [5]. The smaller particles, in general, pass through the gaps of the components without the production of other wearing products. Even when they are not retained in the filter elements or in the hydraulic oil reservoir, they are in principle located in the oil stream without major consequences. This method of wearing the contaminant is mild ("benign") and will ensure a reliable operation and a long lifetime of the component. Figure 5 shows the influence of the size of the weights on the occurrence of possible states of hydraulic devices, [3]. In the version of DIN 51524 (valid from April 2006), minimum requirements for hydraulic oils are prescribed, where the requirement for min. the necessary degree of purity of fresh hydraulic oil on a mineral basis. This means that fresh oils are still not suitable for direct use in modern hydraulic systems today (although they meet the requirements of DIN 51524). Especially because the requirements for the purity of the hydraulic elements and oils are sharpening. Also, there are still differences between manufacturers who, in an excessive desire for a low price, offer a suspicious quality of the "fresh" hydraulic oil. There are countless examples.

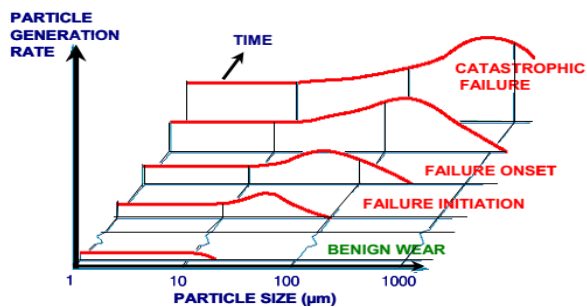


Fig. 5 Influence of the size of the weights on possible conditions hydraulic components

3. SELECTION OF MONITORING AND DIAGNOSTIC MODULE

The selection and maintenance of the required purity of the hydraulic working fluid for a specific purpose is prescribed according to the built-in parts, as prescribed by the manufacturers of machines or hydraulic devices. When these data are not available, general recommendations and guidelines should be followed [2,3, 6,7,8]. They provide general recommendations for all devices, especially for devices that are most sensitive to the hydraulic system. From them it can be seen that the required degree of cleanliness, for example, for servo valves, is significantly higher than the classic on - of distribution. Regarding the average values of hydraulic oil purity, they are defined by known standards as well as recommendations by world-renowned manufacturers of these devices. The

necessary purity can be achieved and maintained by additional filtering that must be performed by the user when charging, before commissioning the hydraulic system, as well as regular servicing or oil change. The choice of the monitor method depends on the user's requirements, and to a certain extent, to the end customer. However, it is recommended that the user accurately evaluate, before purchasing the monitoring, what his requirements are, because they sometimes represent a significant cost. This is directly related to the compulsory planning and education of personnel for maintenance services. The operator must be familiar with the principle of measuring the device, how to use it, and how to interpret the measured data. The possibility of direct integration of monitoring into the existing management system should also be considered. The monitoring of the state of hydraulic fluids expressed by the degradation of their properties shows, Fig. 6 [8].

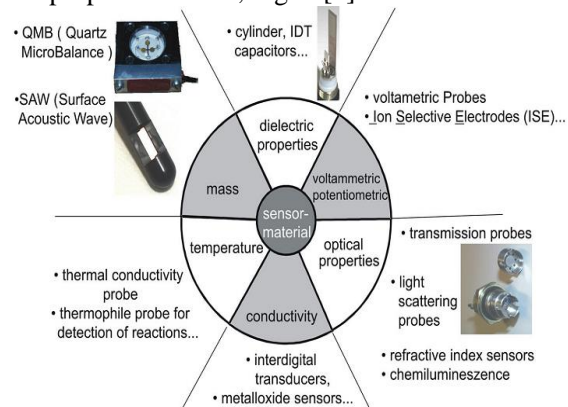


Fig. 6 Sensor measurement principle

In accordance with the requirements for monitoring the cleanliness of the working fluid, the requirements [4,6,7,9,10,11] should be respected:

- It is necessary to measure the relatively low concentration of "small" particles, i.e. <math>< 10 \mu\text{m}</math>,
- It is necessary to measure a wide range of size and concentration of particles,
- Present data in an acceptable form eg. coding such as ISO 4406 or AS4059, proven accuracy and repeatability,
- Results "immediately" or at least for a short time. Corrective measures achieved with min.
- Must be able to analyze a wide range of liquids,
- To have an "acceptable" price.

4. EXAMPLE OF CONTAMINATION MEASUREMENT

For the measurement of the content of solid particles, Parker's LCM20 device was used fig. 8 [12]. Typical fields of application are hydraulic systems for: mobile machines, industrial plants, hydraulic equipment and all production systems, as well as the device and hydraulic systems

incorporated in military propulsion systems. Sampling is done for systems that work in an industrial plant that takes care of maintenance oil and substitutes. The results are shown and listed in the form of the report shown in fig.8 [12].



Fig. 7 Appearance of the Parker's LCM 20 device

The measurement of the purity class according to (NAS standard): 8 (17/15/12-ISO standard) [4,7,10,12].

Parker LCM20		Parker LCM20	
Using Bottle Sampler		Using Bottle Sampler	
Test Number 805		Test Number 805	
1		1	
Date	D M Y	Date	D M Y
Time	13:26	Time	13:26
NAS Class	8	ISO:	17/15/12
Counts/100ml		Counts/100ml	
4-6µ(C)	48921	>4µ(C)	71342
NAS Class	—	>6µ(C)	23321
6-14µ(C)	20579	>14µ(C)	2742
NAS Class	7	>21µ(C)	1857
14-21µ(C)	1685	>38µ(C)	289
NAS Class	6	>78µ(C)	12
21-38µ(C)	857	NAS Class	8
NAS Class	7	>78µ(C)	12
38-78µ(C)	188	NAS Class	6
NAS Class	8		
>78µ(C)	12		
NAS Class	6		
Notes		Notes	
02: 1730		B.02: 1730	

Fig. 8 Results of oil analysis LCM20 (Parker)

4. CONCLUSION

On the basis of everything, it can be concluded:

- That the presence of a contaminant is significantly influenced by the lifetime and reliability of hydraulic devices;
- Monitoring the purity of hydraulic fluids is the simplest and most cost-effective monitoring technique in any maintenance case;
- In order to achieve optimum system performance, a specification of cleanliness of the liquid should be developed based on the sensitivity requirements for pollutants and the desired reliability according to the user's request;
- The system should regularly monitor the data and compare them with specification and corrective actions, to be immediately implemented if the specification is exceeded. This will ensure safe operation, leading to productivity growth, product quality improvements, profitability and total customer and customer satisfaction.

5. REFERENCES

- [1] PALL (Pall Corporation) (2016); Filtration (e – Book), septembar 2016, (pp. 41),
 - [2] ISO/FDIS 12669; Hydraulic fluid power — Method for determining the required cleanlinesslevel (RCL) of a system, ISO/TC 131/SC 6,2017, (pp. 22),
 - [3] Geoff Grant, Mike Day, ; Cleanliness Monitoring of Hydraulic Systems, 78.157.217.101/.../ Cleanliness-Levels-In-Hydraulic-Systems-.. (02.11.2017), (pp.10),
 - [4] Parker Hanifin ;Guide to Contamination Standards, <https://www.parker.com/literature/> 03.1.2017,
 - [5] Related Fluid Power: DC Power Units, Contamination & Oil Cleanliness, 01,www.relatedfluidpower.com (pp.5),
 - [6] Schroeder industries; Contamination Guide for Hydraulic Fluids, Oils and Diesel Fuels (L-4532), Schroeder Industries, <https://schroederindustries.com/.../L-4532-Contamination> (03.11.2017) (pp.31),
 - [7] Parker Hanifin; Condition Monitoring Product Overview and Ordering InformationVersion 2.0, Bulletin MA - K19594 - KW 2.0 10/2014 FC, (pp. 12),
 - [8] Lovrec D., Tič V.;ON-LINE CONDITION MONITORING SYSTEMS FOR HYDRAULIC MACHINES, FACTA UNIVERSITA TIS Mechanical Engineering Vol. 10, No 1, 2012, (pp. 81 – 89),
 - [9] HYDAC FILTERS SYSTEMS; Practical Contamination Management From Processing to Delivery, E7.604.1/ 05.09, www.hydac.com, (pp.49),
 - [10] Rexroth Bosch Group; Environmentally acceptable hydraulic fluids, Application notes and requirements for Rexroth hydraulic components, RE 90221/05.12 1/14 Replaces: 05.10 (pp. 14),
 - [11] STAUFF (2017); STAUFF Filtration Technology (Catalogue 9), Germany,Walter Stauffenberg GmbH& Co. KG, 9910000429 – 10/2017, www.stauff.com, (pp. 216),
 - [12] Pneumatik Fleks (Nova Pazova); Izveštaj kontrole merenja od 21.01.2018. (pp.1)
- Autori:** dr Milutin Živković, prof. str. studija, dr Marina Karić, prof. str. sudija, dr Pravić Predrag,asistent, Petrović Zvonko, asistent
Visoka tehnička mašinska škola strukovnih studija, Radoja Krstića 19, 37240 Trstenik, Srbija, Tel. +381 714 121
E-mail: milutinziwkoviets@gmail.com, karicmarina@gmail.com, thepera81@gmail.com, zvonko.petrovic@vtmsts.edu.rs

Gvozdić, E., Matić Bujagić, I., Tolić Stojadinović, Lj., Grujić, S., Đurkić, T.

PRIPREMA UZORAKA VODE ZA ANALIZU VEŠTAČKIH ZASLAĐIVAČA

Rezime: Veštački zaslađivači se decenijama koriste kao aditivi u hrani, piću i farmaceutskim proizvodima. Savremena istraživanja su pokazala široku rasprostranjenost ovih supstanci u prirodnim i otpadnim vodama, zbog čega su svrstani u klasu emergentnih zagađujućih materija. U ovom radu je prikazana optimizacija metode pripreme uzoraka vode ekstrakcijom na čvrstoj fazi za određivanje tragova odabranih veštačkih zaslađivača. Ova metoda omogućava istovremeno izolovanje i koncentrovanje analita, ali i prečišćavanje ekstrakta uzorka. Prilikom razvoja metode izvršen je izbor optimalnog adsorbenta, zapremine i pH vrednosti uzorka vode, kao i rastvarača za eluiranje analita sa pakovanja kolone. Dobijeni ekstrakti su analizirani metodom tečne hromatografije–masene spektrometrije.

Ključne reči: emergentne zagađujuće materije; veštački zaslađivači; ekstrakcija na čvrstoj fazi; tečna hromatografija–masena spektrometrija.

1. UVOD

Veštački zaslađivači su supstance koje se koriste za postizanje slatkog ukusa prehrambenih i farmaceutskih proizvoda, ali za razliku od šećera odlikuje ih niska ili nulta energetska vrednost [1]. Ova jedinjenja se uglavnom ne metabolišu u ljudskom telu i izlučuju se nepromenjena. Glavni put dospevanja veštačkih zaslađivača u životnu sredinu predstavljaju komunalne otpadne vode. Posebno je zabrinjavajuće što se ove supstance ne uklanjaju u potpunosti u postrojenjima za prečišćavanje otpadnih voda, što dovodi do njihovog kontinualnog unosa u vodenu sredinu. Njihovo ponašanje u životnoj sredini i dugoročni ekotoksikološki uticaj i dalje su nepoznati, pa su iz tog razloga svrstani u klasu emergentnih zagađujućih materija [2,3]. Pored toga, prisustvo veštačkih zaslađivača u prirodnim vodama može da se koristi kao indikator zagađenja komunalnim otpadnim vodama [4].

Dosadašnja istraživanja pokazuju široku rasprostranjenost veštačkih zaslađivača u različitim matricama iz životne sredine, pri čemu su koncentracije acesulfama i sukraloze najveće (do nekoliko stotina $\mu\text{g L}^{-1}$) [5]. S obzirom na to da su veštački zaslađivači u prirodnim i otpadnim vodama prisutni u veoma niskim koncentracijama, neophodna je osetljiva i pouzdana analitička metoda za određivanje tragova ovih supstanci u vodi. Pregledom literature zaključeno je da je najčešće korišćena instrumentalna tehnika za određivanje ovih jedinjenja tečna hromatografija u sprezi sa tandem masenom spektrometrijom (eng. liquid chromatography–tandem mass spectrometry, LC–MS/MS) [5]. Takođe, ekstrakcija na

čvrstoj fazi (eng. solid-phase extraction, SPE) predstavlja vodeću analitičku metodologiju za izolovanje i predkoncentrisanje veštačkih zaslađivača iz vode, kao i za prečišćavanje ekstrakta uzorka [5–7].

U ovom radu je prikazana optimizacija metode pripreme uzoraka vode ekstrakcijom na čvrstoj fazi za određivanje tragova najčešće korišćenih veštačkih zaslađivača - acesulfama, saharina, ciklamata, sukraloze, aspartama, neohesperidin dihidrohalkona (NHDC) i neotama.

2. EKSPERIMENTALNI DEO

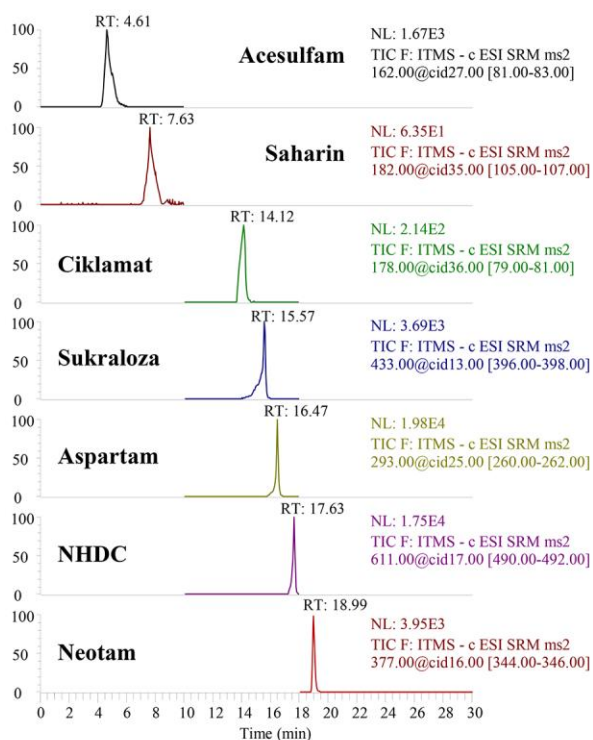
2.1 Hemikalije i reagensi

Standardne supstance pet veštačkih zaslađivača (acesulfam, saharin, ciklamat, sukraloza, aspartam) su nabavljene od proizvođača Sigma-Aldrich (Sent Luis, SAD). NHDC i neotam su kupljeni od proizvođača TCI Europe (Pariz, Francuska). Sve standardne supstance su bile visoke čistoće ($\geq 98\%$). Metanol je nabavljen od proizvođača VWR Chemicals (Brijar, Francuska), a acetonitril od proizvođača Sigma-Aldrich (Sent Luis, SAD). Amonijum-acetat je kupljen od proizvođača Fisher Chemical (Lafboro, Velika Britanija). Za podešavanje pH vrednosti uzoraka vode korišćena je koncentrovana sirćetna kiselina. Svi rastvarači su bili HPLC stepena čistoće.

2.2 LC–MS/MS analiza

LC–MS/MS analiza odabranih veštačkih zaslađivača izvršena je na Dionex UltiMate® 3000 HPLC sistemu u sprezi sa LTQ XL linearnim jonskim trapom kao masenim spektrometrom, proizvođača Thermo Fisher Scientific (Voltam,

SAD). Kao jonizacija tehnika korišćena je elektrosprej jonizacija u negativnom režimu rada. Za hromatografsko razdvajanje korišćena je reverzno-fazna kolona: Luna C8 (3,0 mm × 150 mm × 3 μm), proizvođača Phenomenex (Torans, SAD). Mobilna faza se sastojala od vode (A), metanola (B) i 1% rastvora amonijum-acetata (C). Optimalno hromatografsko razdvajanje je postignuto primenom gradijenta pri konstantnom protoku 0,33 mL min⁻¹. Gradijent se menjao na sledeći način: 0 min, A 84% B 15% C 1%; 8 min, A 84% B 15% C 1%; 13 min, A 34% B 65 % C 1%; 15 min, B 100%; 20 min, B 100%. Nakon toga, početni uslovi su ponovo uspostavljeni i držani tokom 10 min.



Sl. 1. Maseni hromatogrami odabranih veštačkih zaslađivača dobijeni LC-MS/MS analizom standardnog rastvora koncentracije 500 ng mL⁻¹

Pri uspostavljanju maseno-spektrometrijskog protokola, za svaki analit odabran je prekursor jon koji je dalje fragmentisan uz optimizaciju kolizione energije. Kao prekursor joni za sve analite odabrani su deprotonovani molekuli, osim u slučaju sukraloze, za koju je odabran adukt sa hlorom. Najintenzivniji i najstabilniji fragmenti jon je izabran za kvantifikaciju svakog analita. Na osnovu rezultata MSⁿ analize, pored reakcije fragmentacije za kvantitativno određivanje (slika 1), odabrana je i reakcija za potvrdu prisustva svakog zaslađivača.

2.3 SPE optimizacija

Prilikom optimizacije metode ekstrakcije na

čvrstoj fazi testirani su sledeći parametri: vrsta adsorbenta, pH vrednost i zapremina uzorka vode, kao i vrsta rastvarača za eluiranje. Ispitivana je pogodnost jono-izmenjivačkih, polimernih, C18 i ugljeničnih adsorbenata za ekstrakciju odabranih veštačkih zaslađivača. Testirano je osam SPE kertridža različitih proizvođača: Supelclean LC-SAX (500 mg/3 mL), Supelclean ENVI-18 (500 mg/6 mL), Supelclean LC-18 (500 mg/3 mL), Supelclean ENVI-Carb (500 mg/6 mL) od proizvođača Supelco (Belfont, SAD); Oasis MAX (30 mg/1 mL), Oasis HLB (200 mg/6 mL) od proizvođača Waters (Milford, SAD); Bakerbond SDB-1 (30 mg/1 mL) od proizvođača J.T. Baker (Filipsburg, SAD); i Strata X (200 mg/6 mL) od proizvođača Phenomenex (Torans, SAD).

U odgovarajuću zapreminu dejonizovane vode dodat je standardni rastvor smeše sedam zaslađivača tako da početna koncentracija za svaki analit u uzorku bude 5 ng mL⁻¹. SPE kolone su kondicionirane sa 5 mL metanola, a zatim sa 5 mL dejonizovane vode, bez podešavanja pH. Pripremljeni uzorci su nanošeni na kertridže, koji su potom sušeni na vakuumu 10 min. Zatim su analiti eluirani sa 10 mL metanola. Dobijeni ekstrakti su uparavani i rekonstituisani do zapremine od 1 mL pomoću metanola. Nakon toga, finalni ekstrakti su filtrirani kroz 0,45 μm poli(viniliden-fluorid) filtere (PVDF), od proizvođača Roth (Karlsruhe, Nemačka).

Nakon izbora odgovarajućeg adsorbenta, ispitivana je optimalna pH vrednost uzorka vode. Testirane su sledeće vrednosti: 2,0, 3,0 i 6,0. Navedeni eksperimenti su izvedeni na isti način kao u prethodnom ispitivanju optimalnog adsorbenta.

U cilju ispitivanja kapaciteta adsorbenta za ekstrakciju analita i sprečavanja ispiranja zaslađivača sa kolone u sledećem koraku SPE optimizacije testirane su sledeće zapremine uzorka vode koje se nanose na kertridž: 50 mL, 100 mL i 250 mL. Eksperimenti su izvedeni na isti način kao u prethodnom koraku optimizacije, uz podešavanje pH uzorka na optimalnu vrednost.

Konačno, kao rastvarači za eluiranje analita sa pakovanja kolone testirani su metanol i acetonitril. Oba navedena eksperimenta su izvedena pod istim uslovima, a za ekstrakciju zaslađivača korišćena je zapremina eluenta od 10 mL.

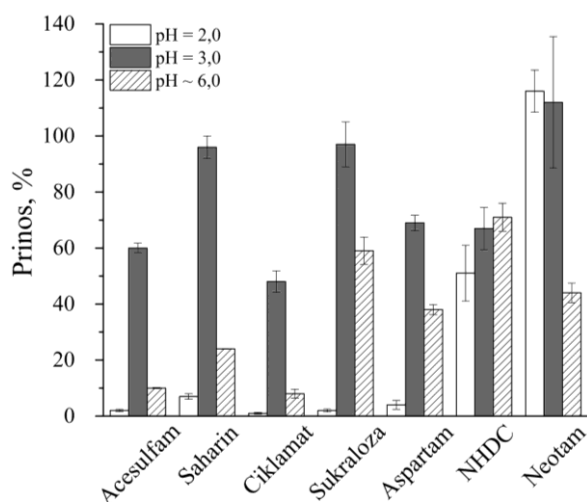
3. REZULTATI I DISKUSIJA

Na osnovu rezultata eksperimenata optimizacije adsorbenta, koji su prikazani u tabeli 1, može se zaključiti da su najveći prinosi metode za većinu zaslađivača dobijeni kada su korišćeni Oasis HLB kertridži.

Tabela 1. Prinosi metode pri korišćenju različitih adsorbenata

	Prinos, % (RSD, %)							
	Supelclean LC-SAX	Oasis MAX	Supelclean LC-18	Supelclean ENVI-18	Supelclean ENVI-Carb	Bakerbond SDB-1	Strata X	Oasis HLB
Acesulfam	0 (0)	0 (0)	2 (14)	1 (19)	0 (0)	1 (19)	2 (5)	10 (2)
Saharin	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	7 (2)	24 (1)
Ciklamat	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	8 (19)
Sukraloza	1 (17)	48 (4)	91 (13)	46 (12)	106 (5)	82 (3)	88 (7)	59 (13)
Aspartam	3 (9)	74(1)	86 (2)	82 (2)	1 (19)	3 (12)	75 (6)	38 (5)
NHDC	19 (3)	72 (4)	80 (7)	94 (3)	0 (0)	32 (18)	94 (2)	71 (7)
Neotam	5 (13)	103 (4)	75 (5)	98 (3)	0 (0)	74 (4)	87 (5)	44 (8)

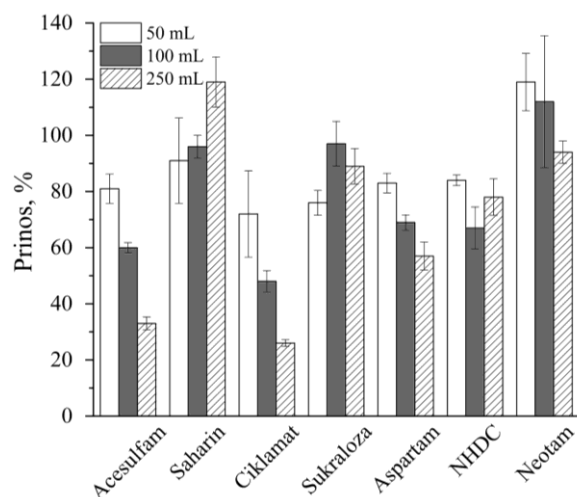
Visoki prinosi se mogu objasniti time što Oasis HLB adsorbent sadrži polimer na bazi *N*-vinilpirolidona sa divinil-benzenom i tako poseduje hidrofilna (*N*-vinil-pirolidon) i lipofilna (divinilbenzen) svojstva, što je pogodno za ekstrakciju širokog spektra analita različitih polarnosti. S druge strane, C18 (Supelclean LC-18, Supelclean Envi-18), jono-izmenjivački (Oasis MAX) i polimerni Strata X adsorbenti su pokazali visoku efikasnost ekstrakcije (46%–103%) za četiri analita (sukraloza, aspartam, NHDC i neotam). Dodatno, svi adsorbenti osim Oasis HLB su pokazali minimalnu efikasnost za ekstrakciju acesulfama, saharina i ciklamata (0%–7%). Ovi rezultati su u skladu sa drugim studijama, kod kojih su takođe dobijeni niski prinosi za tri zaslađivača u prvim koracima SPE optimizacije [5,6]. Veoma nisku efikasnost ekstrakcije su pokazali polimerni Bakerbond SDB-1, jonoizmenjivački Supelclean LC-SAX, kao i ugljenični adsorbent Supelclean ENVI-Carb. Na osnovu navedenih rezultata, Oasis HLB kertridž je izabran kao optimalan za dalji razvoj SPE metode.



Sl. 2. Optimizacija pH vrednosti uzorka vode

Utvrđeno je da je pH vrednost uzorka vode izuzetno značajan parametar za povećanje efikasnosti ekstrakcije odabranih veštačkih zaslađivača. Za većinu analita, najveći prinosi (69%–112%) su dobijeni kada je pH vrednost bila

podešena na 3,0 (slika 2). U odnosu na ekstrakciju bez podešavanja pH uzorka, značajno su bili povećani prinosi za acesulfam (za 50%), saharin (za 72%), ciklamat (za 40%) i sukralozu (38%), što se slaže sa podacima iz literature kada su vršeni slični eksperimenti [5]. Zbog toga je pH vrednost 3,0 za uzorak vode izabrana kao optimalna u daljim eksperimentima SPE optimizacije.

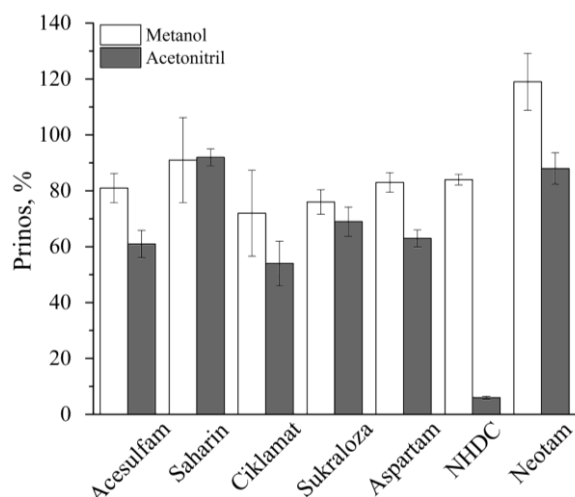


Sl. 3. Optimizacija zapremine uzorka vode

Pri odabiru optimalne zapremine uzorka vode zaključeno je da 50 mL uzorka obezbeđuje dovoljno visok faktor predkoncentrisanja uz kraće vreme eksperimenta (slika 3). S druge strane, kada su nanošene veće zapremine uzorka utvrđeno je da dolazi do ispiranja acesulfama i ciklamata sa pakovanja kolone, što je rezultovalo značajno nižim prinosisima metode za ova dva analita.

U daljim eksperimentima, prilikom testiranja metanola i acetonitrila kao rastvarača za eluiranje, primenom metanola dobijeni su zadovoljavajući prinosi metode (72–119%, slika 4), dok su sa acetonitrirom dobijeni prinosi koji nisu bili prihvatljivi za većinu veštačkih zaslađivača (<70%). Ovakvi rezultati se mogu objasniti slabom rastvorljivošću pojedinih analita u acetonitrilu, zbog čega je metanol odabran kao optimalan eluent. Takođe, utvrđeno je da je zapremina od 10 mL metanola dovoljna da se svi

analiti potpuno eluiraju sa pakovanja kolone.



Sl. 4. Optimizacija vrste rastvarača za eluiranje

4. ZAKLJUČAK

Pri optimizaciji metode ekstrakcije na čvrstoj fazi, kao metode pripreme uzorka vode za određivanje tragova veštačkih zaslađivača, odabrani su parametri koji obezbeđuju visok stepen izolovanja izabranih analita. Optimizovana SPE metoda podrazumeva nanošenje 50 mL uzorka vode, kome je prethodno podešena pH vrednost na 3,0, na Oasis HLB adsorbent, pri čemu se analiti eluiraju sa pakovanja kolone pomoću 10 mL metanola.

Razvijena SPE metoda može se koristiti kao metoda pripreme uzorka za LC-MS/MS analizu tragova veštačkih zaslađivača u podzemnim, površinskim i otpadnim vodama, kao i u vodi za piće.

5. ZAHVALNICA

Izradu ovog rada je finansiralo Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (br. projekta ON 172007).

6. REFERENCE

- [1] Caroch, M., Morales, P., Ferreira, I.: *Sweeteners as food additives in the XXI century: A review of what is known, and what is to come*, Food Chem. Toxicol., 107, 302–317, 2017.
- [2] Lange, F.T., Scheurer, M., Brauch, H.: *Artificial sweeteners – a recently recognized class of emerging environmental contaminants: a review*, Anal. Bioanal. Chem., 403, 2503–2518, 2012.

- [3] Houtman, C.J.: *Emerging contaminants in surface waters and their relevance for the production of drinking water in Europe*, J. Integr. Environ. Sci., 7, 271–295, 2017.
- [4] Tran, N.H., Hu, J., Li, J., Ong, S.L.: *Sustainability of artificial sweeteners as indicators of raw wastewater contamination in surface water and groundwater*, Water Res., 48, 443–456, 2014.
- [5] Kokotou, M.G., Asimakopoulos, A.G., Thomaidis, N.S.: *Artificial sweeteners as emerging pollutants in the environment: analytical methodologies and environmental impact*, Anal. Methods, 4, 3057–3070, 2012.
- [6] Zygler, A., Wasik, A., Namiesnik, J.: *Retention behaviour of some high-intensity sweeteners on different SPE sorbents*, Talanta, 82, 1742–1748, 2010.
- [7] Arbeláez, P., Borrull, F., Pocurull, E., Marcé, R.M.: *Determination of high-intensity sweeteners in river water and wastewater by solid-phase extraction and liquid-phase chromatography–tandem mass spectrometry*, J. Chrom. A, 1393, 106–114, 2015.

Autori: Eleonora Gvozdić, istraživač pripravnik, dr Ljiljana Tolić Stojadinović, istraživač saradnik, Inovacioni centar Tehnološko-metalurškog fakulteta, Karnegijeva 4, 11120 Beograd, Srbija, Tel: +381 11 3370 410, Fax: +381 11 3370 400. **Dr Ivana Matić Bujagić, naučni saradnik, prof. dr Svetlana Grujić, vanredni profesor, prof. dr Tatjana Đurkić, redovni profesor,** Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, Karnegijeva 4, 11120 Beograd, Srbija, Tel: +381 11 3370 410, Fax: +381 11 3370 387.

E mail: egvozdic@tmf.bg.ac.rs
ljtolic@tmf.bg.ac.rs
imatic@tmf.bg.ac.rs
cekili@tmf.bg.ac.rs
tanjav@tmf.bg.ac.rs

Adamović, S., Adamović, D., Mihailović, A., Pinčjer, I., Banjanin, B., Đurđević, S.

ANALIZA KONCENTRACIONIH NIVOVA PM₁₀ SUSPENDOVANIH ČESTICA U ŠTAMPARIJI

Rezime: Cilj rada je kvantifikacija koncentracionih nivoa suspendovanih PM₁₀ čestica u ambijentalnom vazduhu štamparije tokom 40 nedeljnih radnih sati. Najviše kumulativne koncentracije suspendovanih PM₁₀ čestica detektovane u ambijentalnom vazduhu štamparije čiji su izvori jednobojna i četvorbojna digitalna mašina i grafički nož za osmočasovno vreme su manje od 10, 5 i 4 µg/m³, redom. Čak i tri puta veće kumulativne koncentracije suspendovanih PM₁₀ čestica u ambijentalnom vazduhu štamparije ne prelaze 50 µg/m³ za 24 sata prema važećim domaćim i internacionalnim zakonskim propisima.

Ključne reči: Grafička industrija, ambijentalan vazduh, suspendovane čestice

1. UVOD

S' obzirom na prisustvo grafičke industrije u svakodnevnim aktivnostima čoveka, istraživanja zagađivanja životne sredine ukazuju na potencijalno negativni uticaj grafičke proizvodnje na njeno okruženje kroz produkciju čvrstog, tečnog i gasovitog otpada. Zato je neophodno neopasan i opasan grafički otpad adekvatno reciklirati i posle odgovarajućeg tretmana odložiti u životnu sredinu. Međutim, neophodna je i kontrola sirovina koje se koriste u grafičkim proizvodnim procesima i kontinualni monitoring kontaminanata koje iste proizvode tokom grafičkog proizvodnog procesa.

Izvori suspendovanih čestičnih materija u štampariji su prašenje papira i procesi obrade štampanog i neštampanog papira (sakupljanje, sortiranje, povezivanje i sečenje papira). Prašenje papira je pojava oslobađanja sitnih čestica sa površine papira u toku njegove prerade, usled trenja. Radi se uglavnom o prekratkim i nedovoljno isprepletanim vlakancima ili česticama punioca koje nisu dovoljno vezane za sam list papira ili su samo vezani delovanjem statičkog elektriciteta. Prašina se javlja i u papiru koji je nestručno obrezan u formate ili rolne, npr. tupim grafičkim nožem [1].

Takođe, u digitalnoj tehnici štampe izvori čestičnih materija su praškasti toneri. Toneri za digitalnu štampu imaju gustinu od 1,21 do 1,48 g/cm³ i na temperaturi od 25°C nalaze se u čvrstom stanju. Praškasti toneri mogu biti mikrotoneri sa česticama nosača veličine od 4 do 15 µm, jednokomponentni (čestice nosača od 15 do 30 µm) i dvokomponentni (čestice nosača od 30 do 35 µm) i po sastavu su železne, staklene ili prahovi nekih soli [2]. Digitalna štamparska oprema može da proizvede od 3000 do 1,3 miliona

čestica/cm³, koje imaju prečnike u rasponu od 49 do 208 nm [3], ali je najčešće prečnik čestica manji od 100 nm [4].

Suspendovane čestične materije su kompleksne smeše čvrstih i tečnih organskih i neorganskih supstanci (sulfata, nitrata, amonijaka, natrijum-hlorida, ugljenika, mineralne prašine i vode) koje se inhalatorno deponuju u respiratornom sistemu sa potencijalno negativnim dejstvom. Danas se uglavnom koncentracije suspendovanih čestičnih materija u ambijentalnom vazduhu kvantifikuju na osnovu merenja masenih koncentracija čestica dijametra < 10 µm (PM₁₀) i/ili čestica dijametra < 2,5 µm (PM_{2,5}) [5].

Tokom grafičkih proizvodnih procesa proizvode se suspendovane čestice koje imaju uticaj na neposrednu okolinu, a samim tim i na tehnička lica koja te procese direktno opslužuju. Cilj rada je kvantifikacija koncentracionih nivoa suspendovanih PM₁₀ čestica u ambijentalnom vazduhu štamparije tokom 40 nedeljnih radnih sati. Na osnovu dobijenih rezultata utvrđeno je koji proizvodni procesi štampe i mašine doprinose povećanju koncentracije suspendovanih PM₁₀ čestica u ambijentalnom vazduhu štamparije. Takođe, u radu je izvršena komparacija detektovanih koncentracija suspendovanih PM₁₀ čestica u ambijentalnom vazduhu štamparije sa graničnim vrednostima emisije prema propisanim domaćim i internacionalnim zakonskim aktima.

2. EKSPERIMENTALNI DEO

2.1 Opis štamparije i njenih proizvodni procesa

Koncentracioni nivoi suspendovanih PM₁₀ čestica monitoringovani su u ambijentalnom vazduhu štamparije departmana za Grafičko inženjerstvo i dizajn, Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu. U štampariji su zaposlena 2 radnika,

ali kako se štamparija koristi i za edukaciju studenata, u periodu monitoringa od 5 dana u štampariji je bilo prisutno od 2 do 5 studenata na praksi.

Tokom monitoringa suspendovanih PM₁₀ čestica u ambijentalnom vazduhu, u štampariji su se sprovodili sledeći procesi digitalne štampe (elektrofotografski postupak) na jednobojnoj i četvorbojnoj mašini i obrada materijala rezanjem na grafičkom nožu.

Tokom navedenih proizvodnih procesa upotrebljeni su grafički materijali: ofset papir (G = 80 g/m²) i cijan, magenta, žuta i crna Xerox digitalne boje.

Za obavljanje proizvodnih procesa i dobijanje međuproizvoda i finalnih grafičkih proizvoda upotrebljene su sledeće mašine:

- Xerox D95A - jednobojna štamparska mašina;
- Xerox DocuColor 252 - četvorbojna štamparska mašina;
- PERFECTA 76 hTVC (grafički nož) - mašina za obradu materijala rezanjem.

2.2 Analiza suspendovanih PM₁₀ čestica u ambijentalnom vazduhu štamparije

Masene koncentracije suspendovanih PM₁₀ čestica u ambijentalnom vazduhu štamparije određene su primenom gravimetrijske metode prema standardu SRPS EN 12341:2015 [6].

Za eksperiment su upotrebljeni: uzorkivač za analizu čestičnih materija (BAGHIRRA s.r.o., Prague, Czech Republic), analitička vaga (KERN analytical balance, model ABJ-120, Germany), filter papiri prečnika 47 mm (Whatman, UK) i pinceta.

Količina suspendovanih PM₁₀ čestica (µg/m³) u ambijentalnom vazduhu štamparije određuje se prema formuli (1) [6]:

$$Q_{PM_{10}} = \frac{m_2 - m_1}{V} \cdot 10^6 \quad (1)$$

gde su: $Q_{PM_{10}}$ – količina suspendovanih PM₁₀ čestica (µg/m³), m_1 i m_2 – mase filter papira pre i posle uzorkovanja (g), redom i V – zapremina propuštenog vazduha (m³).

Dnevne osmočasovne vrednosti izračunate su kumulativnim sabiranjem jednočasovnih podataka ažuriranih svakog sata.

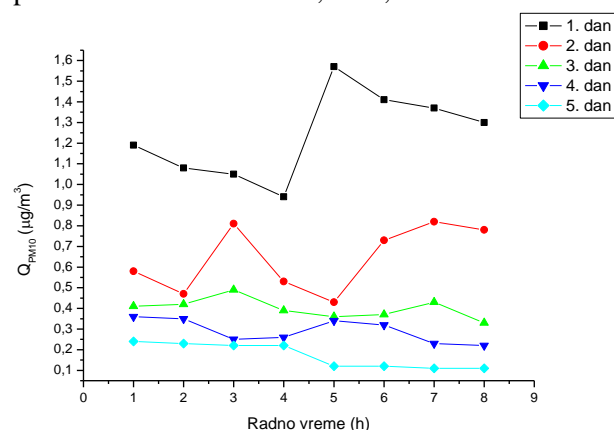
3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1. Kvantifikacija koncentracionih nivoa suspendovanih PM₁₀ čestica u štampariji

Koncentracioni nivoi suspendovanih PM₁₀ čestica izmereni su svakog dana 1 sat pre početka rada ispitivanih mašina Xerox D95A, Xerox DocuColor 252 i PERFECTA 76 hTVC. Intervali

koncentracionih nivoa suspendovanih PM₁₀ čestica su bili ujednačeni sa srednjom donjom granicom od 0,867 µg/m³ i srednjom gornjom granicom od 0,870 µg/m³.

Detektovane koncentracije suspendovanih PM₁₀ čestica za jednočasovno uzorkovanje, tokom osmočasovnog radnog vremena i petodnevnog monitoringa pored ispitivanih mašina (jednobojne, četvorbojne digitalne mašine i grafičkog noža) prikazane su na slikama 1, 2 i 3, redom.



Sl. 1. Koncentracije suspendovanih PM₁₀ čestica za osmočasovno radno vreme tokom petodnevnog monitoringa pored jednobojne štamparske mašine Xerox D95A

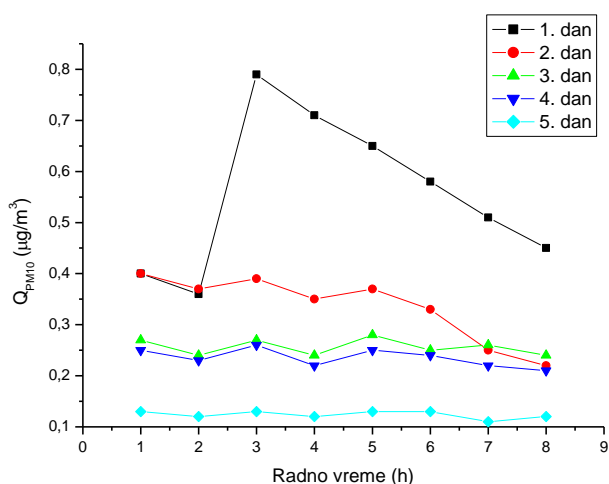
Tokom osmočasovnog monitoringa intervali koncentracionih nivoa suspendovanih PM₁₀ čestica pored jednobojne štamparske mašine Xerox D95A od prvog do petog dana iznosili su: 0,94 - 1,57 µg/m³, 0,43 - 0,82 µg/m³, 0,33 - 0,49 µg/m³, 0,22 - 0,36 µg/m³ i 0,11 - 0,24 µg/m³, redom. Dobijeni rezultati pokazuju da koncentracioni nivoi suspendovanih PM₁₀ čestica opadaju u nizu od 1. do 5. dana monitoringa (slika 1).

Najveća pojedinačna količina suspendovanih PM₁₀ čestica (1,57 µg/m³) izmerena je petog sata prvog dana monitoringa. Najniže pojedinačne količine suspendovanih PM₁₀ čestica (0,11 µg/m³) izmerene su sedmog i osmog sata petog dana monitoringa. Odnosi najveća/najmanja količina suspendovanih PM₁₀ čestica tokom petodnevnog monitoringa iznosili su: 1,7, 1,9, 1,5, 1,6 i 2,2, redom. Dakle, najveća razlika između najmanje i najveće količine suspendovanih PM₁₀ čestica izmerena je petog dana monitoringa.

Kumulativne vrednosti koncentracija suspendovanih PM₁₀ čestica za osmočasovno radno vreme, opadaju od 1. (9,90 µg/m³) do 5. dana (1,36 µg/m³) monitoringa, što je u saglasnosti sa smanjivanjem tiraža štampe. Tiraž prvog dana iznosio je 4260 strana (A4 format na proširenom A3 formatu, 305 x 430 mm), dok je poslednjeg dana iznosio 1100 strana istog formata.

Dakle, količina emitovanih suspendovanih PM₁₀ čestica iz digitalne mašine zavisi od tiraža i frekvencije rada digitalne štampe tokom jednog sata.

Intervali koncentracionih nivoa suspendovanih PM₁₀ čestica pored četvorbojne štamparske mašine Xerox DocuColor 252 za osmočasovni monitoring iznosili su: 0,36 - 0,79 µg/m³ (1. dan), 0,22 - 0,40 µg/m³ (2. dan), 0,24 - 0,28 µg/m³ (3. dan), 0,21 - 0,26 µg/m³ (4. dan) i 0,11 - 0,13 µg/m³ (5. dan). Dobijeni rezultati pokazuju da koncentracioni nivoi suspendovanih PM₁₀ čestica opadaju u nizu od 1. do 5. dan (slika 2).



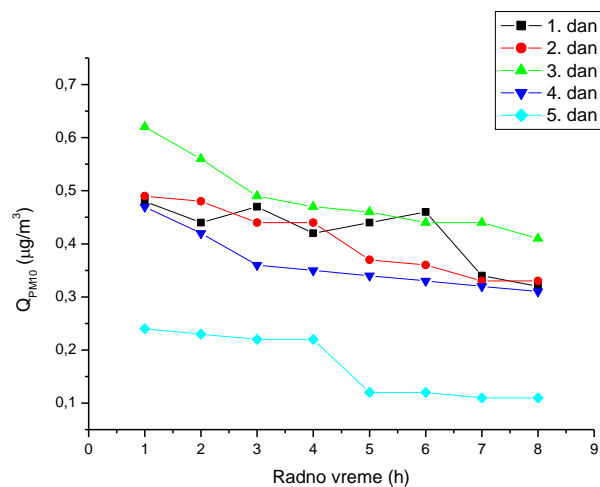
Sl. 2. Koncentracije suspendovanih PM₁₀ čestica za osmočasovno radno vreme tokom petodnevnog monitoringa pored četvorbojne štamparske mašine Xerox DocuColor 252

Tokom petodnevnog monitoringa za četvorbojnu mašinu najveća količina suspendovanih PM₁₀ čestica (0,79 µg/m³) izmerena je posle trećeg sata prvog dana, dok je najniža količina (0,11 µg/m³) izmerena sedmog sata petog dana monitoringa. Dobijeni rezultati pokazuju da je najveća količina (0,79 µg/m³) suspendovanih PM₁₀ čestica 2,2 puta veća u odnosu na najmanju količinu (0,36 µg/m³). Tokom preostala četiri dana odnosi najveća/najmanja količina su niži i iznose: 1,8 (1 i 2. dan) i 1,2 (od 3. do 5. dana).

Kumulativne vrednosti koncentracija suspendovanih PM₁₀ čestica za osmočasovno radno vreme, opadaju od 1. (4,44 µg/m³) do 5. dana (0,99 µg/m³) monitoringa. Dobijeni rezultati su u saglasnosti sa smanjivanjem tiraža štampe od prvog do petog dana merenja i proizvoljnom frekvencijom digitalne štampe od strane operatera.

Za osmočasovni monitoring tokom pet dana intervali koncentracionih nivoa suspendovanih PM₁₀ čestica pored grafičkog noža PERFECTA 76 hTVC iznosili su: 0,48 - 0,32 µg/m³, 0,49 - 0,33 µg/m³, 0,62 - 0,41 µg/m³, 0,47 - 0,31 µg/m³ i 0,24

- 0,11 µg/m³, redom od prvog do petog dana. Koncentracioni nivoi suspendovanih PM₁₀ čestica opadaju u nizu: 3 dan > 1. dan ~ 2. dan > 4. dan > 5. dan (slika 3).



Sl. 3. Koncentracije suspendovanih PM₁₀ čestica za osmočasovno radno vreme tokom petodnevnog monitoringa pored grafičkog noža PERFECTA 76 hTVC

Najveća pojedinačna količina suspendovanih PM₁₀ čestica (0,62 µg/m³) za grafički nož izmerena je posle prvog sata trećeg dana monitoringa. Najniža pojedinačna količina suspendovanih PM₁₀ čestica (0,11 µg/m³) izmerena je osmog sata petog dana monitoringa. Takođe, dobijeni rezultati pokazuju da su odnosi najveća/najmanja količina suspendovanih PM₁₀ čestica tokom petodnevnog monitoringa za grafički nož iznosili: 1,5 (od 1. do 4. dana) i 2,2 (5. dana).

Kumulativna (3,88 µg/m³) vrednost koncentracija suspendovanih PM₁₀ čestica za osmočasovno radno vreme je najveća trećeg dana. Obrada štampanog i neštampanog materijala rezanjem sa grafičkim nožem je isključivo poluautomatski proces i frekvencija rad noža zavisi samo od operatera.

3.2. Komparacija koncentracija suspendovanih PM₁₀ čestica sa graničnim vrednostima emisije

Zaštita vazduha u Srbiji regulisana je Zakonom o zaštiti vazduha [7] i Uredbom o uslovima za monitoring i zahtevima kvaliteta vazduha [8] koji su usklađeni sa Direktivom EU (Direktiva Saveta 1999/30/EC, koja je kasnije izmenjena Direktivom Saveta 2008/50/EC) [9]. U tabeli 1 prikazane su granične vrednosti emisije (GVE) suspendovanih PM₁₀ čestica koje su definisane Uredbom Republike Srbije, Direktivom Evropske unije (EU) i preporukama Svetske Zdravstvene Organizacije, SZO (eng. World Health Organization, WHO) [10].

Tabela 1. GVE suspendovanih PM₁₀ čestica u ambijentalnom vazduhu prema srpskoj Uredbi, direktivi EU i preporukama WHO [8,9,10]

Period	RS	EU	WHO
1 h (µg/m ³)	–	–	–
24 h (µg/m ³)	50	50	50
1 god. (µg/m ³)	40	40	20

Kako je monitoring sproveden u maloj štampariji koja radi samo osmočasovno radno vreme nije bilo potrebno uzorkovanje tokom 24 sata. Na osnovu najvećih kumulativnih vrednosti koncentracija suspendovanih PM₁₀ čestica od 9,90 µg/m³ (jednobojna mašina), 4,44 µg/m³ (četvorbojna mašina) i 3,88 µg/m³ (grafički nož) i uz pretpostavku da štamparija radi kapacitetom kada su detektovane maksimalne vrednosti, procenjene vrednosti tokom 24 sata bi bile 29,70, 13,32 i 10,64 µg/m³. Čak i tri puta veće koncentracije suspendovanih PM₁₀ čestica u ambijentalnom vazduhu štamparije ne prelaze GVE (50 µg/m³) za 24 sata prema navedenim zakonskim aktima.

4. ZAKLJUČAK

Digitalna štampa u odnosu na obradu materijala rezanjem više doprinosi povećanju koncentracije suspendovanih PM₁₀ čestica u ambijentalnom vazduhu štamparije. Odnosi najveća/najmanja kumulativna vrednost za četvorbojnu, jednoboju digitalnu mašinu i grafički nož iznose: 7,3, 4,5 i 2,5 puta, redom.

Upoređujući uticaj vrste digitalne mašine na povećanje koncentracije suspendovanih PM₁₀ čestica u ambijentalnom vazduhu štamparije utvrđeno je da veći doprinos ima jednoboju (1,36 - 9,90 µg/m³) u odnosu na četvorboju mašinu (0,99 - 4,44 µg/m³).

Rezultati monitoringa pokazuju da količina emitovanih suspendovanih PM₁₀ čestica iz grafičkih mašina zavisi od: tiraža, organizacije rada samog operatora na mašini i frekvencije aktivacije grafičkog procesa tokom jednog sata.

Zakonski akti Republike Srbije koji su usklađeni sa Direktivom EU i preporukama Svetske Zdravstvene Organizacije, ne definišu GVE vrednosti suspendovanih PM₁₀ čestica tokom osmočasovnog radnog vremena. Sa druge strane, nema dovoljno podataka o sistemskom praćenju koncentracionih nivoa suspendovanih PM₁₀ čestica u ambijentalnom vazduhu štamparije. Zato je neophodno sprovesti monitoring u svim tehnikama štampe kako bi se dobili relevantni podaci na osnovu kojih bi se dopunila zakonska Uredba Republike Srbije.

5. REFERENCE

- [1] Prica, M., Adamović, S.: *Grafički materijali*, FTN Izdavaštvo, Novi Sad, 2017.
- [2] Trumić, M.: *Model kinetike izdvajanja čestica tonera iz vodene suspenzije papira*, Tehnički fakultet u Boru, Bor, 2015.
- [3] Pirela, S.V., Sotiriou, G.A., Bello, D., Shafer, M., Bunker, K.L., Castranova, V., Thomas, T., Demokritou, P.: *Consumer exposures to laser printer-emitted engineered nanoparticles: A case study of life-cycle implications from nano-enabled products*, *Nanotoxicology*, 9 (6), p.p. 760-768, 2015.
- [4] Pirela, S.V., Pyrgiotakis, G., Bello, D., Thomas, T., Castranova, V., Demokritou, P.: *Development and characterization of an exposure platform suitable for physico-chemical, morphological and toxicological characterization of printer-emitted particles (PEPS)*, *Inhalation Toxicology*, 26 (7), p.p. 400-408, 2014.
- [5] Vujić, B.B., Milovanović, D.B., Ubavin, D.M.: *Analiza koncentracionih nivoa čestičnih materija (PM₁₀, ukupnih suspendovanih čestica i čađi) u Zrenjaninu*, *Hemijska industrija*, 64 (5), p.p. 453-458, 2010.
- [6] SRPS EN 12341:2015: Vazduh ambijenta - Standardna gravimetrijska metoda merenja za određivanje PM₁₀ ili PM_{2,5} masene koncentracije suspendovanih čestica.
- [7] "Službeni glasnik Republike Srbije", br. 136/09 i 10/2013, Zakon o zaštiti vazduha.
- [8] "Službeni glasnik Republike Srbije", br. 11/2010, 75/2010 i 63/2013 Uredba o uslovima za monitoring i zahtevima kvaliteta vazduha.
- [9] Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe.
- [10] WHO (2005), Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, Global Update.

Autori: Doc. dr Savka Adamović, Doc. dr Dragan Adamović, Doc. dr Aleksandra Mihailović, Doc. dr Ivan Pinčjer, Asistent MSc Bojan Banjanin, Asistent MSc Stefan Đurđević, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2634.
E-mail: adamovicsavka@uns.ac.rs;
draganadamovic@uns.ac.rs; zandra@uns.ac.rs;
pintier@uns.ac.rs; bojanb@uns.ac.rs;
djurdjevic@uns.ac.rs

Kecić, V., Prica, M., Agarski, B., Kerkez, Đ., Bečelić-Tomin, M.,
Tomašević Pilipović, D., Dalmacija B.

OCENJIVANJE ŽIVOTNOG CIKLUSA NANO NULA VALENTNOG GVOŽĐA SINTETISANOG IZ EKSTRAKTA LIŠĆA HRASTA

Rezime: *Primena nano nula valentnog gvožđa (eng. nano zero valent iron - nZVI) i njegovih derivata u tretmanu otpadnih voda i kontaminiranog zemljišta ostvaruje visoke rezultate na komercijalnom tržištu, prvenstveno zbog velike reaktivne površine nanomaterijala, visoke interakcijske aktivnosti, ekonomičnosti, ali i značajno poboljšanih električnih, optičkih i hemijskih osobina u poređenju sa konvencionalnim nula valentnim gvožđem i drugim in situ metodama. Međutim, potencijalni rizici po životnu sredinu u oblasti polja sinteze i primene nZVI su uglavnom nepoznati. Stoga se cilj rada zasniva na ispitivanju uticaja nZVI, sintetisanog „zelenom” metodom iz ekstrakta lišća hrasta, na životnu sredinu u pogledu ekoloških i ekonomskih performansi, kao i ocenjivanje njegovog životnog ciklusa.*

Ključne reči: *nano nula valentno gvožđe, metoda ocenjivanja životnog ciklusa, ekološki efekti, nanotehnologija*

1. UVOD

U poslednjih nekoliko godina nanotehnologija je stekla veliku primenu u remedijaciji životne sredine, pri čemu su značajan proboj na tržište ostvarili nanomaterijali, a među njima i čestice nano nula valentnog gvožđa (nZVI). Brojne studije su potvrdile činjenicu da ove čestice mogu da pruže inovativna rešenja za degradaciju širokog spektra zagađujućih supstanci, poput hlorovanih i halogenovanih alifatičnih jedinjenja, nitrata, nitroaromatičnih ugljovodonika, fenola, antibiotika, teških metala, neorganskih jedinjenja, pesticida i boja [1 - 3]. Široku primenu nZVI čestice su stekle zahvaljujući nanometarskim dimenzijama, velikoj specifičnoj površini, visokoj interakcijskoj aktivnosti, visokoj površinskoj reaktivnosti ali i netoksičnosti. Brojni radovi potvrđuju činjenicu da su nZVI čestice ostvarile odlične rezultate u procesu uklanjanja azo, antrahinonskih i trefenilmetanskih boja iz otpadnih voda koje vode poreklo pretežno iz tekstilne industrije [4]. Pored toga, najnovija istraživanja ukazuju na visok stepen efikasnosti primenjenih nanočestica i u tretmanu obojenih efluenata poreklom iz grafičke industrije [5]. Ipak, efikasnost uklanjanja polutanata je konstantno ograničena mogućom agregacijom nZVI čestica, čime su smanjenje njihove redukcionne sposobnosti, a samim tim i mogućnost široke primene u tretmanu otpadnih voda. U skladu sa tim, porozni materijali, poput aktivnog uglja, gline i membranskih materijala se često koriste kao podrška za disperziju nZVI, smanjenje stepena oksidacije, ali i poboljšanje mobilnosti

nanomaterijala u vodenom medijumu [4]. Pored toga, tzv. „zelena” sinteza nanomaterijala, koja se bazira na ekstrakciji nanočestica iz prirodnih proizvoda, najčešće lišća biljaka bogatim polifenolnim supstancama sa velikim antioksidativnim kapacitetom, doprinosi smanjenoj agregaciji nZVI čestica. Glavne prednosti ovakvog načina produkcije nZVI u odnosu na klasične *top-down* i *bottom-up* metode su: niža toksičnost upotrebljivih redukcionih agenasa, iskorišćenje prirodnih proizvoda koji se u nekim slučajevima smatraju otpadom ili nemaju neku dodatnu vrednost, kao i sama činjenica da ekstrakti imaju veliku rastvorljivost u vodi, nisku toksičnost i mogu delovati kao izvor nutrijenata koji utiču na povećanje biodegradabilnosti tretiranih zagađujućih supstanci. Stoga se ekstrakcija nZVI iz biljaka smatra jeftinim procesom, a ujedno i bezopasanim po životnu sredinu [6].

U cilju ispitivanja da li je alternativna metoda sinteze adekvatna u svim fazama procesa izrade i da li je treba dalje razvijati zarad dobijanja održivog proizvoda, razmatranje ekoloških i ekonomskih aspekata je od velike važnosti. U ovom radu, metoda ocenjivanja životnog ciklusa (*eng. life cycle assesment - LCA*) korišćena je kao strategija koja ispituje ekološke performanse „zelene” sinteze nanomaterijala, identifikujući kritične faze navedenog procesa. Na taj način je sprovedena studija koja razmatra sve materijalne i energetske tokove u svakoj fazi životnog veka proizvoda i procenjuje uticaj životnog ciklusa materijala na životnu sredinu, od ekstrakcije sirovine do završne faze kada proizvod postane

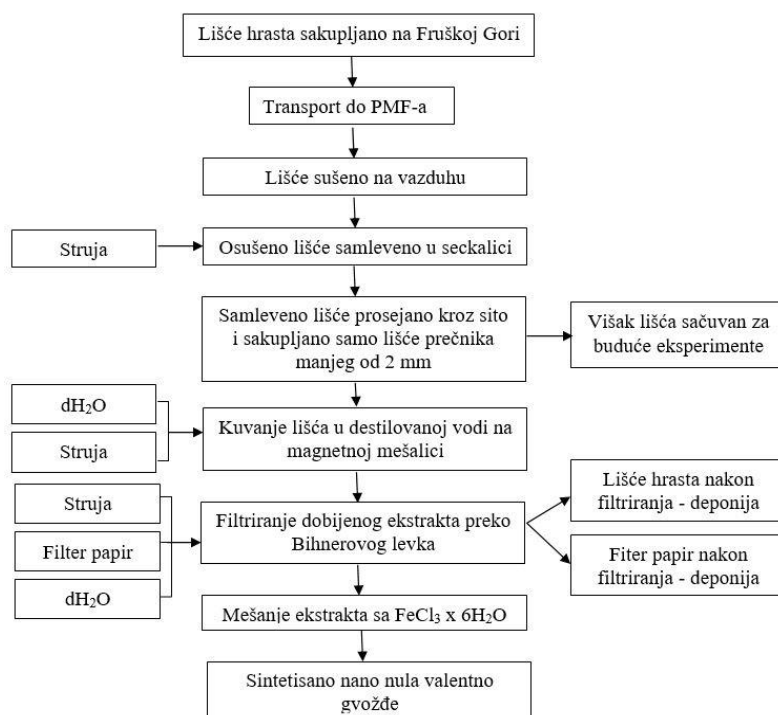
otpad.

2. EKSPERIMENTALNI DEO

2.1 Sinteza nZVI

U radu je razmatrana „zelena“ sinteza nZVI čestica iz ekstrakta lišća hrasta, čija je šema prikazana na slici 1. Opalo lišće hrasta je sakupljano u Nacionalnom parku Fruška Gora tokom letnjih i jesenjih meseci tekuće godine. Priprema sakupljenog lišća za postupak ekstrakcije se odvijala u nekoliko faza. Prva faza je obuhvatala mlevenje lišća u kuhinjskom blenderu, a zatim i prosejavanje materijala kroz sito, dimenzija pora 2 mm. U drugoj fazi pripreme, materijal veličine manje od 2 mm sušen je tokom 72 sata na ambijentalnom vazduhu. Ovako pripremljeno lišće je korišćeno dalje za ekstrakciju nZVI čestica prema proceduri Machado et al. [7]: 37 g osušenog lišća hrasta

pomešano je sa 1000 ml dejonizovane vode, a reakciona smeša mešana 20 min na magnetnoj mešalici na 80 °C. Nakon isteka reakcionog vremena, ohlađena smeša je filtrirana kroz Büchnerov vakuum levak, a filtrat je korišćen za produkciju „zelenog“ nano nula valentnog gvožđa. Ohlađen filtrat je pomešan sa 0,1 M rastvorom 0,1M $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ u razmeri 3:1, pri čemu je na taj način dobijena koncentracija gvožđa od 1,395 g/l u nanomaterijalu. Prilikom dodavanja rastvora $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ekstraktu lišća hrasta, boja ekstrakta se promenila iz žute u tamno braon, ukazujući na formiranje nano nula valentnog gvožđa. Slika 1 prikazuje sve faze sprovedene sinteze, kao i ulaze i izlaze različitih faza. U ovom procesu nastali otpad podrazumeva lišće hrasta i filter papir, a za konačno odlaganje se smatra sagorevanje komunalnog otpada.



Sl. 1. „Zelena“ sinteza nZVI iz ekstrakta lišća hrasta

2.2 Definisanje cilja i predmeta studije

Cilj studije LCA je analiza uticaja „zelene“ sinteze nZVI čestica na životnu sredinu, kao i ocenjivanje njegovog životnog ciklusa. Funkcionalna jedinica je 1 litar sintetisanog nanomaterijala, dok su granice ispitivanih sistema prikazane na slici 2 i obuhvataju sledeće faze životnog ciklusa: transport lišća do laboratorije, potrošnju vode, iskorišćeni filter papir, potrošnju gvožđe(III) hlorida, potrošnju električne energije usled rada seckalice, mešalice i filtracione pumpe, kao i odlaganje papira.

Za procenu uticaja životnog ciklusa na životnu sredinu (*eng. life cycle impact assessment -LCIA*) primenjena je The ReCiPe Endpoint (H) V1.10 metoda sa Europe ReCiPe H/A setom normalizacionih i težinskih faktora, dok su za inventar životnog ciklusa korišćeni procesi iz Ecoinvent v3.0 baze podataka, uz podršku programa SimaPro 8. Za potrebe LCA analize, ceo proces je preračunat na funkcionalnu jedinicu (FU) za 1 litru nZVI čestica.

U tabeli 1 je prikazan inventar životnog ciklusa za proizvodnju nanomaterijala.

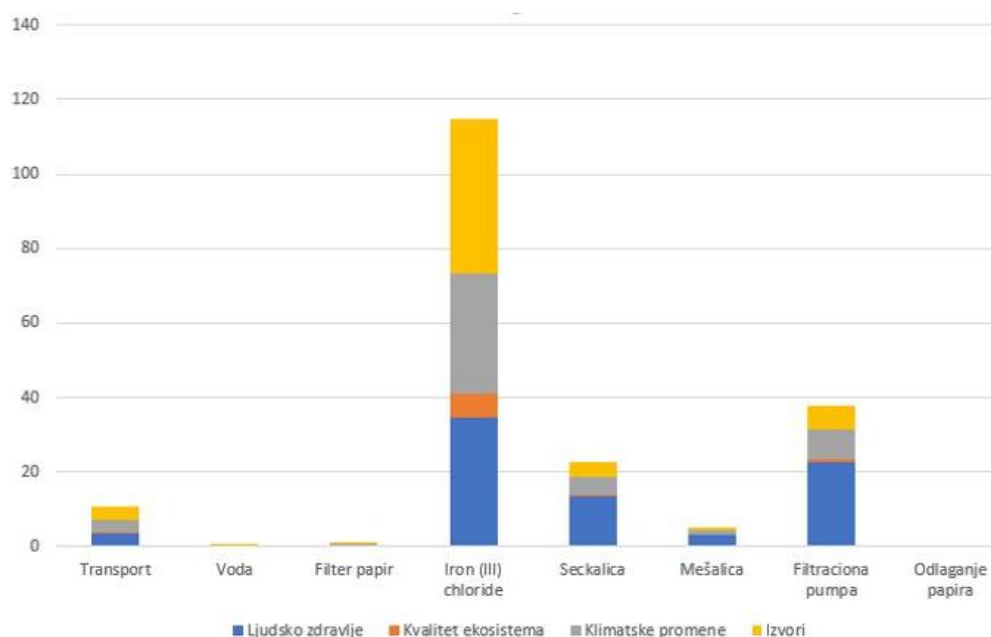
Tabela 1. Inventar životnog ciklusa nZVI sinteze po funkcionalnoj jedinici

Proces	Naziv iz Econinvent baze	Količina	Jedinica	Komentar
Ulazni tokovi				
Transport kombijem	Transport, van <3.5t/RER S	25	kg*km	Transport 0,5 kg lišća na udaljenosti od 50 km
Destilovana voda	Water, deionised, at plant/CH S	1,93	kg	Ukupna potrošnja destilovane vode
Filter papir	Paper, newsprint, 0% DIP, at plant/RER S	3,16	g	Suv filter papir korišćen za filtraciju
Gvožđe(III)-hlorid	Iron (III) chloride, 40% in H ₂ O, at plant/CH S	575,50	g	Gvožđe(III)-hlorid korišćeno za sintezu nano nula valentnog gvožđa
Potrošnja struje usled rada seckalice	Electricity, low voltage, production CS, at grid/CS S	0,06	kWh	Potrošnja struje usled rada seckalice
Potrošnja struje usled rada magnetne mešalice	Electricity, low voltage, production CS, at grid/CS S	0,01	kWh	Potrošnja struje usled rada magnetne mešalice
Potrošnja struje usled rada pumpe za filtraciju	Electricity, low voltage, production CS, at grid/CS S	0,11	kWh	Potrošnja struje usled rada pumpe za filtraciju
Izlazni tokovi				
Iskorišćen filter papir	Disposal, paper, 11.2% water, to sanitary landfill/CH S	3,16	g	Iskorišćen filter papir koji ide na deponiju
Sintetisano nano nula valentno gvožđe	-	1,00	l	Sintetisano nano nula valentno gvožđe

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati LCA za životni ciklus sinteze nZVI se definišu preko četiri odabrane kategorije uticaja krajnjih tačaka: ljudsko zdravlje (jonizujuće zračenje, respiratorni efekti, fotohemijska

oksidacija, toksičnost, oštećenje ozonskog omotača), kvalitet ekosistema (toksičnost vodenog ekosistema, toksičnost zemljišta, acidifikacija i alkalizacija zemljišta), klimatske promene i resurse (neobnovljiva energija i ekstrakcija minerala), (Slika 2).



Sl. 2. LCA za sintezu nZVI čestica „zelenom“ metodom

Životni ciklus „zelene“ sinteze nZVI čestica ostvaruje najveći uticaj na životnu sredinu kroz aspekte samog procesa ekstrakcije: upotrebe gvožđe(III) hlorida, kao i primene laboratorijskih aparata koji troše električnu energiju. Manji ukupan uticaj na životnu sredinu bi mogao da se ostvarili ili primenom druge osnovne sirovine za sintezu nanomaterijala, odnosno druge soli gvožđa, ili proizvodnjom električne energije koja se zasniva na primeni obnovljivih izvora energije.

Slične rezultate istraživanja su dobili i autori Martins et al. [8], koji su poredili uticaj dva različita načina sinteze na životnu sredinu, konvencionalni (primenom borhidrida) i „zeleni“ (primenom lišća hrasta). Martins et al. [8] su ustanovili da svakako „zelena“ metoda sinteze ostvaruje manje efekte i u pogledu ekoloških i ekonomskih performansi na životnu sredinu.

4. ZAKLJUČAK

Primena nZVI čestica u tretmanu otpadnih voda ostvaruje veliki potencijal, preventivno kao katalizator u različitim oksidacionim procesima. Stoga je važno razviti i održive procese za njihovu sintezu, a samim tim i razmotriti uticaj različitih načina sinteze nanočestica na životnu sredinu. LCA kao strategija ekodizajna ima za cilj da ustanovi ekološke i ekonomske aspekte i da usmeri poboljšanje i dalji razvitak odgovarajuće metode sinteze.

U ovom radu je ispitivan uticaj „zelene“ sinteze nZVI čestica iz ekstrakta lišća hrasta, pri čemu je ustanovljen najveći uticaj na životnu sredinu sa aspekta potrošnje električne energije, kao i primene osnovne sirovine za ekstrakciju, soli gvožđa. Buduća istraživanja bi trebala da uključe detaljnu analizu i drugih katalizatora koji se koriste u tretmanu otpadnih voda, kako bi se dobio potpuni uvid u ekološku ali i ekonomsku isplativost sintetisanih katalizatora, kao i potvrdu da je „zelena“ metoda zasta i adekvatnija.

5. REFERENCE

- [1] Wu, Y., Yue, Q., Ren, Z., Gao, B.: *Immobilization of nanoscale zero-valent iron particles (nZVI) with synthesized activated carbon for the adsorption and degradation of Chloramphenicol (CAP)*, Journal of Molecular Liquids, 262, p.p. 19-28, 2018.
- [2] Liu, X., Cao, Z., Yuan, Z., Zhang, J., Guo, X., Yang, Y., Hec, F., Zhao, Y.: *Insight into the kinetics and mechanism of removal of aqueous chlorinated*, Chemical Engineering Journal, 334, p.p. 508-518, 2018.
- [3] Li., G., Xu, Q., Jin, X., Li, R., Dharmarajan,

R., Chen, Z.: *Enhanced adsorption and Fenton oxidation of 2,4-dichlorophenol in aqueous solution using organobentonite supported nZVI*, Separation and Purification Technology, 197, p.p. 401-406, 2018.

- [4] Raman, C., Kanmani, S.: *Textile dye degradation using nano zero valent iron: A review*, Journal of Environmental Management, 177, p.p 341-355, 2016.
- [5] Kecić, V., Kerkez, Đ., Prica, M., Lužanin, O., Bečelić-Tomin, M., Tomašević Pilipović, D., Dalmacija, B.: *Optimization of azo printing dye removal with oak leaves-nZVI/H₂O₂ system using statistically designed experiment*, Journal of Cleaner Production, 202, p.p. 65-80, 2018.
- [6] Stefaniuk, M., Oleszczuk, P., Ok, Y.: *Review on nano zerovalent iron (nZVI): From synthesis to environmental applications*, Chemical Engineering Journal, 287, p.p. 618-632, 2016.
- [7] Machado, S., Pacheco, J., Nouws, H., Albergaria, J., Delerue-Matos, C.: *Characterization of green zero-valent iron nanoparticles produced with tree leaf extracts*, Science of the Total Environment, 533, p.p. 76-81, 2015.
- [8] Martins, F., Machado, S., Albergaria, T., Delerue-Matos, C.: *LCA applied to nano scale zero valent iron synthesis*, International Journal of Life Cycle Assessment, 22, p.p. 707-714, 2017.

Autori: Msc Vesna Kecić, Vanr. prof. dr Miljana Prica, Doc. dr Boris Agarski, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet Tehničkih Nauka, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2554. **Doc. dr Đurđa Kekrez, Vanr. prof. dr Milena Bečelić-Tomin, Doc. dr Dragana Tomašević Pilipović, Prof. dr Božo Dalmacija**, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 3, 21000, Novi Sad.

E-mail: kecic@uns.ac.rs

miljana@uns.ac.rs

agarski@uns.ac.rs

djurdja.kerkez@dh.uns.ac.rs

milena.becelic-tomin@dh.uns.ac.rs

dragana.tomasevic@dh.uns.ac.rs

bozo.dalmacija@dh.uns.ac.rs

Zahvalnica

Istraživanja predstavljena u radu su realizovana u okviru projekta TR34014 i III43005, finansiranih od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Karić, M., Živković, M., Karić, A.

**EKO-ENERGETSKI EFIKASAN SISTEM GREJANJA OBJEKTA KORIŠĆENJEM
TOPLOTNE PUMPE**

Rezime: Geotermalna energija se tretira kao obnovljiv izvor energije i njeni potencijali su ogromni. U najširem smislu geotermalna energija predstavlja prirodnu toplotu Zemlje akumuliranu u fluidima i stenskim masama u Zemljinoj kori. Toplotna pumpa je uređaj koji radi na termodinamičkom principu podizanja toplote tj., toplotnu energiju iz Zemlje ili vazduha prenosi na objekat, trošeći pri tom mehanički rad, koji je nekoliko puta manji od prenete energije, pomoću levokretnog kružnog procesa prikladnog radnog fluida. Može da radi u režimu grejanja ili hlađenja. U radu je izvršeno poređenje troškova grejanja objekta korišćenjem različitih izvora (električne energije, uglja, prirodnog gasa, toplotne pumpe). Na osnovu sprovedene analize vidi se da je korišćenje toplotne pumpe daleko najisplativije, ušteda energije iznosi i do 80% u odnosu na klasične načine grejanja. Imajući na umu činjenicu da štednjom energije štedimo novac i životnu sredinu zaključujemo da geotermalno grejanje spada u ekološki vrlo prihvatljiv oblik grejanja.

Ključne reči: geotermalna energija, toplotna pumpa, energetska efikasnost, ekološka prihvatljivost

1. UVOD

Geotermalna energija se smatra obnovljivim izvorom jer je količina te energije jako velika i može se smatrati neiscrpnom. Resursi se nalaze u širokom rasponu dubina, od plitkih površinskih do više kilometara dubokih. To je značjan izvor energije i pogodna je za korišćenje u svom izvornom obliku ili za transformaciju u električnu ili toplotnu energiju. Toplota tla, podzemnih i površinskih voda koristi se pomoću sistema sa toplotnim pumpama. Ovi sistemi za grejanje se već uveliko koriste u SAD, Švajcarskoj, Nemačkoj, Švedskoj, Kanadi, Francuskoj itd., ali raste interes za njihovu implementaciju i u drugim državama. Da bi sistem proizveo potrebnu količinu toplote, za rad koristi električnu energiju i toplotu iz izvora (tlo, voda, vazduh). Smanjuju potrošnju električne energije za 3-5 puta, čime omogućuju uštedu novca a samim tim smanjuju emisiju štetnih gasova u životnu sredinu. Samo jedan kWh električne energije dovoljan je za generisanje 3-5 kWh korisne toplotne energije, pa one postižu visok stepen energetske efikasnosti i ekološke prihvatljivosti.

2. MATERIJAL I METOD RADA**2.1 Kompresorske toplotne pumpe**

Toplotna pumpa je glavni deo sistema grejanja na geotermalnu energiju. Ono što ona zapravo radi je prenošenje toplote iz prostora sa nižom temperaturom u prostor sa višom temperaturom tj. posredovanje u prenosu toplote. Ovo uspevaju uz pomoć male količine energije. Toplotna pumpa

radi u dva režima rada: grjanje i hlađenje. U režimu hlađenja hladi vodu koja cirkuliše kroz cevi unutar objekta a sakupljenu toplotnu energiju izbacuje u spoljašnju sredinu. Unutar toplotne pumpe cirkuliše radni fluid koja služi kao nosioc toplote između izvora i ponora (sistema grejanja). Danas se u toplotnim pumpama najčešće koriste: R407C, R410A, R404A, R134A jer zadovoljavaju sigurnosna (nisu toksični, biološki su razgradivi, nezapaljivi su) i ekološka svojstva (imaju mali potencijal razaranja ozona i globalnog zagrevanja). Toplotna pumpa se sastoji od 4 osnovna dela:

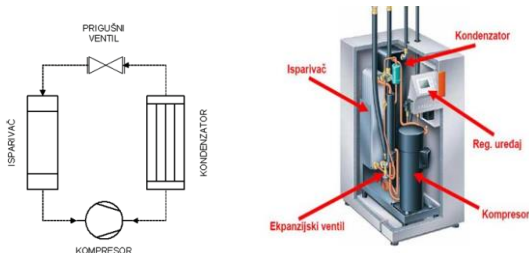
- **isparivač**-razmenjivač toplote u kojem radni fluid u toplotnoj pumpi razmenjuje toplotu sa materijom iz okoline (vazduh, voda, glikolna smeša). Učinak isparavanja zavisi od površine preko koje razmenjuje toplotu i razlike temperatura fluida. Pri ulasku u isparivač radna materija je u stanju vlažne pare pa dovođenjem toplote pri konstantnom pritisku dolazi do njenog isparavanja.

- **kompresor**- služi za cirkulaciju radnog fluida kroz instaciju i za podizanje pritiska i temperature hladne pare iz isparivača na pritisak (temperaturu) kondenzacije - sabijanje radnog fluida. Kompresor se bira na osnovu opterećenja i na osnovu radnog fluida koji se koristi. Danas se u toplotnim pumpama najčešće koriste spiralni kompresor zbog svojih prednost u odnosu na ostale vrste kompresora.

- **kondenzator**- razmenjivač toplote u kome freon u parnom stanju visokog pritiska i temperature kondenzuje i predaje toplotu vodi koja cirkuliše kroz podni sistem cevi u objektu.

- **prigušni ventil** – u njemu se radnom fluidu snižava pritisak i temperatura na vrednosti pri

kojima se omogućava isparavanje (novi ciklus). Ta temperatura je niža od temperature geotermalne vode.



Sl. 1. Osnovne komponente parno-kompresorske toplotne pumpe

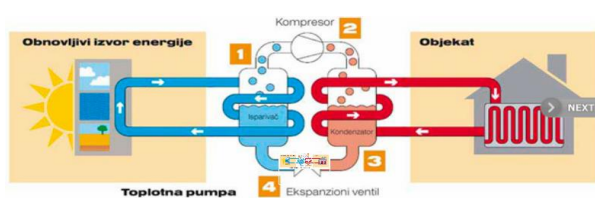
2.2. Princip rada toplotne pumpe

Toplotna pumpa kao inteligentno rešenje preuzima i predaje toplotu iz tla preko tri međusobno koordinisana grejna kruga:

1. **Krug izvora toplote** - krug izvora toplote se smatra onaj iz koga crpimo toplotu (tlo, voda, vazduh).

2. **Krug radnog fluida (toplotna pumpa)** - pod krugom radnog fluida se podrazumeva sam radni proces toplotne pumpe. Radni fluid koji kruži u toplotnoj pumpi menja agregatno stanje dovodenjem toplote iz izvora odnosno odvođenjem toplote ponoru.

3. **Krug ponora toplote** - krug ponora toplote je onaj kome predajemo dobivenu količinu toplotne energije (sistem grejanja).



Sl. 2. Šema rada toplotne pumpe [8]

Sama toplotna pumpa ne proizvodi energiju, neće imati nikakvo dejstvo ukoliko nije priključena na izvor energije, a doprineće njenom najboljem iskorišćenju.

2.3 Efikasnost toplotnih pumpi

Osnovna prednost toplotnih pumpi je mogućnost predaje veće količine toplote korisniku od one koja je potrebna za njeno funkcionisanje.

Efikasnost toplotne pumpe izražava se koeficijentom grejanja COP (coefficient of performance):

$$\varepsilon_g = COP = \frac{Q_{pred.}}{L} = \frac{Q_{prim} + L}{L} = \varepsilon_h + 1 \quad (1)$$

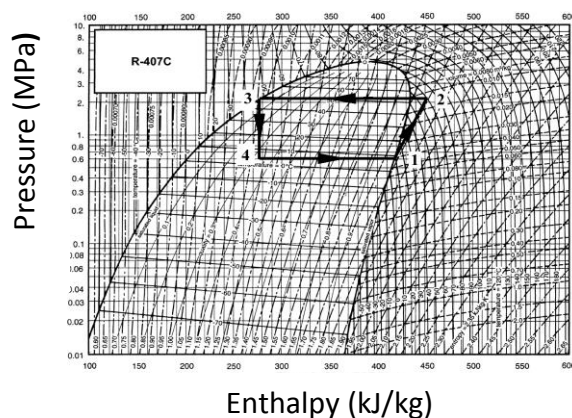
predstavlja odnos između količine toplote predate korisniku ($Q_{pred.}$) i utrošenog spoljašnjeg rada (L). Vrednost COP-a je promenljiv i zavisi od vrste toplotne pumpe i radnih uslova (razlike

temperature koju treba savladati) i kreće se od 3-5. Ovo znači da se sa 1kWh utrošenog rada može dobiti 3-5kWh korisne toplotne energije.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Toplotna pumpa u svom radu koristi ekološki freon R 407C (rashladno sredstvo). Pri niskim temperaturama i niskom pritisku rashladno sredstvo preuzima toplotu i postaje gasovito a pri visokim temperaturama i visokom pritisku predaje toplotu i postaje tečno. Promena agregatnog stanja radnog fluida predstavljena je u faznom dijagramu. Radni parametri toplotne pumpe:

- efektivna površina objekta: $A=100\text{m}^2$
- zapremina objekta: $V=A \cdot h=100 \cdot 2,6=260 \text{ m}^3$
- ulazna temperatura geotermalne vode u toplotnu pumpu: $t_{gu}=12^\circ\text{C}$
- izlazna temperatura geotermalne vode iz toplotne pumpe: $t_{gi}=6^\circ\text{C}$
- ulazna temperatura rashladnog sredstva u kompresor: $t_1=9^\circ\text{C}$
- temperatura nakon kompresije: $t_2=70^\circ\text{C}$
- temperatura kondenzacije: $t_3=50^\circ\text{C}$
- temperatura isparivanja: $t_4=4^\circ\text{C}$
- temperatura podnog grejanja (ulaz): $t_{ru}=35^\circ\text{C}$
- temperatura podnog grejanja (izlaz): $t_{ri}=20^\circ\text{C}$



Sl. 3. Fazni dijagram i ciklus rada toplotne pumpe prikazan na p-h dijagramu

Iz faznog dijagrama R 407C očitavaju se vrednosti pritiska i entalpije u karakterističnim tačkama.

.	Pritisak, bar	Temperatura, °C	Entalpija, kJ/kg
1	6	9	419
2	21,86	70	452
3	21,86	50	280
4	6	4	280

Specifične veličine:

- **Kapacitet hladenja isparivača:**
 $q_o = h_1 - h_4 = 419 - 280 = 139 \text{ kJ/kg}$
- **Toplota koja se oslobodila u kondenzatoru:**

$$q = h_2 - h_3 = 452 - 280 = 172 \text{ kJ/kg}$$

• **Utrošeni rad kompresora:**

$$l = h_2 - h_1 = 452 - 419 = 33 \text{ kJ/kg}$$

- Provera: $q = q_0 + l \Rightarrow 172 = 139 + 33$

Potrebna toplotna snaga za grejanje objekta- izračunat ćemo je pomoću proizvoda zapremine objekta i faktora grejanja:

$$\dot{Q} = V \cdot f = 260 \cdot 0,023 = 5,98 \text{ kW}$$

Grejni faktor za najnoviju gradnju sa najnižim zahtevima za energijom (dobra termoizolacija, kvalitetna stolarija):

$$f = 0,023 \text{ kW/m}^3$$

Ukupne veličine:

Potrebni maseni protok freona R-407C:

$$\dot{m}_{R-407C} = \frac{\dot{Q}}{q} = \frac{5,98}{172} = 0,035 \text{ kg/s} = 126 \text{ kg/h}$$

• **Snaga kompresora:**

$$P_{kom} = \dot{m}_{R-407C} \cdot l = 0,035 \cdot 33 = 1,155 \text{ kW}$$

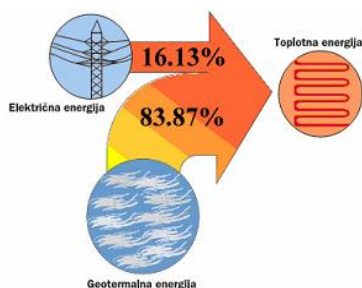
- **Toplota isparavanja** - rashladni učinak u ciklusu hlađenja:

$$\dot{Q}_O = \dot{m}_{R-407C} \cdot q_o = 0,035 \cdot 139 = 4,865 \text{ kW}$$

Koeficijent grejanja toplotne pumpe:

$$\varepsilon_g = \frac{\dot{Q}}{P_{kom}} = \frac{5,98}{1,155} = 5,2$$

Ovako visok koeficijent moguć je samo kada se koristi nisko temperaturno podno grejanje zbog male temperaturske razlike između izvora i ponora toplote. Glavna prednost korišćenja toplotnih pumpi je ta što se preko 80 % energije potrebne za grejanje prostora dobija se iz podzemne vode – besplatno u toku celog veka eksploatacije.



Sl. 4. Odnos uložene električne energije i iskorišćene geotermalne energije

Proračun troškova grejanja objekta površine 100m², korišćenjem različitih izvora dat je na mesečnom nivou, uz pretpostavku da grejanje radi neprekidno.

3.1 Proračun potrošnje električne energije za grejanje pomoću toplotne pumpe

Za rad toplotne pumpe je potrebna električna energija za pogon motora kompresora. Izabran je Danfoss spiralni kompresor, model **HHP015T4:**

- ulazna snaga 1,376 kW.
- kapacitet grejanja 6522W

Utrošak električne energije pri radu kompresora od 1h: $E = P \cdot t = 1,376 \cdot 1 = 1,376 \text{ kWh}$

Mesečna potrošnja električne energije usled rada toplotne pumpe iznosi po tarifama za zimsko računanje vremena: (VT: 07 – 23 h (16 sati);

NT 23 - 07 h (8 sati))

$$\text{VT: } 1,376 \cdot 16 \cdot 30 = 660,48 \text{ kWh}$$

$$\text{NT: } 1,376 \cdot 8 \cdot 30 = 330,24 \text{ kWh}$$

Mesečni iznos računa za električnu energiju, prema trenutnoj ceni struje za trofazno dvotarifno brojilo:

Zona	Tarifa	Potrošnja (kWh)	Cena (din/kWh)	Iznos (din)
Zelena	VT	233	5,962	1398,00
	NT	117	1,491	175,5
Plava	VT	427	8,943	3843,00
	NT	213	2,236	479,25
Crvena	VT	0	17,887	0
	NT	0	4,472	0

Ukupno za energiju: 5895,75din

Ukupno za uplatu (uk. za energiju + obrač. snaga + nakn. za merno mesto+PDV+...): **8688 din**

3.2 Proračun potrošnje električne energije za grejanje pomoću električnog kotla

Računa se da električni kotao ima stepen korisnosti oko 100%. Snaga električnog kotla je 6 kW, što znači da će isti potrošiti na mesečnom nivou po tarifama:

$$\text{VT: } 6 \cdot 16 \cdot 30 = 2880 \text{ kWh}$$

$$\text{NT: } 6 \cdot 8 \cdot 30 = 1440 \text{ kWh}$$

Mesečni iznos računa za el. energiju, prema trenutnoj ceni struje za trofazno, dvotarifno brojilo:

Zona	Tarifa	Potrošnja (kWh)	Cena (din/kWh)	Iznos (din)
Zelena	VT	233	5,962	1389,15
	NT	117	1,491	174,45
Plava	VT	833	8,943	7449,52
	NT	417	2,236	932,41
Crvena	VT	1813	17,887	32429,13
	NT	907	4,472	4056,1

Ukupno za energiju: 46460,76din

Ukupno za uplatu (uk. za energiju + obrač. snaga + nakn. za merno mesto + PDV +...):

61426,67din

3.3 Proračun potrošnje energije za grejanje korišćenjem uglja

Za proračun se koristi:

- energent - mrki ugalj Banovići, donje toplotne moći $H_d = 18200 \text{ kJ/kg}$, cena uglja je $c_e = 14000 \text{ din/t}$,

- Sagorevanje se odvija u kotlu, novijeg izvođenja, čiji je stepen korisnosti $\eta_k = 0,8$

Stepen korisnosti kotla se definiše kao odnos korisne i uložene energije:

$$\eta_k = \frac{Q_k}{Q_u} \Rightarrow Q_u = \frac{Q_k}{\eta_k} = \frac{5,98 \cdot 30 \cdot 24 \cdot 3600}{0,8} = 19375 MJ$$

Potrebna količina uglja (B_u):

$$Q_u = B \cdot H_d \Rightarrow B_u = \frac{19375}{18,2} \approx 1065 kg = 1,065 t$$

Cena grejanja na mesečnom nivou:

$$C = B \cdot c_e = 1,065 \cdot 14000 = 14910 \text{ din}$$

3.4 Proračun potrošnje energije za grejanje objekta od 100m² korišćenjem prirodnog gasa

Za proračun se koristi:

- energent – prirodni gas, standardne donje toplotne moći $H_d = 33400 \text{ kJ/kg}$, cena gasa za male potrošače (domaćinstva) je $c_e = 32,28 \text{ din/m}^3$,
- Sagorevanje se odvija u niskotemperaturnom kotlu čiji je stepen korisnosti $\eta_k = 0,95$

Polazeći od definicije stepena korisnosti kotla dolazi se do količine energije koju treba uložiti na mesečnom nivou:

$$\eta_k = \frac{Q_k}{Q_u} \Rightarrow Q_u = \frac{Q_k}{\eta_k} = \frac{5,98 \cdot 30 \cdot 24 \cdot 3600}{0,95} = 16316 MJ$$

Potrebna količina gasa (B_g):

$$Q_u = B_g \cdot H_d \Rightarrow B_g = \frac{16316}{33,4} \approx 488,5 m^3$$

Ukupno za energiju:

$$C = B \cdot c_e = 1576878 \text{ din}$$

Ukupno za uplatu (ukupno za energiju + naknada za merno mesto + PDV): **17527,53 din**

3.5 Mesečni račun za korisnike daljinskog grejanja

Prosečna cena grejanja po m² stambenog prostora iznosi: $c = 89,48 \text{ din/m}^2$

Mesečni račun za objekat površine 100m² iznosi: $C = 8948 \text{ din}$. Ovaj iznos se plaća svakog meseca tokom cele godine, svodenjem na grejnu sezonu, koja traje (5 meseci) račun bi iznosio: 21475 din

3.6 Poređenje troškova grejanja objekta korišćenjem različitih izvora

Poredeći različite načine grejanja objekta, vidimo da je korišćenje toplotne pumpe daleko najisplativije.

Energent	Mesečna cena grejanja (din)	Mesečna ušteda korišć. toplotne pumpe (din).
Struja	61426,67	52737

Ugalj	14910	6221
Gas	17527,53	8838,53
Toplana	21475	12786
Topl. pumpa	8689	-

4. ZAKLJUČAK

U poslednje vreme potraga za alternativnim rešenjima za grejanje i hlađenje postaje sve veća. Jedno od tih rešenja su toplotne pumpe koje prednjače kada je energetska efikasnost u pitanju. Ovo podrazumeva potrošnju manje količine primarne energije u odnosu na druge konvencionalne sisteme a samim tim i važnu tehnologiju za smanjenje emisije gasova koji negativno utiču na životnu sredinu kao i smanjeno davanje novca na račune. Ova „zelena tehnologija“ grejanja i hlađenja korišćenjem toplotne pumpe predstavlja primarni pravac u svetu i Evropskoj uniji skokom cena energenata i postavljanjem sve strožijih ekoloških kriterijuma u poslednjih par godina. Toplotna pumpa je ekonomski i energetski najefikasniji sistem za grejanje prostora.

5. LITERATURA

- [1] Reknagel, Šprenger, Šramek, Čeperković : Grejanje i klimatizacija, šesto dopunjeno i izmenjeno izdanje, Vrnjačka Banja, 2004.
- [2] Šamšalović, S. : Toplotne pumpe u primeni, SMEITS, Beograd, 1987.
- [3] Karić, M.: Ekonomičnost geotermalne toplotne pumpe u sistemu podnog grejanja, Savremena poljoprivredna tehnika, Novi Sad, 2007.
- [4] Viessmann, Serija stručnih publikacija, Toplinske crpke, Zagreb, 2006.
- [5] Heat pump centre: <http://www.heatpumpcentre.org/> ožujak 2006.
- [6] Katalog za izbor Danfoss komponenata
- [7] <http://www.kalkulator.eps-snabdevanje.rs>
- [8] http://www.toplotnepumpe.rs/toplotne_pumpe/princip-rada/

Autori: Prof. dr Marina Karić, Prof. dr Milutin Živković, Mast. inž. maš. Anica Karić

Visoka tehnička mašinska škola strukovnih studija, Radoja Krstića 19, 37240 Trstenik, Srbija, Tel. +381 714 121

E-mail: karićmarina@gmail.com
milutinziwkoviets@gmail.com
karicana1993@gmail.com

Glišović, S., Petričević, M., Milkić, N.

**PRIMENA SPECIJALIZOVANOG CAD MODULA U NASTAVI O EKOLOŠKI
ODGOVORNOM PROJEKTOVANJU – PRELIMINARNA ISKUSTVA I DOMETI**

Rezime: Autori su istraživali primenljivost standardnog CAD softvera opremljenog specijalizovanim modulom kao nastavnog sredstva koje pruža niz pogodnosti za predstavljanje osnova održivog projektovanja studentima. Polaznici kursa o eko-projektovanju su informisani o strukturi modula namenjenog preliminarnoj proceni uticaja proizvoda na životnu sredinu i izvršili su analizu održivosti izabranog modela pod nadzorom instruktora. Nivo novostečenih znanja utvrđen je testiranjem. Podaci sa testa su obrađeni metodama deskriptivne/inferencijalne statistike i upoređeni sa rezultatima testa koje nije prethodila primena CAD modula. Rezultati su pokazali da su jednostavni projektni zadaci, namenjeni radu sa opisanim CAD sistemom, efikasan način da polaznici usvoje znanja o ključnim elementima održivog projektovanja.

Ključne reči: CAD, eko-dizajn, edukacija, održivo projektovanje

1. UVOD

Za kvalitativan iskorak ka cirkularnoj privredi, neophodno je da moderni programi obuke pruže savremenim inženjerima široki spektar znanja iz komplementarnih oblasti, a ne samo set neposredno primenljivih veština. Tehničke veštine su očigledno primarne, ali ni u kom slučaju ne bi trebalo da budu prezastupljene na račun razumevanja ekoloških i etičkih problema savremenih društava. Kvalitetno, profesionalno obrazovanje, sa novim vrednostima u fokusu, značajno bi podržalo razvoj novih prioriteta među projektantima i inženjerima. Takav pristup bi imao za posledicu formiranje novog modela ponašanja u kompanijama, industrijskim sektorima i društvu u celini. Suštinsko razumevanje problema zaštite životne sredine tokom realizacije inženjerskih kurkuluma od posebnog je značaja, s obzirom na to da budući projektanti moraju da shvate osnovne postulate održivosti i moraju biti spremni da o kriterijumima ekološke podobnosti proizvoda razmišljaju od samog početka rada na projektu [1]. Više od decenije je proteklo od kada su istraživači iz Latinske Amerike i Evrope stvorili svojevrstan model za implementaciju principa održivosti u visokom obrazovanju. Između ostalih karakteristika, model je podrazumevao sledeće zahteve u pogledu obrazovanja i formiranja ekološki odgovornih inženjera [2]:

- integrisanje analize uzroka i posledica ekoloških problema u nastavne programe, uz sistemski, holistički pristup;
- uspostavljanje koherentnosti i interakcije između teorije i prakse u nastavi;

- primena novih metoda nastave, koje se zasnivaju na aktivnom učešću polaznika i rešavanju konkretnih problema.

Mnogi autori su prepoznali potrebu integrisanja elemenata održivosti u postojeće nastavne sadržaje različitih nastavnih programa namenjenih inženjerima [3] [4]. Uključivanje tema o održivosti u sve inženjerske kurseve je od suštinskog značaja kako bi stručnjaci u industriji razumeli ekološke implikacije savremenih tehnologija i integrisali elemente ekološke podobnosti u analizu projektnih rešenja [5].

Više autora istraživalo je integraciju inventara iz CAD softvera u programske pakete za analizu životnog ciklusa kao jedan od mogućih pristupa operacionalizaciji ekološki odgovornog projektovanja [6], [7], [8]. Polazište je bila činjenica da je CAD modeliranje zasnovano na funkcijama koje sadrže brojne informacije o strukturi i fizičkim svojstvima proizvoda, dok se podaci iz LCA (koji se pretežno odnose na materijale i procese) koriste za procenu opsega uticaja proizvoda na životnu sredinu. Neki proizvođači CAD softvera su udružili napore sa kompanijama koje proizvode programske pakete za LCA i formirali odgovarajuće module koji su u stanju da obave LCA analize u realnom vremenu. Inventor kompanije *AutoDesk* sadržao je odgovarajuće funkcije koje su razvijene u partnerstvu sa kompanijom *Sustainable Minds* [8], a LCA analiza se vršila na osnovu liste materijala proizvašle iz CAD modela. Još kompaktniji je programski paket *SolidWorks/Sustainability* (SW/S) koji je 2011. godine predstavila kompanija

Dassault Systems (nakon integracije proširenog modula *Sustainability Xpress* u standardni CAD paket). Modul omogućava projektantima da u realnom vremenu izvrše, na LCA zasnovanu, optimizaciju autogenerisanih ili uvezenih CAD modela [9]. Morbidoni i kolege opisali su mogućnosti i karakteristike modula za održivo projektovanje, zasnovanih na CAD [7]. *SolidWorks™ Sustainability (Dassault Systems™)* i *GaBi™ (thinkstep™)* označeni su kao referentni programski paketi za ovu namenu.

Modul *SW/Sustainability* pripremljen je za prilagođeni kurs namenjen studentima osnovnih akademskih studija inženjerstva zaštite životne sredine i srodnih disciplina. Opisano pilot istraživanje je zasnovano na predašnjem istraživanju nastavnih sredstava pogodnih za treninge u oblasti eko-projektovanja koji su namenjeni privredi [10], ali je ovog puta usmereno ka dva osnovna istraživačka pitanja:

- Da li su CAD / LCA paketi, kao što je SW/S, adekvatni za akademsku nastavu o održivom projektovanju, bez obzira na prethodno iskustvo polaznika u njihovoj primeni?
- Da li ovaj tip softvera svojim mogućnostima vizuelizacije unapređuju razumevanje koristi koje održivo projektovanje može doneti industriji i društvu u celini?

2. METOD

Kratak kurs o održivom projektovanju bio je orijentisan ka inženjerskim aspektima održivosti i sproveden je na dva različita načina, kako bi se utvrdila vrednost softverskog modula za interpretaciju nastavnih sadržaja. Formirane su dve slične grupe od po 30 studenata različitih inženjerskih usmerenja. Jednoj grupi su nastavni sadržaji o održivosti saopštavani na uobičajen način, na *ex-cathedra* predavanjima, uz povremenu upotrebu nastavnih slajdova. Druga grupa je sa nastavnim sadržajem kursa upoznata posredstvom kratke prezentacije i subsekventne upotrebe softverskog paketa *SW/Sustainability*.

Kurs je organizovan na takav način da je učesnicima obezbedio osnovni uvid u često korišćene inženjerske materijale i industrijske procese, polazeći od činjenice da većina polaznika nije imala značajnog iskustva u radu sa CAD sistemima. Učesnici su dobili informacije o strukturi softvera i modula, a zatim su udruženim snagama izvršili analizu ekološkog uticaja odabranog proizvoda, uz superviziju instruktora.

Podaci za analizu su prikupljeni tokom novembra 2016. godine testiranjem i anketiranjem polaznika kursa. Dva dana nakon okončanja kursa, obe grupe su podvrgnute testiranju kako bi se,

donekle objektivno, utvrdio nivo stečenih znanja. Testovi su bili sastavljeni od deset pitanja (pet pitanja u formatu višestrukog izbora i pet otvorenih pitanja) o eko-dizajnu i održivom projektovanju. Rezultati testa su analizirani metodima deskriptivne i inferencijalne statistike.

Upitnik je imao za cilj da utvrdi stepen razumevanja održivosti i efikasnosti primene CAD / LCA alata u nastavnom procesu. Glavni cilj istraživanja bio je da se ispita opšte poznavanje koncepta održivosti nakon primene specifičnog softverskog alata (tj. opisane CAD platforme). Upitnik se sastojao od dve celine – prva se odnosila na podatke o ispitaniku, a druga na eko-projektovanje i održivost. Podaci o ispitaniku obuhvatali su nivo prethodnog obrazovanja, obrazovni profil, prethodne kurseve sa sadržajem o održivosti i poznavanje CAD paketa. Deo upitnika o održivosti sastojao se od 4 pitanja sa različitim, unapred definisanim odgovorima, a prioritet izbora je rangiran u rasponu od 1 (najmanje poželjno) do 3 (najpoželjnije). Pitanja su imala za cilj da se utvrdi stav ispitanika u vezi sa sledećim kategorijama:

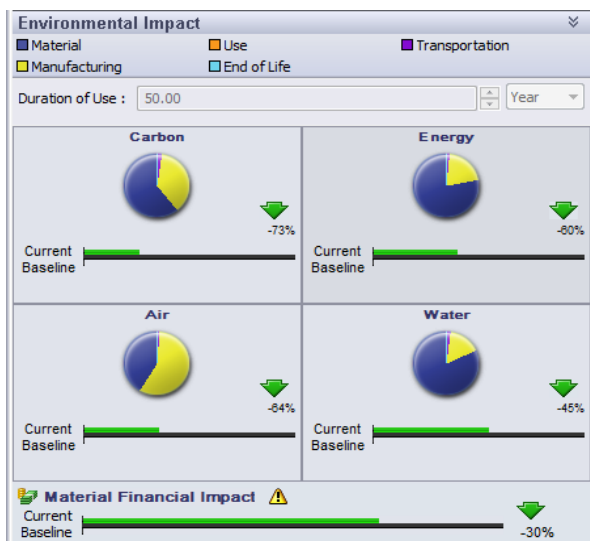
- Samovrednovanje (ocena sopstvenog razumevanja koncepta održivosti)
- Relevantnost (značaj eko-projektovanja za lični profesionalni razvoj)
- Primenljivost (lični stav o primenljivosti izloženog koncepta održivosti)
- Motivacija (sremnost za sticanje novih znanja o eko-dizajnu i održivosti)

Modul *Sustainability*, kao deo softverskog paketa za inženjersko projektovanje *SolidWorks*, omogućava odabir materijala, proizvodnih procesa i transportnih sredstava u realnom vremenu, pokrivajući široki spektar fizičko-tehničkih karakteristika proizvoda i kriterijuma za ispunjavanje osnovnih funkcionalnih zahteva [11]. Za obuku su korišćeni 3D modeli sa minimalnim brojem komponenata od raznorodnih materijala. Korisnik modula je u poziciji da izvrši analizu životnog ciklusa (LCA) projektovanog proizvoda unutar sopstvenog *SolidWorks* grafičkog interfejsa. LCA ukazuje na potrošnju materijala i energije, kao i na uticaje proizvoda na sve medijume životne sredine koji nastaju tokom čitavog njegovog životnog ciklusa.

SolidWorks poseduje modul koji je kompletno opremljen za procenu uticaja proizvoda na životnu sredinu koju je moguće izvesti simultano sa razvojnim i projektnim aktivnostima [16]. Za analizu ekološke podobnosti neophodno je uneti podatke o upotrebljenim materijalima, procesu proizvodnje, geografskoj lokaciji proizvodnog pogona i lokaciji upotrebe proizvoda. Od

polaznika kursa je traženo da asistiraju instrukturu u definisanju ulaznih parametara. Najpre su morali da odluče o sastavu porizvoda iz širokog spektra raspoloživih inženjerskih materijala, dok je instruktor stavljao fokus na često korišćene tehničke materijale kao što su čelik, aluminijum, plastika i guma.

Uz pomoć instruktora, učesnici su odabrali materijale, proizvodne procese i regione proizvodnje i upotrebe. Indikatori uticaja na životnu sredinu obuhvataju uticaje koje proizilaze iz materijala, proizvodnje, upotrebe i tretmana ostataka po isteku upotrebne vrednosti. Učesnici su zatim pozvani da izvedu komparativnu studiju promenom materijala (npr. aluminijuma, čelika ili ABS-a), proizvodnog procesa (npr. ekstrudiranjem ili brizganjem) i lokacije proizvodnje (Evropa, Azija). Opcija poređenja je od posebne važnosti za održivost jer otkriva očigledne uticaje različitih opcija i olakšava identifikaciju povoljnih rešenja (Slika 1). Nakon procene održivosti, polaznici su pozvani da izvedu relevantne zaključke. Od posebnog značaja za nastavni proces je uticaj izbora materijala na životnu sredinu koji postaje vidljiv u izveštaju o održivosti, u kome se prikazuje doprinos uticaja svakog elementa sklopa, u svakoj od faza životnog ciklusa proizvoda.



Sl. 1. Promena uticaja na životnu sredinu nakon supstitucije materijala

Za komparativne studije od posebnog značaja je mogućnost postavljanja referentnog stanja u odnosu na koje se vrednuju efekti reinženjeringa. Modul sadrži sledeće ključne kategorije uticaja na životnu sredinu: potrošnju energije, acidifikaciju, eutrofikaciju i emisije ugljen-dioksida. Takođe je uzet u obzir uticaj transporta (na osnovu udaljenosti i izabranog transportnog sredstava).

3. REZULTATI I DUSKUSIJA

Kao pionirsko istraživanje u ovoj oblasti, ova studija nije imala za cilj da bude statistički reprezentativna. Uzorak je, međutim, uprkos svom skromnom obimu, bio dovoljan za relevantna zaključivanja. Osnovna svrha bila je da se ostvari uvid u napredak o percepciji održivosti među studentima osnovnih studija inženjerstva i da se proceni pogodnost odabranog alata za tu svrhu. S obzirom na svrhu studije, značajno je bilo utvrditi da li postoje određene indikacije, koje bi mogle pomoći da se izvedu preliminarni zaključci za dalje istraživanje. Svi administrirani testovi i upitnici (ukupno 60) popunjeni su neposredno po okončanju kurseva. Podaci sa testa su podvrgnuti deskriptivnoj statistici pomoću statističkog softvera SigmaStat 3.5. Da bi se utvrdilo da li se srednje vrednosti dva uzorka značajno razlikuju, upotrebljen je studentov t-test (Tabela 1). Rezultati ukazuju na statistički značajan napredak grupe koja je kao nastavno sredstvo koristila SW/S, tj. na zaključak da se aritmetičke sredine navedenih uzoraka međusobno statistički značajno razlikuju u korist polaznika SW/S kursa.

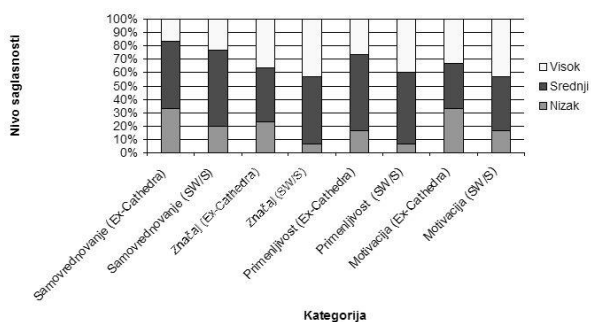
Tabela 1. Karakteristične vrednosti t-testa

	Ex Cathedra kurs	SW/S kurs
N	30	30
M	46.67	56.33
SD	16.47	16.08
SEM	3.01	2.94

$$(t(58)=-2.30035, p=0.025044; p < .05)$$

Navedeni rezultati ukazuju i na činenicu da veoma različita prethodna iskustva korisnika u radu sa CAD softverom ne utiču znatno na ishod nastave ovog formata. Ova činjenica takođe ukazuje na kvalitetan korisnički interfejs, razvijene funkcije vizuelizacije i ostale dobre osobine koje SW/Sustainability nesumnjivo poseduje za opisane namenu.

Uočljive su povećane vrednosti u sve četiri četiri kategorije kod ispitanika koji su pohađali varijantu kursa zasnovanu na SW/S. U ovoj grupi je, prema ponderisanim prosečnim vrednostima, ostvaren najbolji napredak u razumevanju koncepta održivosti. Povećanje u kategoriji samoprocene je doseglo približno 15% kod polaznika SW/S kursa, a važno povećanje je ostvareno i u kategoriji značaja održivosti (16,7%) (Slika 2). Međutim, relativno skromno povećanje u kategoriji prepoznavanja primenljivosti koncepta (4%) ukazuje na to da primenjeni modeli moraju biti unapred, pažljivo odabrani.



Sl. 2. Sumarni prikaz usaglašenosti stavova iz upitnika na trostepenoj skali u svim kategorijama

Jednostavni zadaci su se pokazali kao dobar način da se učesnici upoznaju sa suštinom nastavne jedinice. Studenti inženjerskih disciplina preferiraju nastavne sadržaje koje smatraju prilagođenim sopstvenim profesionalnim ciljevima. Zbog ograničenog raspoloživog vremena, tokom sesija treba analizirati monomaterijalne, bimaterijalne ili modele koji se sastoje od maksimalno tri različita materijala. Lekcije treba da budu interaktivne i da uključuju diskusije i vežbe kritičkog mišljenja.

4. ZAKLJUČAK

Dobijeni rezultati i analiza uspeha polaznika kursa ukazuju na značajno poboljšanje u razumevanju koncepta održivosti i primene navedenih principa u inženjerskoj praksi. Kombinovanje metoda LCA sa CAD softverom dalo je dobre rezultate u razvijanju relevantnih kompetencija kod inženjera različitih specijalizacija. Korisnički interfejs paketa *SW/Sustainability*, omogućio je dokumentovan napredak značajnog broja polaznika u razumnom vremenskom periodu. Nameće se zaključak da je *SW/S* ne samo kvalitetan projektantski alat, već i odgovarajuće sredstvo za sticanje osnovnih saznanja o principima održivog projektovanja i analize životnog ciklusa proizvoda.

5. REFERENCE

- [1] S. Glisovic, E. Stojiljkovic, P. Stojiljkovic. The state of play in disseminating LCM practices in the Western Balkan region: the attitude of Serbian SMEs. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, (2018), vol. 23 br. 7, pp. 1396-1409
- [2] G. de Ciurana et al, Experiences from a project of European and Latin American universities, *Emerald*, Vol. 7., No1, 2006, pp.81-93.
- [3] C. Boks and J. C. Diehl, "Integration of sustainability in regular courses: experiences

in industrial design engineering," *Journal of Cleaner Production*, 2006, vol. 14, pp. 932-939

- [4] M. R. Othman, L. Hady, J. U. Repke, and G. Wozny, "Introducing sustainability assessment and selection into chemical engineering education," *Education for Chemical Engineers*, 2012, vol. 7, pp. e118-e124.
- [5] M.C. Chiu and C.H. Chu, Review of sustainable product design from life cycle perspectives, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, vol. 13, pp. 1259-1272, 2012.
- [6] S. Rama Murthy and M. Mani, Design for sustainability: The role of CAD, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, 8/2012, pp. 4247-4256,.
- [7] A. Morbidoni, C. Favi, and M. Germani, CAD-Integrated LCA Tool: Comparison with dedicated LCA Software and Guidelines for the improvement, *Globalized Solutions for Sustainability in Manufacturing: Proceedings of the 18th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering*, Braunschweig, Germany, Springer-Verlag 2011, pp. 569-574
- [8] A. Mani Paudel & J. M. Fraser, Teaching Sustainability in an Engineering Graphics Class with Solid Modeling Tool, 2013 ASEE Annual Conference, American Society for Engineering Education
- [9] SolidWorks Sustainability. Available at: <http://www.solidworks.com>
- [10] S. Glisovic, Applying a Solid Modeler to Bring Sustainability Themes Before SME Representatives, *Facta Universitatis - Series: Working and Living Environmental Protection*, Vol. 13, No 3, 2016, pp. 177 – 188
- [11] A. P. Rudy Ruggles, Benjamin Linder. (9th June, 2012). Guide to Sustainable Design Using SolidWorks Sustainability.

Autori: Prof. dr Srđan Glišović, Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu, Čarnojevića 10a, 18000 Niš, Srbija, Tel: +381 18 529 739, Fax: +381 18 249-962.; mr Milena Petričević, Hauser, 18000 Niš; Nebojša Milkić, dipl. ing., Nautilus Ivago, 18000 Niš
E-mail: srdjan.glisovic@znrak.ni.ac.rs
milena_b@yahoo.com
nmilic@sbb.rs

Petković, M. Mihajlović, E. Milošević, L. Jaknović, A. Nikolić, B. Božović, M

PROCENA RIZIKA OD POŽARA NA DEPONIJAMA UGLJA I JALOVINE POVRŠINSKIH KOPOVA UGLJA

Rezime: Pored današnjih dostignuća nauke, požari u rudnicima predstavljaju veliku opasnost. To potvrđuju velike nesreće koje su se dogodile u rudnicima mnogih zemalja (Francuske, Velike Britanije, Poljske, Rusije, Japana, Kine, i dr.). Požari u rudnicima i njihovim postrojenjima nisu mimošli ni prostore Srbije. Požare u rudarstvu vezujemo najčešće za podzemne rudnike i objekte u njima, međutim, ovakve pojave se dešavaju i na rudarskim objektima na površini, tj. na površinskim kopovima i pogonima za preradu uglja i drugih mineralnih sirovina. Među najugroženijim nalaze se objekti za preradu uglja: separacije, bunkereri, briketarnice, sušare, kosi mostovi, jalovišta i deponije.

Osnova procene rizika od požara nije i ne treba da bude teoretsko navođenje činjenica, već treba da bude koncipirana tako da primena svih regulativa i teoretskih saznanja bude u praksi moguća, što je obrađeno u radu. Način posmatranja tehnološkog postupka mora omogućiti potvrdu, poboljšanje i unapređenje svih detalja bezbednosti od požara vezanih za uočene dobre strane primenjenih mera i nedostataka u posmatranoj sredini.

Ključne reči: rudnici, požari u rudarstvu, procena rizika od požara

1. UVOD

Zaštita od požara predstavlja jednu od najznačajnijih oblasti preventivnog inženjerstva. Razlog tome su ogromne štete koje stvaraju požari. Uvođenje novih tehnoloških procesa sa moderno izgrađenim objektima, opremljenim najsavremenijim tehničko-tehnološkim uređajima i instalacijama, uporedo sa poboljšanjem radnih uslova, praćeno je i brojnim mogućnostima za nastajanje određenih događaja koji ugrožavaju čoveka, materijalna dobra i okolinu. U nizu tih događaja, kao nepoželjnih pratilaca i najsavremenijih tehnoloških procesa, za čiju je realizaciju vezana upotreba sve većeg broja zapaljivih materija, zapaženo mesto zauzimaju požari. Oni svojom brojnošću i nenadoknadivim ljudskim i materijalnim gubicima u iznosu od oko 2,5% nacionalnog dohotka, po čemu smo prvi u Evropi, nepobitno potvrđuju da, u praksi, zastupljeni nivo zaštite od požara ne zadovoljava [Jovanović D.].

2. POŽARI U RUDARSTVU

Primena mera zaštite od požara je postala briga državnih organa i osiguravajućih društava koji, ne samo da obavezuju na poštovanje odgovarajućih propisa, već i podstiču dalji tehnološki razvoj efikasnih komponenata i sistema zaštite. Poznato je da u svetu najveću pažnju proceni rizika od požara uglavnom poklanjaju osiguravajuće kuće,

koje oko sebe okupljaju najkvalitetniji kadar iz oblasti zaštite od požara i formiraju nezavisne specijalizovane timove, koji godinama u saradnji sa priznatim svetskim institutima predstavljaju sam vrh regulative iz oblasti zaštite od požara. Ovo je logično, jer ko bi se najviše pitao o sprovedenim merama zaštite od požara nego onaj ko na kraju treba da nadoknadi nastalu štetu. Interes osiguravajućih kuća za poboljšanje mera zaštite od požara ima, pre svega, profitabilni karakter, koji se ogleda u tome da ako ima manje požara, biće manje štete i manje će se sredstava trošiti za naknadu štete. Sa druge strane, ako vlasnik imovine ima kvalitetnu procenu rizika od požara, može kod osiguravajućih kuća da ostvari daleko povoljnije uslove osiguranja (manje premije osiguranja), što i za njega predstavlja znatnu uštedu i povećava profit [Vidaković M.]. Pored toga, u organizacijama koje poseduju značajno vredne objekte ili imovinu, jača svest o potrebi i neophodnosti zaštite od požara koja u skladu sa razvojem tehnologije svakim danom postaje sve efikasnija, a u takve se svrstavaju mnogi rudnici.

I pored današnjih dostignuća nauke, požari u rudnicima predstavljaju i dalje veliku opasnost. To potvrđuju velike nesreće koje su se dogodile u rudnicima mnogih zemalja, pa i kod nas. Požare u rudarstvu vezujemo najčešće za podzemne rudnike i objekte u njima, kao i na površinskim kopovima i pogonima za preradu uglja i drugih mineralnih sirovina. Među najugroženijim nalaze se objekti

za preradu uglja: separacije, bunker, briketarnice, sušare, kosi mostovi, jalovišta i deponije.

3. UZROCI POŽARA NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA

Požari su endogenog ili egzogenog karaktera, i nastaju:

- samozagrevanjem i samoupalom uglja na površinskim kopovima zbog neusklađene dinamike pripreme i otkopavanja uglja,
- samoupalom deponovanog uglja zbog nestručnog načina formiranja deponija, kao i neprimenjivanja adekvatnih mera tehničke zaštite,
- samoupalom ili upalom nataložene ugljene prašine na separacijama i na drugim mestima gde se izdvaja i taloži zbog nepridržavanja osnovnih mera zaštite,
- napuštanjem delova i slojeva uglja bez prethodne sanacije i adekvatnih mera zaštite,
- usled kvarova na električnim instalacijama i uređajima u postrojenjima za preradu uglja,
- usled trenja mehaničkih delova,
- upalom lako zapaljivih tečnosti (goriva, raznih ulja i maziva), zbog nestručnog i neodgovarajućeg pakovanja i uskladištenja,
- upalom lako zapaljivih materijala kao što su: drvo, papir, guma i dr.
- nemarom i nehatom, itd.

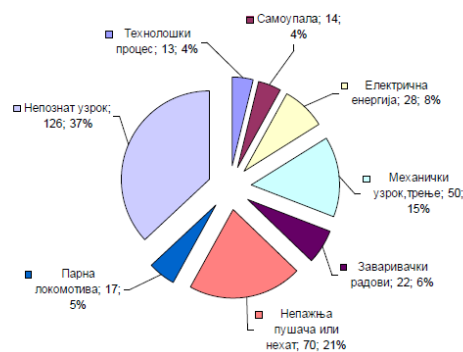
Uzroci požara evidentirani na postrojenjima za preradu rovnog lignita nastaju usled:

- Tehničke neispravnosti - kvarova,
- Tehničkih nedostataka
- Nepoštovanja tehničkih propisa,
- Ljudskog faktora (nepažnja, nehat),
- Organizacionih nedostataka (odsustvo kontrole, slaba organizacija i sl.)

Kod navedenih uzroka nije uvek moguće praviti klasifikaciju po grupama, jer bi tehnički nedostatak mogao biti tretiran kao subjektivni – ljudski faktor, neznanje kao objektivni, itd.

Analizom većeg broja požara, koje je u okviru svoje magistarske teze radio koautor rada, za RB „Kolubara“, u dekadi (1998-2007. god) utvrđen je procenat zastupljenosti uzroka, bez drugih kriterijuma kao što su uslovi i posledice požara (štete, ljudske žrtve, zdravlje).

Узроци пожара



Sl. 1. Uzroci požara u RB Kolubara za period 1998-2007. godine

Analizom uzroka požara, dolazimo do sledećih podataka:

- Nepoznat uzrok 37%,
- Nepažnja pušača 21%,
- Mehanički uzrok, trenje 15%
- Električna energija 8%,
- Zavarivački radovi 6%,
- Parna lokomotiva 5%,
- Samoupala 4%,
- Tehnološki proces 4%.

Nepoznat uzrok učestvuje sa čak neverovatnih 37% što postavlja sumnju zašto i zbog čega se ne utvrđuju uzroci požara. Dublja analiza ovoga do sada nije vršena, jer statistika na duži rok nije ni pravljena. Mogući uzroci mogu biti u nedovoljnoj stručnosti osoblja koje je vršilo uviđaj (ako ga je uopšte i vršilo, jer su izvori podataka smenski izveštaji vatrogasaca, koji su dosta šturi, nepotpuni i ne sadrže sve elemente neophodnog izveštaja, što govori da treba dosta uraditi na edukaciji ovih radnika), kao i nezainteresovanosti nadzorno-tehničkog osoblja i menadžmenta da istraje u utvrđivanju uzroka.

Nepažnja pušača sa 21% zauzima veoma visoko mesto, što takođe zabrinjava. Smanjenje ovog uzročnika postiže se obrazovno-vaspitnom metodom i kontrolom, ali i rigoroznim internim propisima, što kada se povežu ova dva uzročnika daje jednu veoma lošu sliku i potvrđuje da postoje klasični organizacioni nedostaci: odsustvo kontrole, slaba organizacija, nepoštovanje zakona i propisa i ljudski faktor: nepažnja, nehat. Mehanički uzrok, trenje sa 15% visoko je kotirano i značajno prelazi granicu proseka ovog uzročnika uobičajenog iz svetske prakse, koja iznosi do 10% [Vidaković M.]

Električna energija sa „samo“ (6%) učešća „zadovoljava“, i daleko je ispod proseka, što dokazuje da se elektro postrojenja i instalacije

održavaju na zavidnom nivou i da „Kolubarini električari rade svoj posao“.

Ostali uzročnici: samoupala (4%) i tehnološki proces (4%) su u granicama uobičajenim za industrijska postrojenja, pa Kolubarini kompleksi za preradu u tom delu ne odudaraju od svetskih normi.

Parna lokomotiva sa 5% verovatno se može svrstati u prihvatljive okvire, jer se mora uzeti u obzir da je ovaj uzročnik neuobičajen za druge prilike, osim Kolubare.¶

4. PREVENTIVNE MERE

Mere zaštite od požara na površinskim kopovima i u postrojenjima za preradu uglja su u principu iste kao i kod zaštite od požara u jamskim pogonima, eliminisanjem izvora paljenja, strogom primenom propisa i sprečavanjem da dođe do samozagrevanja i samoupale uglja.

Metode su obično sledeće:

- otkrivene naslage uglja se kvase vodom,
- sloj jalovine minimalne debljine 20cm, se skida neposredno pre otkopavanja,
- napušteni delovi neotkopanog uglja skloni samoupali pokrivaju se slojem jalovine debljine najmanje 20 cm,
- primenom odgovarajućih tehničkih propisa i mera,
- potencijalno opasna nataložena prašina se odstranjuje (usisava i odvozi),
- skladišta se izrađuju saglasno projektnoj dokumentaciji, uz korišćenje svih neophodnih mera zaštite, kao što su nabijanje, pokrivanje, zaglinjavanje, rashlađivanje i dr,
- poštovanje svih propisanih i projektovanih mera zaštite kod izrade i održavanja spremišta i skladišta zapaljivih tečnih i čvrstih materija.

Za zaštitu površinskih objekata od požara predlaže se:

- da se utvrdi stanje zaprašenosti industrijskih objekata i primene odgovarajuće mere zaštite,
- da se analiziraju svi objekti i utvrdi stvarna opasnost od požara, tj. izvrši kategorizacija svih objekata po stepenu ugroženosti od požara,
- po izvršenoj kategorizaciji treba preduzeti sve tehničke mere zaštite od požara.

Da bi se u ovakvim objektima izbegla pojava požara, moraju se zadovoljiti neke osnovne norme:

- sve zgrade moraju da budu izgrađene od vatrootpornog materijala,

- odgovarajućim merama tehničke zaštite treba sprečiti izdvajanje i taloženje prašine,
- uređaji u kojima se stvara ugljena ili druga prašina moraju da budu nepropusno zaptiveni,
- iznad presipnih mesta moraju se instalirati uređaji za odstranjivanje prašine,

u prostorijama gde se izdvaja prašina treba zabraniti unošenje bilo kakvog otvorenog plamena i pušenje.

5. GAŠENJE POŽARA

Gašenje požara na skladištima uglja može se smatrati kao česta pojava i ti požari su obično nastali samoupalom. Princip otkrivanja požara se bazira na nekim specifičnostima:

- ugalj treba stalno kontrolisati,
- pojava samoupale obično se dešava po dubini skladišta i može se otkriti vizuelno ili pomoću instrumenata, (vizuelni signal početka sagorevanja je pojava dima i specifičan miris, a pomoću instrumenata podrazumeva korišćenje sondi).

Gašenje ovih požara ima sličnosti sa jamskim požarima, s tim što se ovde sredstva za „ugušivanje“ požara ubacuju odozgo pomoću sondi. Sredstva treba ubaciti direktno u samo žarište požara. Pored gašenja češće se koristi otkopavanje samoupaljenog sloja i direktno gašenje uz sva ograničenja koja zahteva i jamski požar. Najčešći način eliminacije ovih požara, koji inače nije uvek preporučljiv, jeste odstranjivanje upaljenog dela iz bunkera. Površinski kopovi i pogoni za preradu lignita na kojima postoji potencijalna opasnost od pojave požara, moraju da organizuju vatrogasne jedinice sposobne (kadrovski i tehnički) za uspešno gašenje požara. U ovakvim pogonima i objektima pored rizika od požara često su prisutni i rizici od eksplozija prašine. ¶

6. PROCENA RIZIKA OD POŽARA NA DEPONIJAMA UGLJA I JALOVINE POVRŠINSKIH KOPOVA

Procena rizika od požara treba da pomogne u identifikaciji svih opasnosti od pojave i razvoja požara na objektu za koji se procena radi. Iz tih razloga osnova svake uspešne procene od požara treba da budu sva naučna saznanja i regulativa koja prati pojedine oblasti za koje se procena radi uz analize prethodnih iskustava sa mogućim događajem. To praktično znači da samo analitički pristup ovom problemu može uspostaviti odluku

koji rizici su prihvatljivi, a koji se mogu redukovati i podvrgavati posebnim kontrolnim merama, što podrazumeva da bi procenu rizika od požara mogla raditi samo lica koja su stekla posebno znanje i iskustva iz oblasti zaštite od požara.

Procena rizika od požara, pre svega, mora obezbediti tačno utvrđivanje mogućih izvora požara i svih mogućih opasnosti po ljude i imovinu, koje prate eventualno nastali požar. Metoda procene rizika od požara se mora u svakom svom segmentu oslanjati na postojeću regulativu i mora obezbediti praktičnu primenu kako opšteg dela procene rizika, tako i pojedinačnih specifičnosti koje proizilaze iz specifičnosti posmatranog tehnološkog postupka za koji se procena radi. Iz tih razloga, ako se zna ili pretpostavlja da pojedine odredbe procene podležu posebnoj zakonskoj regulativi, svaka procena mora imati saglasnost nadležnih inspeksijskih službi za ZoP-a kako procena nikako ne bi došla u koliziju sa predmetnom regulativom. U takvim slučajevima, inspeksijske službe će se rado odazvati konsultacijama i pratiti primenu predviđenih mera.

To se odnosi na izmene u materijalima koje bi trebalo da poboljšaju mere bezbednosti, primenu novih sistema za otkrivanje, dojavu i gašenje požara i druge mere za koje je neophodna prethodna saglasnost inspeksijskih službi. Treba imati na umu da se za svaku procenu, treba posebno pripremiti. Podjednako je važno da se procena rizika od požara sprovede kako analitički, tako i sa praktičnim preporukama. Veoma je bitno da se u procenu ugrade svi relevantni faktori, a posebno delovi procesa rada koji se retko koriste (ulazi, izlazi, prolazi, prostori i prostorije), a koji mogu u proceni odigrati značajnu ulogu u opštim merama bezbednosti. Procena rizika je u suštini preispitivanje svih aspekata rada, a sprovodi se kako bi se ustanovili elementi koji mogu prouzrokovati požar ili štetu kako bi se opasnosti uklonile i kako bi se uvele preventivne ili zaštitne mere koje će kontrolisati rizik.

Upravljanje rizikom znači aktivno uticanje na prevenciju pojave rizika i držanje rizika u dopuštenim granicama. To omogućava poslodavcu da razume rizike, donese relevantne odluke i da svesnim ophođenjem sa rizicima smanji verovatnoću događaja i posledice izazvane rizikom.

Proces upravljanja rizikom se uglavnom sprovodi u pet etapa, koje obuhvataju sledeće postupke:

1. Identifikacija opasnosti bitnih za pojavu požara,
2. Ocena rizika,

3. Odluka o zaštitnim merama,
4. Primena zaštitnih mera,
5. Praćenje i pregled efektivnosti mera ZoP-a.

7. ZAKLJUČAK

Pojava požara, uspeh gašenja i veličina pričinjenih šteta zavise od dobro proučenih i detaljno razrađenih mera. Cilj im je sprečavanje pojave požara i uklanjanje uslova za njihovo nastajanje. Na osnovu dobijenih podataka o materijalima koja se koriste u i oko tehnološkog procesa prerade rovnog lignita locirana su područja po stepenu ugroženosti od požara, identifikovani mogući uzročnici izbijanja požara i predviđeni pravci i brzina njihovih kretanja.

Procena rizika u postrojenjima za preradu lignita stvara sveobuhvatni pogled na mogući uticaj opasnosti od nastanka požara i na bezbednost imovine i lica u okruženju, tj. procenu da li su preduzete preventivne i druge mere ZoP-a dovoljne ili se moraju povećati u cilju sprečavanja mogućih nesreća. To se može izraziti kroz predlog da je neophodno da se preduzimaju dodatne mere koje će rizike od požara smanjiti na najmanju moguću meru

8. REFERENCE

- [1] Vidaković, M., Vidaković, B.: *Požar i Arh. Inženjering, priručnik*, Beograd, 2008.
- [2] Janković, A.: *Identifikacija opasnosti od požara na postrojenju za preradu rovnog lignita u RB Kolubara*, Magistarska teza, Rudarsko geološki fakultet, Beograd.
- [3] Pavlović, V.: *Sistemi površinske eksploatacije*, 1998, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.
- [4] Pavlović, V.: *Tehnologija površinskog otkopavanja*, 1992, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

Autori: **mr Martina Petković**, Visoka tehnička škola strukovnih studija Zvečan, Nušićeva br.6, Zvečan, Serbia, Tel: +381 28 664-179, Fax: +381 28 664-179. **prof. dr Emina Mihajlović**, **prof. dr Lidija Milošević**, Fakultet zaštite na radu u Nišu, Čarnojevića 10a, Niš, Srbija, tel: +381 18 529 745, **mr Anđelko Janković**, dipl.inž.rud. RB Kolubara, **mr Biljana Nikolić**, **mr Marijola Božović**, Visoka tehnička škola strukovnih studija Zvečan

E-mail: martinaeco@yahoo.com

emina.mihajlovic@znrak.ni.ac.rs

lidija.milosevic@znrak.ni.ac.rs

jankovic@rbkolubara.rs

Prokić, D., Vukčević, M., Maletić, M., Janković-Častvan, I., Rusmirović, J., Durkić T.

HEMIJSKI MODIFIKOVANE AKTIVIRANE UGLJENIČNE TKANINE: KARAKTERIZACIJA POVRŠINE I ADSORPCIJA ESTROGENIH HORMONA

Rezime: Aktivirane ugljenične tkanine su modifikovane sa HCl, HNO₃ ili KOH. Nakon toga, vršena je njihova karakterizacija primenom BET metode, FTIR analize i ispitivanjem tačke nultog naelektrisanja. Rezultati su pokazali da je prilikom modifikacije došlo do promene specifične površine, kiselosti površine, kao i sadržaja oksidnih funkcionalnih grupa. Modifikovane ugljenične tkanine su primenjene za adsorpciju estrona, 17β-estradiola i 17α-etinilestradiola. Najveći kapacitet adsorpcije je pokazala AUT modifikovana sa HNO₃, koja ima najveću specifičnu površinu, kao i najveći sadržaj kiselih funkcionalnih grupa. Adsorpcione izoterme su pokazale najbolje slaganje sa Frojndlihovim modelom za estron i 17α-etinilestradiol, odnosno sa Dubinin-Raduškevič modelom za 17β-estradiol.

Ključne reči: aktivirane ugljenične tkanine, estrogeni hormoni, adsorpcija

1. UVOD

Steroidni estrogeni su široko rasprostranjeni u životnoj sredini, gde uglavnom dospevaju kroz efluente otpadnih voda iz postrojenja za prečišćavanje [1]. Neke studije su pokazale da povećane koncentracije prirodnih i sintetičkih estrogena u akvatičnoj sredini mogu imati negativan efekat na reproduktivne karakteristike riba [2], kao i na zdravlje ljudi [3]. Za uklanjanje estrogenih hormona iz otpadnih voda koriste se različite metode, a među njima je i adsorpcija, koja ima određene prednosti u poređenju sa drugim metodama, kao što su ekonomičnost, efikasnost, mogućnost ponovne upotrebe sorbenta. Aktivirane ugljenične tkanine (AUT) privlače veliku pažnju kao potencijalni sorbenti, zbog svojih tehnoloških prednosti u poređenju sa tradicionalnim formama aktivnog ugljenika, kao što su brz proces adsorpcije, velika specifična površina, lakše rukovanje [4]. Cilj ovog rada bio je da se izvrši karakterizacija površine hemijski modifikovanih AUT i proceni uticaj modifikacije na adsorpciju hormona estrona (E1), 17β-estradiola (E2) i 17α-etinilestradiola (EE2) iz vodenih rastvora.

2. EKSPERIMENTALNI DEO

2.1 Hemijska modifikacija AUT

AUT/HNO₃ i AUT/KOH su dobijene zagrevanjem AUT tri sata na temperaturi ~ 80 °C, u rastvoru 5 M HNO₃ i 4 M KOH respektivno, dok je AUT/HCl dobijena potapanjem AUT u 1 M rastvor HCl tri sata, bez zagrevanja. Posle modifikacije, AUT su ispirane u destilovanoj vodi

do konstantne pH vrednosti filtrata i sušene na temperaturi od 110 °C.

2.2 Karakterizacija površine AUT

Adsorpcione i desorpcione izoterme azota su određivane kako bi se dobili podaci o karakteristikama tekture materijala. Izoterme su određivane na temperaturi -196 °C. Specifična površina je određena primenom Braunet-Emmet-Teller (BET) metode. Raspodela veličine pora i zapremina mezopora (V_{meso}) određene su po Barrett, Joyner, Halenda (BJH) metodi za desorpcioni deo izoterme. Zapremina mikropora (V_{mikro}) izračunata je iz α -s grafika.

Određivanje funkcionalnih grupa na površini AUT rađeno je primenom metode infracrvene spektroskopije sa Furijeovom transformacijom (FTIR). Ova ispitivanja izvršena su na instrumentu Bomem MB-Series (Hartmann & Braun, Kanada).

Određivanje tačke nultog naelektrisanja (eng. point of zero charge, PZC) rađeno je tako što su uzorci tkanina (po 0,0075 g) potopljeni u 15 ml 0,1 M rastvora NaCl, različitih početnih pH vrednosti. Početna pH vrednost podešavana je pomoću 0,1 M rastvora HCl ili NaOH. Uzorci su čuvani pod azotom, u zatvorenim staklenim bočicama, na sobnoj temperaturi (25 °C), do ustaljenja pH vrednosti (24 h).

2.3 Adsorpcija estrogenih hormona

Ispitivana je adsorpcija E1, E2 i EE2, iz rastvora koncentracije 5 mg dm⁻³, na nemodifikovanoj i modifikovanim AUT, pri početnoj pH vrednosti rastvora 7, sa ciljem da se odredi koji materijal ima najveći sorpcioni kapacitet. Ispitivanje je vršeno u šaržnom sistemu,

tokom 24 h, na sobnoj temperaturi (25 °C), uz konstantno mešanje (200 o min⁻¹).

Na isti način je ispitana i adsorpcija hormona na AUT/HNO₃ kao sorbentu, pri različitim početnim koncentracijama rastvora (2,5; 5; 10; 12,5 i 15 mg dm⁻³), pri čemu su dobijeni eksperimentalni podaci za konstruisanje adsorpcionih izoterma. Korišćeni su linearizovani oblici jednačina Lengmirove:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{b \cdot Q_0} + \frac{1}{Q_0} \cdot C_e \quad (1)$$

Frojdliohove:

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \cdot \ln C_e \quad (2)$$

Dubinini-Raduškevič (D-R):

$$\ln q_e = \ln q_m - \beta \varepsilon^2 \quad (3)$$

i Temkinove izoterme:

$$q_e = B \ln A + B \ln C_e \quad (4)$$

gde je C_e ravnotežna koncentracija sorbata u rastvoru, q_e ravnotežna količina sorbata po jedinici mase sorbenta, Q_0 maksimalni sorpcioni kapacitet, b Lengmirova konstanta, K_f i n su Frojdliohove empirijske konstante [5], q_m jednoslojni kapacitet, β je aktivacioni koeficijent koji je u vezi sa srednjom sorpcionom energijom, ε je Polanijev potencijal [5], B je Temkinova konstanta vezana za toplotu sorpcije, a A je Temkinova izotermna konstanta [6].

2.4. Analitička metoda

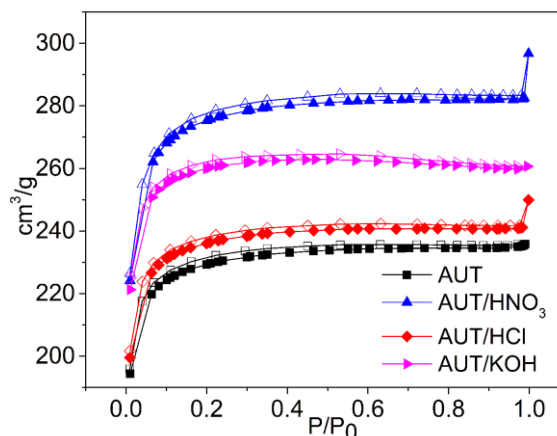
Koncentracija ispitivanih hormona u rastvoru nakon adsorpcije ispitivana je metodom tečne hromatografije u sprezi sa tandem masenom spektrometrijom. Razdvajanje hormona vršeno je na tečnom hromatografu Dionex UltiMate 3000® (Thermo Fisher Scientific, USA). Zorbax Eclipse XDB-C18 kolona (75 mm x 4.6 mm x 3.5 µm) je korišćena za reverzno-fazno razdvajanje. Mobilna faza, konstantnog protoka 0,5 cm³ min⁻¹, se sastojala od metanola i 0,1% vodenog rastvora mravlje kiseline, pri čemu se sadržaj metanola

menjao od 75 do 100% u roku od 10 min. Nakon 15 min početni uslovi su ponovo uspostavljeni i držani tokom narednih 5 min. Detektovanje i kvantifikacija hormona zaostalih u rastvoru nakon adsorpcije vršeno je primenom LTQ XL (Thermo Fisher Scientific, USA) masenog spektrometra sa elektrosprej jonskim izvorom i linearnim jonskim trapom. Snimanje je vršeno u pozitivnom modu.

3. REZULTATI

3.1. Karakteristike teksture

Adsorpciono-desorpcione izoterme azota ispitivanih uzoraka prikazane su na slici 1. Izoterme za sve materijale pripadaju izotermama tipa I(b) prema IUPAC klasifikaciji, što ukazuje da su svi materijali mikroporozni.



Sl. 1. Adsorpciono-desorpcione izoterme azota za sve ispitivane materijale

U tabeli 1 prikazane su karakteristike teksture ispitivanih uzoraka. Dobijene vrednosti ukupne zapremine pora (V_{total}) i zapremine mikropora (V_{micro}) potvrđuju da su sve AUT mikroporozne. BET analiza je pokazala da se specifična površina povećava nakon procesa modifikacije, od 3% posle tretmana sa HCl do 20% posle tretiranja sa HNO₃, uz neznatno smanjenje srednjeg prečnika pora kod svih modifikovanih uzoraka.

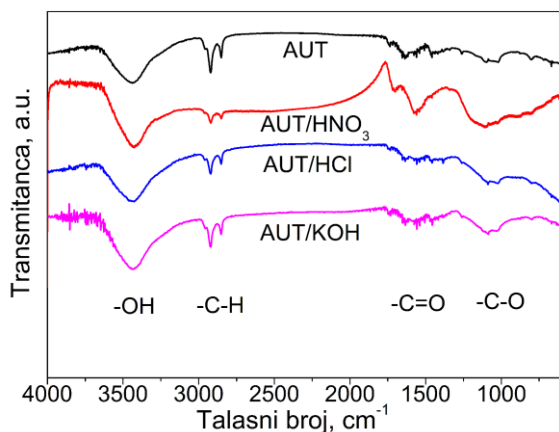
3.2. FTIR spektroskopija

Na slici 2 prikazani su FTIR spektri nemodifikovane i modifikovanih AUT. Kod svih uzoraka prisutna je široka traka na približno 3435 cm⁻¹ koja potiče od vibracija istezanja O–H veze

Tabela 1. Karakteristike teksture ispitivanih materijala

Uzorak	S_{BET} , m ² /g	V_{total} , cm ³ /g	V_{meso} , cm ³ /g	V_{micro} , cm ³ /g	D_{sr} , nm
Nemodifikovana AUT	683,18	0,3646	0,0359	0,3460	2,25
AUT/HNO ₃	820,12	0,4383	0,0558	0,4140	2,19
AUT/HCl	702,76	0,3740	0,0355	0,3570	2,20
AUT/KOH	77061	0,4034	0,0307	0,3950	2,13

karboksilnih ili fenolskih grupa, kao i široka traka u regionu $1000-1200\text{ cm}^{-1}$, koja može biti pripisana C–O istežućim vibracijama etarskih, estarskih ili fenolnih grupa [7]. Intezitet ovih traka je veći kod spektara modifikovanih AUT, što ukazuje da modifikovane AUT sadrže veću količinu kiseoničnih grupa. Ove promene su najizraženije za AUT/HNO₃, a najmanje izražene za AUT/HCl. Glavna karakteristika spektra AUT/HNO₃ je u pojavi jake adsorpcione trake na 1560 cm^{-1} , koja se može pripisati C=O vibracijama istezanja karboksilne grupe, kao i izraženog pika na 1703 cm^{-1} , koji takođe upućuje na formiranje površinskih grupa kao što su karboksilne, estarske ili laktonske [7]. Takođe, može se primetiti da pikovi na 2920 cm^{-1} i 2850 cm^{-1} , karakteristični za C–H vibracije istezanja metil- ili metilenskih grupa, imaju niži intezitet signala kod modifikovanih AUT, što ukazuje da su neke od alifatičnih grupa oksidisane za vreme tretmana. I ova pojava je najizraženija kod AUT modifikovane sa HNO₃.



Sl. 2. FTIR spektri ugljeničnih tkanina

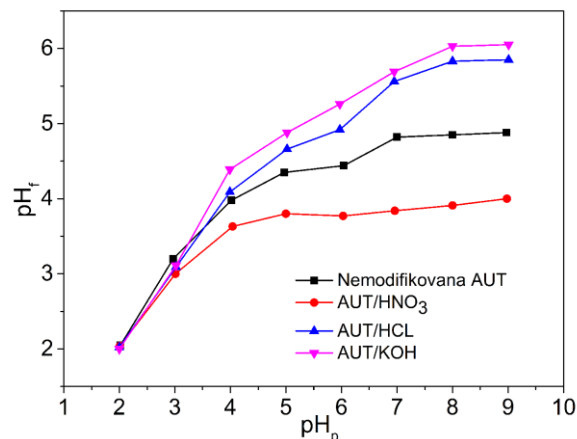
3.3. Tačka nultog naelektrisanja

Na slici 3 prikazana je zavisnost pH vrednosti rastvora $0,1\text{ M NaCl}$ posle uravnoteženja sa uzorcima AUT (pH_f) od početne pH vrednosti rastvora (pH_p). PZC se određuje kao ona vrednost pH_f na kojoj je postignut plato. PZC za nemodifikovanu AUT je na pH 4,9. Modifikacija pomoću HNO₃ povećava kiselost površine (PZC = 4,0), što je u skladu sa rezultatima FTIR analize, koji pokazuju povećanje količine kiselih karboksilnih grupa. Modifikacija sa HCl (PZC = 5,8) i KOH (PZC = 6,0) smanjuje kiselost površine, što ukazuje da kiseonične grupe koje su dobijene modifikacijom ovih materijala imaju bazni karakter.

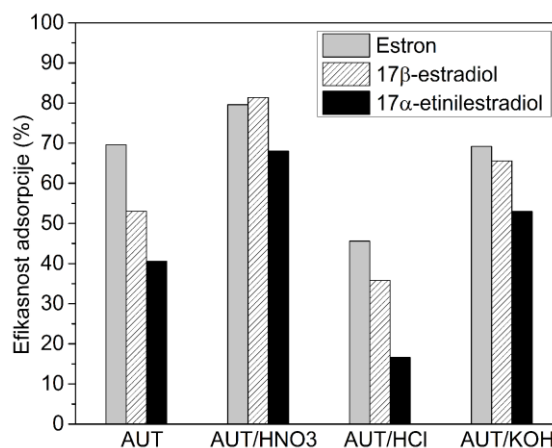
3.4. Adsorpcija estrogenih hormona

Sa slike 4, na kojoj je prikazana efikasnost adsorpcije E1, E2 i EE2 na različitim

materijalima, se može zaključiti da je efikasnost adsorpcije povećana posle tretmana sa HNO₃ i KOH, a da je smanjena posle tretmana sa HCl. Najveća efikasnost postignuta je pri korišćenju materijala AUT/HNO₃. Razlog može biti zato što ovaj material sadrži najviše kiseoničnih funkcionalnih grupa, i/ili zato što ima najveću specifičnu površinu.



Sl. 3. Određivanje tačke nultog naelektrisanja ispitivanih materijala



Sl. 4. Efikasnost adsorpcije hormona na AUT

AUT/HNO₃ je korišćen kao sorbent za ispitivanje adsorpcije hormona pri različitim početnim koncentracijama rastvora. Eksperimentalni podaci su analizirani korišćenjem Lengmirove, Frojndlihove, D-R i Temkinove izoterme. Lengmirova izoterma se bazira na pretpostavci jednoslojne adsorpcije na homogenoj površini, dok Frojndlihova podrazumeva heterogenu površinu sorbenta [5,6]. D-R model takođe uključuje heterogenost sorbenta [8]. Temkinova izoterma polazi od pretpostavke da se toplota adsorpcije za sve molekule smanjuje linearno, kako se površina sorbenta pokriva i podrazumeva da se adsorpcija karakteriše uniformnom raspodelom energije veza [9]. Parametri izoterme, kao i koficijenti korelacije,

dati su u Tabeli 2. Eksperimentalni podaci pokazuju bolje slaganje sa Frojndlihovim modelom za hormone E1 i EE2 i sa D-R modelom za hormon E2.

Tabela 2. Parametri adsorpcionih izoterma za adsorpciju estrogenih hormona na AUT

Isotermni modeli	E1	E2	EE2
Lengmir			
Q ₀ (mg/g)	12,658	15,625	9,259
b	0,330	0,171	0,281
R ²	0,950	0,505	0,901
Frojndlih			
K _f (mg ^{1-1/n} dm ^{3/n} g ⁻¹)	3,333	2,195	2,223
1/n	0,559	0,798	0,561
R ²	0,964	0,748	0,922
D-R			
q _m (mg/g)	8,191	10,186	6,392
E (kJ/mol)	1,547	0,827	1,193
R ²	0,869	0,966	0,857
Temkin			
A (L/g)	3,571	1,859	2,575
B (J/mol)	2,890	3,659	2,288
R ²	0,928	0,744	0,861

4. ZAKLJUČAK

Hemijska modifikacija utiče na promenu sastava površinskih funkcionalnih grupa, promenu PZC, kao i na povećanje specifične površine modifikovanih tkanina. Ove promene utiču na adsorpcione osobine ispitivanih materijala. Najbolje rezultate pokazala je tkanina modifikovana sa HNO₃, koja ima najveću specifičnu površinu i najveći sadržaj kiselih funkcionalnih grupa. Parametri adsorpcionih izoterma, kao i koficijenti korelacije pokazuju najbolje slaganje eksperimentalnih podataka sa Frojndlihovim modelom za hormone E1 i EE2 i sa D-R modelom za hormon E2, što ukazuje na to da modeli koji podrazumevaju neku vrstu heterogenosti površine sorbenta bolje objašnjavaju adsorpciju E1, E2 i EE2 na AUT. Maksimalni sorpcioni kapaciteti za sve ispitivane hormone se kreću od 9,26-15,62 mg g⁻¹, što ih čini pogodnim sorbentima za uklanjanje hormona iz vode.

5. ZAHVALNICA

Ovaj rad je finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, Republike Srbije kroz projekat OI 172007.

6. REFERENCE

[1] Adeel, M., Song, X., Wang, Y., Francis, D., Yang, Y.: *Environmental impact of estrogens*

on human, animal and plant life: A critical review, Environment International, p.p. 107-119, 2017.

- [2] Tetreault, G.R., Bennett, C.J., Shires, K., Knight, B., Servos, M.R., McMaster, M.E., *Intersex and reproductive impairment of wild fish exposed to multiple municipal wastewater discharges*, Aquatic Toxicology, 104, p.p. 278-290, 2011.
- [3] Nelles, J.L., Hu, W.J., Prins, G.S: *Estrogen action and prostate cancer*, Expert Review of Endocrinology and Metabolism, 6, p.p. 437-451, 2012.
- [4] Ayranci, E., Duman, O., *Adsorption behaviors of some phenolic compounds onto high specific area activated carbon cloth*, Journal of Hazardous Materials, B124, p.p. 125-132, 2005.
- [5] Sari, A., Tuzen, M., Soylak, M.: *Adsorption of Pb(II) and Cr(III) from aqueous solution on Celtek clay*, Journal of Hazardous Materials, 144, p.p. 41-46, 2007.
- [6] Hameed, B.H., Salman, J.M., Ahmad, A.L.: *Adsorption isotherm and kinetic modeling of 2,4-D pesticide on activated carbon derived from date stones*, Journal of Hazardous Materials, 163, p.p. 121-126, 2009.
- [7] Goreacioc, T.: *Oxidation and characterization of active carbon AG-5*, Chemistry Journal of Moldova, 10, p.p. 76-83, 2015.
- [8] Donat, R., Akdogan, A., Erdem, E., Cetisli, H.: *Thermodynamics of Pb²⁺ and Ni²⁺ adsorption onto natural bentonite from aqueous solutions*, Journal of Colloid and Interface Science, 286, p.p. 43-52, 2005.
- [9] Piccin, J.S., Dotto, G.L., Pinto, L.A.A.: *Adsorption isotherms and thermochemical data of FD&C red N° 40 binding by chitosan*, 28, p.p. 295 - 304, 2011.

Autori: Danijela Prokić, istraživač-pripravnik, dr Marina Maletic, istraživač-saradnik, dr Jelena Rusmirović, naučni saradnik, Inovacioni centar Tehnološko-metalurškog fakulteta, Karnegijeva 4, 11120 Beograd, Srbija. Dr Marija Vukčević, naučni saradnik, dr Ivona Janković-Častvan, naučni saradnik, Prof. dr Tatjana Đurkić, redovni profesor, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, Karnegijeva 4, 11120 Beograd, Srbija.

E-mail: dprokic@tmf.bg.ac.rs
mvukasinovic@tmf.bg.ac.rs
jrusmirovic@tmf.bg.ac.rs
marijab@tmf.bg.ac.rs
icastvan@tmf.bg.ac.rs
tanjav@tmf.bg.ac.rs

Birdahić, V., Šišić, M., Imamović, N.

UTICAJ PRIMJENE SISTEMA OKOLINSKOG UPRAVLJANJA NA EMISIJE
POLUTANATA U OKOLIŠ

Rezime: U radu su prezentirani rezultati istraživanja uticaja primjene sistema okolinskog upravljanja prema standardu ISO 14001 na emisije polutanata u zrak, produkciju otpadnih materijala i fizičko-hemijske karakteristike ispuštenih otpadnih voda iz certificiranih organizacija sektora metalske industrije u Bosni i Hercegovini. Analiza uticaja je izvršena uz primjenu proračunatih deskriptivnih statističkih veličina, na osnovu prikupljenih podataka u certificiranim organizacijama. Prezentirani rezultati nedvosmisleno pokazuju da je najviši nivo slaganja ispitanika iz svih istraživanih organizacija, kojim se potvrđuje da su pozitivni efekti uvođenja ovog sistema najznačajniji odnosno da je najviši uticaj standard ISO 14001 imao na smanjenje: emisije teških metala, prašine, SO₂ i CO/CO₂ u zrak, produkcije ostataka masti i ulja, tehnološkog otpada te na fizičko-hemijske parametre BPK₅ (biološka potrošnja kisika), protok vode i NH₄ (amonijaka), kod ispuštenih otpadnih voda.

Cljučne riječi: standard ISO 14001, emisije polutanata, deskriptivne statističke veličine, aritmetička sredina, standardna devijacija.

1. UVOD

Sektor metalske industrije obuhvata sve proizvodne i uslužne djelatnosti čiji procesi rada podrazumijevaju: izradu/preradu/montažu dijelova, sklopova ili struktura velikih razmjera od metala kao i sve djelatnosti koje se bave projektiranjem, razvojem i optimizacijom istih. U Bosni i Hercegovini metaloprerađivački sektor ima dugu tradiciju, a obuhvata niz malih i srednjih preduzeća prisutnih u gotovo svim općinama. Kao posljedica proizvodnih aktivnosti iz metalnog sektora (metaloprerađivački, livnice čelika i obojenih metala, mašinogradnja) produkuju se polutanti koji se između ostalog javljaju tokom i nakon odvijanja proizvodnog procesa i konverzije energije, kao što je npr. proces ljevanja pri čemu iz dimnjaka peći u zrak dolazi do emitiranja SO₂, NO_x, NMHOS (Ne-metanski hlapljivi organski spojevi), CH₄, CO, CO₂, N₂O, NH₃, čvrstih čestica, PM₁₀ i teških metala (Cd, Cr, Cu, Pb, Mn, Ni i td.). Emisije u zrak, odlaganje otpadnih nusproizvoda te ispuštanje tehnoloških otpadnih voda iz metalnog sektora su ključni problemi okoliša. Proces proizvodnje iz ovog sektora generiraju plinovite produkte potpunog i nepotpunog sagorijevanja, mineralnu prašinu, zakiseljene spojeve itd. Prašina je veliki problem, jer se stvara u svim procesnim koracima, a emitira se usljed obrade i topljenja metala, korištenje praškastih materijala, ljevanja u kalupe i sl., a može sadržavati i okside metala. Korištenjem različitih goriva kao energenata za odvijanje pojedinih faza proizvodnje uzrokuje emisije polutanata kao što su SO₂ i NO_x. Osim toga,

korištenje ulja, maziva i boja uzrokuje produkte nepotpunog sagorijevanja, prašine te organske i anorganske spojeve (VOC - hlapljivi organski spojevi, benzen-C₆H₆).

Dodatne probleme predstavlja odlaganje nusproizvoda nakon obavljenog procesa proizvodnje kao što su mineralni ostaci poput troske i nečistoće iz taline, metalne strugotine, koje je potrebno po mogućnosti ponovo iskoristiti ili adekvatno zbrinuti. Potrošnja vode u kompanijama metalnog sektora je značajna, jer se koristi u rashladnim sistemima, za hlađenje postupaka obrade metala, za uklanjanje prašine u mokrim postupcima prečišćavanja itd., pri čemu je poslije obavljenog procesa potreban poseban tretman nastalih otpadnih voda u cilju uklanjanje organskih spojeva (fenol, ulje) prije ispuštanja. Smanjenje emisija, učinkovitost sirovina i energije, optimalno korištenje procesa, recikliranje otpada i otklanjanje štetnih plinovitih i čvrstih polutanata, su važna načela IPPC direktive (Integrated Pollution Prevention and Control). [1] Sa stanovišta okolinskog upravljanja, u sektoru metalske industrije u poslijeratnom periodu je ostao dobar dio starijih postrojenja koja su za proizvodnju okolinski neprihvatljiva zbog nedostatka adekvatnih filtera za prečišćavanje otpadnih dimnih plinova i prekomjernog emitovanja čvrstih čestica kao i isparavanja pojedinih elemenata (kao npr. Zn, Cd, Pb itd.) iz talina ili materijala veziva.[2] U FBiH, RS i Brčko Distriktu postoje donešeni propisi u oblasti okolinskog upravljanja, te se konstantno ukazuje potreba za uvođenjem međunarodnog standarda

ISO 14001 za sistem okolinskog upravljanja, kako bi se postiglo preveniranje zagađenja i došlo do minimiziranja negativnih uticaja i efekata na okoliš, pri čemu treba doći do postizanja što boljih finansijskih rezultata, koji su bolji nego prije uvođenja sistema okolinskog upravljanja. Sistem okolinskog upravljanja, je dio sistema upravljanja koji se primjenjuje kako bi se upravljalo aspektima okoliša, ispunile obaveze usklađenosti i obradili rizici i prilike. [3]

U ovom radu, analiziran je i ocjenjen uticaj uvedenog standarda ISO 14001 za sistem okolinskog upravljanja u 18 certificiranih organizacija metalske industrije na očuvanju i zaštiti okoliša, na osnovu čega se postižu stvarni pozitivni efekti na smanjenju emisija u okoliš.

2. PRIKUPLJANJE PODATAKA I OCJENA EMISIJA POLUTANATA

Metoda anketiranja je postupak kojim se na temelju anketnog upitnika istražuju i prikupljaju podaci, informacije, stavovi i mišljenja o predmetu istraživanja. [4] Dio upitnika, na osnovu kojeg su korišteni prikupljeni podaci u ovom radu, se odnosi na emisije polutanata koje se proizvode iz organizacija, sastoji se od 22 pitanja. Ocjena emisija polutanata, obavljena je prema analizi proračunatih rezultata deskriptivnih statističkih veličina za sve istraživane organizacije. U radu za interpretaciju rezultata korištene su sljedeće statističke deskriptivne veličine: mjera centralne tendencije (aritmetička srednja vrijednost) i mjere varijacije (standardna devijacija, varijansa). Aritmetička sredina (engl. Average, Mean) je

srednja vrijednost prva po značaju i najčešće se koristi u statističkim analizama. Ona je potpuna (izračunata) srednja vrijednost, a dobija se kada se zbir svih vrijednosti obilježja podijeli njihovim brojem. Standardna devijacija (engl. Standard Deviation) je mjera koja pokazuje kako se gusto rezultati nekog mjerenja grupiraju oko aritmetičke sredine. Ona kaže koliko su blizu vrijednosti skupljene oko srednje vrijednosti. [5]

3. REZULTATI PRORAČUNATIH DESKRIPTIVNIH STATISTIČKIH VELIČINA EMISIJA POLUTANATA

Ovom analizom, prikazane su proračunate statističke veličine i ocjena stepena slaganja odnosno ne slaganja ispitanika sa tvrdnjom koja je iznesena u svakom pitanju, izvršeno je prikupljanjem ocjena nivoa slaganja od nezadovoljavajućeg do odličnog nivoa slaganja. Prema nivou slaganja ispitanika o efektima uvođenja standarda na emisije polutanata u zrak, proračunate su statističke deskriptivne veličine čije vrijednosti su prikazane u Tabeli 1.

Prema prikazanim statističkim vrijednostima iz Tabele 3.1., evidentno je da je uvođenje standarda ISO 14001, imalo najznačajniji pozitivan efekat i uticaj na emisija teških metala ($M=4,285$; $Sd=0,487$), zatim emisije prašine ($M=4,272$; $Sd=0,786$), emisije SO_2 ($M=4,166$; $Sd=0,834$), emisije CO/CO_2 ($M=4,133$; $Sd=0,833$). Najmanji uticaj je bio na emisije NO_x te emisije organskih polutanata ($M=4,000$; a $Sd=0,784$ i $Sd=0,816$).

Tabela 1. Uticaj primjene standarda ISO 14001 na emisije u zrak

Emisije polutanata u zrak	Deskriptivna statistika (Descriptive Statistics)					
	Mini mum	Maxi mum	Aritmet. sredina	Stad. greš.	Stand. devij.	Varijansa
Emisije SO_2	3,00	5,00	4,166	0,241	0,834	0,697
Emisije CO/CO_2	3,00	5,00	4,133	0,215	0,833	0,690
Emisije NO_x	3,00	5,00	4,000	0,209	0,784	0,615
Emisije org. polutanata (benzen, fenol, PAH)	3,00	5,00	4,000	0,308	0,816	0,667
Emisije prašine	3,00	5,00	4,272	0,237	0,786	0,618
Emisije teških metala (Cd, Cr, Cu, Pb, Mn, Ni)	4,00	5,00	4,285	0,184	0,487	0,238

otpadnih materijala iz svih istraživanih certificiranih organizacija, prikazani su u Tabeli 2.

Rezultati proračuna i analiza o uticaju uvođenja standarda ISO 14001 na produkciju

Tabela 2. Uticaj primjene standarda ISO 14001 na produkciju otpadnih materijala

Prodotkovani otpadni materijali iz organizacija	Deskriptivna statistika (Descriptive Statistics)					
	Mini mum	Maxi mum	Aritmet. sredina	Stand. greška	Stand. devij.	Varijansa
Tehnološki otpad (metalni dijelovi i strugotine metala)	3,00	5,00	4,000	0,218	0,845	0,714
Komunalni otpad (kancelarijski, kućni, smeće)	2,00	5,00	3,750	0,250	1,000	1,000
Otpada koji se može transformirati (papir, karton, staklo, keramika itd.)	3,00	5,00	4,000	0,195	0,755	0,571
Elektronički otpad	2,00	5,00	3,800	0,326	1,032	1,067
Zapaljivi otpad	3,00	5,00	4,000	0,408	0,816	0,667
Ostaci ulja i masti	3,00	5,00	4,230	0,201	0,725	0,526

Na osnovu proračunatih deskriptivnih statističkih veličina, uočava se da je uticaj uvođenja standarda ISO 14001 na produkciju otpadnih materijala iz organizacija

najizraženiji kod produkcije ostataka masti i ulja ($M=4,230$, $Sd=0,725$) a zatim kod tehnološkog otpada te otpada koji se može transformirati i zapaljivog otpada.

Tabela 3. Uticaj primjene standarda ISO 14001 na parametre tehnoloških otpadnih voda

Fizičko-hemijski parametri ispuštenih tehnoloških otpadnih voda	Redoslijed uticaja	Deskriptivna statistika (Descriptive Statistics)					
		Mini mum	Maxi mum	Aritmet. sredina	Stand. greška	Stand. devij.	Varijansa
Temperatura vode	12	2,00	5,00	3,555	0,293	0,881	0,778
Protok Q (količina vode)	2	3,00	5,00	4,100	0,233	0,737	0,544
pH vrijednost	15	2,00	5,00	3,444	0,444	1,333	1,778
Alkalitet	8	2,00	5,00	3,714	0,420	1,112	1,238
Električna provodljivost	11	1,00	5,00	3,571	0,528	1,397	1,952
Ispareni ostatak	9	3,00	5,00	3,666	0,333	0,816	0,667
Pepeo	16	1,00	5,00	3,333	0,557	1,366	1,867
Ukupne susp.materije	14	2,00	5,00	3,500	0,428	1,048	1,100
HPK _{Cr}	5	3,00	5,00	4,000	0,577	1,000	1,000
BPK ₅	1	3,00	5,00	4,200	0,374	0,836	0,700
Amonijak (NH ₄)	3	3,00	5,00	4,000	0,408	0,816	0,667
Nitriti (NO ₂)	5	3,00	5,00	3,750	0,478	0,957	0,917
Nitrati (NO ₃)	14	2,00	5,00	3,500	0,428	1,048	1,100
Ukupni azot N	6	3,00	5,00	3,833	0,307	0,752	0,567
Ukupni fosfor P	13	3,00	5,00	3,500	0,341	0,836	0,700
Hloridi Cl ⁻	7	3,00	5,00	3,750	0,478	0,957	0,917
Sulfati SO ₄ ²⁻	7	3,00	5,00	3,750	0,478	0,957	0,917
Teško hlapive lipofilne tvari -ukupna ulja i masti	10	2,00	5,00	3,666	0,494	1,211	1,467
Taložive materije	4	3,00	5,00	4,000	0,447	1,000	1,000

Od navedene tri vrste otpada, uvođenje ovog standarda je najpozitivniji efekat u smislu njegovog smanjenja imao kod otpada koji se može transformirati tj. papira, kartona, stakla, plastike, keramike itd. ($M=4,000$, $Sd=0,755$), jer standardna devijacija pokazuje najmanju vrijednost disperzije podataka. Najmanje pozitivan uticaj i efekat smanjenja otpadnog

materijala, uvođenje standarda je imalo na komunalni otpad iz svih organizacija ($M=3,750$, $Sd=1,000$).

Analiza uticaja uvođenja standarda ISO 14001 na fizičko-hemijske parametre tehnoloških otpadnih voda koje se ispuštaju iz organizacija izvršena na osnovu podataka koji su prikazani u Tabeli 3. Shodno datim podacima u gornjoj tabeli,

vidi se da najviši nivo slaganja ispitanika iz svih istraživanih organizacija, kojim se potvrđuje da su pozitivni efekti uvođenja standarda značajno veći, postoji kod fizičko-hemijskog parametra BPK5 - Biološka potrošnja kisika ($M=4,200$; $Sd=0,836$) a zatim kod protoka tj. količine vode ($M=4,100$; $Sd=0,737$) i amonijaka ($M=4,000$; $Sd=0,816$). Najniži nivo slaganja svih ispitanika postoji kod pepela ($M=3,333$; $Sd=1,366$) i pH vrijednosti ($M=3,444$; $Sd=1,333$), što znači da je najmanji pozitivan uticaj u smislu smanjenja vrijednosti fizičko-hemijskih parametara tehnoloških otpadanih voda, uvođeni sistem okolinskog upravljanja prema standardu ISO 14001 imao na ove parametre.

4. ZAKLJUČAK

Prema dobivenim rezultatima istraživanja, vidi se da najviši nivo slaganja ispitanika iz svih istraživanih organizacija, kojim se potvrđuje da je uvođenje Sistema okolinskog upravljanja po zahtjevima standarda ISO 14001 imao najznačajniji pozitivan efekat i uticaj na sljedeće:

1. Emisije polutanata u zrak: na emisije teških metala ($M=4,285$; $Sd=0,487$), emisije prašine ($M=4,272$; $Sd=0,786$), emisije SO₂ ($M=4,166$; $Sd=0,834$), emisije CO/CO₂ ($M=4,133$; $Sd=0,833$), a najmanji uticaj je bio na emisije NO_x te emisije organskih polutanata ($M=4,000$; a $Sd=0,784$ i $Sd=0,816$).

2. Produkcija otpadnih materijala: na produkciju ostataka masti i ulja ($M=4,230$, $Sd=0,725$) a zatim kod tehnološkog otpada te otpada koji se može transformirati i zapaljivog otpada. Najmanji pozitivan uticaj i efekat smanjenja otpadnog materijala, uvođenjem ovog sistema je konstatovano za komunalni otpad iz svih organizacija ($M=3,750$, $Sd=1,000$), što govori da u ovom dijelu treba poduzeti adekvatne mjere u svim organizacijama za smanjenje produkcije ovog otpada.

3. Fizičko-hemijski parametri ispuštenih otpadnih voda: najviši nivo slaganja ispitanika iz svih istraživanih organizacija, kojim se potvrđuje da su pozitivni efekti uvođenja sistema najznačajniji kod fizičko-hemijskog parametra BPK5 (Biološka potrošnja kisika- $M=4,200$; $Sd=0,836$) a zatim kod protoka tj. količine vode ($M=4,100$; $Sd=0,737$) i amonijaka ($M=4,000$; $Sd=0,816$). Najniži nivo slaganja svih ispitanika postoji kod produkcije pepela ($M=3,333$; $Sd=1,366$) i pH vrijednosti ($M=3,444$; $Sd=1,333$).

5. REFERENCE

- [1] Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques in the Smitheries and Foundries Industry, European Commission, Seville, 2005.
- [2] Prilog strategiji razvoja FBiH i BiH kroz prizmu razvoja metalske i elektro industrije FBiH, Privredna komora FBiH, Sarajevo, 2009.
- [3] Međunarodna norma ISO 14001: 2015, Sustavi upravljanja okolišem – Zahtjevi s uputama za primjenu, Treće izdanje, Ženeva, Švicarska, 2015.
- [4] Čekić, Š.: Osnovi metodologije i tehnologije izrade znanstvenog i stručnog djela, FSK, Sarajevo, 1999. god., str. 73.
- [5] Došlić, T., Vrgoč, D.: Metode statistike, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2008.

Autori: dr. sc. Vehid Birdahić, Univerzitet u Zenici, Mašinski Fakultet, dr. sc. Muvedet Šišić, Univerzitet u Zenici, Mašinski Fakultet., Doc. dr. Nusret Imamović, Univerzitet u Zenici, Mašinski Fakultet Zenica.

E-mail: vehidbirdahic@yahoo.com
muvedetsisic@gmail.com
nimamovic@mf.unze.ba

Šišić, M., Birdahić, V., Imamović, N.

**ADVANTAGES OF BIOREACTOR IN THE PROCESS OF CONTROLLED
COMPOSTING BIOWASTE**

Abstract: *The process of composting of biowaste, while ensuring the necessary conditions and depending on the composition of composted material can be carried out in natural conditions. If we want to influence the speed and stability of the process of degradation of organic matter from biowaste, it is necessary that one or more influencing factors control the process so as to provide optimal conditions to maintain the duration of the process. The purpose of the research was used bioreactor which provides a constant temperature outside, the possibility of mixing and wetting the compost mixture without external influence. Controlling certain parameters, ie, the influence on the way to maintain these parameters the optimum leads to a significant acceleration of the process and also to improve the quality of the finished compost with respect to the controlled process more robust to the natural process*

Keywords: *biowaste, composting, bioreactor,*

1. INTRODUCTION

One of the most comprehensive definition is given of the process of composting, Haug (1993): "The composting biodegradation and stabilization of organic substances, under conditions which ensure the development of thermophilic temperatures produced as a result heat, to give the final product that is stable, with no pathogens, weed seeds and which can be useful dumping ground".

In the process of aerobic composting process flows in the presence of oxygen or air, and the main products appear: charcoal dioxide, water, heat and compost. The stability of the composting process as a whole depends on many factors such as temperature, humidity mix of some components, pH value, the particle size of each component, oxygen, C / N ratio and other factors.

In addition to providing an optimal mixture of materials, granulation and initial water content (and Gray et al., 1971a, 1971b;), the stability and speed of the composting process can affect the maintenance of optimum temperature and ventilation, and adding oxygen. Described controlled process can be achieved in a closed insulated bioreactor capable of stirring the mixture and air injection without external influences.

Composting is a very complex process, especially if one takes into account that waste represents three-phase system and that the organic part of the waste decomposes through biochemical reactions. So, It is a large number of interrelated physical, chemical, microbiological and thermodynamic phenomena that represent a real challenge for empirical and theoretically analysis.

During composting a slight increase in the concentration of total nitrogen, but primarily due to the loss of mass and mineralization of organic matter (Sanchez-Monedero et al., 2001), ie. loss of organic carbon in which first decompose degradable compounds (simple sugars, starches, fats, proteins), then slowly degrading (cellulose and hemicellulose), while behind substances resistant to degradation (Tiquila, 2003). In mathematical terms the process of composting, means follows the reduction in the C / N.

2. MATERIALS AND METHODS

The control procedure composting treated biowaste mixture of the park mowed grass, leaves and debris pruning hedge individual shares according to Table 1.

Table 1. The share of each component in the total amount of biowaste

Type biowaste	Mass fraction (%)
park grass	40
leaves	15
the rest of pruning	23
small chips	12
raw compost	10

The mixture is formed in a way that branches from pruning provide sufficient porosity for the smooth ventilation and prevent bonding layers of grass and leaves that may lead to anaerobic processes. To the mixture is added and the raw compost which carries microorganisms, ie. as a

starter composting process. The initial parameter values compost mixtures are given in Table 2.

Table 2. The initial parameter values compost mixtures

Parameter	Value
weight (kg)	8
moisture (%)	63
temperature (°C)	13
pH value	5,6
granulation (mm)	8-10

Equal amounts of the mixture are placed in natural conditions (Figure 1) and in the laboratory bioreactor (Figure 2).



Fig. 1. Compost mixture in natural conditions



Fig. 2. The laboratory bioreactor

Natural conditions include setting the mixture out on clay in the covered area to prevent possible over-wetting due to rain and the like. The bioreactor has the ability to use blowing air compressor through pipes which are also the manual mixing the mixture. The same route to the mixture, if necessary, can add water and achieve

passage generated CO₂. After the bottom of the drilled holes for drainage of excess fluid. The bioreactor is coated with insulating material, which prevents the influence of the outside temperature and placed in a closed room. In natural and controlled conditions, are placed three identical samples.

All mixtures were monitored for 15 days and measured the temperature and pH value as indicators of the stability of the process. It is also continuously measured humidity as an indicator of the need to add liquid to the optimal setting process.

For measuring the temperature and pH value the machine is used Multi 350i / SET shown in Figure 3. The pH value is measured every day and the temperature is continuously every day at 8 o'clock a.m. Temperature sensors, thermocouples with temperature measurements were placed in the center of mass substrate. Humidity measuring device used was GMH 3830 shown in Figure 3. Humidity mixture is measured continuously every day at 8 o'clock a.m.



Fig. 3. Device "multi 350i/SET" and Device GMH 3830

Calibration is performed with three buffer solutions with pH values of 4 and 7. The measured pH-value of the extracted pattern with fresh distilled water. The aqueous extracts were prepared by mechanical mixing of samples (for 30 minutes) with distilled water at a ratio of 1:10. The suspension was then filtered through Whatman 42 Ashless Circles 125 mm Dia (Whatman, UK). In the resulting filtrate was measured pH-value, with constant stirring using a magnetic stirrer.

The measurement procedure was repeated on all samples and the relevant mean value was measured on three identical samples.

3. ANALYSIS OF RESEARCH RESULTS

On a separate process, in bioreactor and compost heaps in natural conditions, followed by the temperature as the main indicator of microbial activity, ie, the development process of decomposition of organic matter. Changing temperatures during composting is shown in Figure 4. In the process, the bioreactor after the second day of the developed temperatures above 30 ° C which is a sign of correct starting process. On the fifth day the temperature exceeded 50 ° C while maintaining at this and higher levels in the next five days, which provides a complete hygienic disposal of the masses, that is, the destruction of all harmful and even pathogens. The maximum temperature reached was 62 ° C.

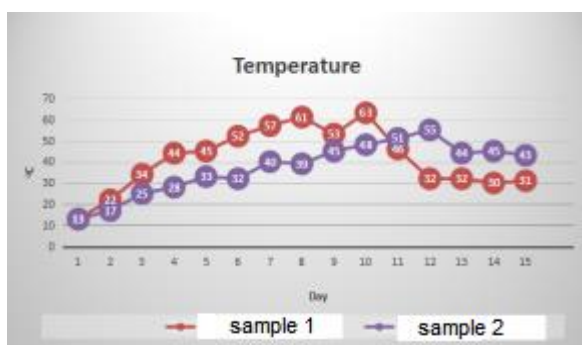


Fig. 4. Temperature changes in the samples during the composting

On the other hand the compost pile in natural conditions, only the tenth day the temperature exceeded the thermophilic temperature range and without long retention, which can be caused by a drop in the outdoor temperature over a period of five to nine days. On a separate diagram (Figure 5.) Shows the change in the ambient temperature of the sample in natural conditions.

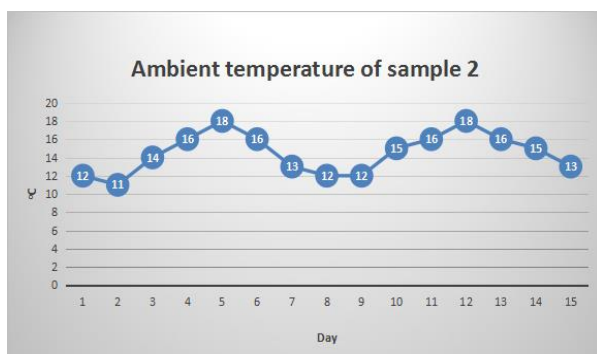


Fig. 5. Changes in the ambient temperature of the sample 2 during composting

In the process of composting, as accompanying the product CO₂ is generated near the water that is necessary to separate in order to prevent sticking to the compost layer and anaerobic processes. The

bioreactor at the bottom has a hole through which you can escape water formed. Occasional mixing to maintain homogeneity of the mixture and in terms of humidity. The mixture in natural conditions due to sufficient porosity caused water flows through layers and leave the mixture in a clay court. Significant differences in moisture content of individual samples were observed after the sixth day of the process. Changing humidity compost both samples is shown in Figure 6.

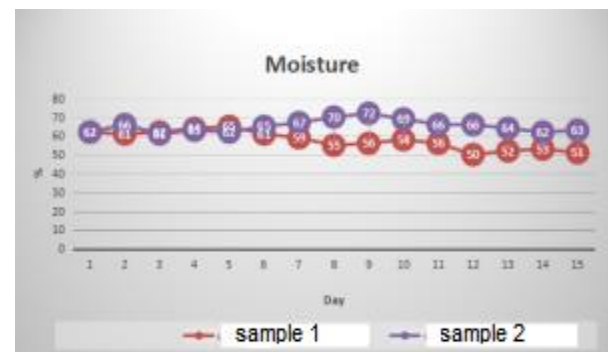


Fig. 6. Change of soil moisture content during composting

Changing the pH value during the composting process is an indication of chemical reaction in the process of guidance of organic materials. In both samples has increased slightly pH value indicating a shift in mildly basic condition. Changing the pH value in the reporting period is shown in Figure 7.

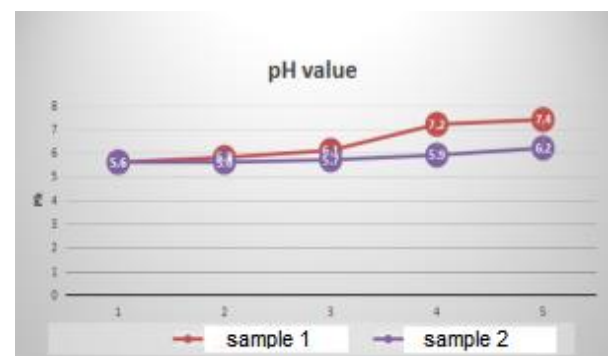


Fig. 7. pH value changes in the samples during the composting

4. CONCLUSION

According to research results are unquestionable advantages of using a bioreactor for controlled composting process. Temperature as show activities of microorganisms and organic matter degradation process in the case of use bioreactor is increased to a level above 50 ° C and maintained at that temperature for 5 days. This leads to an accelerated process of degradation and destruction of harmful and potentially pathogenic microorganisms.

Humidity is on State mixture at a level that is optimal for the development of thermophilic microorganisms and the pH value is increased to a value above 7 which shows the stability of the process of composting and the development process towards the formation of raw compost.

On the other hand monitored parameters of the natural conditions showed slower development process and the impact of external conditions in terms of hypothermia compost. Lower temperatures developed in the process compared to the process in bioreactor, indicating slower degradation process.

Shortstop temperature at a level above 50 ° C is not enough to complete the hygienic mixture. It also points to the lack of activity of microorganisms for complete decomposition of organic matter, which certainly affects the quality of the finished compost.

Economic indicators process in controlled and natural conditions may be subject to the following research in this area.

5. REFERENCES

- [1] Haug, R.T. (1993): The practical handbook of compost engineering. Lewis . Boca Raton, 385-436.
- [2] Gray, K.R., Sherman, K., Biddlestone, A.J. (1971): Review of Composting - Part 2: The Practical Process. *Process Biochemistry* 6(10), 22-28.
- [3] Gray, K.R., Sherman, K., Biddlestone, A.J. (1971a): Review of Composting - Part 1. *Process Biochemistry* 6(6), 32-36.
- [4] Sanchez-Monedero, M.A., Roig, A., Paredes, C., Bernal, M.P. (2001): Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rudgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. *Bioresource Technology* 78: 301-308.
- [5] Tiquia, S.M. (2003): Evaluation of organic matter and nutrient composition of partially decomposed and composted spent pig litter. *Environmental Technology*, 24: 97-107.
- [6] Morisaki, N., Phae, C.G., Nakasaki, K., Shoda, M., Kubota, H. (1989): Nitrogen Transformation during Thermophilic Composting. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, Vol. 67, No. 1, 57-61.
- [7] Nakasaki, K., Shoda, M., Kubota, H. (1985d): Effect of temperature on composting of sewage sludge. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 50, No. 6, 1526-1530.

Authors: V.as. dr. Muvedet Šišić, Doc. dr Nusret Imamović, V.as. dr. Vehid Birdahić, Univerzitet u Zenici, Mašinski fakultet, fakultetska 3, 72000 Zenica, BiH, Tel: +387 32 449 120, Fax: +387 32 246 612.
E-mail: muvedetsisic@gmail.com
nimamovic@mf.unze.ba
vehidbirdahic@yahoo.com

Acknowledgments: The paper is part of the research project funded by the Federal Ministry of Education and Science.

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE ETIKUM 2018

PROCEEDINGS

Session 4:
MEASUREMENT IN THE FIELD OF
CULTURAL HERITAGE

Novi Sad, 06 – 08 December 2018

Krnjetin, S., Šupić, S.

NEPROCENJIVE ŠTETE OD VELIKIH POŽARA
GRADOVA - ISTORIJSKI PREGLED

Rezime: U radu su prikazane posledice velikih požara u svetu, koji su se događali u gradovima u periodu od kada postoji pisana istorija. Kao karakterističan, detaljno je opisan požar koji je zahvatio Rim (Italija), nakon koga su nestala brojna umetnička dela, neprocenjive vrednosti kao i monumentalne građevine izgrađene u starom veku i početkom nove ere. Analizirani su različiti uzroci nastanka ovih požara, kao i njihov razvoj i problemi u njihovom lokalizovanju i gašenju. Upozoreno je da postoji realna mogućnost da se ovakvi veliki požari i danas dogode u Srbiji, posebno u starim gradskim jezgama, gde su često skoncentrisane velike nacionalne umetničke i arhitektonske vrednosti.

Ključne reči: požari gradova, posledice, procena štete

1. POŽARI KROZ ISTORIJU

O velikim požarima su još u dalekoj istoriji ostali zapisi o ljudskim žrtvama i velikim materijalnim štetama koje su oni izazivali. Posle nestanka legendarne Troje u požaru, zabeležen je u starom veku, 64. godine nove ere i veliki požar u Rimu, u kome je uništeno 10 od ukupno 14 gradskih četvrti. Tadašnji car Neron, za koga se tvrdilo da je namerno zapalio svoj grad kako bi sagradio novi i lepši, doneo je potom nove propise, sa posebnim zahtevima u vezi požarne sigurnosti zgrada.

Taj događaj je predstavljao najveću katastrofu u istoriji grada od galskog pustošenja godine 390. pne. i za posledicu imao nestanak mnogih velikih građevina i vrednih istorijskih artefakata: kao neposrednu političku posledicu je imao slabljenje autoriteta cara Nerona i nestanak Julijejsko-Klaudijejske dinastije, a dugoročno je imao značajan uticaj na razvoj hrišćanstva, s obzirom da su vođe tog pokreta stradali pod optužbom za podmetanje požara. Prema podacima antičkih autora, požar je izbio noću 18. jula 64. u trgovačkoj četvrti, gde je, prema Tacitu, njegovo brzo širenje potpomogao letnji vetar, kao i činjenica da je Rim tada još uvek velikim delom bio izgrađen od drvenih građevina, sagrađenih neplanski i grupisanih u uske uličice. Brzina i razmere požara su izazvali sveopštu paniku, pa, prema Tacitu, nije bilo ni organizovanog pokušaja da se on ugasi. Prema svedočanstvima koje navodi, individualne pokušaje gašenja su sprečavale bande nasilnika, od koje su neke čak i bacale baklje na još netaknute zgrade i tvrdile da deluju po naređenjima; Tacit smatra kako je moguće da je do podmetanja zbilja došlo zbog nečijeg

naređenja, ali i da je reč o oportunističkim kriminalcima.

Požar je zaustavljen tek nakon šest dana, kada se između spaljenih zgrada stvorilo dovoljno otvorenog prostora da se spreči njegovo dalje širenje. Među pogođenim područjima se našao i elitni kvart na brdu Palatin, gde je stradala i palata cara Nerona. Ubrzo nakon gašenja tog velikog požara, izbilo je nekoliko manjih, koji nisu uzrokovali velike ljudske žrtve, ali su zato uništili popularne parkove i hramove u nepogođenim delovima grada.

Iako se Neron trudio da olakša položaj unesrećenih Rimljana, nezadovoljstvo njegovom vladavinom, koje je dotada tinjalo uglavnom među pripadnicima više klase, se naglo prenelo i na naglo unesrećene pripadnike niže klase. Među njima su se brzo širile glasine o tome da je upravo sam Neron podmetnuo požar. Motiv za navodni palež je brzo dao sam Neron kada je objavio planove za obnovu opustošenih delova grada, koji su sadržavali ne samo prostrane i bogato ukrašene ulice, nego i novu veliku palatu pod nazivom Domus Aurea. Sve te ambiciozne građevinske planove nije mogao ostvariti bez prethodnog rušenja ili eliminacije već postojećih objekata na njihovom mestu.

Neron je brzo shvatio da se narod okreće protiv njega, pa je krivce za palež pronašao u maloj, relativno nepoznatoj, ali radikalnoj sekti, čiji su se sledbenici nazivali hrišćanima. Naredio je masovna hapšenja hrišćana, a zatim i njihova pogubljenja, pri čemu kao razlog nije navodio samo palež nego i, kako Tacit tvrdi, "mržnju prema čovječanstvu". Hrišćani su pogubljivani tako što su bacani divljim zvijerima u arenu i živi spaljivani na gradskim ulicama.



Sl. 1. Karl von Piloty: Neron promatra rimski požar (1861)

Neronovi naponi da krivicu preusmeri na hrišćane, međutim, nisu dali rezultata. Za veliki dio Rimljana on je ostao krivac, a o tome svedoči i anegdota koju mnogo godina kasnije navodi Svetonije i prema kojoj je Neron, promatrajući požar, svirao liru i pjevao o uništenju Troje. Upravo je požar, odnosno ta anegdota, najzaslužnija za reputaciju Nerona kao ludaka - piromana, a kasnije je, zahvaljujući tome što su rimsku istoriju pisali pobjednički hrišćani, prikazivan kao oličenje krajnjeg zla. Ipak, danas se smatra da je požar je izbio slučajno, što je verzija koju većina savremenih historičara drži najverovatnijom, s obzirom da su se slični požari - iako ne s tako spektakularnim posedicama - događali i pre i posle u istoriji grada Rima. Požar je izbio ubrzo nakon punog mjeseca, pa je malo vjerovatno da bi u takvim okolnostima iko reskirao s njegovim masovnim podmetanjem.

U srednjem veku ostali su zapisi o požarima gradova Lebek, Nant, Regenzburg (XII vek), Dubrovnik (XIII vek), Strazburg (XIV vek), Drezden (XV vek), dok je Moskva gorela čak 60 puta u periodu od XII do XIX veka. Najveći odjek u Evropi imao je požar, koji se dogodio u Londonu 1666. godine (nazvan "Great Fire"), u kome je uništeno pet šestina grada: 13.000 kuća i 85 crkava, a sve usled bezazlenog požara u jednoj pekari. Ovaj događaj je bio povod da se formira posebna grupa eksperata (Wren C., May H., Platt R.), naimenovana da kao "Royal Commissioners" donese nove propise, kojima bi se preduzimale preventivne mere pri planiranju i izgradnji grada. Tako je nastao **Rebuilding Act - 1667**, jedan od prvih značajnijih požarnih propisa, koji je posle više dogradnji 1774. godine već sadržao klasifikaciju zgrada prema riziku od požara (7 klasa), zahteve za požarnim zidovima, zaštitom drvenih elemenata od požara, položaju dimnjaka, prostornom razdvajanju opasnih pogona, bezbednosnim rastojanjima itd.



Sl. 2. Požar u Lisabonu 1766. godine

Devetnaesti vek je bio obeležen serijom velikih požara svetskih metropola: u Montrealu 1852. godine teško je oštećeno 1.100 zgrada, Pitsburg 1854, Boston 1872, a 1871. godine najveći požar je u Čikagu uništio 18.000 objekata, pri čemu kuća O' Lijerija, u čijoj je staji izbio požar, nije bila ni oštećena. Britanski komitet za zaštitu od požara, osnovan 1897. godine utvrdio je osnove metodologije požarnih ispitivanja konstrukcija krajem XIX veka, da bi se 1903. godine održao **Prvi međunarodni kongres o prevenciji požara**. Na ovom Kongresu je **utvrđena** potreba za donošenjem međunarodnih standarda u oblasti zaštite od požara, uveden je termin "**otporan prema požaru**" i podržan stav da se započne sa međunarodnim statističkim informisanjem o velikim požarima.

U XX veku zemljotresi su izazvali katastrofalne požare u San Francisku 1906. godine i u Kantu kod Tokia 1923. godine. Nacionalni biro za standarde SAD je 1920. godine prvi uveo pojam "**požarno opterećenje**", a već 1922. godine su vršena prva istraživanja razvoja prirodnog požara sa različitim požarnim opterećenjima i merene otpornosti građevinskih konstrukcija [6].

U SSSR-u požarna ispitivanja građevinskih konstrukcija počinju 1936. godine, a opširna i detaljna istraživanja u Japanu (Fujita i Kawagoe) tokom i posle drugog svetskog rata [7].

U praksi požarnih ispitivanja glavni nosioci razvoja su bile sledeće institucije:

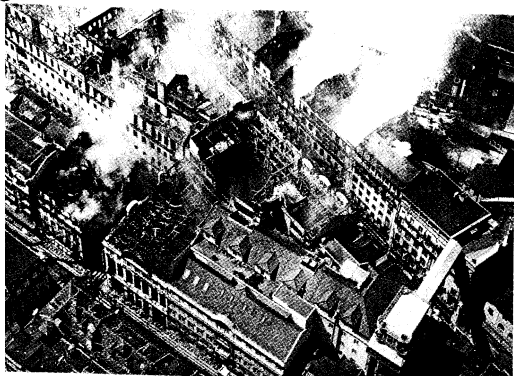
- Fire Research Station - FRS, Borehamwood, England,
- American Society for Testing and Materials - ASTM, USA,
- National Institute of Standards and Materials - NIST, Geithersburg,

- Building Research Establishment - BRE, England,
- Vsesojuznij naučno-istraživački institut protivopožarnoj oboronij - VNIPO, Moskva,
- National Research Council, Otava, Kanada,
- Building Reserach institute Tsukuba, Japan,
- Institut fur Baustoffe, Massivbau und Brandshutz - Technische Universitat Braunschweig, BRD.

Pored navedenih, veći doprinos razvoju požarnih istraživanja su imali i Centri za istraživanja u građevinarstvu u Francuskoj, Švedskoj (Boras), Holandiji (Delft), a zajedničke rezultate evropske laboratorije su publikovale preko svoje asocijacije EGOLF. U Srbiji, požarna ispitivanja građevinskih materijala i konstrukcija su rađena u Institutu IMS u Beogradu i Institutu Više tehničke škole u Novom Sadu.

Ratni požari u drugom svetskom ratu su napravili pravu pustoš u mnogim gradovima Evrope, a najveća vatra u istoriji je nastala posle bombardovanja Drezdena, koji je goreo nedeljama. U ovom lepom gradu (" Firenca sa Elbe ") srušeno je i izgorelo oko 90.000 kuća. O **požarnim olujama**, koje su posle nuklearnih bombi opustošili Hirošimu i Nagasaki 1945. godine i o ekološkim i drugim posledicama, dovoljno je pisano, a kao rezultat ratnih dejstava goreli su kasnije i Pjongjang (1951) i gradovi u Zalivu.

Poslednjih godina **tehničke katastrofe** su bile uzročnici nekoliko velikih nesreća : Fliksboro (1974) - posle isticanja heksana, Meksiko Siti (1984) - posle eksplozije rezervoara gasa, požar je zahvatio gusto naseljeno područje, Herbona (Hasen, 1987) - posle nesreće voza sa cisternom je izgorelo 28 zgrada, Hondalau (Burma, 1984) - izgorelo je čak 2700 kuća, Černobil (1987) - posle havarije na nuklearnoj elektrani itd. Nakon svakog od navedenih požara otkrivale su se slabosti u sistemu zaštite i organizovana društva su



Sl. 3. Blokovski požar u starom jezgru Lisabona 1988. Godine

preduzimala obimnije i savremenije mere preventive. Posebno je poučan veliki požar koji se dogodio u starom gradskom jezgru Lisabona (Chiado, 1988), proglašen za "nacionalnu katasrofu" Portugala, kada je izgorelo 7.500 m² najstarijeg i najvrednijeg dela grada sa arhivima, knjižarama i starinarnicama. I veliki požar u Rio Dežaneiru (2018.) u najvećem nacionalnom muzeju u samom centru grada, ostavio je teške, nenadoknadive i nemerljive štete.



Sl. 4. Veliki požar (2018.) zahvatio 200 godina star Nacionalni muzej – nemerljive štete

2. ZAKLJUČAK I PREPORUKE

Analizirajući strukturu sličnih većih gradova u Srbiji, može se zaključiti da se veći blokovski požari **moгу realno dogoditi** naročito u starijim delovima centara, kod kojih je povredivost prostora posebno izražena: velika gustina izgrađenosti i naseljenosti, mala rastojanja između zgrada, neodgovarajući koloski prilazi, velika koncentracija zapaljivih materijala, prisutna dotrajalost konstrukcija i svih pratećih instalacija (vodovodnih, gasnih, električnih i dr.). Zbog toga je neophodna analiza potrebne otpornosti prema požaru zgrada, kako bi se pravilnom gradnjom sprečile nesreće velikih razmera. Najvažniji zahtevi su definisani srpskim standardom SRPS TP 21, a koji se koristi za određivanje:

- A. rastojanja između zgrada, kako bi se sprečilo širenje požara sa jedne zgrade na drugu;
- B. prolaza za vatrogasna vozila ka dvorištima za zgrade, koje formiraju zatvoreni blok, prolaza za unošenje opreme i ulazima i izlazima garaža;
- C. stepena otpornosti prema požaru zgrade ili požarnog segmenta;
- D. otpornosti prema požaru konstrukcija, koje nisu obuhvašene standardom SRPS U.J1.240 i izuzetaka u pogledu otpornosti prema požaru konstrukcija za neke objekte;

- E. opštih zahteva za podelom zgrada u požarne segmente i požarne sektore;
- F. osnovnih arhitektonsko-građevinskih performansi zgrade za efikasnu evakuaciju u slučaju požara i uspešno gašenje.

3. REFERENCE

- [1] Krnjetin, S.: *Ekologija i građena sredina*, FTN, Novi Sad, 2018.
- [2] World Fire Statistics, Information Bulletin of the World Fire Statistics Centre, No. 26./2010.
- [3] Shpilberg D.C: The Probabilitz Distribution of Fire Loss Amount, The Journal of Risk and Insurance, Vol. 44, No 1 (mart 1977), page 103-115.
- [4] Krnjetin, O., Krnjetin, S., Krnjetin M.: Analiza procene verovatnoće stradanja ljudi u udesima, Zbornik radova: 8. Međunarodno savetovanje – Rizik i bezbednosni inženjering, Kopaonik, VTS, Novi Sad, 2013.
- [5] Vernic, R., Teodoresku, S., Pelican, E.: Two lognormal models for real data - An. St.Ovidius Constanta vol. 17(3), 263-279. 2009.
- [6] Fackler, M.: Reinventing Pareto: Fits for both small and large losses independent Actuary, Munich, Germany, 2000.
- [7] Strauss, L., Bednar, R.: Do one percent of forest fires cause ninetety-nine percent of the damage, Forest Science, vol 35 no.2, pp319-328, june 1989.
- [8] Rootzen, H., Tajvidi, N.: Multivariate generalized Pareto distributions, Tools for Decision Analysis, No. 12, 2011.

Autori: Prof. dr Slobodan Krnjetin, Red. prof. Msc Slobodan Šupić, asist. Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2413, Tel.+381 21 464-135.
E-mail: krnjetis@ptt.rs

Đurić, I., Ilić, V., Ralević, N.

**DESKRIPTORI OBLIKA I NJIHOVA PRIMENA U ANALIZI ELEMENATA
KLASIČNOG ARHITEKTONSKOG STILA**

Rezime: Arhitektonski stil karakterišu elementi kao što su forma, konstrukcija, materijalizacija i regionalni karakter. U ovom radu posmatrana je forma određenih arhitektonskih elemenata, pri čemu cilj rada predstavlja analizu i opis elemenata sa slike, korišćenjem deskriptora oblika. U radu su razmatrani standardni deskriptori zasnovani na diskretnim momentima pridruženim obliku, kao i njihovim kombinacijama sa drugim globalnim deskriptorima oblika. Na ovaj način, numerički su okarakterisani glavni elementi klasičnog arhitektonskog stila. Korisnost i efikasnost razmatranih deskriptora u zadacima klasifikacije klasičnog arhitektonskog stila ilustrovana je odgovarajućim eksperimentalnim rezultatima.

Ključne reči: Analiza oblika, deskriptori, momenti, klasični arhitektonski stil, stubovi

1. UVOD

Razlikovanje arhitektonskih stilova bazira se na poznavanju osnovnih elemenata koji ih karakterišu, kao što su forma, konstrukcija, materijalizacija i regionalni karakter. Raspoznavanje i razlikovanje stilova golim okom na osnovu njihovih vizuelnih karakteristika podrazumeva se uglavnom u krugovima stručnjaka iz oblasti, kao što su arhitekta, umetnici, istoričari umetnosti itd. S druge strane, sa sve bržim razvojem računara, kao i tehnologija za akviziciju slike, može se uočiti sve veća potreba za uključivanjem različitih alata mašinskog učenja, veštačke inteligencije i kompjuterske vizije u zadacima ovog tipa. U ovom radu, prikazan je jedan interdisciplinarni pristup u kome se određeni alati u obradi slike zasnovani na analizi oblika mogu primeniti, zajedno sa određenim elementima mašinskog učenja i kompjuterske vizije u odgovarajućim zadacima analize, prepoznavanja i klasifikacije osnovnih elemenata klasičnog arhitektonskog stila.

Klasični stil predstavlja jedan od najstarijih stilova u arhitekturi, čije osnovne elemente čine stubovi pet standardnih tipova, odnosno redova arhitekture: Toskanski (*Tuscan*), Dorski (*Doric*), Jonski (*Ionic*), Korintski (*Corinthian*) i Kompozitni (*Composite*) [1,2]. Dati stubovi su opštepoznati i predstavljaju jedno od glavnih obeležja arhitekture. Međutim, za određivanje tipa stuba na osnovu njihove vizuelne reprezentacije uglavnom je potrebno uključivanje stručnjaka iz oblasti. Kroz celu istoriju arhitekture, veliki teoretičari bavili su se definisanjem mera i proporcija koje precizno karakterišu pet redova klasične arhitekture.

U ovom radu će biti prikazan jedan relativno nov koncept u zadacima analize, poređenja,

prepoznavanja ili klasifikacije posmatranih stubova klasične arhitekture koji se sastoji od sledećih koraka: 1) analiza određenih prepoznatljivih atributa razmatranih oblika stubova; 2) primena odgovarajućih metoda (mera) za numeričku karakterizaciju takvih atributa oblika, koje se zatim koriste kao koordinate vektora karakteristika posmatranog oblika (*feature vector*). Ovakva korespodencija između prostora oblika stubova i pridruženog vektorskog prostora karakteristika (*feature vector space*) omogućava da se određeni zadaci zasnovani na poređenju stubova mogu direktno i prilično lako izvršiti u pridruženom vektorskom prostoru karakteristika, pre nego u inicijalnom prostoru stubova.

2. PET REDOVA ARHITEKTURE

Glavne elemente klasičnog arhitektonskog stila predstavljaju pet redova arhitekture [1,2]. Redovi su stubovi postavljeni na postolja, koji nose venac. Stub se može podeliti na osnovne delove koje čine stopa, telo i kapitel. Redovi predstavljaju temelje klasične arhitekture, čiji je osnovni cilj bio postizanje harmonije, odnosno usklađenosti delova prema celini [1]. Osnovna mera koja karakteriše svaki od pet stubova standardnih tipova predstavlja odnos prečnika donjeg dela stuba prema visini [1,2,3]. Proporcije pet redova prvobitno su definisane od strane Vitruvija (*Marcus Vitruvius*) [3]. Njegov princip zasniva se na postavljanju prečnika stuba kao osnovnog modula za iskazivanje proporcija pojedinih delova arhitektonskog reda. Iz datog modula izvođene su proporcije različitih elemenata reda, mada ne uvek direktno, već kao niz delova prečnika. Tipove stubova razrađivali su brojni veliki teoretičari kroz

celu istoriju arhitekture, pri čemu se mogu uočiti varijacije u definisanju osnovnog modula. Neki od autora koristili su poluprečnik, ili niz delova prečnika kao osnovni modul za postavljanje proporcija različitih elemenata reda, dok su drugi ostali verni Vitruviju. U svom radu Vitruvije nije opisao dva reda, Toskanski i Kompozitni, pa se za prvu sveobuhvatnu ilustraciju redova smatra delo Sebastijana Serlia (*Sebastiano Serlio*), koji predstavlja svih pet redova u uskom međusobnom odnosu, tj. u odnosu prečnika donjeg dela stuba prema visini. Osim odnosa proporcija, stubovi se razlikuju po svojim kapitelima, od kojih je svaki specifično oblikovan i ukrašen. U ovom istraživanju biće prikazan koncept koji se zasniva na analizi određenih deskriptora oblika stuba i njima pridruženim merama. Date mere bazirane su na upotrebi diskretnih momenata koji su pridruženi posmatranom obliku. U narednom poglavlju će biti dat detaljniji pregled razmatranih deskriptora i odgovarajućih pridruženih mera oblika.

3. DESKRIPTORI OBLIKA

Oblik je jedna od osnovnih komponenti realnog objekta (zajedno sa teksturom i bojom) i kao takav ne zahteva formalnu definiciju. Oblik se uobičajeno može predstaviti kao ograničen, ne neophodno povezan, neprazan skup u ravni, dok se na binarnim (to jest crno-belim) digitalnim slikama može predstaviti kao skup crnih piksela na beloj pozadini.

U ovom radu koristiće se nekoliko mera definisanih pomoću odgovarajućih momenata koji su pridruženi posmatranom obliku. Momenat reda $p+q$ datog oblika S definisan je na sledeći način:

$$m_{p,q}(S) = \iint_S x^p y^q dx dy. \quad (1)$$

Neka od osnovnih svojstava oblika kao što su veličina (površina) i položaj (centroid) oblika se mogu efikasno izraziti pomoću odgovarajućih momenata reda ne većeg od jedan. Na primer, moment nultog reda $m_{0,0}(S)$ predstavlja površinu, dok su koordinate centroida date na sledeći način:

$$(x_c, y_c) = \left(\frac{m_{1,0}(S)}{m_{0,0}(S)}, \frac{m_{0,1}(S)}{m_{0,0}(S)} \right). \quad (2)$$

Za računanje mera koje se u radu primenjuju korišćeni su normalizovani momenti, $\mu_{p,q}(S)$, definisani na sledeći način:

$$\mu_{p,q}(S) = \frac{1}{m_{0,0}(S)^{\frac{p+q+2}{2}}} \cdot \iint_S (x - x_c)^p (y - y_c)^q dx dy. \quad (3)$$

S obzirom na to da se posmatrani stubovi mogu posmatrati i kao jedna celina (ceo oblik je jedna komponenta), ali i kao složen objekat sa prirodno definisanim komponentama (na primer, stopa, telo i kapitel stuba), u ovom radu će se koristiti odgovarajuće mere originalno dizajnirane i za jedno-komponentne, ali i za više-komponentne oblike. Mere koje su od posebnog interesa, za ovaj rad, jesu prva Huova moment invarijanta $H_1(S)$ definisana u [4] kao

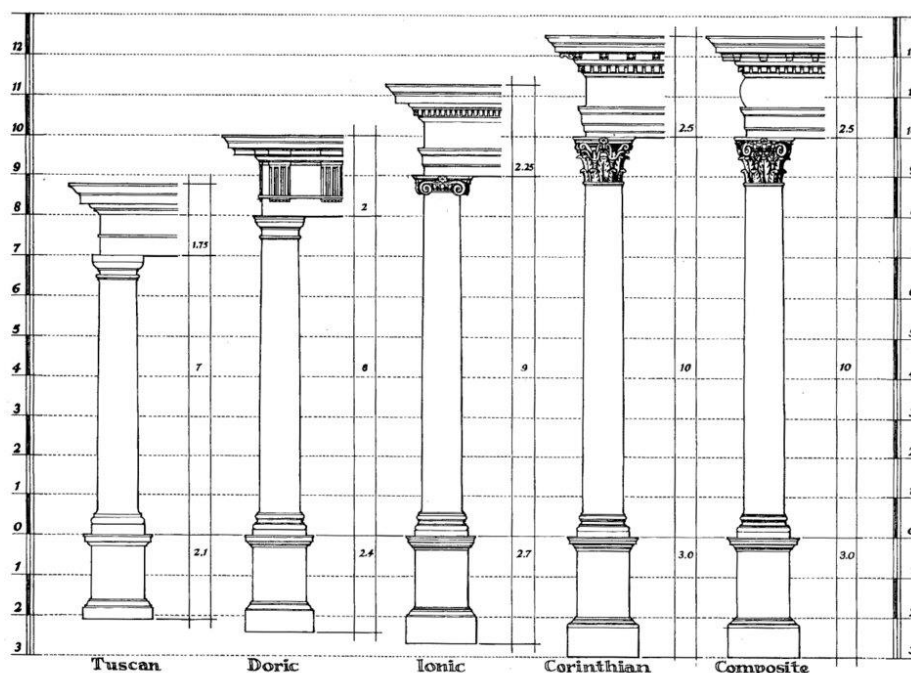
$$H_1(S) = \mu_{2,0}(S) + \mu_{0,2}(S), \quad (4)$$

ali i moment invarijanta $D(S)$, definisana za više-komponentne oblike u [5] na sledeći način:

$$D(S) = H_1(S) - \frac{1}{m_{0,0}(S)^3} \sum_{i=1}^n m_{0,0}(S_i)^3 H_1(S_i). \quad (5)$$

4. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

U ovom radu, kao test primeri, korišćene su digitalne slike tehničkih crteža, odnosno izgleda stubova, kao što je opisano u [2]. U tom radu, autor je na komparativan način prikazao pet redova arhitekture definisane od strane najznačajnijih teoretičara, i na kraju kreirao sopstvenu idealizovanu formu (Slika 1) i proporcije za svaki tip stuba. Na Slici 1 ilustrovani su redovi arhitekture u njihovom međusobnom odnosu, gde glavnu jedinicu mere proporcija (modul) predstavlja prečnik donjeg dela stuba, pri čemu razmernik na slici određuje koliko puta se prečnik stuba sadrži u njegovoj visini. Idealizovana mera autora Roberta Čitama (Slika 1) definiše proporcije stubova na sledeći način: visinu Toskanskog stuba čini sedam prečnika (Slika 1: *Tuscan*); Dorskog osam (Slika 1: *Doric*); Jonskog devet (Slika 1: *Ionic*); Korinskog (Slika 1: *Corinthian*) i Kompozitnog (Slika 1: *Composite*) deset prečnika. Data mera varira kod različitih autora koji su u ovom radu analizirani. Iz navedenog izvora [2], razmatrani su stubovi definisani od strane pet autora: Serlio (*Serlio*), Vinjola (*Vignola*), Palladio (*Palladio*), Gibs (*Gibbs*) i Čitam (*Chitham*).



Sl. 1. Komparativna interpretacija pet redova arhitekture autora Roberta Čitama [2]

Sa datih slika izdvojeni su i analizirani samo stubovi koje čine stopa, telo stuba i kapitel (na Slici 1 obeleženi razmernikom od 0 do 7,8,9 ili 10, u zavisnosti od tipa). U eksperimentima nije posmatrano postolje na kojem počiva stub (Slika 1: deo reda ispod tačke 0 na razmerniku) s obzirom na to da, prema različitim ilustracijama, ne mora obavezno biti prisutno i ne čini suštinski element reda [2]. Takođe, venac, kao deo reda oslonjen na stub (Slika 1: deo koji stub nosi, obeležen razmernikom od 7,8,9 ili 10 u zavisnosti od tipa reda) nije razmatran u eksperimentima, s obzirom na to da se kao poseban element klasičnog reda može dodatno raščlaniti na veliki broj manjih delova koji su u proporcijском odnosu, a čija bi dodatna analiza prvazilazila obim istraživanja koji je u ovom radu predstavljen.

U cilju ilustracije primenljivosti i korisnosti razmatranih deskriptora oblika u zadacima klasifikacije stubova klasičnog arhitektonskog stila, u radu je korišćen test skup koji sadrži ukupno 25 digitalnih slika (pet tipova stubova od pet autora). S obzirom na to da su standardne arhitektonske mere zasnovane na merenju određenih karakteristika pojedinih delova posmatranih stubova, potrebno je određeno preprocesiranje originalnih slika kako bi se one pripremile za primenu prethodno opisanih mera. Razmatrani stubovi mogu se posmatrati dvostruko; kao jedna celina (ceo stub se tretira kao jedna komponenta), ali i kao složen objekat (odgovarajuće komponente stuba su stopa, telo i kapitel stuba). Pored mera opisanih u (4) i (5), u

radu su korišćene još dve globalne mere stuba, $P_1(S)$ i $P_2(S)$, koje na određeni način predstavljaju odgovarajuće proširenje određenih proporcija stubova razmatranih u definisanju idealizovane mere [2]. Date mere su definisane na sledeći način:

$$P_1(S) = \frac{\text{visina stuba}}{\text{prečnik stope}} \quad (6)$$

$$P_2(S) = \frac{\text{visina tela stuba}}{\text{prečnik donje osnove tela stuba}} \quad (7)$$

Za klasifikaciju slika posmatranog test skupa primenjen je klasifikator tri najbliža suseda (*3-nearest neighbor classifier*) zasnovan na Mahalanobisovom rastojanju. Rezultati klasifikacije dobijeni primenom prethodno opisanih mera oblika, pojedinačno ili njihovim odgovarajućim kombinacijama, prikazani su u Tabeli 1.

Tabela 1. Rezultati klasifikacije (druga kolona) dobijene primenom određenih mera oblika, kao i njihovim kombinacijama (prva kolona).

Primenjene mere	Tačnost klasifikacije
$P_1(S)$	40%
$P_2(S)$	56%
$D(S)$	60%
$P_1(S)+D(S)$	64%
$H_1(S)$	68%
$P_2(S)+D(S)$	68%
$P_2(S)+H_1(S)$	76%
$P_1(S)+H_1(S)+D(S)$	80%
$P_2(S)+H_1(S)+D(S)$	84%

Predstavljeni rezultati klasifikacije dobijeni su primenom tzv. *leave-one-out* strategije mašinskog učenja gde se po svim mogućim podelama inicijalnog test skupa od 25 digitalnih slika, njih 24 koristi za treniranje (to jest dizajniranje) klasifikacionog modela, dok se istrenirani model zatim evaluira na preostaloj slici test skupa.

Kao što se može videti iz Tabele 1, postignute tačnosti klasifikacije idu u prilog činjenici da opisane mere deskriptora oblika (date u (4) i (5)) pojedinačno, ili kombinovane sa odgovarajućim globalnim merama određenih komponenti stubova (definisanim u (6) i (7)), mogu biti veoma uspešno primenjene za ovako definisan klasifikacioni zadatak. Na ovaj način dobijene stope klasifikacije takođe su u skladu sa očekivanim rezultatima i teorijski dokazanim svojstvima koje posmatrane moment invarijante $H_I(S)$ (4) i $D(S)$ (5) zadovoljavaju. Poslednje sledi iz činjenice da se, shodno teorijskim rezultatima predstavljenim u [6], odgovarajuća mera kružnosti oblika, zasnovana na prvoj Huovoj moment invarijanti $H_I(S)$, može takođe koristiti i kao odgovarajuća mera linearnosti posmatranog oblika. Drugim rečima, „manje kružni” oblici mogu se takođe razumeti i kao „više linearni”, ali i obratno. Data činjenica uočava se upravo u dobijenim rezultatima izvršenih eksperimenata, s obzirom na to da su pojedini stubovi više linearni, kao na primer Kompozitni tip u odnosu na Toskanski, koji se ujedno i u teoriji smatra najmasivnijim [1], odnosno „najmanje linearnim” od ostalih redova klasične arhitekture. S druge strane, na osnovu teorijskih rezultata prikazanih u [5], razmatrana moment invarijanta $D(S)$, kao odgovarajuća mera nepovezanosti komponenti posmatranog oblika, na određeni način numerički ocenjuje koliko su razmatrane komponente stuba (to jest, stopa, telo i kapitel) međusobno nepovezane. Dobijeni rezultati su takođe konzistentni sa očekivanim rezultatima, s obzirom na to da su kod pojedinih tipova stubova ovako definisane komponente više, a kod drugih manje nepovezane. Tako, na primer, rezultira da su komponente Jonskog stuba najmanje nepovezane, dok su kod Toskanskog stuba njegove komponente najviše nepovezane. Dati rezultati mogu se posmatrati i kroz analizu kapitela. Toskanski kapitel, iako prilično sličan Dorskom, sadrži manji broj sitnih profila od Dorskog [1], dok se Jonski kapitel odlikuje izrazito specifičnim oblikom, odnosno uvijenim krajevima jednog elementa, takozvanim volutama.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu opisane su odgovarajuće mere oblika primenjene u zadacima klasifikacije stubova klasičnog arhitektonskog stila. Prema najboljem saznanju autora, do sada ne postoje značajnija iskustva u dometima koji pristup, predstavljen u ovom radu, pruža u zadacima ovog tipa. Pored standardnih arhitektonskih mera određenih karakteristika stubova, zasnovanih na odgovarajućim proporcijama pet redova klasične arhitekture, u radu su takođe korišćeni i odgovarajući deskriptori oblika. Dati deskriptori oblika zasnovani su na diskretnim momentima pridruženim posmatranim stubovima. S obzirom na to da su inicijalni rezultati veoma ohrabrujući, dalja analiza i razvoj novih deskriptora oblika posmatranih stubova klasične arhitekture, od posebnog su interesa u daljem razvijanju predloženog koncepta i poboljšanju njegovih performansi.

Zahvalnica

Rad je podržan od strane naučno-istraživačkih projekata ON174009 i ON174019 Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

6. REFERENCE

- [1] Summerson, J.: *The Classical Language of Architecture*, MIT Press, Cambridge, 1966.
- [2] Chitham, R.: *The Classical Orders of Architecture*, Elsevier, 2nd edition, Oxford, 2005.
- [3] Vitruvius, M.: *The ten books on architecture*, Harvard University Press, Cambridge, 1914.
- [4] Hu, M.: *Visual pattern recognition by moment invariants*, IRE Transactions on Information Theory, 8, p.p. 179-187, 1962
- [5] Žunić, J., Rosin, L. P., Ilić, V.: *Disconnectedness: A new moment invariant for multi-component shapes*, Pattern Recognition, 78, p.p. 91-102, 2018.
- [6] Žunić, J., Hirota, K., Rosin, L.: *A Hu moment invariant as a shape circularity measure*, Pattern Recognition, 43, p.p. 47-57, 2010

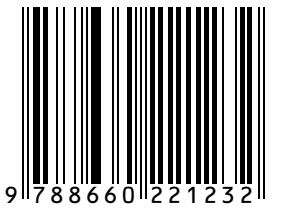
Autori: M.Sc. Isidora Đurić, M.Sc. Vladimir Ilić, prof. dr Nebojša Ralević, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija

E-mail: isidoradjuric@uns.ac.rs

vlada.mzsvi@uns.ac.rs

nralevic@uns.ac.rs

ISBN 978-86-6022-123-2



9 788660 221232