



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



ETIKUM 2014

PROCEEDINGS

Novi Sad, 19-20 June 2014

PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
**ETIKUM 2014 - METROLOGY AND QUALITY IN PRODUCTION ENGINEERING AND
ENVIRONMENTAL PROTECTION**
Novi Sad 2014

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

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

Editor: Dr Rade DOROSLOVACKI, professor, dean

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

Technical treatment and design: MSc Boris AGARSKI, assistant
MSc Branislava CRNOBRNJA, associate
Dr Ivan MATIN, associate
MSc Milana ILIC, associate
MSc Vesna MEDIC, associate

Manuscript submitted for publication: June 20, 2014

Printing: 1st

Circulation: 200 copies

CIP classification:

CIP-Katalogizacija u publikaciji
Biblioteka Matice srpske, Novi Sad

621:658.562(082)
502.175(082)

**INTERNATIONAL Scientific Conference ETIKUM - Metrology and Quality in
Production Engineering and Environmental Protection (2014 ; Novi Sad)**

Proceedings / [International Scientific Conference]
ETIKUM 2014 [- Metrology and Quality in Production Engineering and Environmental
Protection], Novi Sad, 19 -20 June, 2014 ; [editor Rade Doroslovački]. 1st printing. – Novi Sad :
Faculty of Technical Sciences, Department of Production Engineering, 2014 (Novi Sad : FTN,
Graphic Centre GRID). – 248 str. : ilustr. ; 30 cm

Radovi na engl. i srp. jeziku. – Pun naziv manifestacije preuzet iz kolofona. – Tekst štampan
dvostubačno. - Tiraž 200. – Bibliografija uz svaki rad.

ISBN 978-86-7892-616-7

a) Производно машинство – Контрола квалитета – Зборници
б) Животна средина – Контрола квалитета – Зборници
COBISS.SR-ID 286974727

Printing by: FTN, Graphic Centre
GRID, Novi Sad

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

ETIKUM 2014

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE NOVI SAD, SERBIA, JUNE 19-20, 2014

CONFERENCE ORGANIZER

University of Novi Sad
Faculty of Technical Sciences
Department of Production Engineering
&
CASE-LCA Network – LCA Network of Central and Southeastern Europe Novi Sad, Serbia

PROGRAMME COMMITTEE

Assist. prof. dr Aco Antic, FTN Novi Sad
Prof. dr Borut Kosec, FS Ljubljana
Assoc. prof. dr Branka Nakomcic-Smargdakis, FTN
Dr Branka Trifkovic, SF Beograd
Prof. dr Branko Skoric, FTN Novi Sad
Assist. prof. dr Dejan Ubavin, FTN Novi Sad
Assist. prof. dr Djordje Vukelic, FTN Novi Sad
Prof. dr Dragisa Vilotic, FTN Novi Sad
Prof. dr Drazan Kozak, SF Slavonski Brod
Dr Ferenc Kiss, TF Novi Sad
Prof. dr Goran Stojanovic, FTN Novi Sad
Prof. dr Goran Vujic, FTN Novi Sad
Assist. Prof. dr Igor Budak, FTN Novi Sad
Assoc. Prof. Dr Igor Drstvensek, UNI Maribor
Prof. dr Ilija Cosic, FTN Novi Sad
Prof. Ing. Ivan Kuric, PhD, UNI Žilina
Prof. dr Janko Hodolic, FTN Novi Sad, chairman
Prof. Ing. Jozef Peterka, PhD STUBA Trnava
Prof. Ing. Jozef Zivcak, PhD, TU Kosice
Prof. dr Klara Szita Toth, EF Miskolc
Prof. Ing. Lubomir Soos, PhD, STUBA Bratislava
Ing. Marie Ticha, TU, Usti nad Labem
Prof. dr Marian Borzan, TU, Cluj-Napoca

Assist. prof. dr Milovan Lazarevic, FTN Novi Sad
Prof. dr Miladin Brkic, PF Novi Sad
Prof. dr Milan Martinov, FTN Novi Sad
Assist. Prof. dr Miljana Prica, FTN Novi Sad
Assoc. prof. dr Miodrag Hadzistevic, FTN Novi Sad
Prof. Emeritus dr Mirjana Vojinovic-Miloradov, FTN
Prof. dr Mirko Sokovic, FS Ljubljana
Dr.h.c. prof. Ing. Miroslav Badida, PhD., TU Košice
Prof. dr Miroslav Plancak, FTN Novi Sad
Prof. dr Miroslav Trajanovic, MF Nis
Prof. dr Petar Petrovic, MF Belgrade
Assist. prof. Ing. Robert Cep, PhD, TU Ostrava
Assoc. Prof. dr Sinisa Mirkovic, MF Novi Sad
Prof. dr Slavko Arsovski, MF Kragujevac
Prof. dr Stanislaw Adamczak, UNI Kilce
Prof. dr Sefket Goletic, MF Zenica
Assist. prof. dr Tatjana Puskar, MF Novi Sad
Prof. dr Viktor Till, MF Novi Sad
Assist. prof. Ing. Vladimir Koci, PhD, VSCHT Prag
Prof. dr Zbigniew Klos, UNI Poznan
Prof. dr Zdravko Krivokapic, MF Podgorica
Prof. dr Zeljko Ivandic, SF Slavonski Brod
Assist. prof. dr Zivana Jakovljevic, MF Beograd

ORGANIZING COMMITTEE

Mr Boris Agarski, secretary
MSc Branislava Crnobrnja, PhD student
MSc Branko Strbac, PhD student
Assist. Prof. dr Djordje Vukelic
Assist. Prof. dr Igor Budak
Mr Ivan Matin, PhD student
MSc Ivan Sovilj-Nikic, PhD student

Prof. dr Janko Hodolic, chairman
MSc Mario Sokac, PhD student
Prof. dr Miladin Brkic
MSc Milana Ilic, PhD student
Assoc. Prof. dr Miodrag Hadzistevic
MSc Zeljko Santosi, PhD student
MSc Zorica Gluvakov, PhD student

ETIKUM 2014

**INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
NOVI SAD, SERBIA, JUNE 19-20, 2014**

ACKNOWLEDGEMENT

Organisation of International Scientific Conference ETIKUM 2014 was made possible with understanding and financial help of following sponsors:

- **PROVINCIAL SECRETARIAT FOR SCIENCE AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT OF AP VOJVODINA – Novi Sad**
- **FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES - Novi Sad**
- **DEPARTMENT FOR PRODUCTION ENGINEERING AT THE FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES - Novi Sad**
- **HITARD ENGINEERING – Novi Sad**
- **MAJEVICA HOLDING – Backa Palanka**
- **MANZAN 98 OC DOO – Petrovaradin**
- **ALBATROS DOO - Novi Sad**
- **INDUSTRIJAIMPORT DOO – Novi Sad**
- **TEHNOEXPORT - Indjija**

Foreword

International Scientific-Expert Conference ETIKUM 2014 will be held for the eight time and one can say that it has become a traditional. When established in 2006, the conference is designed as informative-educational and scientific-expert. Informative and educational dimension is reflected through the participation of lecturers from among expert representatives of the eminent manufacturers of equipment connected to educational and research processes at the Faculty. Moreover, the emphasis are on the dissemination of information as well as on education in relation to technological innovations related to both - hardware and software components. Scientific and expert, i.e., professional dimensions of conference are achieved through the presentation of scientific and expert results, primarily from the field of the Chair of metrology, quality, fixtures, tools and ecological engineering aspects. In addition, thanks to the development of interdisciplinary cooperation, the conference this year included the related scientific and technical fields, in which members of the Chair implement research and professional projects.

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

- 1. Metrology and quality control in production engineering;*
- 2. Metrology and quality control in biomedical engineering;*
- 3. Metrology and quality in environmental protection and*
- 4. Biomass processing in environmental protection engineering*

The first thematic area, in addition to the classical aspects of metrology and quality in the field of production engineering, included subjects related to precision engineering and nano metrology and related technologies.

The second thematic area was focused on presenting the research results obtained in the framework of a national project from the program of technological development TR35020 "Research and development of modelling methods and processes of manufacturing of dental restorations using modern technology and computer aided system". In addition, this year this section is enriched with submissions of researchers from other Faculty's departments dealing with biomedical engineering.

The third thematic area this year attracted a large number of researchers from various areas of environmental protection. A significant contribution was given by results achieved in the framework of the multilateral project "The platform for building the network of LCA centers and R&D institutes from Central and Southeastern Europe", as well as by results achieved within the project important for science and technological development of AP Vojvodina "Continuous quality improvement of products and processes throughout the entire life cycle".

The fourth thematic area is dedicated to biomass processing in environmental protection engineering, which includes subjects related to pelleting and briquetting machine design and production, biomass combustion and environmental properties.

At ETIKUM 2014 conference 58 scientific-expert papers were presented, as well as several informative-educational presentations of expert representatives from reputable companies: Carl Zeiss and Amandus Kahl from Germany. The conference was attended by over 100 speakers and listeners from academia and business from eight European countries.

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

Novi Sad, June 2014

**PROGRAMME AND ORGANIZING
COMMITTEE**

Predgovor

Naučno stručna konferencija sa međunarodnim učešćem ETIKUM 2014 se održava osmi put i može se reći da je već postala tradicionalna. U vreme kada je koncipirana, 2006. godine, konferencija je osmišljena kao informativno-edukativna i naučno-stručna. Informativno-edukativna dimenzija se oslikava kroz učešće predavača iz redova stručnih predstavnika eminentnih proizvođača opreme koja se koristi u edukativnim i istraživačkim procesima na našem Fakultetu. Pri tome je akcenat na diseminaciji informacija i edukaciji u vezi sa tehnološkim novitetima u oblasti hardverskih i softverskih komponenti. Naučno-stručna dimenzija konferencije se ostvaruje kroz predstavljanje naučnih i stručnih rezultata, pre svega, iz oblasti koje obuhvata Katedra za metrologiju, kvalitet, pribore, alate i ekološko inženjerske aspekte. Pored toga, zahvaljujući razvoju interdisciplinarne saradnje, konferencija je i ove godine obuhvatila i srodne naučno stručne oblasti, u okviru kojih članovi Katedre realizuju naučno-istraživačke i stručne projekte.

Ove godine je konferencija strukturirana u četiri tematske celine:

- 1. Metrologija i kontrola kvaliteta u proizvodnom mašinstvu*
- 2. Metrologija i kontrola kvaliteta u biomedicinskom inženjerstvu*
- 3. Metrologija i kvalitet u zaštiti životne sredine*
- 4. Prerada biomase u inženjerstvu zaštite životne sredine*

Prva tematska oblast je, pored klasičnih aspekata metrologije i kvaliteta u oblasti proizvodnog mašinstva, obuhvatila i precizno inženjerstvo, odnosno nano metrologiju i srodne tehnologije.

U okviru druge tematske oblasti su ove godine - pored rezultata istraživanja na nacionalnom projektu u oblasti tehnološkog razvoja TR35020 „Istraživanje i razvoj metoda modeliranja i postupaka izrade dentalnih nadoknada primenom savremenih tehnologija i računarom podržanih sistema“ - rezultate svojih aktivnosti u oblasti biomedicinskog inženjerstva predstavili istraživači sa drugih departmana FTN-a.

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

Četvrta tematska oblast je posvećena preradi biomase u inženjerstvu zaštite životne sredine koja obuhvata teme vezane za projektovanje i proizvodnju mašina za peletiranje i briketiranje, energetske i ekološke karakteristike biomase.

Na konferenciji ETIKUM 2014 je prezentovano ukupno 58 naučnih i stručnih radova, a održano je više informativno edukativnih prezentacija stručnih predstavnika kompanija Carl Zeiss i Amandus Kahl iz Nemačke. U radu konferencije je učestvovalo preko 100 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.

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

Topčić, A., Cerjaković, E., Lovrić, S.: ANALYSIS OF DIMENSIONAL DEVIATION OF PARTS BASED ON CERAMIC PRODUCED BY THREE DIMENSIONAL PRINTING PROCESS	1
Trif, A., Borzan, M., Rus, A., Nedežki, C., Agarski, B.: STUDIES AND RESEARCHES ON INSERT WEAR IN TURNING PROCESS	5
Fulea, G. L., Borzan, M., Bocănet, V., Bulgaru, M. Štrbac, B.: CONTRIBUTIONS TO THE APPLICATION OF ANALYSIS FMEA OF A CMM MEASURING PROCESS	11
Nemedi, I., Štrbac, B., Hodolič, J., Stepien, K. Hadžistević, M.: PRIKAZ PROGRAMA SIMULACIJE ZA ODREĐIVANJE STVARNOG OBLIKA ROTACIONIH MERNIH PREDMETA.....	15
Jakovljević, Ž., Marković, V., Miladinović, M.: RECOGNITION OF ELLIPTICAL SEGMENTS IN SCANNED LINES	19
Kosec, B. Karpe, B., Černe, V., Nagode, A., Brezigar, M., Kosec, G., Soković, Bizjak, M.: HEAT TREATMENT OF COLD FORMED STEEL SEMI-PRODUCTS FOR THE AUTOMOTIVE INDUSTRY.....	23
Žutković, M., Vilotić, D., Skakun, P.: REOLOŠKI PRORAČUN KALUPA ZA INJEKCIONO PRESOVANJE MASKE ELEKTRO-PREKIDAČA	27
Gerik, G., Sovilj-Nikić, I., Sovilj, B., Štrbac, B., Trif, A., Popescu, A.: TOPOGRAFIJA I HABANJE ULAZNE BOČNE LEĐNE POVRŠINE MODELSKIH ALATA.....	31
Babić, B., Sovilj-Nikić, I., Sovilj, B., Hadžistević, M., Bere, P.: TOPOGRAFIJA I HABANJE IZLAZNE BOČNE LEĐNE POVRŠINE MODELSKIH ALATA	35
Vukman, J., Hadžistević, M., Hodolič, J., Lukić, D.: SAGLEDAVANJE MOGUĆNOSTI PRIMENE STEP I STEP-NC STANDARDA U PROCESU MERENJA.....	39
Plancak, M., Kacmarcik, I., Ivanišević, A.: TUBE HYDROFORMING – PLAUSIBLE ALTERNATIVE IN THE PRODUCTION OF LIGHT WEIGHT COMPONENTS	43
Antić, A., Milošević, M., Živković, A., Ungureanu N.: UTICAJ HABANJA ALATA NA PROMENU OBLIKA SEGMENTACIJE STRUGOTINE I SPEKTRA SIGNALA VIBRACIJA.....	47
Beniak, J., Križan, P., Matuš, M.: SYSTEMS OF RAPID PROTOTYPING IN MECHANICAL ENGINEERING PRACTICE	51

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

Veljko, D., Marjanović, D., Tepić, Ž.: ANDROID APLIKACIJA ZA AKVIZICIJU I PRIKAZ EEG SIGNALA	55
Milutinović, A., Popović, B., Popov, N.: STIM – PROGRAMSKI JEZIK ZA KONTROLU FUNKCIONALNE	

ELEKTRIČNE STIMULACIJE	59
Maksimović, S., Živković, D., Vojin, I.: MIOELEKTRIČNI UPRAVLJAČKI INTERFEJS NEUROPROTEZE ŠAKE	63
Simić, M., Sireteanu, M.: REAL TIME TEMPERATURE AND RELATIVE HUMIDITY MONITORING SYSTEM USING LABVIEW	67
Škorić, B, Schrittwieser, R., Cavaleiro, A.: NANO METROLOGY IN BIOMEDICAL ENGINEERING	71
Brajlih, T., Kostevšek, U., Zupančič, H. T., Paulič, M., Irgolič, T., Balič, J., Hadžistević, M., Drstvenšek, I.: COMPARISON OF MANUFACTURING TECHNOLOGIES OF FIXED STRUCTURES IN PROSTHETIC DENTISTRY	75
Lainović, T., Ivanišević, A., Blažić, L., Vilotić, D., Gerić, K.: ISPITIVANJE MEHANIČKIH OSOBINA STOMATOLOŠKIH NANOKOMPOZITA NA BAZI POLIMERNIH SMOLA	79
Tovilović, T., Đurović-Koprivica, D., Milekić, B.: PRIMENA GIPSEVA U STOMATOLOŠKOJ PROTETICI. 83	
Vuletić, J., Marković, D., Šokac, M., Santoši, Ž., Tadić, A., Mirković, S.: ISPITIVANJE BIODOKOMPATIBILNOSTI AM MATERIJALA ZA PRIMENU U STOMATOLOŠKOJ PROTETICI.....	87
Potran, M., Milutinović, M., Milekić, B., Trifković, B., Puškar, T.: ISPITIVANJE MEHANIČKIH KARAKTERISTIKA AKRILATNIH MATERIJALA ZA PRIMENU U STOMATOLOŠKOJ PROTETICI	91
Đurović-Koprivica, D., Jevremović, D., Milekić, B., Potran, M.: PRIMENA SAVREMENIH TEHNOLOGIJA I RAČUNAROM PODRŽANIH SISTEMA PRI ODREĐIVANJU OKLUZO-ARTIKULACIONIH ODNOSA	95
Jevremović, D., Trifković, B., Sekulić, S., Morisan-Basta, I., Reljić, A., Budak, I., Vukelić, Đ.: PRIMENA RAZLIČITIH TEHNOLOŠKIH SISTEMA ZA IZRADU BEZMETALNIH ZUBNIH NADOKNADA	99
Antonov, M., Potran, M., Šokac, M. Todorović, A., Jevremović, D., Puškar, T., Trifković, B.: UREĐAJI ZA INSTRUMENTALNO ODREĐIVANJE BOJE ZUBA	103
Matin, I., Hadžistević, M., Hodolić, J., Vukelić, Đ., Puškar, T., Potran, M., Drstvenšek, I.: RAZVOJ EKSPERTNOG SISTEMA ZA PROJEKTOVANJE SIMULACIONOG MODELA METALNE SUBSTRUKTURE ZA METALOKERAMIČKU KRUNICU	109
Santoši, Ž., Šokac, M., Trifković, B., Till, V., Budak, I.: REKONSTRUKCIJA 3D MODELA LJUDSKE VILICE PRIMENOM FOTOGRAFIJSKE METODE	115
Šokac M., Santoši Ž., Puškar T., Vučaj-Ćirilović V., Budak, I. PRIMENA RAZLIČITIH MODELA SEGMENTACIJE CBCT SNIMAKA KOD REKONSTRUKCIJE 3D MODELA DONJE VILICE	119
Skakun, P., Milutinović, M., Vilotić, D., Lendel, R.: MOGUĆNOST IZRADE DENTALNIH KOMPONENTI METODOM INKREMENTALNOG DEFORMISANJA LIMA	123
Ivanišević, D. Movrin, I. Kačmarčik, D.: PRIKAZ METODOLOGIJE MODELIRANJA NEGATIVA BAZE PROTEZE	127
Movrin, D., Kačmarčik, I., Ivanišević, A., Plančak, M., Spasić, A.: PRIMENA SLS/DMLS TEHNOLOGIJA U IZRADI DENTALNIH NADOKNADA	131

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

Klos, Z.: THE SIMPLE TOOL FOR QUALITY IMPROVEMENT OF TECHNICAL OBJECTS AND PROCESSES	135
Kosec, B. Mitić, S., Babić, I., Soković, M.: INTERDISCIPLINARY DOCTORAL STUDY PROGRAM „ENVIRONMENTAL PROTECTION”	141
Muransky, J.: ENVIRONMENTAL EVALUATION OF MECHANICAL ENGINEERING WORKS.....	145
Goletić, Š., Imamović, M., Imamović, J.: THE IMPACT OF SINTER TECHNOLOGY ON THE ENVIRONMENT	149
Krčmar, D., Baloš, S., Dalmacija, B., Prica, M., Tričković, J., Rončević, S., Maletić, S.: MECHANICAL PROPERTIES OF THERMALLY STABILIZED SEDIMENT-CLAY MIXTURES	153
Krivokapić, Z., Jovanović, J., Vujović, A.: SOCIAL RESPONSIBILITY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SYSTEM	157
Štupar, B. Kosec, B., Soković, M.: THE SYSTEM FOR THE PREVENTION OF WASTEWATER FLOW FROM	

THE PLAN INTO THE ENVIRONMENT	163
Nakomčić-Smaragdakis, B., Dragutinović, N., Čepić, Z., Šljivac, D.: MOGUĆNOST PRIMENE MECHANIZMA ČISTOG RAZVOJA NA PROJEKTIMA OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE MALIH KAPACITETA U VOJVODINI	167
Tanasić, Z., Kosec, B., Janjić, G., Soković, M., Bobrek, M.: LEAN I LCA – SISTEMSKI PRISTUP	171
Prica, M., Adamović, S., Radonić, J., Turk Sekulić, M., Pavlović, Ž., Adamović, D., Kašiković, N.: PROCENA UTICAJA CINKA IZ OTPADNIH POLIMERNIH FLEKSO ŠTAMPANIH GRAFIČKIH MATERIJALA NA ŽIVOTNU SREDINU NAKON NJIHOVE DISPOZICIJE	175
Al-Jidah, R., Agarski, B., Budak, I., Vilotić, D., Kosec, B., Hodolić, J.: MONITORING I UNAPREĐENJE ASPEKATA ŽIVOTNE SREDINE U TOPLANAMA	179
Ilić, M., Budak, I., Borzan, M., Vukelić, Đ. Medić, V.: EMISIJA SUSPENDOVANIH ČVRSTIH ČESTICA U RADNOJ SREDINI ZUBNIH TEHNIČARA – ZDRAVLJE I BEZBEDNOST NA RADU	183
Crnobrnja, B., Hodolić, J., Ticha, M., Petru, J., Budak, I.: ANALIZA AKTUELNOG STANJA U OBLASTI OZNAČAVANJA O ZAŠTITI ŽIVOTNE SREDINE TIPA I PREMA STANDARDU ISO 14024	187
Mirosavljević, Z., Mihajlović, V., Štrbac, D.: TRENUTNO STANJE I PERSPEKTIVE KORIŠĆENJA OTPADNE STAKLENE AMBALAŽE U SRBIJI	191
Karać, M., Draškić, R., Štrbac, Z., Dejanović, M.: UNAPREĐENJE KVALITETA PROIZVODA PRIMENOM DFX ALATA SA ASPEKTA ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE U PLM OKRUŽENJU	195

SESSION 4: BIOMASS PROCESSING IN ENVIRONMENTAL PROTECTION ENGINEERING

Igić, S., Dedović, N., Brkić, M.: ENERGETSKA EFIKASNOST I UTICAJ NA ŽIVOTNU SREDINU RUČNO LOŽENIH KOTLOVA NA BALIRANU PŠENIČNU SLAMU	199
Gluvakov, Z., Brkić, M.: FORMA I DIMENZIJE OTVORA NA MATRICAMA PELETIRKI U ZAVISNOSTI OD VRSTE SIROVINE ZA PRESOVANJE BIOMASE	203
Gluvakov, Z., Prvulović, S. Košut, Z.: ANALIZA TERMIČKO-HEMIJSKIH POKAZATELJA KVALITETA ENERGETSKIH PELETA OD BIOMASE	209
Lalić, N., Komad, R.: PROIZVODNJA PROCESNE OPREME ZA PRERADU BIOMASE	213
Ašonja, A., Brkić, M.: EKOLOŠKI ASPEKTI KORIŠĆENJA OKLASKA KAO BIOGORIVA NA SEMENSKIM CENTRIMA	221
Stojić, S., Stojić, N., Gluvsakov, Z., Aščerić, V.: EKONOMSKA ANALIZA TRŽIŠTA I ISPLATIVOSTI PROCESA PROIZVODNJE ENERGETSKIH PELETA OD BIOMASE U SRBIJI	225
Nježić, Z.: BRIKETIRANJE I PELETIRANJE BIOMASE – ZAŠTITA OD POŽARA I EKSPLOZIJA	229
Karić, M., Nikolić, R.: SAGOREVANJE I GASIFIKACIJA DRVNE BIOMASE U ENERGETSKE I EKOLOŠKE SVRHE	233
Matuš, M., Šooš, L., Križan, P., Biath, P., Beniak, J.: PROGRESSIVE DESIGN OF THE BRIQUETTING DOUBLE SCREW PRESS	237
Križan, P., Svátek, M., Matuš, M., Beniak, J.: IMPACT OF PRESSING TEMPERATURE ON THE PRESSING CONDITIONS IN BRIQUETTING MACHINE PRESSING CHAMBER	241
Biath, P., Šooš, L., Ondruška, J., Matuš, M.: NEW CONCEPTION OF THE PELLETING MILL	245

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
ETIKUM 2014

PROCEEDINGS

Session 1:
METROLOGY AND QUALITY CONTROL IN THE
PRODUCTION ENGINEERING

Novi Sad, 19 – 20 June 2014.

Topčić, A., Cerjaković, E., Lovrić, S.

ANALYSIS OF DIMENSIONAL DEVIATION OF PARTS BASED ON CERAMIC
PRODUCED BY THREE DIMENSIONAL PRINTING PROCESS

Abstract: Thanks to numerous continuous steps forward and improvements RP processes found more and more applications in daily engineering practice. One of area that has significant potential is direct production by 3DP process of ceramic based tools for casting of nonferrous alloys, also known as a ZCast. Due to the specificity of production of objects by 3DP process there are certain smaller or larger dimensional deviations of produced parts from the original 3D CAD model. In this paper is presented an analysis of dimensional deviations of 3DP parts produced for ZCast application with the aim to determinate value of anisotropic scaling factor and post-processing parameters and achieving of adequate dimensional accuracy of produced 3DP ZCast tools.

Key words: Three Dimensional Printing (3DP), ZCast, heat treatment, dimensional deviations

1. INTRODUCTION

Three Dimensional Printing (3DP) process is the one of Rapid Prototyping (RP) processes that due to its characteristics found many opportunities in daily applications. Essentially work of all 3DP systems is based on chemical binding by adhesive liquid medium (binder) of building material – powder, whereby the three dimensional (3D) physical objects are "printed" directly from 3D CAD environment, fig. 1. By this process is possible to create 3D parts with any geometry and form from powder composite materials on the basis of ceramics, metals and polymers.

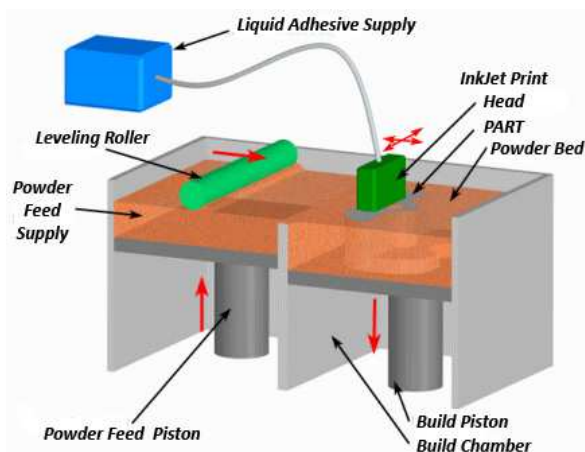


Fig. 1. Working principles of 3DP process [1]

With development of 3DP systems and spreading the range and improving of characteristics of used materials (building materials, binders, infiltrants) besides production of so called non-functional prototypes for validation of ideas and concepts, marketing purposes, or for some other aims implementation

of produced 3DP parts as functional ready made parts, as well as, theirs usage as tools for different purposes is enabled. [2]

2. THEORETICAL CONSIDERATIONS

Usage of 3DP parts as tools is mainly oriented toward production of tools for casting, where application of mentioned tools is implemented on one of two ways: indirect - 3DP part (positive) is base for mold production (negative), respectively, direct - 3DP part is ready made mold (negative).

Direct implementation of produced 3DP parts as a casting tools in casting processes is known as ZCast [3] and enable direct production of molds for direct casting of aluminium and other non-ferrous alloys with melting temperature below 1100 [°C]. For production of 3DP parts which will be utilised in ZCast process the following material are in usage:

- powder building material (ZCast501) based on mix of: foundry sand, ceramics, plaster and other additives, with temperature endurance of 1200 [°C]; [4]
- adhesive (binding) material - binder (zb56).

According to the characteristics of building material post-processing treatment is based on depowdering and heat treatment of produced 3DP parts. Given to the purpose of 3DP parts produced for ZCast process it is necessary to provide theirs adequate geometrical characteristics i.e. dimensions which are within acceptable tolerance area in comparison with dimensions of initial 3D CAD model and casting process. Namely, because of characteristics of building process, the fact that a 3DP ZCast part in its untreated (raw) state

contains about 10% moisture per unit weight [4] which during a heat treatment evaporates and because of corrections of path of printing head during the building process (different size of printing point and printer resolutions [5]) there are certain smaller or bigger deviations of dimensions of produced 3DP parts.

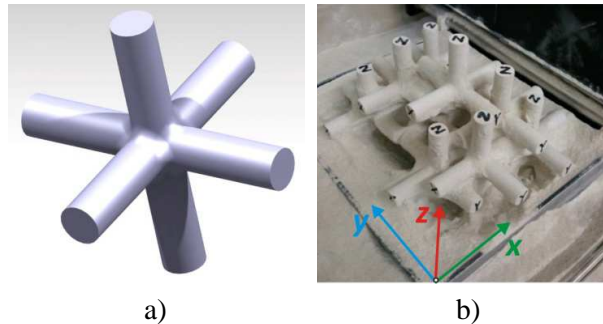


Fig. 2. a) 3D CAD geometry of 3DP test part, b) depowdering of unused building material in working chamber of 3DP machine with associated orientations and designations of test samples

Considering the above mentioned and respecting building direction and part orientation within working chamber during processing of parts it can be expected different deviations of produced parts from the dimensions defined by initial 3D CAD model. The mentioned occurrence is possible to preventive correct by adjusting the parameters of anisotropic scaling of *.stl file of CAD model during the setup of machine. Defining of values of coefficient of anisotropic scaling in direction of three axis within working chamber of 3DP machine (x – direction of movement of printing head holder, y - direction of movement of printing head, z – building direction) as well as defining of overall level of accuracy of produced 3DP ZCast parts is the goal of this paper.

3. EXPERIMENTAL RESEARCH

Analysis of influence of process parameters on dimensional deviations of produced 3DP parts for ZCast process is realised on testing samples with dimensions $100 \times 100 \times 100$ [mm], figure 2.a. presented geometry of adopted testing samples enable orientation of parts according to x , y and z axis that are significant for building process and allow measurement of corresponding dimensional deviations with acceptable production costs. Test samples are produced on machine: z310+, by building material: ZCast501 and appropriate binder: zb56 (producer for all: Z Corp, USA), with layer thickness of building material 0,125 [mm] and with geometric orientation in direction of x , y

and z axis, figure 2.b. With the aim to acquire real deviations of produced 3DP test parts from initial 3D CAD model, production process was realised without compensation and anisotropic scaling, with predefined setup by software of core and shell filler for 3DP test parts built from adopted material.

After production of 3DP parts, post-processing of produced parts in accordance with characteristics of building material (depowering and heat treatment) was done. Parameters of heat treatment are presented on figure 3.a. Temperature (T) and time of heat processing (t) are adopted in accordance with recommendation of producer of used equipment and materials, $T=180 \div 230$ [°C], $t=4 \div 8$ [h], depending on volume of part which ensuring fully drying of part until the part become medium-brown in colour, figure 3.b [3]. For the purposes of analysis 45 test samples was made, i.e. 5 pieces in each point of presented experimental plan.

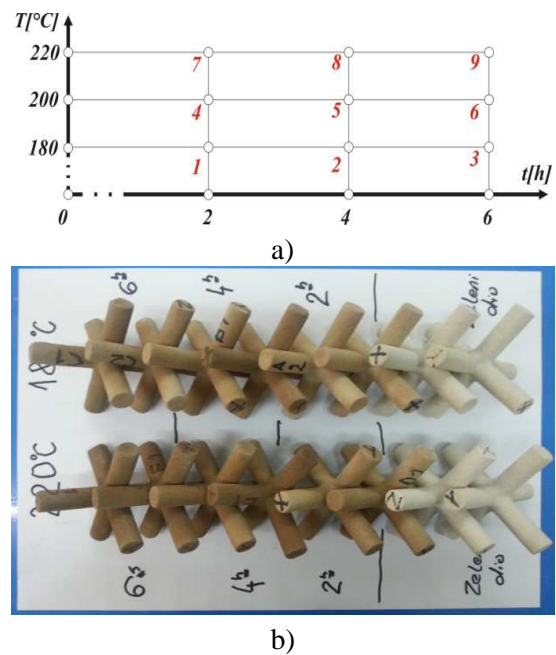


Fig.3. Scheme of experimental plan with post-processing parameters (a) and display of „green“ and heat treated test parts (b)

With the aim to analyse dimensional deviations of produced and post-processed 3DP test parts measurement in direction of x , y and z axis by 3D tactile scanner (figure 4.a) was accomplished. Each direction and each part was measured five times. Measurements of dimensional deviations are realised immediately after heat treatment and after cooling the test parts on room temperature. On the basis of measured data in direction of x , y and z axis and after their systematisation for each of analysed axes, determination of percentage deviation of 3DP test samples from CAD model,

and indirect calculation of correction coefficients, which from the point of view of production of 3DP ZCast parts presents values of anisotropic scaling factor during setup of processing parameters of 3DP machine was done, figure 5.

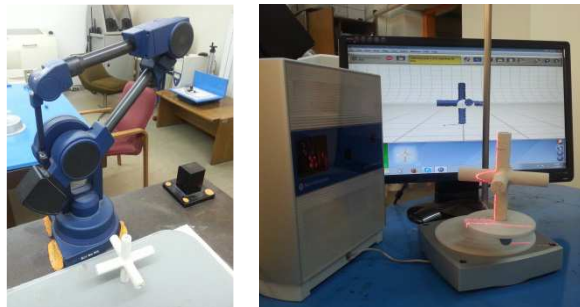


Fig. 4. Measurement of dimensional deviation of produced 3DP test samples: a) 3D tactile scanner MicroScribe MX System, producer: Imersion, USA; b) 3D laser scanner Desktop 3D Scanner HD, producer: NextEngine, USA

Previously introduced approach to analysis of dimensional deviations of produced 3DP test parts enables considerations of general indicators of geometric deviations in direction of x , y and z axis, as well as, determination of recommended values for factors of anisotropic scaling of initial 3D CAD model during the setup of machine. Unfortunately this approach does not indicate on scale of overall geometric deviations of produced parts from geometry of initial „ideal” 3D CAD model. With the aim to determine overall geometric deviations of produced parts from 3D CAD model 3D digitalisation of produced parts (figure 4.b) and CAD inspection of generated and processed cloud of points (figure 6.a) with initial 3D CAD model (figure 2.a) was carried out. By applying of CAD inspection is enabled insight in overall resulting geometric deviations of produced 3DP test parts, whose visualisation of one of analysed cases („green” part – sample 3) is presented on figure 6.b. Review of results of CAD inspection, as well as, comparative values of correction coefficient obtained by tactile scanner – Anisotropic Scaling Factor, for testing points 4, 5 and 6 are presented at figure 7.

4. CONCLUSION

On the basis of measured and systematized data it is possible to perform the following conclusions. Measurements of geometric deviations of produced 3DP test parts in direction of x , y and z axis indicates, in all analysed cases, that „green” part has higher deviations in all

directions then heat treated parts. In all analysed cases largest deviation are identified in direction of z axis, while deviations in directions of x and y axis are approximately equal and for circa 50% smaller (figure 8).

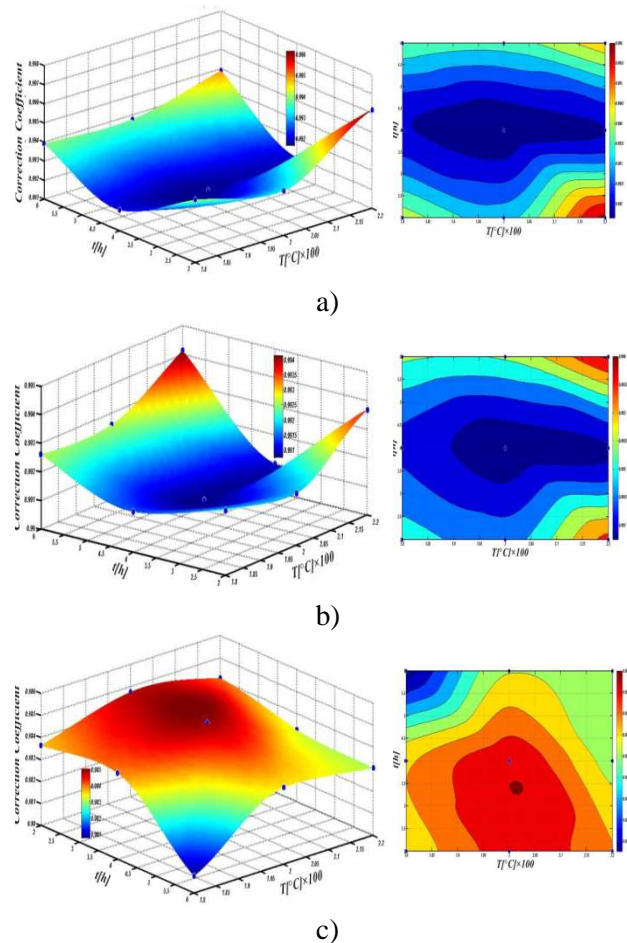


Fig. 5 Values of coefficient of anisotropic scaling for produced 3DP test parts on room temperature for: x axis (a), y axis (b) and z axis (c)

Furthermore, results of the study indicate that geometric deviations of test parts in direction of x and y axes are increased until the mid-range of heat treatment temperature $T=200$ [°C], i.e. until the mid-range of time of heat treatment $t=4$ [h] and after that point deviation are decrease. Oppositely in direction of z axis geometrical deviations of test parts in direction of x and y axes are decrease until the mid-range of heat treatment temperature $T=200$ [°C], i.e. until the mid-range of time of heat treatment $t=4$ [h] and after that point deviation are increased. In accordance to that coefficients of anisotropic scaling for all three axes behave inversely (figure 5). The identified patterns of dimensional deviations of produced 3DP test parts are valid in both cases i.e. measurements immediately after heat treatment and at room temperature. Stated indicates that in terms

of dimensional deviations of produced 3DP test parts should be taken into account the orientation of parts in the working chamber of machine, where if we want to increase the accuracy in the direction of the x and y axes then it is recommended to use the peripheral area, while in the direction of z axis it is advisable to use the area around the centre of the analysed extent of heat treatment parameters.

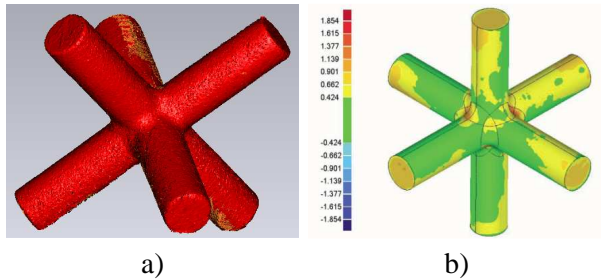


Fig. 6. Processed „cloud of points“ (a) and results of CAD inspection in [mm] for „green“ part – sample 3 at room temperature (b)

The obtained results of measurement indicates that minimal deviations of produced 3DP test parts, in comparison with geometric ideal 3D CAD model, corresponding to the values measured immediately after heat treatment. Accordingly to this if we want to use produced 3DP parts as a ZCast tools, these parts need to be heat treated and be used for casting immediately.

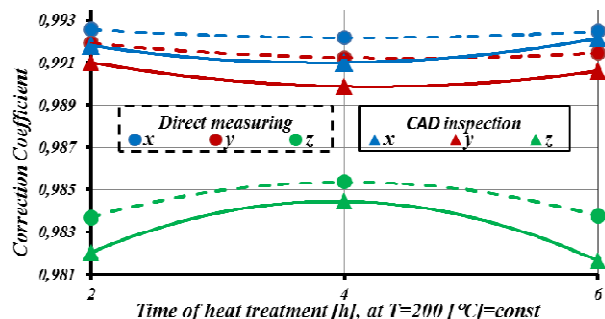


Fig. 7. Comparison of coefficients of anisotropic scaling obtained by tactile scanner and by CAD inspection for experimental points 4, 5 and 6 at room temperature

Results of CAD inspection of produced 3DP test parts completely confirm previous results, with certain smaller deviations, figure 7. Namely, maximal deviations are determinate in direction of z axis, smaller deviation in direction of x and y axis too. It is important to notice that results of geometric deviations obtained by CAD inspection (solid line, figure 7) had slightly smaller values than results obtained by measuring by tactile scanner (dashed line, figure 7). From the point of overall geometric deviations of produced 3DP test parts from initial 3D CAD model, CAD inspection

indicate on satisfactory level of parts accuracy from the casting point of view (95,151% of digitalised points is within interval: $-0,376 \div 0,376$ [mm]).

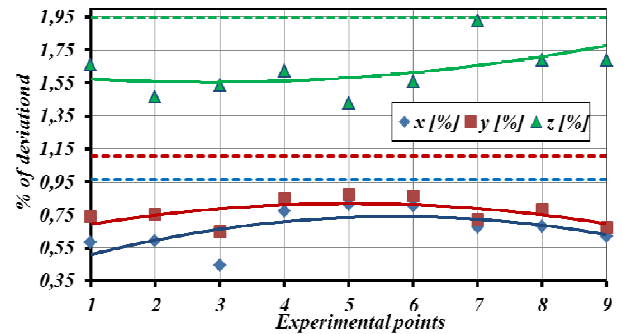


Fig. 8. Geometrical deviations of 3DP test parts for „green“ part (dashed lines) and experimental points (continues lines) measured after heat treatment

Presented results of the experiment indicates that there are certain influence of heat treatment parameters on dimensional deviations of produced 3DP test parts which has different effects in directions of x , y and z axis. Accordingly, with the aim to improve dimensional accuracy of 3DP parts for purposes of ZCast processes it is necessary to take a care about orientation of parts in working chamber of 3DP machine and perform anisotropic scaling of *.stl model with appropriate coefficient depending on heat treatment parameters, i.e summarised presented by average values: 0.993 for x axis, 0.992 for y axis and 0.984 for z axis.

5. REFERENCES

- [1] <http://www.custompartnet.com/wu/3d-printing>
- [2] Topčić, A., Cerjaković, E., Lovrić, S.: *Comparative analysis of RE/RP versus Conventional Approaches of Tool Designing in Sand Casting*, Proceedings MMA2012, p.p. 493-497, Faculty of Technical Sciences Novi Sad, Novi Sad, September 2012,
- [3] Z Corporation: ZCast® 501 Direct Metal Casting - DESIGN GUIDE
- [4] http://www.science.smith.edu/cdf/pdf_files/ZPrinter%20310%20User%20Manual.pdf
- [5] <http://congresoingegraf.es/PDF/25768.pdf>

Authors: Prof. Dr. Alan Topčić, Assist. Prof. Dr. Edin Cerjaković, M.Sc. Sladjan Lovrić, University of Tuzla, Faculty of Mechanical Engineering Tuzla, Univerzitetska 4, 75000 Tuzla, Bosnia and Herzegovina, Phone.: +387 35320 920, Fax: +387 35320 921.
E-mail: alan.topcic@untz.ba
edin.cerjakovic@untz.ba
sladjan.lovric@untz.ba

Trif, A., Borzan, M., Rus. A., Nedezki, C., Agarski, B.

**STUDIES AND RESEARCHES ON INSERT WEAR
IN TURNING PROCESS**

Abstract: The purpose of this paper is to analyze the wear of the cutting tools in terms of the parameters which influence the wear and make a comparative study of the various metallic materials with different inserts, in turning. Among the parameters that influence the degree of wear of the cutting tool, is shown in detail the impact of the temperature during cutting concerning the wear of the insert. The temperature achieved in cutting was compared with the temperature obtained after the simulation using DEFORM 2D program.

Key words: wear, turning, DEFORM, cutting tools

1. INTRODUCTION

The main objective of this study is to determine the cutting tool wear. Once determined the wear, an important step was measuring the temperature achieved in cutting, which was compared with the temperature obtained after the simulation using DEFORM 2D program.

As a result of the pressure on the contact surface, of the temperature and of relative movement chip-tool and workpiece-tool, surfaces of the cutting tool is subject to wear.

Wear of cutting tools is the progressive removal of material from the operative surfaces of the tool having the effect of changing geometry and reduction of the cutting capacity of the cutting tool. Cutting tool wear preponderantly affects dimensional accuracy and the surface quality.

Cutting tool wear influences cutting conditions, and it worsens by heating cutters, leading to increasing of energy consumption.

In the cutting process of the various types of wear occurring rarely separated, usually simultaneously, one way or another of wear having preponderant role depending on the conditions of the cutting.

The main cutting conditions which influence the wear are:

- the material of the tool and the workpiece;
- cutting speed;
- the temperature in the cutting process.

In this study will be analyze the effect of temperature in the cutting process on the contact area chip-cutting tool, and comparison of the wear between two different inserts, for two different materials.

The obtained results have been then compared to those which are obtained by simulation by means of a software. The software used to

simulate the cutting process which allows to obtain some models of high accuracy necessary for reliable monitoring is DEORM 2D.

2. THE EXPERIMENTAL TURNING PROCESS**2.1 Workpiece material**

The experiment was intended to measure temperature and tool wear forms appearing in cutting stainless steel and in cutting OLC 45 steel.

The first material to be processed is a stainless steel X5CrNi18-10, manufactured with a diameter of $D = 40$ mm, having the following composition: C - 0.05%; Cr - 18%; Ni - 10%



Fig.1. Workpiece material (stainless steel)

Another used material is OLC 45:

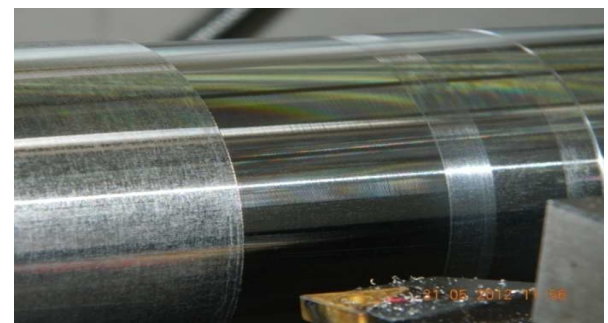


Fig. 2. OLC 45 workpiece material

The workpiece of OLC 45, with diameter $D = 77$ mm, is a quality steel (C45U according to EN

ISO 4957:202). Mechanical characteristics and chemical composition of this steel are governed by STAS 880-88. Remembered standard for steel OLC45 (C45U) are imposed (chemical composition) : C: 0.43 0.48%; Mn: 0.5 0.80%; Si: 0.17 0.370%; Cr: max0.03% ; Ni: max0.030%.

2.2 Used cutting inserts

The 2 cutting tool inserts is represented by type Sumitomo CNMG 120408N-MU AC830P (1) and by type Sandvik TNMG 16 04 08:

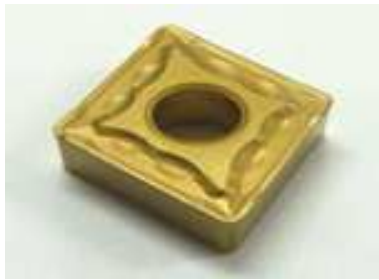


Fig. 3. The first used cutting insert (Sumitomo)

In the turning process simulation was used CNMG 120408N-MU AC830P insert coated with two layers: one titanium carbonitride (TiCN), and the second aluminum oxide (Al₂O₃).

AC830P inserts are used for a wide range of applications being recommended for both mass production as well as small series.

AC830P inserts are part of the super-heavyweight class for roughing, being used even in unstable conditions.

This type of inserts are characterized by a special coating and through a special control of the chip evacuation due to a special geometry:

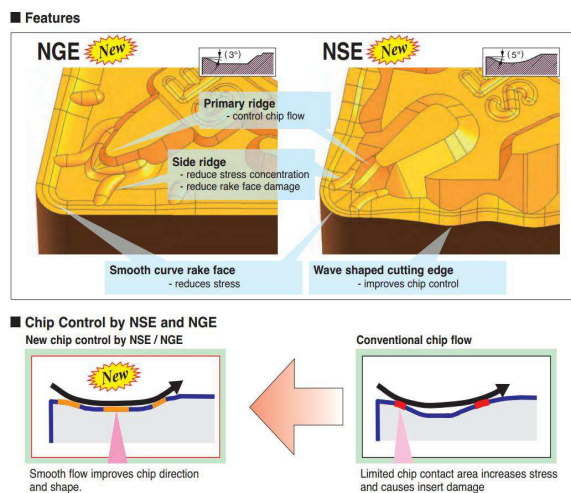


Fig. 4. Special control of the chip evacuation.

The layer super - FF consisting of titanium carbonitride over which is placed a layer of aluminum oxide layer is ultra-hard, allowing

higher cutting speed, improves the surface quality, prolongs the life of the insert. Ceramic layers improves the thermal resistance required for the dry cutting speeds[7].

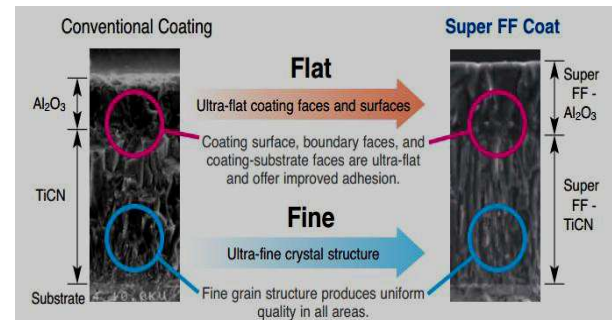


Fig. 5. The coating structure of AC830P inserts

Another used insert is Sandvik TNMG 16 04 08:



Fig. 6. TNMG 16 04 08 insert (Sandvik)

2.3 The measuring device

In the experiment has been used an infrared thermometer called TempLS. The infrared Thermometer as in the figure below is used in a wide range of temperature (- 35 ° C to 900 ° C) and enables the highly accurate non-contact measurements to determine exactly the right temperature of components. This thermometer includes a temperature sensor type K. Uses the four lasers for good focus. Presents the USB interface for PC software to display OPRIS Connect with the possibility of 20 measurements per second.



Fig. 7. The temperature measuring device



Fig. 8. The turning process of stainless steel material

For temperature measurement of the inserts in different cutting conditions have been changed machining rotation and feed maintaining the constant cutting depth.

Depending on the cutting regime, by using device TempLS and the software Optris Connect were identified cutting tool temperature graphs.

No	Tool geometry	Feed [mm/rot]	Cutting depth [mm]	Cutting speed [m/min]
1	$\alpha = 6^\circ$ $\gamma = 6^\circ$ $R=0,05$ mm	0,2	1	370
2		0,3	1	370
3		0,4	1	370
4		0,2	1	560
5		0,3	1	560
6		0,4	1	560
7		0,2	1	830
8		0,3	1	830
9		0,4	1	830

Table 1. Cutting conditions

Is observed temperature increase with increasing the speed and feed (a variation of temperature between 244 and 331 degrees in the time interval studied).

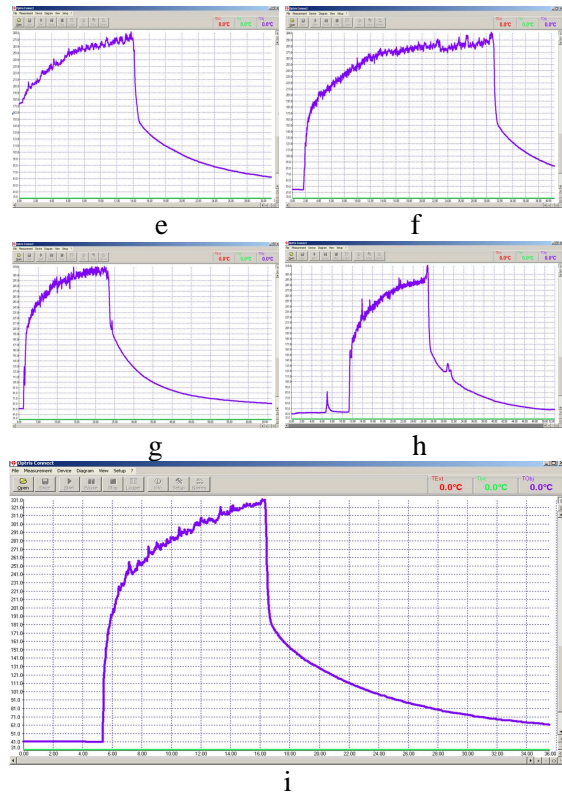
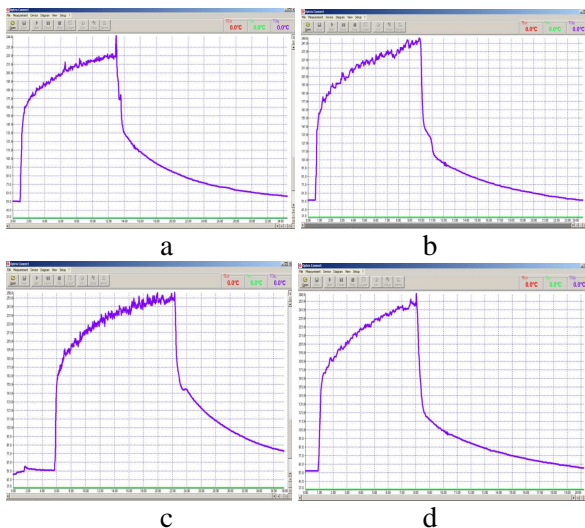


Fig. 9. The graphs of the nine cutting data in coordinates time-temperature (a,b,c,d,e,f,g,h,i)

Similarly, the measuring temperature values in turning process of OLC 45 material, ranges between 145 and 178 degrees.



Fig. 10. The turning process of OLC 45 material

3. THE TURNING PROCESS SIMULATION

The simulation turning process is assimilated to the planing operation, given the deployment of the propeller materialized by the chip for a distance of 50 mm. It is considered that the cutting process get to a relative stability in terms of finite element analysis for the distance considered in the simulation (fig.11)

3.1. The cutting conditions

For the beginning the cutting simulation was achieved for a stainless steel X5CrNi18-10 material.

Establishing the the cutting regime requires to

specify the following processing machine parameters: cutting speed, diameter, cutting depth and feed (Table 1).

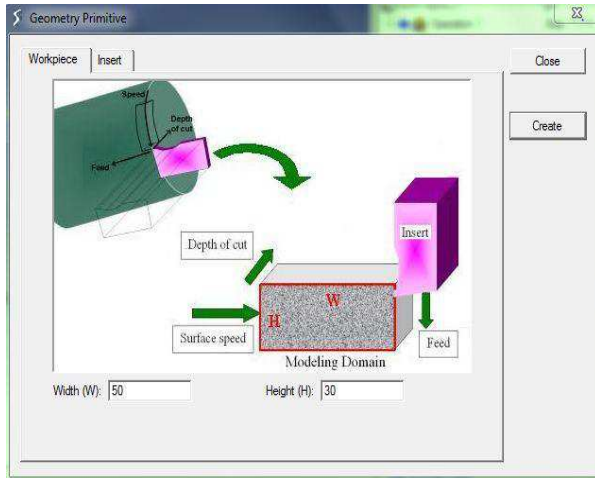


Fig. 11. Assimilation of turning process with the planing operation within the DEFORM 2D software [8], [9]

In defining of tool geometry must be inserted the values of its linear and angular parameters:

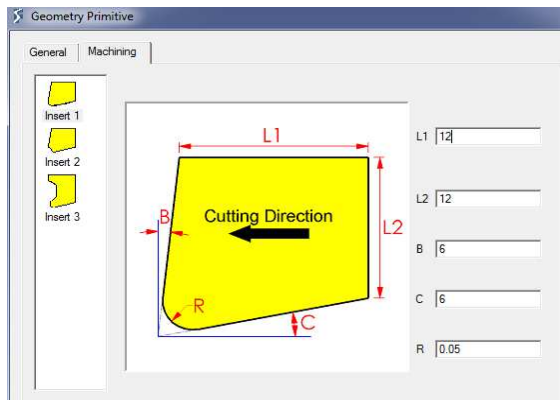


Fig. 12. Linear and angular parameters of the cutting tool

In the control region of the simulation were determined number of steps and the length of cutting simulation in order to generate the required database necessary to calculation:

- number of steps: 500
- cutting Length: 50 mm

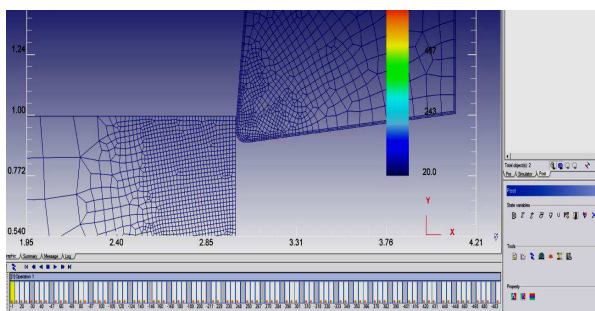


Fig. 13. The simulation of the turning process

3.2. The simulation results

After running the finite element program with which was simulated the cutting process for turning operation it shows the following values of cutting zone temperature, step by step:

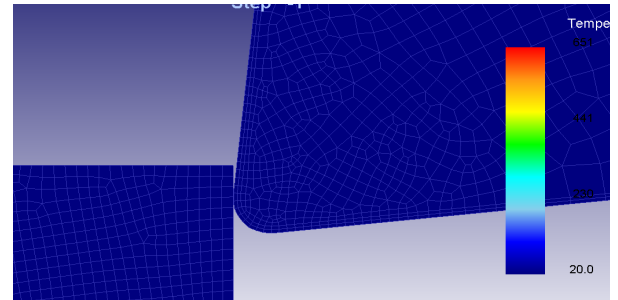


Fig. 14. Beginning of the simulation

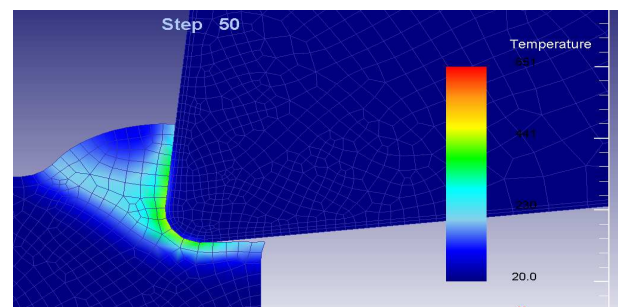


Fig. 15. The temperature in step 50

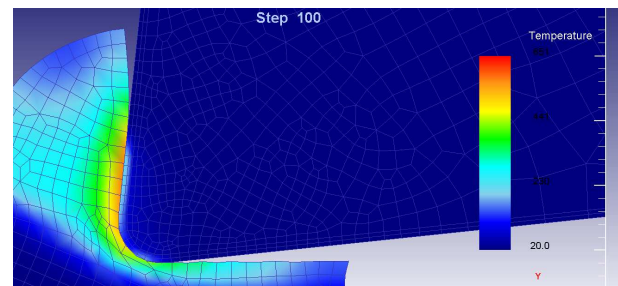


Fig. 16. The temperature in step 100

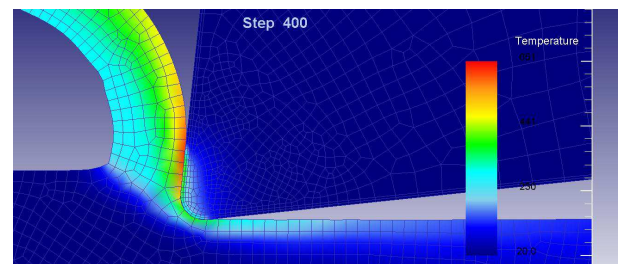


Fig. 17. The temperature in step 400

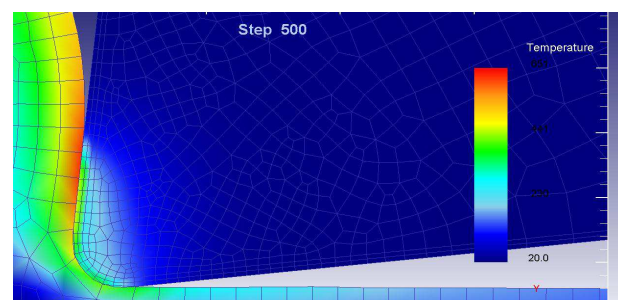


Fig. 18. The temperature in step 500

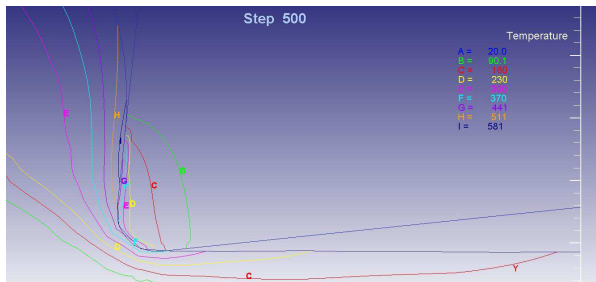


Fig. 19. Temperature evolution by isothermals

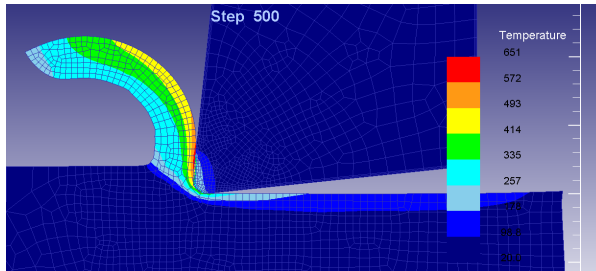


Fig. 20. Temperature evolution by solid contour

From the state of the temperature, it can be seen the position of the center of wear on the rake face which is located at a distance from the cutting edge and coincides with the maximum depth of crater's wear, more than, the representation of isotherms highlights precisely the form of the crater wear on the rake face and of wear on the face area. The temperatures of the tool will be used in determining of the theoretical model and of the experimental model of wear.

After cutting was measure a temperature of 244°C, up to a maximum of 331°C. With DEFORM 2D program using the same cutting data, we obtained a temperature of 280-320°C (the turning process of a stainless steel material).

Similarly, the cutting simulation was achieved for OLC 45. In this case DEFORM 2D simulation reveals a temperature variation of 130 to 180 degrees (145 to 178 degrees in experimental case).

4. CONCLUSIONS

- This paper has presented an experimental study and a modeling of the the cutting processrespectively of a turnings, using the finite element method.
- A study was carried on temperature measurement in the cutting process.
- It then compared the results with those which are obtained by simulation using a software. The software used to simulate the cutting process which generates some models of high precision required for reliable monitoring process is DEFORM 2D Machining.
- Using this software the simulations have been performed for turning process of a

stainless steel material and for a OLC 45 steel.

- The temperature values in turning process, experimentally obtained are similar to those obtained by the simulation with DEFORM 2D software.
- There is an increase of the temperature with increasing feed and cutting speed.
- In the experimental study, the difference between the measured temperature and that obtained by finite element simulation occurs because in the experiment were measured the average temperatures, and the finite element analysis reveals the cutting tool temperature at the contact with the workpiece.
- By comparison with the the situation in the start of the experiment is noted that under the same cutting conditions, the wear of a cutting insert TNMG 16 08 04 OLC 45 when cutting material is OLC 45 is much higher than of the insert Sumitomo CNMG 120408N-MU AC830P, when cutting material is stainless steel, although the stainless steel hardness is about 50% higher than the hardness of the steel OLC 45:



Fig. 21. The wear of cutting insert Sumitomo

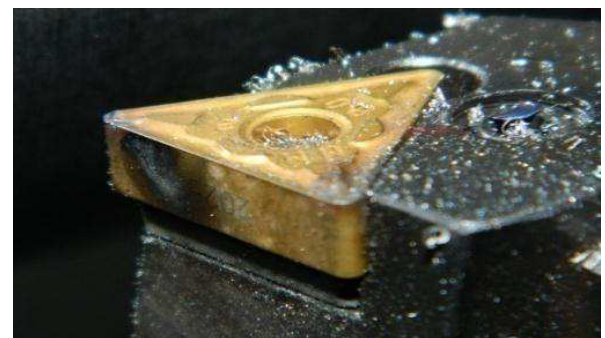


Fig. 22. The wear of cutting insert TNMG

5. REFERENCES

- [1] Antić ,A., Hodolić J., Soković M., *Development of an intelligent system for tool wear monitoring applying neural networks*, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Poland, Volume 14, Issue 1-2, January-February 2006
- [2] Deacu L., Gurgiuman H., Oancea N., s.a., *Bazele aşchierii și generării suprafețelor, vol. II*, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, Facultatea de Construcții de Mașini ; 1992
- [3] Gavrilaş I., Drăguț E., Vleru V., Bonoiu V., *Tehnologii de prelucrare cu scule din materiale dure și extradure*, Editura Tehnică, București, 1977.
- [4] Hollanda D., Mehedințeanu M., Oancea N., *Așchieria și scule aşchietoare*, editura Didactică și Pedagogică, București; 1982
- [5] Lazărescu I., Abrudan Gl., Stețiu Gr., *Așchieria și scule aşchietoare curs pentru subingineri*, editura Didactică și Pedagogică, București; 1978
- [6] Muntean A., *Bazele aşchierii și generării suprafețelor*, editura Universității „Lucian Blaga”, Sibiu, 2002
- [7] http://www.sumicarbide.com/pdf/AC820P_A_C830P%20Brochure.pdf
- [8] www.deform.com
- [9] Deform 2D Machining Manual V 9.0

Authors:

Senior Lecturer. Dr. Ing. Adrian TRIF,
Technical University of Cluj-Napoca,
Department of Manufacturing Engineering, Bd.
Muncii, 103-105 , 400641, Cluj-Napoca,
Romania, Phone: 004-0757-079796, e-mail:
adrian.trif@tcm.utcluj.ro

Professor Dr. Ing. Marian BORZAN,
Technical University of Cluj-Napoca,
Department of Manufacturing Engineering, Bd.
Muncii, 103-105 , 400641 Cluj Napoca,
Romania, Phone:004-0747-033882, e-mail:
marian.borzan@tcm.utcluj.ro

Prof. Ing. Adriana RUS, “Romulus Ladea Fine
Arts Highschool, No 56, Dorobantilor Street,
400117 Cluj-Napoca, Phone on Fax: 0264-
431449, 0264-593006 , Romania, e-mail:
adi_adrianarus@yahoo.com

Senior Lecturer. Dr. Ing. Claudiu NEDEZKI,
Technical University of Cluj-Napoca,
Department of Engineering Design and Robotics,
Bd. Muncii, 103-105, 400641 Cluj Napoca,
Romania, Phone: 004-0264-401639, e-mail:
Claudiu.Nedezki@muri.utcluj.ro

M.Sc. Boris Agarski, University of Novi Sad,
Faculty of Technical Sciences, Department of

Production Engineering, Trg Dositeja Obradovica
6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel: +381-21-485-23-
50, Fax: +381-21-454-495.
e-mail: agarski@uns.ac.rs

CONTRIBUTIONS TO THE APPLICATION OF ANALYSIS FMEA OF A CMM MEASURING PROCESS

Abstract: This paper presents the research results of applying the FMEA method to the process of measuring with Coordinate Measuring Machines. The research focused on the risk indicators (A, B and E) used in the FMEA method. With the participative method of brainstorming information was gathered regarding the errors that can occur in the measurement process, their causes and their effects, as well as preventive and error discovery methods. The information was then processed by means of different quality instruments (cause-effect diagram, flow diagram, matrix diagram) resulting in a ranking of risk coefficients used in the FMEA method.

Key words: FMEA method, cause-effect diagram, flow diagram, measurement errors.

1. INTRODUCTION

The quality assurance and control is a complex process because of the multitude of factors that influence it. The quality control and assurance process is very complex due to a multitude of influencing factors. Noncompliance with control conditions can lead to situations where correctly manufactured parts are marked as non-compliant or vice versa (Fig. 1). The causes of these situations are the control operations and can be avoided by using quality instruments (e.g. FMEA) for part of, or the whole process.

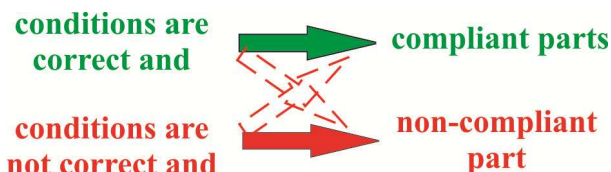


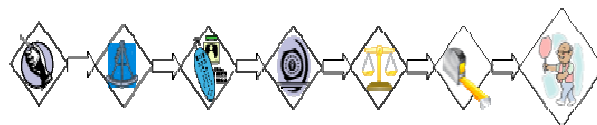
Fig. 1. Possible outcomes resulting from the measurement process

In most cases, the manufacture consists of a sequence of processing operations and control (Fig. 2). Production quality assurance (FMEA method) places great emphasis on processing operations and less control over operations, highlighting errors that can occur in manufacturing (Operation 1, Operation 2, ..., Operation N), their causes, methods prevention and detection.



Fig 2. Manufacturing of products

The control of the manufacturing process can be regarded as a single process, its operations occurring sequentially, Fig. 3). Treatment process control unit highlights errors that may appear in measuring their causes, methods of prevention and detection (Control 1, Control 2, ... , Final control).



control 1 control 2 control 3 control 4 control 5 control 6 final control
Fig 3. The control process

Consequently FMEA process control application can be made for the whole process of control, or specific monitoring and measuring equipment important as coordinate measuring machines.

The FMEA analysis is done in interdisciplinary groups where the departments involved in product development take part under the guidance of a moderator. Collaborators from the departments of design and development, the manufacturing planning, manufacturing, control, client services, and quality assurance usually take part in a FMEA analysis. The number of persons present shouldn't exceed 6-8 people. By doing this, every department involved in the development of the product bring their expertise in the analysis. Its success depends mostly on the team's creativity.

The FMEA – Process analysis is done by using the DAMIC (Definition-Analysis-corrective Measures-Implementation-Communication) model.

All the potential errors, effects and causes, as well as the evaluation of A, B and E indexes are part of the form presented in Figure 4.

ANALIZA ERORILOR POSIBILE ȘI A INFLUENȚEI ACESTORA
(FMEA - proces de măsurare)

FMEA Nr. : _____ Pag. _____ din _____

Resp. proces : _____

Moderator : _____

Aprobat : _____

Data elaborării : _____ Data planif. a prod. mes. : _____

Data reviziei : _____

Denumire echipam. : _____

Nr. inventar : _____ Denumire reper : _____ Compartiment Resp. Proces : _____

Stare echipament : nou ___ revizie ___ reparare ___ Număr reper : _____ Proiectare prog. (nr. / data) : _____

Tipul prod. mas. : mostra ___ pre-serie ___ serie ___ Starea modif. tehn. : _____ Actualizare prog. (nr. / data) : _____

Echipa : _____

Nr. op.	Operația / faza din proces de măsurare	Urmări potențiale ale erorilor de măsurare	Invenții	Erori potențiale de măsurare	Cauzele potențiale ale erorilor de măsurare	Măsuri prevăzute de prevenire	Apurabil	Măsuri prevăzute de descoperire	Descoperire	RPZ	Măsuri de îmbunătățire	Responsabilitate / Data	Rezultatul îmbunătățirii				Data finalizării pr. optimizarea riscului	
													Măsuri întreprinse	ca urmare	planific.	desp.		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Fig. 4. The DAMIC model

2. QUALITY TOOLS USED IN ANALYSIS OF ERRORS FOR A MEASUREMENT PROCESS

2.1 Flow diagram for a measurement process using a CMM

Figure 5 presents a flow diagram for a measurement process using a CMM.

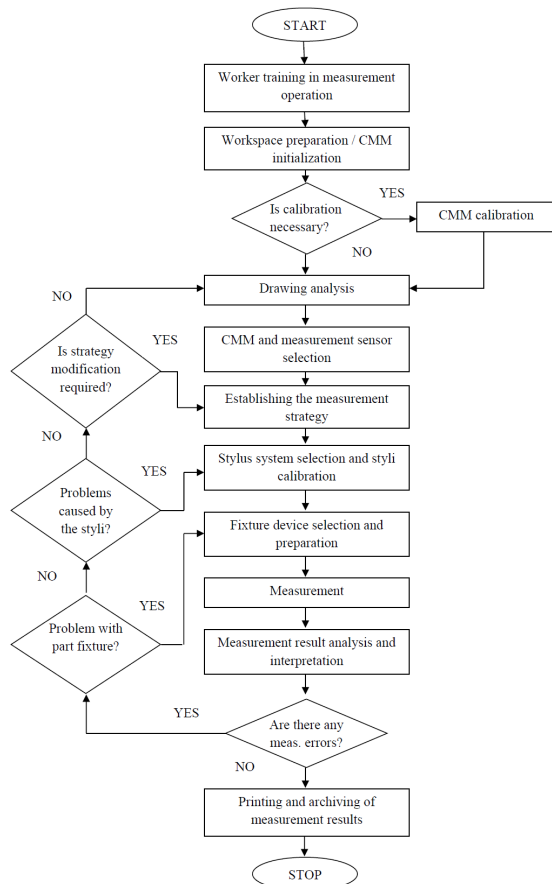


Fig. 5. Flow diagram for a measurement process using a CMM

2.2 Establishing the errors, causes, effects and prevention / error detection in the measurement process using a CMM

Error and cause identification

In the analysis of the measuring process for identifying of errors that might occur in the measurement process as well as the effects of measuring errors and the effects on the end client, a brainstorming session is done with the specialists operating the CMM. This method was used for preventive measure discovery and measurement error detection.

The main causes for measurement errors that can affect the measurement process are:

- temperature variation;
- lack of cleanliness;
- incorrect/erroneous measures;
- used or dirty guiding mechanisms;
- improper measurement strategy;
- part improperly fixed;
- improperly executed parts;
- used styli;
- improper point acquisition;
- errors in result interpretation;
- incorrect interpretation of the drawing;
- incorrect 3D model;
- wrong measurement protocol.

The cause-effect diagram (Ishikawa) was the first instruments of quality used for grouping the measurement errors from measuring with a CMM. The grouping was done taking into account five factors: the user, the part, the environment, the CMM and the measurement strategy. The cause-effect diagram resulting from the brainstorming session together with the provisions of [5] are presented in Figure 6.

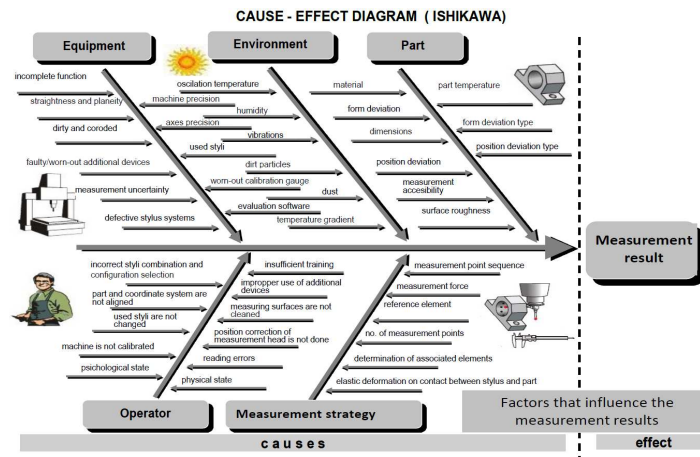


Fig. 6. The cause-effect diagram for a measurement process

Error effect identification

A number of 21 potential measurement error effects were identified of which:

- the production process is not approved;
- digression of critical/security characteristics;
- digression of less important characteristics;
- positioning errors for assembly components;
- styli wearing out (breaking)
- part being rejected although it is compliant;
- invalid part being declared valid;
- assembly clearances, noise during operation, improper fitting;
- CMM guideway blockage;
- erroneous approval of manufacturing process;
- influences on the manufacturing process adjustment.

Preventive measure identification

A number of 33 preventive measures were identified of which the most important are:

- daily CMM clean-up;
- training the user in taking measurements;
- using a styli database needed for different types of features and operations;
- guides for using additional devices;
- guides for machine calibration;
- preventive maintenance plan for the CMM;
- guides for making position corrections of measuring stylus when calibrating the CMM.

A number of 23 measurement error discovery measures were identified, among which:

- visual check;
- daily stylus calibration;

- stylus system status verification at the start of the shift;
- regular verification of qualification gauge;
- daily temperature check;
- daily air humidity check;
- repeat measurement for outliers.

2.3 Ranking of occurrence index (A), importance index (B) and detection index (E)

The priority matrix of influence factors on measurement results was obtained by comparing the factors and grading them (with 0, 1 or 2) which made ranking possible.

The method was used for ranking the effects of potential measurement errors, of preventive and discovery methods.

Each influence factor was analyzed in comparison to the other factors starting from the left.

A grade of 2 was given if the influence factor if the influence factor from the left has greater influence than the one in the upper side, 1 if the influence is equal and 0 if the influence factor from the left has a lower weight than the one in the upper zone.

Figure 7 presents the histogram of points for measurement error effects.

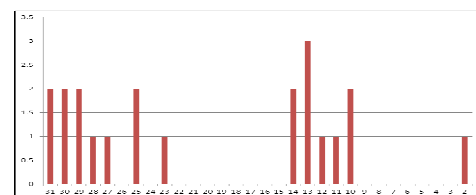


Fig. 7. Histogram of points for measurement error effects

After analyzing the diagram they were grouped then graded on a scale from 1 to 10. A list of importance criteria was created sorting the potential effects in accordance with the points from 10 to 1 in descending order. These potential effects are shown in Table 1.

Importance criteria	Classification
Very high	9, 10
High	7, 8
Moderate	4, 5, 6
Low	2, 3
No effect on measurement result	1

Table 1. Classification importance criteria

Figure 8 presents the histogram with the points for the error prevention measures.

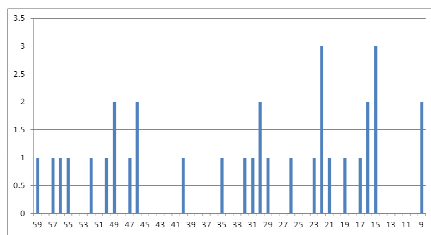


Fig.8. Histogram with the points for the error prevention measures

When performing this evaluation, the experience of the operators in the Quality Assurance Department of the company Star Transmission was taken into account as well as the number of measurements (max. 1000 measurements/day).

The occurrence criteria and the points are those presented in Table 2.

Occurrence criteria	Classification
It is almost certain that measurement errors appear	9, 10
Frequent errors, the measurement process is not under control	7, 8
Occasional errors in the measurement process	5, 6
Isolated errors in the measurement process	3,4
The measurement process is completely under control	2
It is impossible to have errors	1

Table 2. Classification occurrence criteria

Figure 9 presents grade histogram for error measurement detection measures.

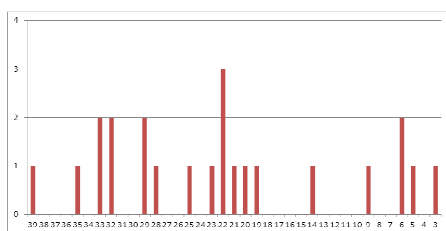


Fig.9 Grade histogram for error measurement detection measures

A regrouping of the detection measures in accordance with the points and a classification of the E index was made and is presented in Table 3.

Detection criteria	Classification
Very unlikely	9, 10
Unlikely	7, 8
Moderate	5, 6
Very high	3,4
High	1, 2

Table 3. Classification detection criteria

3. CONCLUSIONS

For gathering the information regarding errors, their causes, and effects that take place while measuring with a CMM a technique named brainstorming was used. For processing the data Quality Assurance tools were used (e.g. the matrix diagram, the cause-effect diagram) and classical tools like the flow diagram and the histogram.

This led to the creation of a database with the identification of potential measurement errors, their potential effects as well as potential causes.

4. REFERENCE

- [1] Fulea Gh. L., *Contributii teoretice privind aplicarea analizei FMEA la masinile de masurat în coordonate*, Referat 2, Universitatea Tehnică din Cluj Napoca, 2013.
- [2] Bulgaru M. – *Controlul statistic al Produselor și proceselor*, UTCN, Catedra TCM.
- [3] Bulgaru M., Bolboaca L., - *Ingineria calității, Instrumentele calității*, Editura Alma Mater, 2004, ISBN 973-8396-72-3
- [4] *** VDA 4 *Sicherung der Qualität in der Prozesslandschaft – Allgemeines, Risikoanalysen, Methoden, Vorgehensmodelle – Produkt- und Prozess - FMEA*, Auflage 2009
- [5] *** VDA 5 *Prüfprozesseignung*, 2.Auflage, Berlin, 2010

Authors: Eng. Gheorghe Lucian Fulea; Prof., Dr. Eng. Marian Borzan; PhD. Eng. Vlad Bocănet; Prof., Dr. Eng. Marius Bulgaru, Technical University of Cluj-Napoca, Faculty of Machine Building, Department of Manufacturing Engineering, B-dul Muncii 103-105, 3400 Cluj-Napoca, Romania.

e-mail: marian.borzan@tcm.utcluj.ro

M.Sc. Branko Štrbac, University of Novi Sad, Faculty of Technical Science, Department of Production Engineering, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2316 e-mail: strbac@uns.ac.rs

Nemedi, I., Štrbac, B., Hodolič, J., Stepien, K., Hadžistević, M.

**PRIKAZ PROGRAMA SIMULACIJE ZA ODREĐIVANJE STVARNOG OBLIKA
ROTACIONIH MERNIH PREDMETA**

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

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

1. UVOD

Svi elementi radnih predmeta imaju određene dimenzione i geometrijske karakteristike. Za odstupanje od dimenzionih i geometrijskih karakteristika (oblik, položaj i pravac) postoje funkcionalna ograničenja koja, kada se prekorače, dovode do ugrožavanja funkcionalnosti. Oblici stvarnih površina redovno imaju izvesna odstupanja u odnosu na geometrijske (idealne) površine.

Ako se traži veća tačnost oblika od one, koju obezbeđuje tolerancijski prostor formiran tolerancijom dužinskih mera, oblik se mora posebno tolerisati. Od ovoga se izuzimaju: simetričnost i koaksijalnost, kao i tačnost obrtanja, jer su one nezavisne od stvarnih mera, već se određuju u odnosu na središnje ravni, odnosno ose [1].

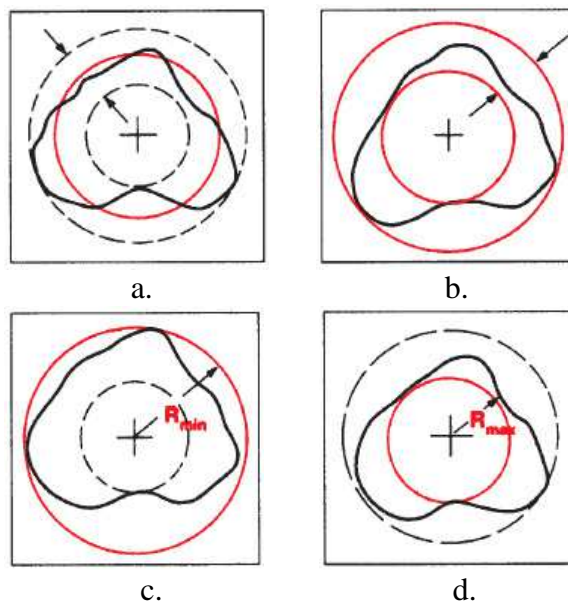
Ovaj rad se bavi kružnošću, kao jednom od geometrijskih karakteristika rotacionih predmeta. U radu je dat prikaz razvijenog programa za simulaciju odstupanja poprečnog preseka predmeta od idealnog kružnog oblika. Cilj simulacije je dobijanje baze podataka neophodnih za analizu međusobnih zavisnosti raznih uticaja na tu pojavu, bez stvarnih mernih predmeta, te na taj način skraćenje vremena za izvršenje analize.

2. KRATKO O KRUŽNOSTI

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

- Gausov regresioni krug (LSC).** (slika 1/a).
- Pojas kružnosti sa minimalnim radijalnim rastojanjem (MCC).** (slika 1/b).

- Opisani krug najmanjeg prečnika (MCC)** (slika 1/c).
- Upisani krug najvećeg prečnika (MIC).** (slika 1/d).



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

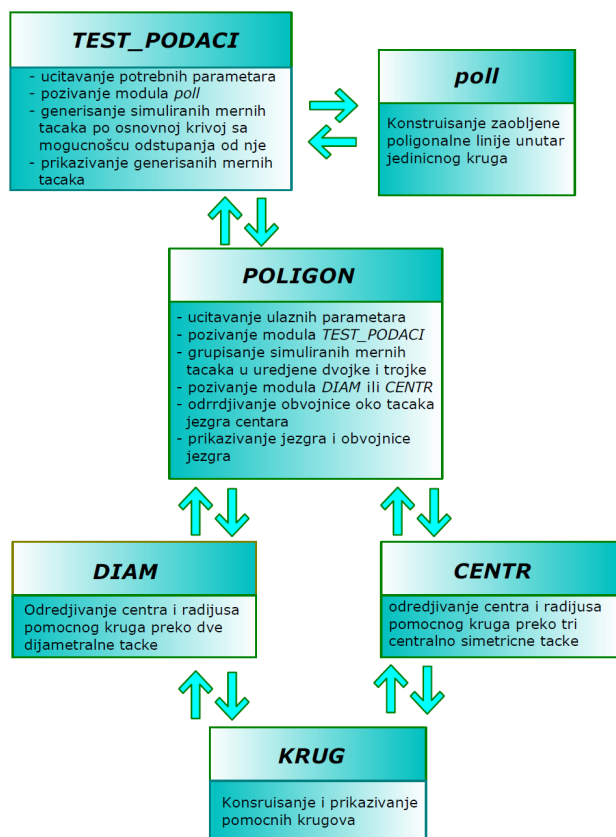
U praksi se prilikom merenja i kontrole kružnosti najčešće primenjuje MZC metoda. Po toj metodi je tolerancijsko polje kružnosti u posmatranoj ravni ograničeno sa dva koncentrična kruga, dok je dozvoljeno odstupanje definisano površinom između ta dva koncentrična kruga, čija je razlika poluprečnika t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

3. PRIKAZ PROGRAMA

Zbog ograničenosti raspoloživog prostora za pisanje rada, u celosti je nemoguće prikazati način

i logiku određivanja stvarnog oblika poprečnog preseka mernih predmeta, te mole se zainteresovani da se sa pitanjima obrate autorima ili konsultuju literaturni izvor [7].

Merni izveštaji, dobijeni sa koordinatnih mernih mašina, o stvarnom obliku poprečnog preseka predmeta ne daju nikakve bliže informacije. Podatak o širini tolerancijskog polja kružnosti je bitna informacija, na osnovu čega se može definisati tolerancijsko polje kružnosti spregnutog elementa, ali s tim veličina površine naleganja se ne povećava. Tako je rešen problem montaže, ali problem površine naleganja nije. To je moguće samo uz poznavanje stvarnog oblika poprečnog preseka predmeta. Cilj je bio da se izradi model i pripadajući program, koji na osnovu mernih rezultata, odnosno uz pomoć koordinata mernih tačaka po konturi poprečnog preseka predmeta, jednoznačno može odrediti, ne samo širinu tolerancijskog polja kružnosti, već i stvarni oblik. Pre postizanja tog cilja je izrađen simulacioni program, kojim se želeo verifikovati matematički pristup ređavanju problema.



Sl. 2. Šema razvijenog modela simulacije [7]

Glavni deo programa, pod nazivom *POLIGON* se sastoji od modula za generisanje osnovne krive konture mnogougaoanog preseka i od modula za određivanje obvojnice jezgra centara. Između ova dva modula je ugrađen i treći modul, koji služi za obradu simuliranih mernih tačaka konture

dodirivanjem u dve ili u tri izabrane tačke. Glavni deo programa sadrži i završni modul za prikaz rezultata. Ostali delovi modela su potprogrami, koji aktivnim učešćem pomažu rad glavnog programa. Među njima vodeću ulogu igra potprogram *TEST_PODACI*, koji uz pomoć potprograma *poll* razvija konturu poprečnog preseka u obliku zatvorene poligonale linije sa potrebnim brojem stranica, i generiše krive slučajnih odstupanja od osnovne krive konture. Rezultat rada ovog potprograma su tačke simulirane konture poprečnog preseka, koje obrađuje glavni program *POLIGON* [7,8].

Zadatak potprograma *poll* je iscrtavanje poligonale linije konture poprečnog preseka, odnosno razvijanje osnovne krive konture. Potprogram *poll* vrši takođe i zaobljavanje konture pri temenima, čime se dobija realnija slika. Radijus zaobljenja je podesiv. Naravno u slučaju da je zaobljenje nepotrebno, potprogram *poll* razvija mnogougao sa stranicama, bez zaobljenja. Rezultat se vraća u modul *TEST_PODACI*, koji dalje obrađuje skup simuliranih mernih tačaka na opisani način.

Nakon razvijanja potrebne konture poprečnog preseka, glavni program *POLIGON* počinje obradu dobijenog skupa simuliranih mernih tačaka tako, što ih grupiše u uređene dvojke ili trojke. U slučaju dodirivanja u dve izabrane tačke, vrši se izbor koordinata dve dijametralne tačke, koji se prenose u potprogram *DIAM*. Ako se dodirivanje vrši u tri izabrane tačke, izaberu se koordinate tri tačke, postavljene sa međusobnom ugaonom razlikom od 120° u odnosu na centar konture poprečnog preseka, i prenose se u potprogram *CENTR*. Zadatak potprograma *DIAM* i *CENTR* je određivanje koordinata centara pomoćnih krugova preko dve ili tri tačke. Koordinate centra se zatim vraćaju u glavni program *POLIGON* na dalju obradu. Potprogram *KRUG* potpomaže potprograme *DIAM* i *CENTR*, tako što, po potrebi prikazuje pomoćne krugove. Nakon kratkog objašnjenja strukture modela simulacije sledi prikaz rezultata simulacije.

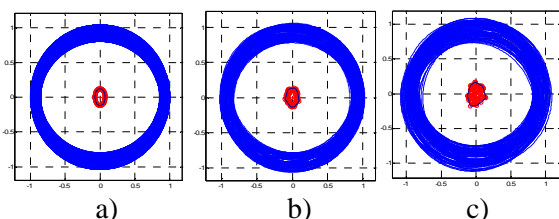
4. PRIMENA PROGRAMA SIMULACIJE

Način određivanja stvarnog oblika poprečnog preseka mernog predmeta se osniva na metodi koja je nazvana metodom jezgra centara [7], što slikovito prikazuje suštinu te metode. Dokazano je da se prilikom analize nekog odstupanja od kružnosti mora primeniti tačno određen broj potrebnih dodirnih tačaka. Kod parnog broja stranica odstupanja je to broj 3, dok je kod neparnog broja stranica je to broj 2. Prvo je analizirano ovalno odstupanje. Kod ovog

odstupanja je potreban broj tačaka dodirivanja 3. Takođe se mora reći i da se prilikom simulacije analizirao i uticaj kvaliteta merne površine na jednoznačnost određivanja stvarnog oblika. Dobijeni rezultati su prikazani u nastavku.

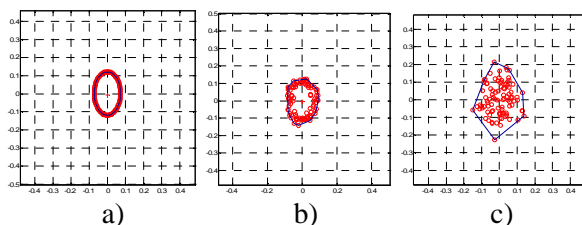
4.1 Ovalno odstupanje

Rezultat simulacije ovalnog odstupanja je prikazan slikom 3. Pod a) se prikazuje rezultat bez površinske hrapavosti, pod b) sa malom veličinom, a pod c) sa povećanom hrapavošću. B



Sl. 3. Simulacija ovalnog odstupanja sa različitim vrednostima hrapavosti površine [7]

U centru dobijenih slika se vide jezgra centara. Na osnovu njihovog oblika se može svesti jednoznačni zaključak o stvarnom obliku poprečnog preseka mernog predmeta. Radi lakše opservacije se na slici 4 daju uvećane slike jezgara centara.

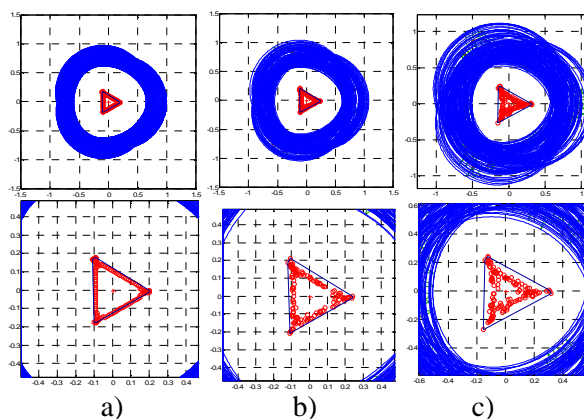


Sl. 4. Uvećani prikaz jezgara centara za razne veličine hrapavosti [7]

Rezultat jasno ukazuje na uticaj kvaliteta merne površine na oblik poprečnog preseka, što se unapred pretpostavljalo, no na osnovu rezultata se sa sigurnošću može zaključiti i to da se sa povećanjem površinske hrapavosti polako gubi oblik poprečnog preseka, koji prelazi u tzv. mnogougaoonu strukturu.

4.2 Trougaono odstupanje

Za analizu trougaonog odstupanja je potreban broj dodirivanja 2. Na isti način kao kod ovalnog odstupanja, daju se na slici 5 rezultati sa raznim vrednostima hrapavosti merne površine, dok se uvećani prikazi jezgara centara daju odmah ispod. Mora se istaći da su vrednosti simulirane hrapavosti mernih površina istovetni sa onima kod ovalnog odstupanja.

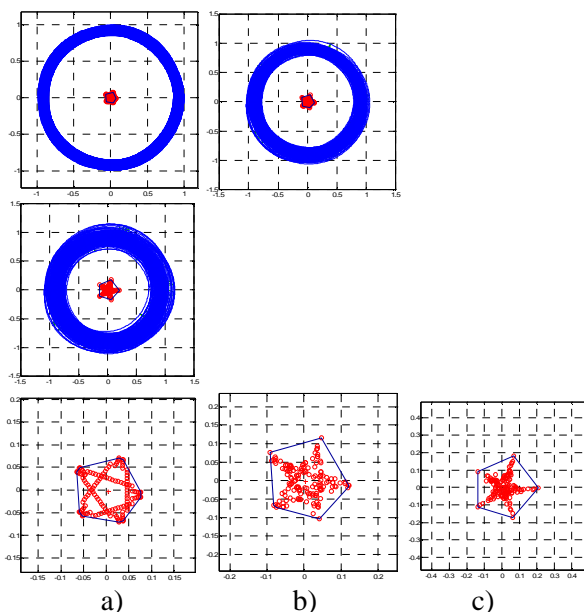


Sl. 5. Simulacija trougaonog odstupanja sa različitim vrednostima hrapavosti površine [7]

Zahvaljujući primeni modela simulacije, dobijeni rezultat nas navodi na zanimljivo saznanje, po kojem postoje takve vrste odstupanja od kružnosti koje su manje osetljive na hrapavost od ostalih. Trougaono odstupanje je takav primer. Sa istim vrednostima hrapavosti kao kod ovalnog odstupanja, sa povećanom hrapavošću se u ovom slučaju ne gubi stvarni oblik poprečnog preseka.

4.3 Petougaoono odstupanje

Rezultati se prikazuju na isti način kao kod trougaonog odstupanja (slika 6).

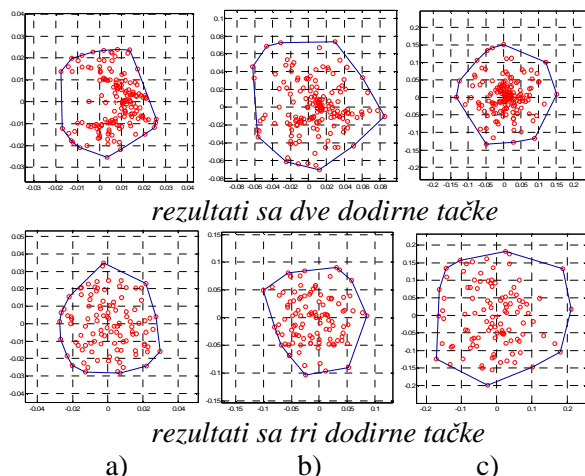


Sl. 6. Simulacija petougaoonog odstupanja sa različitim vrednostima hrapavosti površine [7]

Zaključak je isti kao kod trougaonog odstupanja: povećanje hrapavosti ne utiče osetno na mogućnost jednoznačnog određivanja stvarnog oblika poprečnog preseka mernog predmeta.

4.4 Mnogougono odstupanje

Konačno, mnogougono odstupanje od kružnosti, koje je praksi najčešće prisutno odstupanje, daje sledeće rezultate. U ovom slučaju se daju rezultati sa dve i sa tri dodirne tačke. Cilj ovakvog prikaza je da se ustanovi uticaj hrapavosti na jednoznačnost oblika jezgra centara, kao i to u kojoj meri broj tačaka dodirivanja konture utiče na rezultat. Naime, simulaciju mnogougonaosti možemo izvesti, kao što je u ovom slučaju i izvedeno, kao mnogougao sa npr. 128 stranica. Slika 7 prikazuje rezultate sa dve dodirne tačke (prvi red) i sa tri dodirne tačke (drugi red). Vrednosti hrapavosti (a,b,c), su isti kao kod ovalnosti, trougaonosti i petougonaosti. Na slici su dati samo uvećani prikazi jezgara, pošto su oni bitni za analizu.



Sl. 7. Simulacija mnogougonaog odstupanja sa različitim vrednostima hrapavosti površine i sa raznim brojevima ddodirnih tačaka [7]

Rezultat ukazuje na to da se u slučaju mnogougonaosti uvek dobija ista slika jezgara centara. Nezavisno od broja dodirnih tačaka i od veličine hrapavosti oblik raspodele tačaka centara pomoćnih krugova u jezgru je uvek rastresit, bez znakova uniformnosti, što jednoznačno ukazuje na mnogougonaost odstupanja od kružnosti.

5. ZAKLJUČCI

Razvijenim programom je moguća simulacija svih, u praksi najčešće prisutnih odstupanja od kružnosti. Program obezbeđuje dobijanje koordinata fiktivnih mernih tačaka zamišljene konture poprečnog preseka za izabranu vrstu odstupanja, i tako dugotrajna merenja postaju suvišna. Analiza uticaja spoljnih faktora, kao što su npr. kvalitet obrađene površine, talasastost, itd., na širinu polja kružnosti postaje jednostavnija, brža i jeftinija. Razvijeni program se može ugraditi ili priključiti bilo kom modelu za analizu

odstupanja od kružnosti. Iskustva, stečena primenom prikazanog modela simulacije raznih vrsta odstupanja od kružnosti, su poslužila kao osnov razvoju modela za obradu stvarnih mernih vrednosti [7].

6. REFERENCE

- [1] Dong, C., Zhang, C., Wang, B.: *Prediction and Compensation of Dynamic Errors for Coordinate Measuring Machines*, Journal of Manufacturing Science and Engineering, p.p. 509-514, 2002.
- [2] Dovica, M., a kolektiv: *Metrológia v strojárstve*, Edícia vedačkej a odbornej literatúry – Strojnícka Fakulta TU v Košiciach, Emilena, Košice, 2006.
- [3] ...<http://www.universalmeasurement.com/Ma hrFederalForm.pdf>, 2006.
- [4] Nemedi, I., Hadžistević, M., Hodolić, J.: *Results of measuring roundness on the coordinate measuring machines*, New Trends In Area Of Production Engineering In Central European Region, Scientific and research outputs of CEEPUS Network RO 0202-02-0809, p.p. 129 – 136, 2009.
- [5] Nemedi, I.: *Vrednovanje sistema za merenje kružnosti*, Magistarski rad, Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, 2009.
- [6] Standard SRPS EN ISO 1101:2013. *Geometrijske specifikacije proizvoda — Geometrijska tolerancija — Tolerancije oblika, orijentacije, položaja i obrtanja*, Službeni glasnik Republike Srbije, 11/13, 2013.
- [7] Nemedi, I.: *Razvoj modela za ocenu oblika mernog predmeta na osnovu rezultata merenja kružnosti*, Doktorska disertacija, Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, 2013.

Autori: Dr Imre Nemedi¹, M.Sc. Branko Štrbac², Prof. Dr Janko Hodolić², Dr. Krzysztof Stepień³, Prof. Dr Miodrag Hadžistević²,
¹Visoka Tehnička Škola Strukovnih Studija Subotica, Katedra za razvoj proizvoda, Marka Oreškovića 16, 24000 Subotica, Serbia, Tel: +381 24 655-247, Fax: +381 24 655-255. ² Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet Tehničkih Nauka, Institut za Proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485-2306, Fax: +381 21 454-495. ³ Kielce University of Technology, Al. 1000-lecia P. P. 7, 25-314 Kielce, Poland.

E-mail: nimre@vts.su.ac.rs
strbac.br@gmail.com
hodolic@uns.ac.rs
miodrags@uns.ac.rs
kstepien@tu.kielce

Jakovljević, Ž., Marković, V., Miladinović, M.,

RECOGNITION OF ELLIPTICAL SEGMENTS IN SCANNED LINES

Abstract: *Cylindrical surfaces, as one of the most frequent surfaces in mechanical engineering, are represented by elliptical (circular) or linear segments in scanned lines within structured point cloud. Having this in mind, segmentation and fitting of elliptical regions is a very important issue in the recognition of cylindrical surfaces. This paper presents the research in the recognition of elliptical (or circular) segments in scanned lines. Segments connected with G1 (or higher) continuity are considered. Presented method is based on seed independent region growing using direct least squares fitting of ellipses. The method is tested in the case studies considering synthesized as well as real world (scanned lines) examples.*

Key words: *Reverse engineering, segmentation, ellipse*

1. INTRODUCTION

The state of the art 3D scanning devices are characterized by high speed, resolution and accuracy and after scanning generate very dense point clouds with more than sufficient data [1]. The efficient algorithms for raw data preprocessing (registration, integration and meshing) are available [2] and creation of 3D triangular mesh from point cloud is a standard feature of contemporary CAD software. However, the efficient algorithms for recognition (segmentation, classification and fitting) of geometric primitives from point cloud still remain a challenge. The most critical element of recognition process is the segmentation of elementary regions (surfaces) from point cloud. Once the point cloud is segmented, there is a number of efficient surface fitting and classification techniques [3, 4] that are usually based on surface parameter estimation.

The majority of parts in mechanical engineering are bounded by planar surfaces and quadrics. Therefore, besides planes, the recognition of quadrics in point clouds is of a crucial importance.

There are two basic groups of strategies for segmentation of quadrics from point cloud [5]: 1) strategies based on edge detection, and 2) strategies based on regions.

In edge based techniques, the edges (boundaries) of surfaces are first detected and the segmentation is carried out using obtained faces' boundaries. This approach is convenient for G0 continuous surfaces where there is an abrupt change between adjacent faces. However, for G1 continuous surfaces, it is very difficult to detect edges. Note that in mechanical engineering there

are a large number of parts with G1 continuous quadrics, usually as a result of cutting tool radius.

Region based segmentation is carried out by split and merge approach or by region growing. In these methods, the points belonging to homogenous regions are classified/clustered using different criteria usually based on differential parameters. For example in [6] region growing is carried out using local surface normals, in [7] curvature tensor and principle curvature in vertices were utilized as features, while in [8] region growing is carried out based on average curvature in the point and specific geometric constraints for selected quadrics. The results of segmentation by region growing are highly dependant on seed point which is a rule selected manually [8]. Alternative approach is random seed selection, or selection of seed point near estimated edges [7].

An interesting approach for segmentation of G0 continuous quadric regions from point cloud based on numerically stable least square fitting of ellipse is presented in [9].

The most of scanning devices as a low level output give structured point cloud which consists of a sequence of scanned lines. This structure is sometimes deteriorated by further processing during registration and integration of multiple views, and in some devices scattered point cloud is generated as a high level output. However, it is possible to restore this structure using certain techniques.

Of all quadrics (ellipsoid, sphere, hyperboloid, cone...), the cylinder is most frequently met in mechanical elements. In scanned lines, cylindrical surfaces are represented by elliptical (circular) or linear segments. Consequently, segmentation and fitting of elliptical regions in scanned lines is a

very important issue in the recognition of cylindrical surfaces.

This paper presents the research in the field of recognition of elliptical segments in scanned lines. Segments connected with G1 continuity are considered. Presented segmentation method is based on direct least squares fitting of ellipses [4] and, in its essence, it is region growing method. The method is tested using a number of synthesized and real world examples.

The rest of the paper is organized as follows. In Section 2 we provide basic background regarding direct least squares fitting of ellipses [4]. Section 3 presents the methodology for segmentation of ellipses from scanned lines. In Section 4 the method is tested using a real world example, while in Section 5 we give concluding remarks.

2. LEAST SQUARES FITTING OF ELLIPSE

Conic section, in general, can be represented by the following equation:

$$a_1x^2 + a_2xy + a_3y^2 + a_4x + a_5y + a_6 = 0 \quad (1)$$

For ellipse, the coefficients a_i must satisfy the relation:

$$a_2^2 - a_1a_3 < 0 \quad (2)$$

Eq. (1) can be given in the vector form:

$$\mathbf{x} \cdot \mathbf{a} = 0 \quad (3)$$

where $\mathbf{a}=[a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4 \ a_5 \ a_6]^T$ denotes the coefficients and $\mathbf{x}=[x^2 \ xy \ y^2 \ x \ y \ 1]$.

The problem of ellipse fitting can be formulated as estimating parameters \mathbf{a} , given the observations \mathbf{x}_n , $n=1, \dots, N$. Using the least squares method, the coefficients \mathbf{a} can be obtained by the following minimization:

$$\min_{\mathbf{a}} \|\mathbf{D}\mathbf{a}\|^2 \quad (4)$$

where \mathbf{D} represents the design matrix in the form:

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} x_1^2 & x_1y_1 & y_1^2 & x_1 & y_1 & 1 \\ x_2^2 & x_2y_2 & y_2^2 & x_2 & y_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_N^2 & x_Ny_N & y_N^2 & x_N & y_N & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

In order to customize the least squares method for direct least squares fitting of ellipses, and make the parameter estimation more efficient Fitzgibbon et al. [4] introduced the following constraint:

$$a_2^2 - a_1a_3 = 1 \quad (6)$$

to the minimization problem (4). Constraint (6) can be rewritten in the matrix form:

$$\mathbf{a}^T \mathbf{C} \mathbf{a} = 1$$

with $\mathbf{C}(3, 2)=2$, $\mathbf{C}(2, 2)=-1$, $\mathbf{C}(3, 1)=2$ and $\mathbf{C}(i,$

$j)=0$ otherwise. The minimization problem can be represented by the system of equations:

$$\begin{aligned} \mathbf{S}\mathbf{a} &= \lambda \mathbf{C}\mathbf{a} \\ \mathbf{a}^T \mathbf{C} \mathbf{a} &= 1 \end{aligned} \quad (7)$$

where $\mathbf{S} = \mathbf{D}^T \mathbf{D}$ denotes the scatter matrix.

Fitzgibbon et al [4] have shown that the system of equations (7) has a single positive eigenvalue, and that this value gives the solution for \mathbf{a} .

When all points \mathbf{x}_n are sampled from an ellipse without noise, the scatter matrix \mathbf{S} is close to singular matrix, and it is impossible to estimate the parameters using presented procedure.

3. SEGMENTATION OF ELLIPTICAL REGIONS FROM SCANNED LINES

The methodology for segmentation of G1 continuous elliptical regions from scan lines that we propose in this paper is based on the singularity of scatter matrix in the case of points sampled from exact ellipse. When points are sampled from approximate ellipse (e.g. scanned ellipse) matrix \mathbf{S} will be close to singular matrix, and two conditions will be fulfilled: 1) matrix reciprocal condition number will be close to zero; 2) the eigenvalue can be close to zero.

If the scanned profile is examined by growing point by point starting from the first point on the line, as long as all points belong to one elliptical segment, scatter matrix will be close to singular. When during region growing, points sampled from a different ellipse are taken into consideration, i.e. on the transition from the preceding to the next elliptical (or other) region, scatter matrix will not be close to singular any more. The transition point can be detected by simple thresholding of reciprocal condition number and eigenvalue of

INPUT: N points on scan line, coordinates $\mathbf{x}_1, \mathbf{y}_1$

```

for i=1:N
    x=x1(1:i);
    y=y1(1:i);
    D=[x^2 x*y y^2 x y ones(i)];
    S=D'*D
    if rcond(S)>threshold_1
        coef=i; break
    else
        [svек, svr]=eig(inv(S)*C)
        sv=abs(svr(find(svr>0)))
        if sv<threshold_2
            coef=i; break; end; end
end;

```

OUTPUT: coef-point on the segment's boundary

Fig. 1. Segmentation of elliptical regions using scatter matrix

scatter matrix \mathbf{S} . By subsequent application of proposed methodology until all points on the scan line are exhausted, all points on region boundaries can be detected.

The pseudo code for application of the presented methodology is given in Figure 1. The thresholds for reciprocal condition number and eigenvalue should be tuned depending on the noise level in the scanned line.

To verify the presented methodology, we have synthesized a line which is composed of 5 C1 continuous elliptical/circular segments. Segments' parameters and region boundary points are given in Table 1. Note, that the points are not uniformly sampled along x axis. Proposed algorithm recognized boundary points presented in Table 2.

To test the performances of the algorithm in the presence of noise, we have added white Gaussian noise with signal to noise ratio (SNR) of 100dB to the synthesized signal. During testing, we have noticed that the original algorithm is prone to over-segmentation. However, since in the presence of noise, sampled points do not belong to exact ellipse, it is possible to estimate the elliptical

Seg no.	Coefficients [a1 a2 a3 a4 a5 a6]	Sample no.	
		Start	End
1	[5.88 -8.73 10.92 -341.47 -312.47 10 ⁴]	1	1617
2	[-1.04 0 -1.04 237.30 -275.52 10 ⁴]	1618	1747
3	[0.99 0 1.76 -190.86 -129.68 10 ⁴]	1748	2653
4	[-1.98 0 -1.98 263.83 -92.37 10 ⁴]	2654	2847
5	[0.68 0 0.30 -165.69 -16.28 10 ⁴]	2848	3903

Table 1. Parameters of synthesized C1 continuous segments

INPUT: \mathbf{x} , \mathbf{y} – coordinates of points on scan line
 \mathbf{coef} – vector of \mathbf{N} points on boundaries

```

l=1; k=0;
for i=1:N-1
    x1=x(coef(l):coef(i-1)); y1=y(coef(l):coef(i-1));
    estimate a1
    calculate estimated y1_e
    x2=x(coef(l) : coef(i)); y2=y(coef(l) : coef(i));
    estimate a2
    calculate estimated y2_e
    if abs(sum(abs(y1_e-y1))/length(y1)-
        abs(sum(abs(y2_e-y2))/length(y2))>threshold
        k=k+1; l=i-1;
        coef1(k)=coef(i-1); break
end; end;

```

OUTPUT: $\mathbf{coef1}$ - point on the merged segment boundary

Fig. 2. Merging of over-segmented elliptical regions using parameters' estimate

Seg. no.	Sample number			
	Case 1		Case 2	
	Start of segment	End of segment	Start of segment	End of segment
1	1	1617	1	1624
2	1618	1747	1625	1763
3	1748	2657	1763	2660
4	2658	2852	2661	2831
5	2853	3903	2832	3903

Table 2. Recognized elliptical regions: case 1 – signal without noise; case 2 – signal with noise

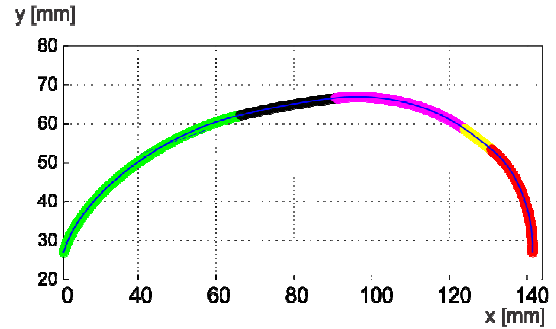


Fig. 3. Merging of over-segmented elliptical regions using parameters' estimate

Table 3. Estimated segments' parameters for synthesized signal with noise

Seg. no.	Coefficients					
	$a_1 \times 10^{-4}$	$a_2 \times 10^{-4}$	$a_3 \times 10^{-4}$	$a_4 \times 10^{-4}$	$a_5 \times 10^{-4}$	a_6
1	5.311	-7.312	10.176	-366.7	-293.5	1
2	0.156	-1.444	4.054	66.7	-399.4	1
3	1.123	-0.077	1.818	-211.4	-115.0	1
4	0.253	0.648	0.421	-100.6	-129.4	1
5	0.686	-0.004	0.306	-166.1	-15.9	1

segments' parameters \mathbf{a} . These estimated parameters can be further exploited for merging of adjacent over-segmented regions using algorithm presented in Figure 2. After segmentation and merging of over-segmented regions, the boundary points presented in Table 2 (case 2) were recognized. Figure 3 shows synthesized signal along with segmented elliptical regions. Finally, estimated parameters of elliptical segments are presented in Table 3.

From Tables 1 and 2, it can be observed that the proposed algorithm adequately segmented synthesized elliptical regions. In the case of signal without noise, the tolerance between actual and detected region boundary was in the range from 0 to 5 samples, while in the case of signal with noise, as expected, this tolerance was higher - in the range from 7 to 16 samples. Maximal relative error between estimated (Table 3) and actual (Table 1) values of elliptical segments' parameters is 12%.

4. EXPERIMENTAL VERIFICATION

For experimental validation of proposed algorithm we have used a scan profile of a part presented in Fig. 4. This part represents a benchmark test for algorithms in reverse engineering tasks [5]. Part was scanned using ATOS Compact Scan 3D scanner, and unstructured 3D point cloud was generated. To extract scan lines from 3D triangular mesh, we have employed modified z buffer algorithm with representation of mesh triangles in barycentric coordinates. The direction of z axis was arbitrarily selected, and the scan lines on the surface of interest are generated from point cloud. One of the scan lines, along with the results of application of proposed segmentation algorithm is presented in Figure 5.

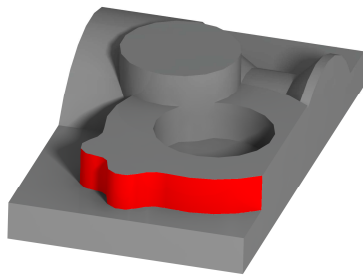


Fig. 4. Scanned part and surface of interest

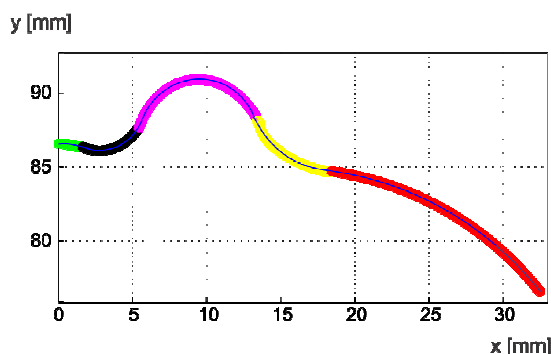


Fig. 5. Segmented elliptical regions on the scanned line

From Figure 5 it can be observed that the algorithm was able to adequately segment elliptical regions in the scan line. These regions correspond to cylinders on the scanned part.

5. CONCLUSION

In this paper we have presented a method for recognition (segmentation and fitting) of elliptical regions from scanned lines. The method is based on region growing using direct least squares fitting of ellipses and it is independent of seed selection. Although the objective of the research was segmentation of ellipses, the estimation of ellipses' parameters (fitting) was carried out as an additional effect of the proposed algorithm.

Very important characteristic of the method is

that it is applicable for effective segmentation of regions with G1 (or higher) continuity where there is no abrupt change in the form of visible edge between adjacent segments. The algorithm has shown excellent performances on the synthesized as well as on the real world signal.

The future work will address the extension of the proposed method to segmentation of quadrics.

6. REFERENCES

- [1] Savio, E., De Chiffre, L., Schmitt, R., *Metrology of freeform shaped parts*, Annals of the CIRP, 56/2, p.p. 810-834, 2007
- [2] Varady, T., Martin, R., Cox, J., *Reverse engineering of geometric models – an introduction*, CAD, 29, p.p. 255-268, 1997
- [3] Halir, R., Flusser, J., *Numerically stable direct least squares fitting of ellipses*, 1998
- [4] Fitzgibbon, A., Pilu, M., Fisher, R., B., *Direct Least Square Fitting of Ellipses*, IEEE Trans. on Pattern Anal, 21, p.p. 476-480, 1999
- [5] Petitjean, S., *A Survey of Methods for Recovering Quadrics in Triangle Meshes*, ACM Comp. Surveys, 34, p.p. 211-262, 2002
- [6] Rabbani, T., van den Heuvel, F., A., Vosselman, G., *Segmentation of point clouds using smoothness constraint*, V Symp. Image Engineering and Vision Metrology, 2006
- [7] Lavoue, G., Dupont F., Baskurt A., *Curvature Tensor Based Triangle Mesh Segmentation with Boundary Rectification*, Proc. of the Comp. Graph. Int., p.p. 10-17, IEEE, 2004
- [8] Lai, H., C., -Hong Chang, Y., H., Lai, J., Y., *Development of feature segmentation algorithms for quadratic surfaces*, Adv. in Eng. Software 40, p.p. 1011-1022, 2009
- [9] Rahayem, M., R., Kjellander, J., A., *Quadric segmentation and fitting of data captured by a laser profile scanner mounted on an industrial robot*, Int. J. Adv. Manuf. Tech., 52, p.p. 155-169, 2011

Acknowledgement: We express the gratitude to the Serbian Ministry of Education, Science and Tech. Development, RG TR35007, TR35020, and company Topomatika for scanning service

Authors: Assist. Prof. Dr. Živana Jakovljević, M.Sc. Veljko Marković, M.Sc. Momčilo Miladinović, University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, Department for Production Engineering, Kraljice Marije 16, 11000 Belgrade, Serbia, Phone.: +381 11 3302404, Fax: +381 11 3370364.

E-mail: zjakovljevic@mas.bg.ac.rs
vmarkovic@mas.bg.ac.rs
mmiladinovic@mas.bg.ac.rs

Kosec, B., Karpe, B., Černe, V., Nagode, A., Brezigar, M., Kosec, G., Soković, M., Bizjak, M.

**HEAT TREATMENT OF COLD FORMED STEEL SEMI-PRODUCTS FOR THE
AUTOMOTIVE INDUSTRY**

Abstract: *In the Slovenian company Lektrika d.d. (former ISKRA Avtoelektrika d.d.) they manufacture, with the processes of cold forming, a great number of a different steel forgings for the Slovenian and European automotive industry. During their exploitation they are exposed to the high mechanical and temperature loads.*

A gas furnaces and devices play important role in the heat treatment of various steel parts for the automotive industry. Their thermotechnical characteristics have a great influence on the product quality and costs. The aim of our work is optimization of a device with emphasis on continuous control of working temperature. The efficiency and quality of the treatment were analysed with the use of chemical analysis, hardness measurements, measurements of carbon and sulphur content in the surface layer, metallographic examination method.

Key words: *steel semi-products, heat treatment, automotive industry*

**1. INTRODUCTION**

In the Slovenian company Lektrika d.d. they manufacture, with the different processes of cold forming, a great number of a different steel forgings (Figure 1) for Slovenian and European automotive industry.



Fig. 1. Cold formed steel forgings from Letrikad.d. production program. Testing forging – pinion no. 16.920.633 (below, the second from the left)

The cold formed steel forgings are, during their exploitation, exposed to the both: high mechanical and temperature loads [1,2].

In the frame of our investigation work, the efficiency and quality of the heat treatment (case hardening) [3-7] of the most typical cold formed steel forging from Lektrika d.d. production program – pinion no. 16.920.633 has been analysed. The material of the pinion is 16MnCr5 grade steel (Table 1), produced in Slovenian

steelwork ACRONI d.o.o., with well known mechanical and thermal properties [8].

A device for heat treatment installed in Lektrika d.d. (Figure 2) is produced by the company CODERE from Swiss. It consists of a four main parts[9]:

- gas furnace (with pure and high controlled atmosphere),
- primary temperature measuring system (measuring the atmosphere temperature in the furnace),
- manipulating system, and
- hardening vessel (with mineral oil).



Fig. 2. Device for heat treatment in Letrika d.d.

2. EXPERIMENTAL WORK

For the purpose of temperature measurements [10] of the testing charge we designed a secondary temperature measuring system (Figure 2) consisting from three basic elements [11]:

- even coated Ni-NiCr thermocouples,

- data acquisition modul, and
- PC computer which recorded the results of the measurements.

In the frame of our investigation work five testing forgings were bored. Ends (tips) of thermocouples were inserted therein and fixed with wire. Then, in the filling of the basket with the forgings, the five testing forgings were put on precisely defined, pre-selected places in the basket (A, B, C, D and E). Their positions are shown in Figure 3.

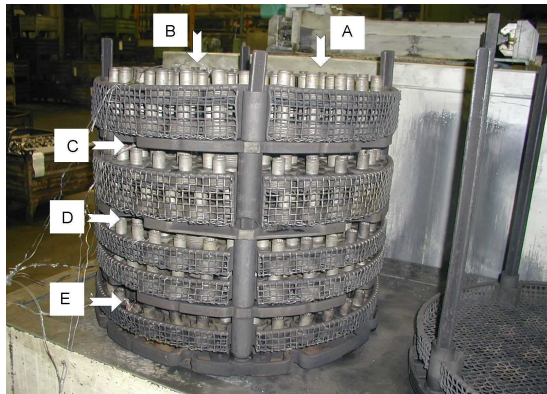


Fig. 3. The positions of the samples in the testing charge

The basket holding the forgings has the form of a cylinder, of dimensions: diameter 780 mm and length 680 mm. The basket can hold approximately 700 forgings, which results in the whole charge mass of some 220 kg, and together with basket approximately 325 kg.

The heat treatment in the case given is case hardening [13] which consists of carburizing and hardening. The prescribed time schedule of the heat treatment process is divided in three phases:

- heating,
- superheating, and
- cooling down (hardening) phase.

The first phase is an even heating of the charge [14] up to the temperature 920 °C (the prescribed time of heating ranges from 2.5 to 3 hours). The time set for superheating of the charge in the furnace at 920 °C is 5.5 to 6 hours. The cooling down phase (hardening) of the whole charge follows in the mineral oil (THERMASOL QH 45) with the initial temperature 80 °C approximately 10 minutes.

For the recording of the temperature measurements results a 3-seconds time interval was selected. The ambient temperature cca. 1.5 m from the furnace was measured in the same time intervals on the sixth measuring channel. Complete results of the temperature measurements performed in the heat treatment of the testing charge of the cold formed steel pinions are shown in Figure 4.

The efficiency and quality of the heat treatment was analysed with the use of:

- chemical analysis (Table 1),
- hardness measurements,
- measurements of carbon and sulphur content in the case hardened surface layer, and
- metallographic examination methods.

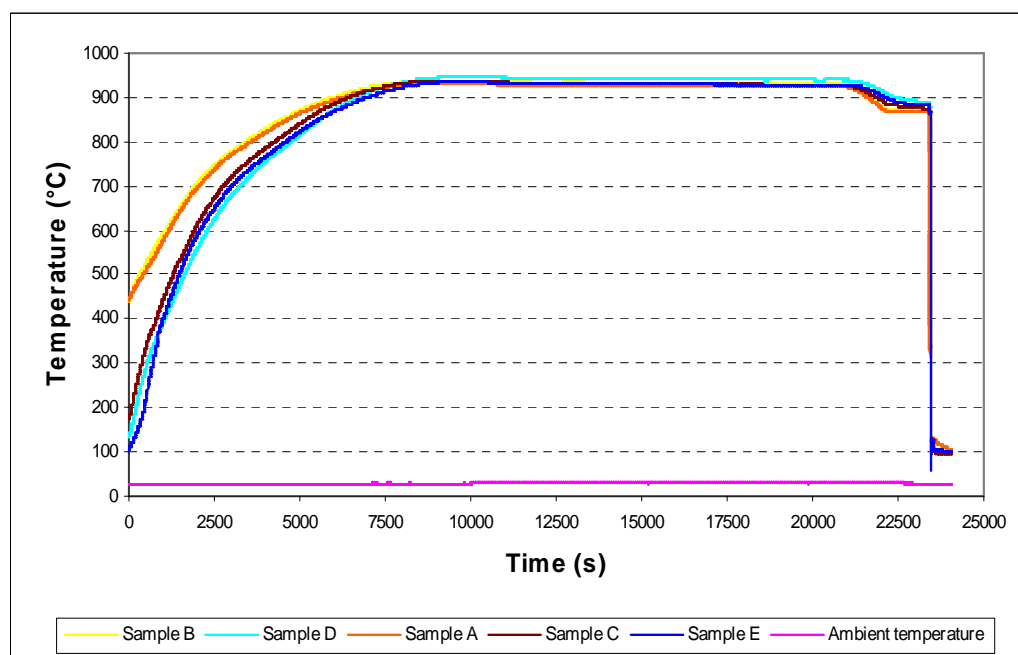


Fig. 4. Temperature measurements – testing charge

Table 1. Chemical composition of 16MnCr steel

Testing Charge	(Mass. %)									
	Element	C	Si	Mn	Cr	Cu	Al	Ni	P	S
	Analysis 1	0.162	0.241	1.192	1.014	0.049	0.033	0.147	0.013	0.026
Analysis 2	0.164	0.247	1.167	1.028	0.044	0.035	0.146	0.014	0.027	
Standard [8]		0.14-0.19	<0.40	1.00-1.30	0.80-1.10				<0.035	<0.035

Table 2. Hardness through the case hardened surface layer (average values of 10 measurements)

Sample	Hardness (HV1)									
	0.1 mm	0.2 mm	0.3 mm	0.4 mm	0.5 mm	0.6 mm	0.7 mm	0.8 mm	0.9 mm	1.0 mm
A	854	839	838	800	751	684	615	564	524	491
B	846	847	840	824	749	698	630	578	531	498
C	843	805	784	744	658	647	585	548	523	503
D	824	778	740	696	656	602	565	528	509	497
E	861	860	854	827	786	734	669	613	573	534

Table 3. Carbon (C) and sulphur (S) content in the case hardened surface layer of the samples A, C and E

Sample	Element	(Mass. %)									
		0.1 mm	0.2 mm	0.3 mm	0.4 mm	0.5 mm	0.6 mm	0.7 mm	0.8 mm	0.9 mm	1.0 mm
A	C	0.891	0.771	0.745	0.787	0.776	0.744	0.728	0.743	0.724	0.710
	S	0.072	0.032	0.031	0.032	0.030	0.031	0.031	0.030	0.029	0.026
C	C	0.742	0.689	0.658	0.653	0.631	0.569	0.507	0.503	0.448	0.395
	S	0.052	0.035	0.033	0.028	0.028	0.028	0.028	0.029	0.028	0.028
E	C	0.814	0.696	0.683	0.673	0.678	0.599	0.620	0.618	0.630	0.613
	S	0.057	0.029	0.029	0.028	0.027	0.022	0.021	0.028	0.028	0.027

Surface hardness of the testing samples was measured with the Rockwell method (HRC). The measured values were all higher than 62 HRC (between 62.5 and 67.1 HRC). In the Table 2 are presented the results of the hardness measurements through the case hardened surface layer, and in the Table 3 a carbon and sulphur content in the case hardened surface layer.

In the frame of our experimental work also non-destructive metallographic examination by optical microscopy (OM) and scanning electron microscopy (SEM) was applied.

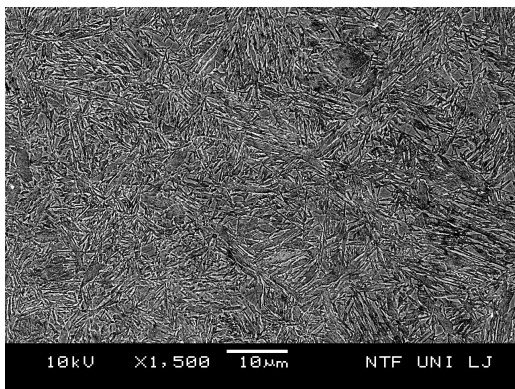


Fig. 5. Microstructure of the surface layer (martensite); SEM

In the Figure 5 we can see the microstructure (martensite) of the surface layer, and in Figure 6 is the tooth, and the quenching crack through the

surface layer at the tooth of the sample D. The crack length is approximately 650 µm.

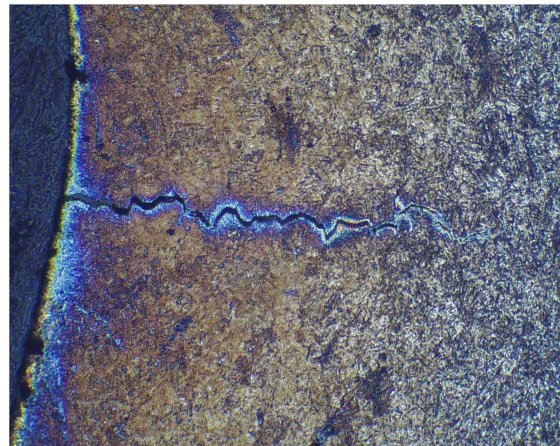


Fig. 6. Tooth – sample D. Surface layer, crack through the surface layer; magn. 500x; OM

3. CONCLUSIONS

A gas furnaces and devices play important role in the heat treatments of various metal parts for the automotive industry. Their thermotechnical characteristics have a great influence on the both: product quality and costs. In our case the efficiency and quality of the heat treatment optimisation was analysed with the use of: chemical analysis, microhardness measurements,

measurements of the carbon and sulphur content in the surface layer, and metallographic examination methods.

The practical result of the before described heat treatment are the cold formed steel pinions with the surface hardness of approximately 65 HRC, and the case hardened depth of the surface layer (with hardness higher than 551 HV1) approximately 0.7 mm.

On the basis of the results of our engineering work and economical studies, the instalation of the second device (of the same producer, type and capacity) for the heat treatment was done in Letrika d.d.

4. REFERENCES

- [1] Totten, G. E., Howes, M.A.H.: *Steel Heat Treatment Handbook*, Marcel Dekker, New York, 1997.
- [2] Shercliff, H.R.: Modelling and Selection of Surface Treatments for Steels, *Advanced Engineering Materials*, 4 (2002) 6, 397 – 402.
- [3] Dobrzanski, L.A.: *Technical and Economical Issues of Materials Selection*, Silesian Technical University, Gliwice, 1997.
- [4] Lee, K.O., Kim, J.M., Chin, M.H., Kong S.S.: A Study of the Mechanical Properties for Developing Computer Simulation Model for Heat Treatment Process, *Journal of Materials Processing Technology*, 182 (2007), 65 – 72.
- [5] Trzaska, J., Sitek, W., Dobrzanski, L.A.: Selection Method of Steel Grade with Required Hardenability, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 20 (2007) 1-2, 471 - 474.
- [6] Desmukh, Y.V.: *Industrial Heating – Principles, Techniques, Materials, Applications and Design*, Taylor & Francis, London, 2005.
- [7] Dobrzanski, L.A.: Synergetic Effects of the Scientific Cooperation in the Field of Materials and Manufacturing Engineering, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 15 (2006) 1-2, 9 - 20.
- [8] Jocić, B.: *Steels and Cast Irons*, BIO-TOP, Dobja Vas, 2008.
- [9] Kosec, B., Brezigar, M., Kosec, G., Bernetič, J., Bizjak, M.: Heat treatment of cold formed steel forgings for the automotive industry, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 22 (2007) 2, 87 – 90.
- [10] Michalski, L., Eckersdorf, K., McGhee, J.: *Temperature Measurement*, John Wiley & Sons, Chichester, 1991.
- [11] Pavlin, F., Kosec, B., Bizjak, M., Ferfolja M.C.: Temperature Profile Measurements on Wellman Type Annealing Furnace, *RMZ – Materials and Geoenvironment*, 46 (1999) 1, 83 - 87.
- [13] Gojić, M., Lazić, L., Kosec, B., Bizjak, M.: Application of Mathematical Modelling to Hardenability Testing of Low Alloyed Mn-Mo Steel, *Strojarstvo*, 47 (2005) 3-4, 101 – 108.
- [14] Thelning, E.K.: *Steel and its Heat Treatment*, Butterworths, London, 1984.

Authors: Prof. Dr. Borut Kosec, Assist. Prof. Dr. Blaž Karpe, Assist. Prof. Dr. Aleš Nagode, Assoc. 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 4704560. **Vasja Černe, Matjaž Brezigar**, Letrika d.d., Polje 15, 5290 Šempeter near Gorica, Slovenia, Phone.: +386 5 3393097, Fax: +386 5 3393817. **Assist. Prof. Dr. Gorazd Kosec, ACRONI d.o.o.**, c. Borisa Kidriča 44, 4290 Jesenice, Slovenia, Phone.: +386 4 5841016, Fax: +386 4 5841003. **Prof. Dr. Mirko Sokovič**, University of Ljubljana, Faculty of Mechanical Engineering, Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana, Slovenia, Phone.: +386 1 4771214, Fax: +386 1 4771218.

E-mail: borut.kosec@omm.ntf.uni-lj.si
blaz.karpe@omm.ntf.uni-lj.si
ales.nagode@omm.ntf.uni-lj.si
milan.bizjak@omm.ntf.uni-lj.si
vasja.cerne@letrika.com
matjaz.brezigar@letrika.com
gorazd.kosec@acroni.si
mirko.sokovic@fs.uni-lj.si

Žutković, M., Vilotić D., Skakun, P.

REOLOŠKI PRORAČUN KALUPA ZA INJEKCIONO PRESOVANJE MASKE
ELEKTRO-PREKIDAČA

Rezime: Konstrukcija kalupa za injekciono presovanje obuhvata reološki, toplotni i mehanički proračun. Pored ovih proračuna potrebno je uraditi i numeričku simulaciju procesa kako bi se uočili eventualni konstrukcijski nedostaci kalupne šupljine. Cilj takvog pristupa je dobijanje optimalne konstrukcije kalupa. U ovom radu prikazan je reološki proračun i konstrukcija kalupa za injekciono presovanje polimernog otpreska maske elektro-prekidača kao elementa većeg proizvoda elektro-prekidača.

Pri razvoju proizvoda i kalupa korišćeni su računarski programi Pro/Engineer Wildfire4.0, HASCO Digital Catalogue za izbor standardnih elemenata kalupa, a za simulaciju punjenja kalupne šupljine računarski program Moldflow Plastics Advisers.

Ključne reči: injekciono presovanje, konstrukcija kalupa, reologija, termoplast

1. UVOD

Injekciono presovanje najvažniji je ciklički postupak prerade polimera. Pri tome, kalup predstavlja specifični, središnji, vitalni i najkomplikovaniji deo sistema za injekciono presovanje polimera, tako da je njegovom projektovanju potrebno posvetiti posebnu pažnju. Pri injekcionom presovanju otpreska od termoplasta od izuzetne važnosti je konstrukcija kalupa za visokokvalitetnu proizvodnju i racionalno vođenje procesa. Kvalitet i konstrukcija kalupa odlučujuće utiču na ekonomičnost postupka prerade. U svrhu racionalizacije i optimizacije izrade odgovarajućeg otpreska, upravo je kalup element koji zahteva ulaganje maksimalnog truda. Primena računara i odgovarajućih računarskih programa bitni su u ostvarivanju tih zahteva. Prilikom dimenzionisanja kalupa, posebnu pažnju treba posvetiti analitičkom proračunu koji obuhvata reološki, toplotni i mehanički proračun. U ovom radu prikazan je reološki proračun kalupa za injekciono presovanje maske elektro-prekidača.

Pri razradi proizvoda i kalupa korišćeni su softverski paket PRO/ENGINEER Wildfire 4.0, zatim HASCO digitalni katalog - baza standardnih delova i kućišta kalupa, a za simulaciju punjenja kalupne šupljine softverski paket Plastics Advisers proizvođača Moldflow.

2. PRORAČUN KALUPA

U okviru proračuna kalupa treba uraditi tri bloka analitičkih proračuna: reološki, toplotni i mehanički. Pre analitičkih proračuna potrebno je uraditi numeričku simulaciju injekcionog

presovanja dela za koji se konstruiše alat, u ovom slučaju to je maska elektro-prekidača.

2.1 Reološki proračun kalupa

Reološki proračun kalupa predstavlja prvi korak u proračunavanju elemenata kalupa. Pri tome, uglavnom se proračunavaju pritisci u ulivnim i kalupnim šupljinama, te viskozno ponašanje rastopa termoplasta koje se ocenjuje pomoću smičuće viskoznosti rastopa [1].

Pritisak u kalupnoj šupljini aktivno je opterećenje koje deluje na zidove kalupne šupljine i ostale elemente kalupa. Za proračun potrebnog pritiska u kalupnoj šupljini potrebno je poznavati karakteristike termoplasta koji će se koristiti. Pri određivanju pritiska u kalupnoj šupljini, najčešće se koristi p-v-T dijagram za termoplaste. Određivanju pritiska u kalupnoj šupljini potrebno je posvetiti posebnu pažnju, jer se ta vrednost koristi u svim delovima proračuna [2].

U okviru dimenzionisanja ulivnog sistema kalupa potrebno je odrediti dimenzije segmenata ulivnog sistema: ulivka, ulivnih i razdelnih kanala, te ušća. Osim dimenzija segmenata ulivnog sistema potrebno je odrediti i padove pritiska u pojedinim segmentima, kako bi se mogao odrediti potrebni pritisak ubrizgavanja (funkcija brizgaljke).

Pad pritiska u segmentu ulivnog sistema kružnog oblika prema Hagen-Poiseullovoj metodi [2] moguće je izračunati na osnovu sledećeg izraza:

$$\Delta p_{us} = \frac{128 \cdot \eta \cdot l \cdot q_v}{\pi \cdot d^4} \quad (1)$$

gdje su: Δp_{us} - pad pritiska u segmentu ulivnog sistema (Pa, N/m²), η - smičuća viskoznost rastopa termoplasta (Pas), l - dužina segmenta

ulivnog sistema (m), q_v - zapreminski protok rastopa plastomera (m^3/s), d - prečnik segmenta ulivnog sistema (m).

Za pad pritiska u segmentu ulivnog sistema pravougaonog oblika prema [2] moguće je napisati izraz:

$$\Delta p_{us} = \frac{32 \cdot \varphi \cdot \bar{v} \cdot \eta \cdot l}{D_h^2} \quad (2)$$

gdje su: φ - koeficijent oblika segmenta ulivnog sistema, \bar{v} - srednja brzina tečenja rastopa plastomera (m/s), D_h - hidraulički prečnik segmenta ulivnog sistema (m).

Kako bi se ostvarili jednaki uslovi punjenja svih kalupnih šupljina kod kalupa sa više kalupnih šupljina, potrebno je provesti uravnoteženje ulivnog sistema [2]. Uravnoteženjem ulivnog sistema osiguravaju se jednaki uslovi tečenja rastopa termoplasta do svih kalupnih šupljina.

Izabrana mašina za injeksiono presovanje treba da ostvari potreban pritisak u kalupnoj šupljini i pokrije padove pritiska u segmentima ulivnog sistema. Pad pritiska u rastopu termoplasta ostvaruje se i njegovim prolaskom kroz mlaznicu brizgaljke. Stoga je potrebno proračunati taj pad pritiska, dodati ga padovima pritiska u ulivnom sistemu i potrebnom pritisku u kalupnoj šupljini, te proveriti može li izabrana mašina da ostvari potreban pritisak ubrizgavanja [2]:

$$p_u \geq \Delta p_n + \sum \Delta p_{us} + p_K \quad (3)$$

gdje je: Δp_n - pad pritiska u mlaznici mašine (Pa).

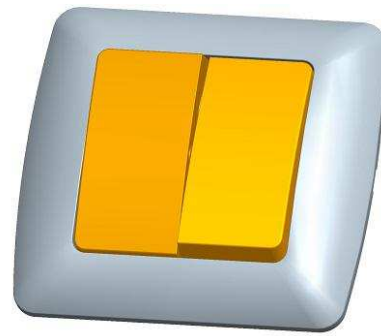
Proračun pada pritiska u mlaznici identičan je proračunu pada pritiska u ulivnom sistemu kružnog oblika [2].

Sila držanja kalupa javlja se kao reakcija delovanja pritiska u kalupnoj šupljini u smeru otvaranja kalupa na tlocrtnu površinu otpreska. Određivanje sile držanja kalupa za injeksiono presovanje ima važnu ulogu u pravilnoj konstrukciji kalupa zbog mogućeg uticaja na izbor odgovarajuće mašine. Usled nedostatka sile držanja mogu nastati otpresci bitno različitih debljina zidova ili otpresci sa srhom, a moguća su i oštećenja kalupa i mašine [2].

Sila držanja računa se najčešće prema izrazu [2]:

$$F_d = p_K \cdot (S_{ot} + S_{us}) \cdot k \quad (4)$$

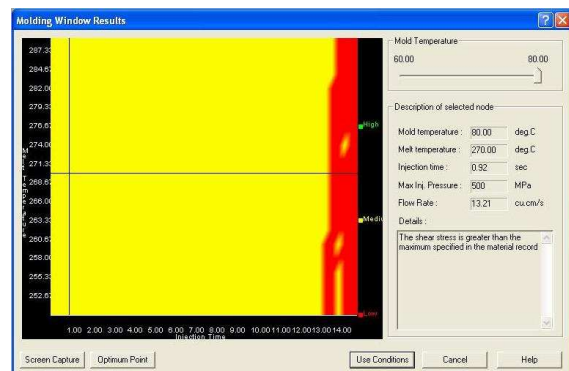
gdje su: F_d - sila držanja kalupa (N), p_K - pritisak u kalupnoj šupljini u smeru otvaranja kalupa (N/m^2), S_{ot} - površina otpres(a)ka (m^2), S_{us} - površina ulivnog sistema (m^2), k - faktor sigurnosti (1,1 do 1,2).



Sl. 1 Elektro-prekidač (spoljni element je maska)

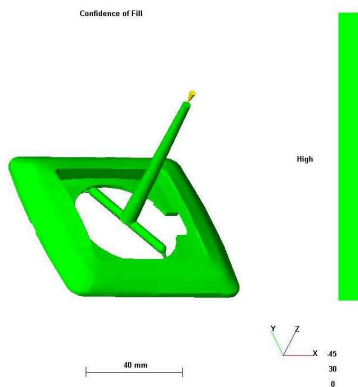
Za izradu maske predviđen je postupak injeksionog presovanja, a materijal od kojeg će se maska izrađivati je blenda, odnosno mešavina (termoplastična legura) polikarbonata i akrilonitril butadien stirena (PC/ABS). Izabran je materijal trgovačke oznake Cycloy C2950FR, proizvođača GE Plastics (Europe) [3]. Reč je o termoplastu sa amorfnom strukturom namenjenom proizvodima elektro, elektronske i autoindustrije, kod kojih se zahteva dobar izgled površine uskladjen sa dovoljnom čvrstoćom i krutošću.

Za potrebe provere tehnološkičnosti otpreska, sprovedena je simulacija postupka injeksionog presovanja maske. Pri tome je korišćen računarski program Moldflow Plastic Advisor, koji omogućuje preliminarnu analizu zbijanja u kalupnoj šupljini tokom injeksionog presovanja [4]. Program pre svega omogućuje planiranje osnovnih parametara prerade koji bi trebali rezultirati kvalitetnim otprescima (slika 2.).

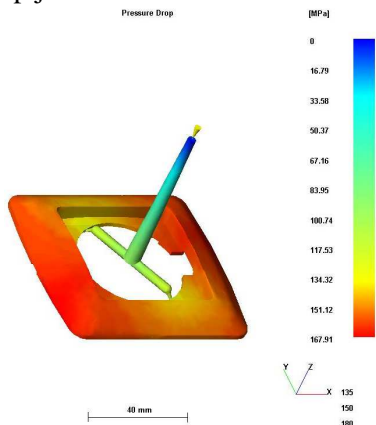


Sl. 2. Izbor optimalnih parametara prerade

Sa slike 2 moguće je odrediti temperaturu zida kalupne šupljine ($\vartheta_K = 80 \text{ }^\circ\text{C}$, uz zadatu visoko sjajnu površinu zbog estetike maske), temperaturu topljenja ($\vartheta_T = 270 \text{ }^\circ\text{C}$) uz pretpostavljeno vreme punjenja kalupne šupljine ($t_u = 0,92 \text{ s}$). Osim navedenih parametara program nudi uvid i u ostale parametre injeksionog presovanja kao i u neka svojstva otpresaka. Deo rezultata analize postupka injeksionog presovanja prikazuje slika 3. i slika 4.



Sl. 3. Verovatnoća popunjavanja kalupnih šupljina

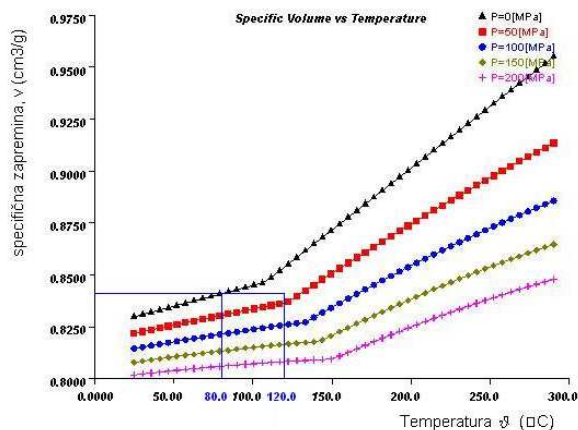


Sl. 4. Pad pritiska u ulivnom sistemu i kalupnim šupljinama

2.1.1. Određivanje potrebnog pritiska u kalupnoj šupljini

Pri određivanju potrebnog pritiska u kalupnoj šupljini, moguće je koristiti dijagram p-v-T za prerađivani polimerni material PC/ABS (slika 5.).

Uz pretpostavljenu temperaturu otvaranja kalupa ($\vartheta_{OK} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$) i temperaturu postojanosti oblika ($\vartheta_{PO} = 120 \text{ }^\circ\text{C}$), moguće je iz dijagrama p-v-T očitati potreban pritisak u kalupnoj šupljini, koji u konkretnom slučaju iznosi $p_K = 40 \text{ MPa}$ (400 bar).



Sl. 5. Dijagram p-v-T za polimerni material PC/ABS

2.1.2. Proračun pada pritiska u ulivnoj i kalupnim šupljinama

Za potrebe proračuna pada pritiska u ulivnoj i kalupnim šupljinama moguće je koristiti Hagen-Poiseullovu jednačinu (1). Međutim, kako je već urađena numerička analiza, sa slike 4. moguće je očitati vrednost pada pritiska od mlaznice brizgaljke do najudaljenijeg mesta kalupne šupljine od položaja ušća. Pad pritiska iznosi 167,91 MPa (1679,1 bar).

Za potrebe izrade maske izabrana je mašina za injekciono presovanje ENGEL 330/80 Victory (slika 6.)



Sl. 6. Mašina za injekciono presovanje ENGEL 330/80 Victory

Za potrebe proračuna pada pritiska u mlaznici mašine pomoću Hagen-Poiseullove jednačine raspoloža se sa sledećim podacima [5]:

- dužina mlaznice $l_n = 80 \text{ mm}$
- prečnik mlaznice $d_n = 8,0 \text{ mm}$
- zapr. protok mase $q_v = 13\ 210 \text{ mm}^3/\text{s}$
- eksponent tečenja $m = -0,8943$
- temperatura mase $\vartheta_T = 270 \text{ }^\circ\text{C}$
- konstanta PC/ABS $K = 83\ 408,5 \text{ kg/ms}^{1-m}$

1. Određivanje smičuće brzine [2]:

$$\dot{\gamma} = \frac{32 \cdot q_v}{\pi \cdot d_n^3} = \frac{32 \cdot 13210}{\pi \cdot 8^3} = 263 \text{ s}^{-1} \quad (5)$$

2. Određivanje smičuće viskoznosti [2]:

$$\eta = K \cdot \dot{\gamma}^m = 83408,5 \cdot 263^{-0,8943} \quad (6)$$

$$\eta = 571,5 \text{ Pas} = 5,715 \cdot 10^{-4} \text{ MPas}$$

3. Određivanje pada pritiska na mlaznici mašine [2]:

$$\Delta p_n = \frac{128 \cdot \eta \cdot l \cdot q_v}{\pi \cdot d^4}$$

$$\Delta p_n = \frac{128 \cdot 5,715 \cdot 10^{-4} \cdot 80 \cdot 13210}{\pi \cdot 8^4} = 6 \text{ MPa}$$

Na bazi vrednosti pada pritiska u mlaznici, ulivnom sistemu i kalupnim šupljinama, te na bazi potrebnog pritiska u kalupnoj šupljini, moguće je odrediti minimalni potrebni pritisak ubrizgavanja [2]:

$$p_{\text{umin}} = \Delta p_n + (\Delta p_{\text{us}} + \Delta p_K) + p_K$$

$$p_{\text{umin}} = 6 + 167,91 + 40 = 213,91 \text{ MPa}$$

Izabrana mašina može ostvariti maksimalni pritisak ubrizgavanja u iznosu 240 MPa, što znači da zadovoljava kriterijum popunjavanja kalupne šupljine i postizanja potrebnog pritiska u kalupnoj šupljini.

2.1.3. Proračun sile držanja kalupa

Proračun sile držanja kalupa sprovodi se na osnovu jednačine (4). Podaci potrebni za proračun u konkretnom slučaju su:

- projekcija površina ulivnog sistema na ravan normalnu na pravac injektionog presovanja $S_{\text{us}} = 4995,2 \text{ mm}^2$
- projekcija površina otpresaka na ravan normalnu na pravac injektionog presovanja $S_o = 179,4 \text{ mm}^2$
- faktor sigurnosti $k = 1,2$

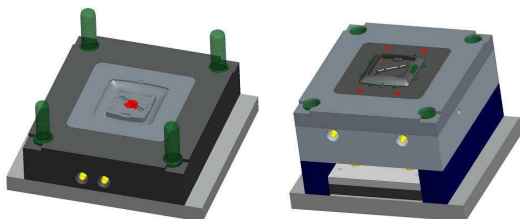
$$F_d = p_K \cdot (S_{\text{ot}} + S_{\text{us}}) \cdot k = 40 \cdot (179,4 + 4995,2) \cdot 1,2$$

$$F_d = 248,38 \text{ kN}$$

Izabranom mašinom za injektiono presovanje moguće je postići vrednost sile držanja kalupa do 800 kN, što dovodi do zaključka da izabrana mašina zadovoljava kriterijum potrebne minimalne sile držanja kalupa.

3. KONSTRUKCIJA KALUPA

Na osnovu proračuna i iskustva projektovanja i konstruisanja alata, projektovan je kompletan alat za injektiono presovanje maske elektro-prekidača (slika 7.).



Sl. 7. Prikaz otvorenog kalupa: nepokretni i pokretni deo alata za brizganje maske

4. ZAKLJUČAK

Savremeni pristup aktivnostima razvoja kalupa za injektiono presovanje zahteva primenu savremenih metoda proračuna i konstruisanje pomoću računara. Metodičko konstruisanje olakšava put do optimalne konstrukcije kalupa. Ključnu ulogu u konstruisanju ima iskustvo konstruktora. Konstruktor svojim iskustvom može prepoznati i ispraviti nelogičnosti u proračunu. Takođe, mora odlučiti o optimalnom rešenju kalupa i potrebnim elementima kalupa za pojedinu vrstu otpresaka.

U radu je razrađena konstrukcija kalupa za injektiono brizganje zadanog otpreska – maske elektro-prekidača, primenom metodičkog pristupa konstruisanju. Na osnovu analize koncepcije kalupa izabrana su načelna konstrukciona rešenja za pojedine parcijalne funkcije kalupa. Dimenzionisanje kalupa sprovedeno je pomoću tri bloka proračuna: reološkog, toplotnog i mehaničkog, a u radu je prikazan reološki proračun.

Pri razradi konstrukcije kalupa korišćen je računarski program Pro/Engineer Wildfire 4.0.

5. LITERATURA

- [1] Čatić, I.: *Izmjena topline u kalupima za injeksijsko prešanje plastomera*, Društvo plastičara i gumaraca, Zagreb, 1985.
- [2] Godec, D.: *Doprinos sustavnosnom razvoju kalupa za injeksijsko prešanje plastomera*, Magistarski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2000.
- [3] *Prospektni materijal*, GE Plastics, 2001.
- [4] Uputstvo za računarski program Moldflow Plastic Advisor
- [5] *Prospektni materijal*, ENGEL, 2008
- [6] *Katalog standardnih elemenata kalupa*, HASCO, 2012.

Autori: M.Sc. Milan Žutković, Prof. Dr Dragiša Vilotić, M.Sc. Plavka Skakun, Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Institut za Proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia. Tel: +381 21 485 2349, Fax: +381 21 454-495.

email: zutkovic@gmail.com

vilotic@uns.ac.rs

plavkas@uns.ac.rs

TOPOGRAFIJA I HABANJE ULAZNE BOČNE LEĐNE POVRŠINE MODELSKIH
ALATA

Rezime: Priroda materijala elemenata sistema, opterećenja u zoni kontakta, relativne brzine, topografija kontaktnih površina i temperatura u zoni kontakta utiču na tribološke karakteristike elemenata, pa prema tome i na karakteristike tribomehaničkog sistema. U ovom radu se analizira topografija i habanje ulazne bočne leđne površine modelskih alata različitih modula. Takođe na osnovu izvedenih eksperimentalnih istraživanja sa neoslojenim i oslojenim alatima uporedno su analizirani parametri topografije ulazne bočne leđne površine nepohabanih i pohabanih alata za sve proučavane module.

Ključne reči: tibomehanički sistemi, topografija, hrapavost, habanje, alati za obradu ozubljenja

1. UVOD

Poslednjih godina postignut je veliki napredak u razvoju novih materijala za alate, novih konstrukcija alata, termičkoj obradi i optimizaciji procesa obrade [1].

Kontaktne površine triboelemenata po završnoj obradi nikada nije apsolutno glatka. Brojne neravnine nastale kao rezultat prethodnih i završnih operacija mogu imati različite geometrijske prametre i izazvati veće ili manje nepravilnosti triboelemenata.

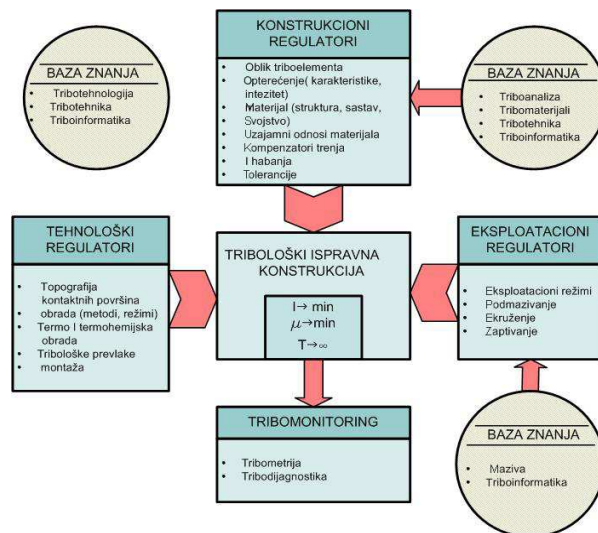
Brojna ispitivanja pokazuju da kvalitet kontaktne površine značajno utiče na otpornost na habanje. Smanjenjem hrapavosti povećava se otpornost na habanje čiji uzrok nije samo smanjenje sile trenja nego i smanjenje osetljivosti materijala na koncentraciju napona.

U ovom radu je analizirana topografija i habanje ulazne bočne leđne površine na modelskim jednozubim odvalnim glodalima.

2. PROIZVOD I TOPOGRAFIJA POVRŠINA

Analizirajući vekovnu spregu i međusobne odnose između čoveka i industrijskog proizvoda, u svakoj od faza njihovog životnog ciklusa, može se reći da je industrijski proizvod svesno razvijena i u industrijskim uslovima proizvodnje realizovana materijalna tvorevina. Realizovana po potrebi, volji i u interesu čoveka, određenih karakteristika, radi neposrednog ili posrednog zadovoljenja određenih ljudskih potreba [2]. Proizvod je najkarakterističniji parametar tehničkog razvoja jedne zemlje gde se pod tehničkim razvojem podrazumeva plansko i sistemsko stvaranje i usavršavanje proizvoda ili procesa.

Usmeravajući proces razvoja proizvoda na razvoj mašinskih (ili tehničkih) sistema, posebno je značajno iznalaženje puteva ka podizanju kvaliteta proizvoda. Nema sumnje da je kvalitet projektovanja jedan od bitnih faktora kvaliteta mašinskih sistema i jedan od najznačajnijih uslova u razvoju proizvoda. Alat za obradu rezanjem takođe predstavlja proizvod određene grane proizvodnje.



Sl. 1. Regulatori tribološki ispravne konstrukcije

Neosporno je da su tribološki procesi (promena strukture sistema, gubici energije, gubici materijala) veoma složeni procesi i da zavise od velikog broja faktora. Zbog toga su i brojne mogućnosti kojima projektant, odnosno konstruktor može razrađivati tribološki ispravnu konstrukciju u procesu projektovanja. Kako se u širem smislu tom prilikom konstrukcija organizuje i reguliše u ispravnom tribološkom ponašanju,

dostupne mogućnosti su podeljenje u tri grupe regulatora: konstrukcioni, tehnološki i eksploatacioni (slici 1.) [2].

Interdisciplinarni karakter tribologije i široka lepeza mogućih aspekata proučavanja usloveli su da se u procesu tribološki ispravnog projektovanja i konstruisanja mora raspolagati velikim brojem tačno određenih triboloških informacija. Zbog složenosti triboloških procesa i velikog broja uticajnih faktora neophodno je raspolagati informacijama iz različitih oblasti ove široke naučne oblasti, kao i usmereno ih proučavati. Očigledno da proces projektovanja razmatran u ravni obrade i transformisanja informacija nižeg nivoa u informacije višeg nivoa zahteva veliki broj tačno određenih informacija. Nažalost, u ovom trenutku naučni svet se ne može pohvaliti količinom triboloških informacija, posebno količinom sistematizovanih informacija primenjivih u praktičnom projektovanju i konstruisanju. U tom smislu ohrabruje razvoj triboinformatike poslednjih godina kao neophodnost sistematizacije sve većeg broja triboloških informacija i potrebe za efikasnijom razmenom između naučnih institucija i drugih mogućih korisnika triboloških znanja [2].

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

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

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

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

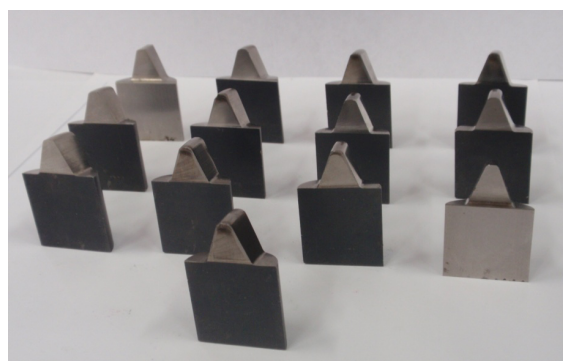
3. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

Prema planu eksperimeta istraživanja topografije površina i habanja su izvedena na oslojenim i neoslojenim jednozubim odvalnim glodalima, sa modulima $m=3\text{mm}$ i $m=5\text{mm}$. Cilj ovih istraživanja jeste upoređivanje hrapavosti bočnih leđnih ulaznih površina modelskih jednozubih odvalnih glodala sa različitim modulima.

U ovim eksperimentima su korišćeni alati koji su napravljeni od brzoreznog alatnog čelika HS6-5-2-5 i to neoslojeni i oslojeni sa TiN.

Na samom početku eksperimentalnih istraživanja, analizirani su modelski jednozubi alati koji su prikazani u [4]. Kao što se može videti u [4], alati su podeljeni na osnovu nekoliko osnovnih karakteristika, kako bi se mogla izvršiti selekcija i odabir alata koji su najpogodniji za ova eksperimentalna istraživanja.

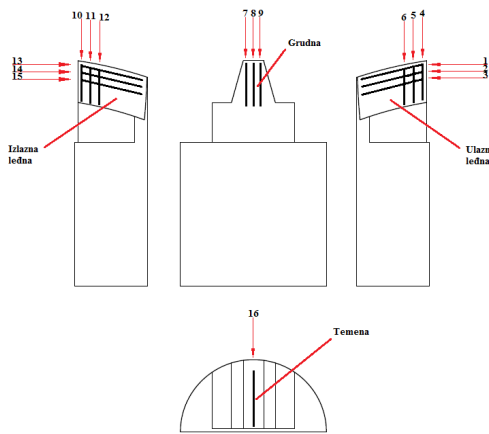
Nakon selekcije, pristupilo se merenju pojasa habanja i hrapavosti svih navedenih modelskih jednozubih alata. [4] Na slici 2. prikazani su neoslojeni pohabani modulska alata modula $m=5$. Prilikom merenja pojasa habanja korišćen je alatni mikroskop, dok je za merenje hrapavosti korišćen je uređaj MahrSurf PS1 [3] povezan sa računarem, tako da su sertifikati (rezultati) merenja dobijeni u elektronskoj formi.



Sl. 2. Neoslojeni pohabani modula $m=5\text{mm}$

Na slikama 4 i 5 dat je deo postupka merenja hrapavosti u šest pravaca na ulaznoj bočnoj leđnoj površini modelskog jednozubog glodala.

Površine alata i merni pravci prikazani su na slici 3. Pri tom treba imati u vidu da razmak između susednih paralelnih mernih pravaca treba da bude što manji, a merni pravac 1, odnosno 4, što bliže sečivu alata, odnosno temenoj površini.



Sl. 3. Površine alata i merni pravci



Sl. 4. Pozicioniranje uređaja u poziciju za merenje u pravcu sečiva



Sl. 5. Pozicioniranje uređaja u poziciju za merenje u pravcu normalnom na pravac sečiva

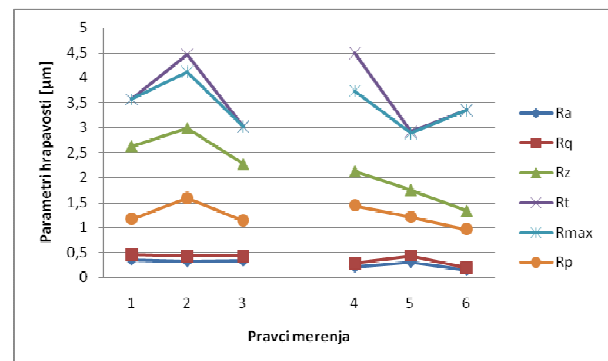
Nakon završenog merenja dobijaju se profili hrapavosti i željeni parametri na sertifikatima prikazanim u [4].

Ovaj rad obuhvata i dve vrste eksperimentalnih istraživanja topografije površina. Prvo eksperimentalno istraživanje predstavlja uporednu analizu topografija bočnih leđnih ulaznih površina modelskih jednozubih odvalnih glodala koji su mereni u nepohabanom stanju pa zatim u pohabanom stanju. Ukupan broj alata u ovoj analizi je osam, od kojih je sedam oslojeno, a jedan neoslojen i svi su modula 3. Drugo eksperimentalno istraživanje sadrži analize četiri podgrupe od po osam modelskih jednozubih odvalnih glodala, izabranih od raspoloživih alata prikazanih u [4].

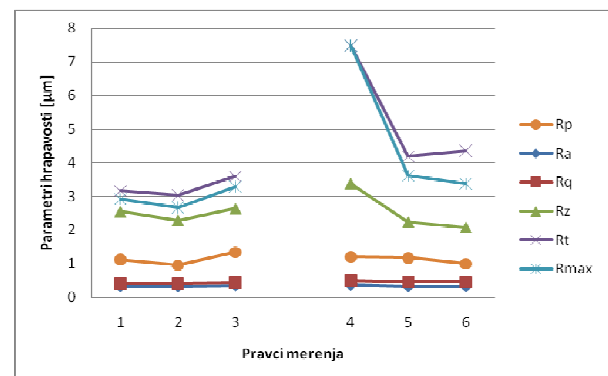
Četiri podgrupe modelskih jednozubih alata čine:

- neoslojeni pohabani alati modula $m=3\text{mm}$,
- neoslojeni pohabani alati modula $m=5\text{mm}$,
- oslojeni pohabani alati modula $m=3\text{mm}$ i
- oslojeni pohabani alati modula $m=5\text{mm}$.

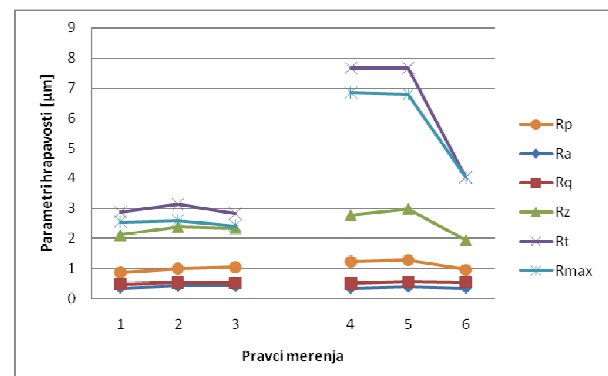
Nakon sređivanja rezultata napravljeni su dijagrami, čiji će deo biti prikazan u nastavku rada. Na sledećim slikama (6, 7, 8, 9, 10) dati su parametri hrapavosi za nepohabane i pohabane modelske alate modula 3 i modula 5.



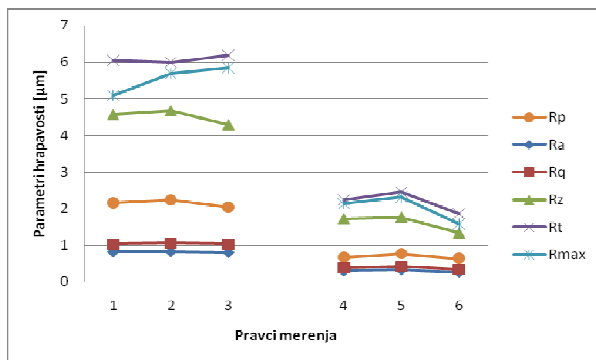
Sl. 6. Dijagram parametara hrapavosti oslojenog nepohabnog alata 10 modula $m=3\text{mm}$



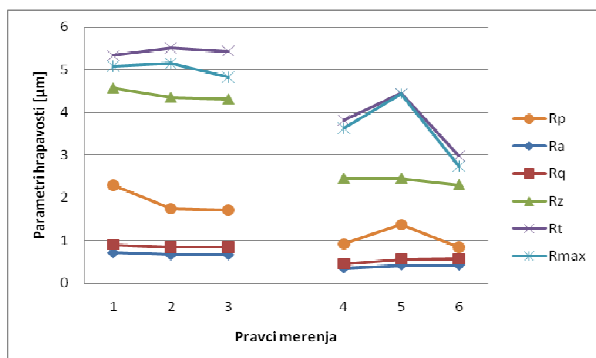
Sl. 7. Dijagram parametara hrapavosti oslojenog pohabnog alata 10 modula $m=3\text{mm}$



Sl. 8. Dijagram parametara hrapavosti neoslojenog pohabnog alata 20 modula $m=3\text{mm}$



Sl. 9. Dijagram parametara hrapavosti neoslojenog pohabanog alata 50 modula m=5mm



Sl. 10. Dijagram parametara hrapavosti oslojenog pohabanog alata 66 modula m=5mm

Prema rezultatima šest najčešće korišćenih parametara hrapavosti (Ra, Rq, Rz, Rt, Rmax, Rp), iz prvog dela eksperimentalnih istraživanja, u kom su upoređena hrapavost istih alata u stanjima nepohabanosti i pohabanosti, može se zaključiti da se maksimalne vrednosti parametara hrapavosti najčešće javljaju na prvom pravcu merenja kod pohabanog stanja alata, a minimalne vrednosti na petom pravcu merenja kod nepohabanog stanja, što pokazuje da je u zoni pohabanosti u blizini rezne ivice najnepovoljnija promena topografije površine, uz napomenu da rezultati svakog od parametara različito variraju.

Iz drugog dela eksperimentalnih istraživanja topografije površina, koji je obuhvatio analize četiri grupe pohabanih modelskih alata, može se zaključiti da se maksimalne vrednosti parametara hrapavosti najčešće javljaju na prva tri pravca merenja, jer je kod alata modula m=5mm širi pojas habanja, a minimalne na petom i šestom pravcu merenja kod grupa u kojima su analizirani oslojeni modelski alati, dok se kod grupa u kojima su analizirani neoslojeni modelski alati maksimalne vrednosti habanja pomerene na prvi i treći pravac merenja, a minimalne vrednosti su ostale na istim pravcima merenja kao i kod oslojenih, takođe uz napomenu da rezultati svakog od parametara različito variraju.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu eksperimentalnih istraživanja se može izvesti zaključak da su sve maksimalne vrednosti parametara hrapavosti zastupljene na podužnom pravcu merenja, dok su sve minimalne vrednosti parametara hrapavosti zastupljene na poprečnom pravcu merenja, sto se može objasniti time da su pravci merenja 1, 2, 3 pozicionirani u pravcu normale na brazde na modelskim alatima nastalim prilikom izrade modelskog alata, dok su pravci merenja 4, 5, 6 pozicionirani paralelno sa brazdama na modelskim alatima nastalim prilikom izrade samog alata.

5. REFERENCE

- [1] Sovilj-Nikić, I., *Primena genetskog algoritma u optimizaciji geometrijskih parametara odvalnog glodala*, diplomski-master rad, Novi Sad, 2007
- [2] Tanasijević, S: *Tribološki ispravno konstruisanje*, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2004.
- [3] Blunt, L., Jiang, X., *Roughness, Waviness and Primary Profile, Geometrical Product Specification*, Warsaw University of Technology Printing House, Warsaw, 2001.
- [4] Gerik, G., *Topografija i habanje ulazne bočne površine modelskih alata*, Diplomski-master rad, Novi Sad, 2014.

Napomena

Rad predstavlja prikaz dela istraživanja realizovanih u okviru projekta TR – 35015 finansiranog od strane, Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije, takođe ova istraživanja su poistekla iz saradnje u okviru CEEPUS projekta CIII-RO-0058-05-1213 podržanog od Sekretarijata za nauku i tehnološki razvoj AP Vojvodine.

Autori: M.Sc. Goran Gerik, M.Sc. Ivan Sovilj-Nikić, Prof. dr Bogdan Sovilj, M.Sc. Branko Štrbac, Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Institut za Proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2343, Fax: +381 21 454-495.

E-mail: gorangerik@gmail.com
diomed17@yahoo.com
bsovilj@uns.ac.rs
strbacb@uns.ac.rs

PhD. Ing. Adrian Trif, PhD Adrian Popescu, Technical University of Cluj-Napoca, Faculty of Machine Building, , B. Dul muncii nr 103-105, 400641 Cluj-Napoca, Romania.

e-mail: adrian.trif@tcm.utcluj.ro
adrianpopescu_84@yahoo.com

TOPOGRAFIJA I HABANJE IZLAZNE BOČNE LEDNE POVRŠINE MODELSKIH
ALATA

Rezime: Kontaktna površina tribomehaničkih elemenata po završnoj obradi nikada nije apsolutno glatka. Karakteristični parametri nasleđeni u toku tehnološkog procesa definišu makrogeometriju i mikrogeometriju kontaktnih površina. Za ispravnu analizu triboloških procesa ali i tribološki ispravno konstruisanje posebno je značajna hrapavost kontaktnih površina. U ovom radu se analizira topografija i habanje izlazne bočne ledne površine neoslojenih i oslojenih modelskih alata za obradu ozubljenja različitih modula. Na osnovu izvedenih eksperimentalnih istraživanja takođe su analizirani parametri topografije nepohabanih i pohabanih alata za određene module.

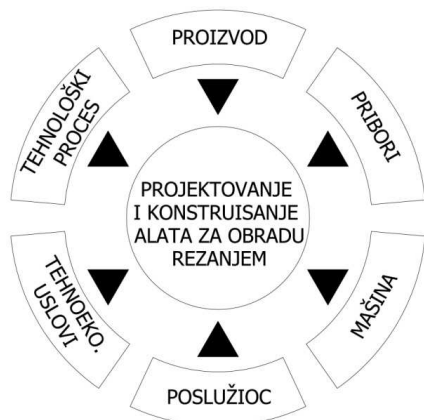
Ključne reči: tribomehanički sistemi, topografija, hrapavost, habanje, alati za obradu ozubljenja

2. UVOD

Usavršavanje tehnologije obrade rezanjem je vrlo značajan momenat od čijeg nivoa u bitnoj meri zavisi proizvodnost i tehnoeekonomski efekti koji se postižu u proizvodnom procesu. Geometrijski parametri alata za obradu rezanjem, tačnost profilisanja i izrade snažno se odražavaju na proizvodnost i na troškove obrade.

Kvalitetni alati za obradu rezanjem su neophodni za ekonomičnu proizvodnju. Proizvodnja ovih alata obavezno zahteva prethodnu temeljnu studiju, proračun i konstrukciju za svaki specifičan slučaj. Na ovom polju postoje velike mogućnosti za poboljšanje proizvodnje u celini.

Na slici 1. [1] dati su uticajni faktori na proces projektovanja alata za obradu rezanjem



Sl. 1. Uticajni faktori na projektovanje alata za obradu rezanjem

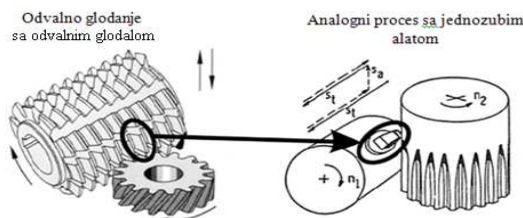
Rezultati ispitivanja topografije i habanja alata treba da se iskoriste kao kvantitativne osnove za

optimizaciju procesa odvalnog glodanja u cilju dostizanja maksimalne proizvodnosti, obezbeđivanje kvalitativnih osobina obrađivanih zupčanika i svodenje na minimum troškova po operaciji.

3. OBRADA I TOPOGRAFIJA POVRŠINA

Pojava prenosioca snage i kretanja datira još iz antičkih vremena. U Kini, Mesopotamiji i Egiptu pronađeni su delovi i sklopovi uređaja za navodnjavanje sa ozubljenim prenosničkim elementima, koji se po kinematskom načelu koriste i danas. Osim za poljoprivredu, takvi uređaji su se razvijali za ratne svrhe i u građevinarstvu [2].

Odvalna glodala se upotrebljavaju za izradu ozubljenja zupčanika sa pravim, kosim i zavojnim zubima, kao i za izradu pužastih točkova za spoljnje sprezanje sa evolentnim profilom.



Sl. 2. Analogni procesi odvalnog glodanja integralnim i jednozubim odvalnim glodalom

Na slici 2. dati su analogni procesi obrade ozubljenja integralnim i jednozubim odvalnim glodalom.[3]

Pošto je dokazano je da su 90% svih kvarova i zastoja inženjerskih komponenti u praksi inicirani preko površine kroz mehanizme kao što su zamorni lom, lom usled napona od korozije, kontaktno habanje usled trenja, abrazivno i adheziono habanje, korozija, erozija itd. Jasno je da je važno shvatiti osobine površina i zona blizu površina komponenti. Ove osobine mogu biti grupisane pod pojmom tribologije.

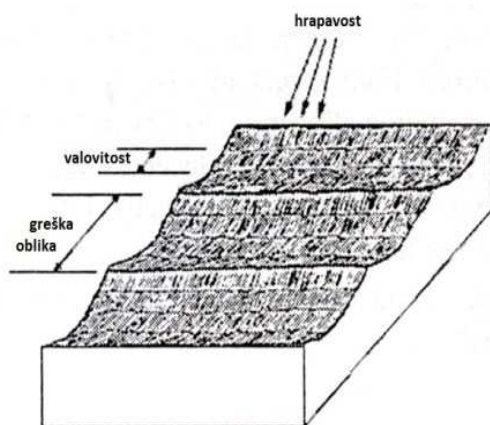
Pogled na tehničke crteže inženjerskih komponenti jasno pokazuje da crteži predstavljaju da je svaka površina inženjerske komponente perfektno ravna i glatka. Ova površina, pretpostavljena tehničkim crtežom se naziva nominalnom površinom.

Proizvodni inženjeri proučavaju tehničke crteže i pokušavaju da proizvedu komponente po definisanim dimenzijama unutar granica tolerancije. Pri proizvodnji komponenti dizajner i proizvodni inženjer znaju da je nemoguće proizvesti perfektno ravnu površinu, jer će izabrani proizvodni metod ostaviti mikroskopski „otisak“ na površinu koji je jedinstven za određenu proizvodnu tehniku i to je definisano tolerancijom hrapavosti.

Prirodni „otisak“ je u stvari tekstura površinske topografije komponente. On se sastoji od serije vrhova i udubljenja karakterističnih oblika, veličina i rastojanja.

Pored toga što utiče na oblik površine, izabrani proizvodni metod takođe utiče i na slojeve direktno ispod površine komponenti [5].

Geometrijska forma svake površine se uobičajeno naziva površinska tekstura. Konvencionalna tekstura se sastoji od oblika definisanih kao hrapavost, valovitost i greška oblika (Slika 3.[4]). Konvencionalno kada se površinska tekstura meri kvantitativno, meri se samo hrapavost, a valovitost i elementi oblika se mehanički, električno ili digitalno filtriraju iz dobijenih podataka.



Sl. 3. Definicija grešaka oblika, valovitosti i hrapavosti

4. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

Proces odvalnog glodanja je jedna od najznačajnijih karika u lancu mehaničke obrade, jer od metode obrade i primenjenog alata u velikoj meri zavisi produktivnost, završna geometrijska tačnost i kvalitet površine ozubljenja.[1]

Prema planu eksperimeta istraživanja topografije površina i habanja su izvedena na oslojenim i neoslojenim jednozubim odvalnim glodalima, sa modulima $m=3$ mm i $m=5$ mm. Cilj ovih istraživanja jeste upoređivanje hrapavosti izlaznih bočnih leđnih površina modelskih jednozubih odvalnih glodala sa različitim modulima. U ovim eksperimentima su korišćeni alati koji su napravljeni od brzoreznog alatnog čelika HS6-5-2-5, pri čemu su alati podeljeni u dve grupe na neoslojene i oslojene TiN.

Na samom početku eksperimentalnih istraživanja, analizirani su modelski jednozubi alati. Alati su podeljeni na osnovu nekoliko osnovnih karakteristika, kako bi se mogla izvršiti selekcija i odabir alata koji su najpogodniji za ova eksperimentalna istraživanja [6].

Nakon selekcije, pristupilo se merenju pojasa habanja i hrapavosti svih gore navedenih modelskih jednozubih alata. Prilikom merenja pojasa habanja korišćen je alatni mikroskop, dok je za merenje hrapavosti korišćen uređaj MahrSurf PS1 povezan sa računarom, tako da su sertifikati (rezultati) merenja dobijeni u elektronskoj formi.

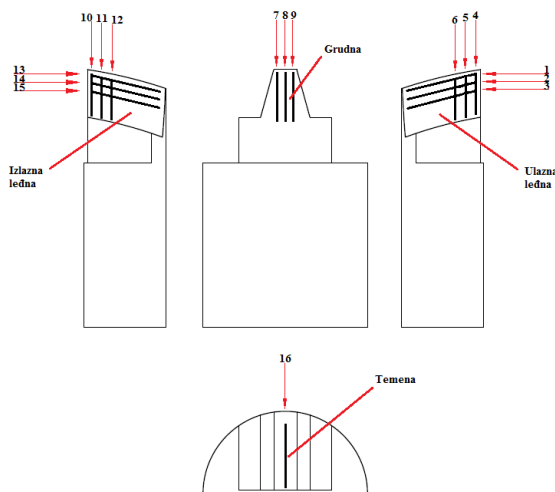
Pre samog početka procesa merenja hrapavosti od klasifikovanih alata u pet grupa izabrani su po osam alata predstavnika [6].



Sl. 4. Alati koji su mereni nepohabani, a zatim mereni kao pohabani

Površine alata i merni pravci prikazani su na slici 5. Pri tom treba imati u vidu da razmak između susednih paralelnih mernih pravaca treba da bude što manji, a merni pravac 10, odnosno 13, što bliže sečivu alata, odnosno temenoj površini.

Na slikama 6. i 7 prikazan je deo postupaka merenja hrapavosti u šest pravaca na izlaznoj bočnoj leđnoj površini modelskog jednozubog odvalnog glodala[6].



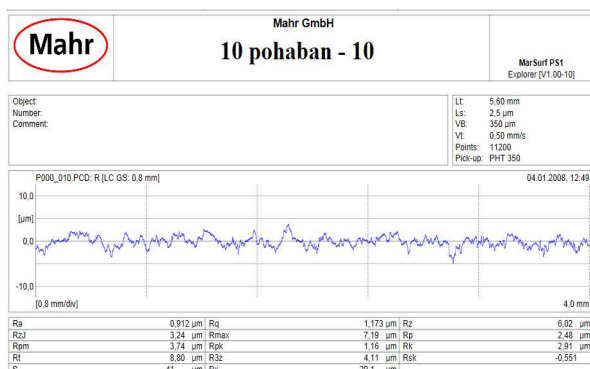
Sl. 5. Površine alata i merni pravci



Sl. 6. Pozicioniranje uređaja u poziciju za merenje obraćajući pažnju na poziciju i pravac mernog pipka, merenje u pravcu sečiva.



Sl. 7. Povezivanje MahrSurf aparata sa računarom pomoću USB priključka



Sl. 8. Sertifikat dobijen nakon merenja hrapavosti pohabanog alata pod brojem 10 za pravac 10

Nakon završenog merenja dobijaju se profili hrapavosti i željeni parametri na sertifikatima prikazanim u [6], a na slici 8. prikazan je sertifikat merenja za merni pravac pod brojem 10 za pohaban alat 10.

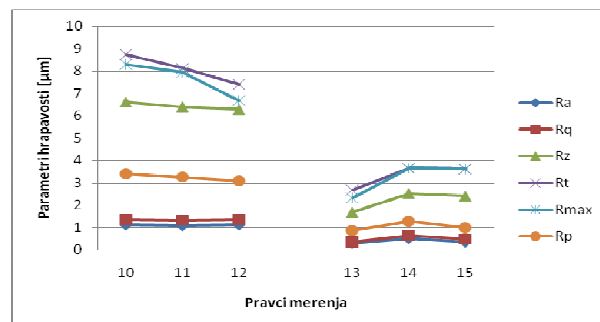
Parametar hrapavosti Rmax za oslojen alat 10 modula m=3mm dostiže minimalnu vrednost od 2,31 µm na trinaestom pravcu merenja nepohabanog stanja alata, dok je maksimalna vrednost 8,29 µm na desetom pravcu merenja nepohabanog stanja alata.

Ovaj rad obuhvata i dve vrste eksperimentalnih istraživanja topografije površina. Prvo eksperimentalno istraživanje predstavlja uporednu analizu topografija izlaznih bočnih leđnih površina modelskih jednozubih odvalnih glodala koji su mereni u nepohabanom stanju pa zatim u pohabanom stanju. Ukupan broj alata u ovoj analizi je osam, od kojih je sedam oslojeno, a jedan neoslojen i svi su modula 3.(slika 4.)

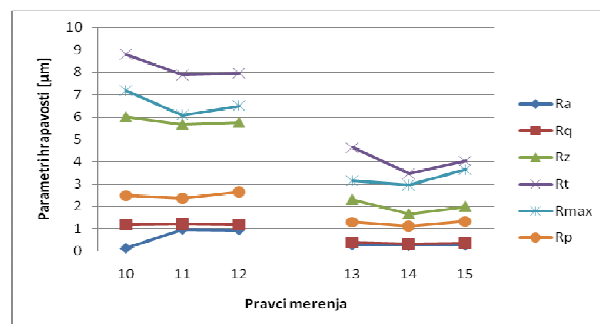
Drugo eksperimentalno istraživanje sadrži analize četiri podgrupe od po osam modelskih jednozubih odvalnih glodala, izabranih od raspoloživih alata [6]. Četiri podgrupe modelskih jednozubih alata čine:

- neoslojeni pohabani alati modula m=3 mm,
- neoslojeni pohabani alati modula m=5 mm,
- oslojeni pohabani alati modula m=3 mm, i
- oslojeni pohabani alati modula m=5 mm.

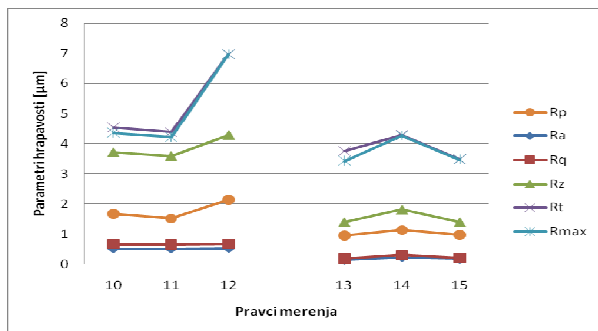
Nakon sređivanja rezultata napravljeni su dijagrami, od kojih će deo biti prikazani u nastavku rada (slike 9, 10, 11, 12, 13).



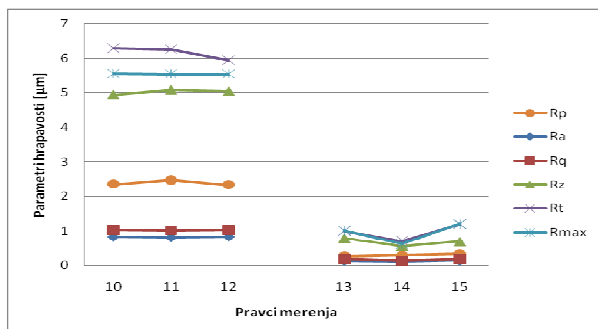
Sl. 9. Dijagram parametara hrapavosti oslojenog nepohabanog alata 10 modula m=3mm



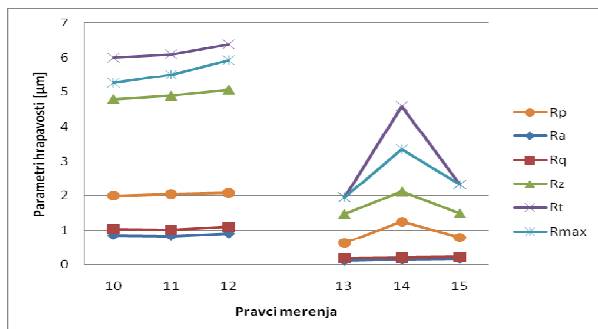
Sl. 10. Dijagram parametara hrapavosti oslojenog pohabanog alata 10 modula m=3mm



Sl. 11. Dijagram parametara hrapavosti neoslojenog pohabanog alata 20 modula $m=3\text{mm}$



Sl. 12. Dijagram parametara hrapavosti neoslojenog pohabanog alata 50 modula $m=5\text{mm}$



Sl. 13. Dijagram parametara hrapavosti oslojenog pohabanog alata 66 modula $m=5\text{mm}$

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu ovih eksperimentalnih istraživanja se može izvesti zaključak da su sve maksimalne vrednosti parametara hrapavosti zastupljene na podužnom pravcu merenja, dok su sve minimalne vrednosti parametara hrapavosti zastupljene na poprečnom pravcu merenja, što se može objasniti time da se merni pipak prilikom merenja na pravcima merenja 10, 11, 12 kretao u pravcu normale na brazde nastale prilikom izrade modelskih alata, dok se kod pravaca merenja 13, 14, 15 merni pipak kretao paralelno sapomenutim brazdama.

Za potpuniju sliku topografije izlazne bočne ledne površine modelskih alata neophodno je u daljim istraživanjima preciznije definisanje hrapavosti, definisanje raspodele ordinata i

vrhova, raspodele nagiba, radijusa vrhova i udubljenja neravnina, krive nošenja profila i dr. Dvodimenzionalna analiza može često biti korišćena kao procesni monitoring, što je ograničenog obima, ali obezbeđuje jednostavnu indikaciju bilo da se topografija menja ili ne. Ako je potrebno potpuno razumevanje, potrebna je trodimenzionalna analiza površine.

5. REFERENCE

- [1] Sovilj-Nikić, I., *Primena genetskog algoritma u optimizaciji geometrijskih parametara odvalnog glodala*, diplomski-master rad, Novi Sad, 2007
- [2] Opalić M., *Prijenosnici snage i gibanja*, Sveučilište u Zagrebu, FSB, Zagreb, 1998
- [3] Karpuschewski, B., Pieper, H.J.: *Innovations in tool development and manufacturing*, 13th International Conference on Tools, 2012, Miskolc, Hungary
- [4] Tanasijević, S., *Tribološki ispravno konstruisanje*, Mašinski fakultet, Kragujevac, . 2004
- [5] Blunt, L., Jiang, X., *Roughness, Waviness and Primary Profile, Geometrical Product Specification*, Warsaw University of Technology Printing House, Warsaw, 2001
- [6] Babić, B., *Topografija i habanje izlazne bočne površine modelskih alata*, Diplomski-master rad, Novi Sad, 2014

Napomena

Rad predstavlja prikaz dela istraživanja realizovanih u okviru projekta TR – 35015 finansiranog od strane, Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije, takođe ova istraživanja su poistekla iz saradnje u okviru CEEPUS projekta CIII-RO-0058-05-1213 podržanog od Sekretarijata za nauku i tehnološki razvoj AP Vojvodine

Autori: M.Sc. Bojan Babić, M.Sc. Ivan Sovilj-Nikić, Prof. dr Bogdan Sovilj, Prof. dr Miodrag Hadžistević, Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Institut za Proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2343, Fax: +381 21 454-495.

E-mail: yanboo-89@hotmail.com
diomed17@yahoo.com
bsovilj@uns.ac.rs
stevicm@uns.ac.rs

Dr. Eng. Paul Bere, Technical University of Cluj-Napoca, Faculty of Machine Building, B. dul Muncii nr 103-105, 400641 cluj-Napoca, Romania,
E-mail: bere_paul@yahoo.com

Vukman, J., Hadžistević, M., Hodolić, J., Lukić, D.

SAGLEDAVANJE MOGUĆNOSTI PRIMENE STEP I STEP-NC STANDARDA U PROCESU MERENJA

Rezime: *Upravljanje procesom merenja na CNC mašinama alatkama se ostvaruje pomoću G-koda, koji predstavlja usko grlo u automatizaciji celokupnog proizvodnog procesa. U cilju unapređenja procesa merenja postoji potreba za standardizacijom pojedinih komponentni merenja. Shodno tome, razvijeni su standardi, kao što su STEP AP-219 i STEP-NC koji obezbeđuju osnovu za standardizaciju i integraciju procesa merenja. STEP-om se ne eliminiše samo skup i neefikasan proces post-procesiranja podataka, već se uspostavlja i jedinstveno okruženje za razmenu podataka iz CAD, CAPP, CNC i CMM sistema. Ovaj standard omogućava realizaciju zatvorenog obradnog procesa, sa povratnom spregom podataka i objedinjenom strukturom podataka na svakom nivou.*

Ključne reči: *CMM, CNC, STEP, STEP-NC*

1. UVOD

Zatvorena petlja proizvodnje (eng. Closed loop manufacturing, CLM) predstavlja metod za optimizaciju proizvodnog procesa sa stanovišta efikasnosti. Ovaj sistem podrazumeva korišćenje tehnologija merenja i to najčešće kontaktnih mernih senzora u cilju određivanja tačnih dimenzija predmeta kao i karakteristika koordinatnih mernih mašina (eng. Coordinate Measure Machine, CMM) [1]. Elementi CLM-a se sastoje od pouzdanih mašina, robusnih procesa, automatskog prikupljanja podataka, neprekidnog unapređivanja, efikasnih i preciznih analiza. Petlja je zatvorenog tipa kada se vrši merenje dimenzija predmeta i kada se dobijeni rezultati koriste za poboljšanje procesa proizvodnje. Postoje tri tipa merenja u proizvodnim procesima, koji se mogu koristiti za obezbeđivanje podataka merenja u okviru CLM procesa: *procesno merenje, merenje na licu mesta i udaljeno merenje* [2]. Značaj procesnog merenja se ogleda u tome što omogućava proizvođaču da na kraju procesa obrade ostvari funkciju cilja - minimalni procenat škarta, s obzirom da se odstupanja u proizvodnom procesu koja su merena sa mernim sensorima mogu koristiti za kontrolu procesa, pre pojave odstupanja u definisanim tolerancijama. Procesno merenje se može izvršiti merenjem na mašini (eng. On Machine Measurment, OMM) i merenjem u laboratorijskim uslovima. Zajedno sa OMM operacijama procesno merenje predstavlja proces koji integriše projektovanje, obradu, inspekciju sa aspekta proizvodnje kako bi proizvod mogao da bude izmeren direktno na mašini i prihvaćen kao ispravan. Kako bi ostvarili optimalne OMM operacije za procesno merenje, potrebno je definisati dovoljan broj informacija

koje se odnose na proizvod, zajedno sa potrebnom bazom znanja za planiranje procesa. Nakon što se predvide sve informacije koje su potrebne za sistem planiranja procesa može se izvršiti efikasno i optimalno planiranje procesnog merenja za izabrano proizvodno okruženje. Softveri za inspekciju delova su zasnovani na DMIS standardu ili na specifičnom formatu podataka proizvođača softvera. Upravljanje procesom merenja na CNC mašinama alatkama se ostvaruje pomoću ISO 6983 standarda (G-koda) [3]. Iako su učinjeni značajni pomaci, merenje delova primenom OMI i CMM i dalje predstavljaju usko grlo u automatizaciji celokupnog proizvodnog procesa, jer se informacije zasnivaju na G-kodu. Sve češće, se javlja potreba za standardizacijom pojedinih mernih komponenti. U cilju zadovoljenja potreba, razvijeni su standardi STEP (ISO 10303), STEP AP-219 i STEP-NC koji obezbeđuju osnovu za standardizaciju i integraciju procesa merenja.

2. STEP I STEP-NC STANDARD

Standard za razmenu podataka o modelu proizvoda (eng. Standard for the Exchange of Product Model Data, STEP), predstavlja ogroman i moćan skup ISO standarda, koji se nalaze i pod oznakom ISO 10303. STEP dozvoljava različite metode primene, koje se koriste za skladištenje, pristup, prenos i arhiviranje podataka o proizvodu. STEP standard je podeljen na veći broj serija delova (eng. parts) i obuhata arhitekturu za primenu, alate za proveru usaglašenosti, izvorne modele informacija i aplikacione protokole. Svaka serija STEP-a ima jedinstvenu funkciju i može imati jedan ili više međusobno povezanih delova. Ovi delovi se nazivaju: metode za opisivanje,

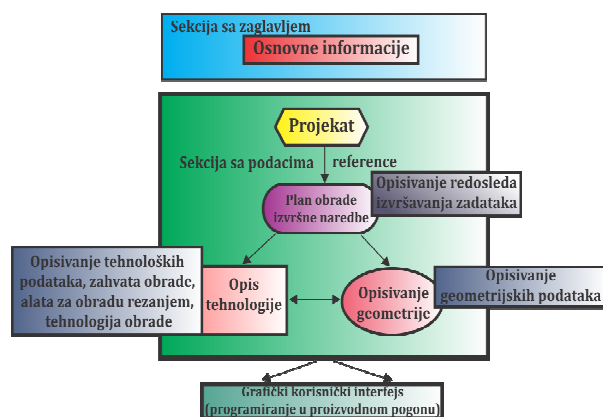
metode primene, aplikacioni protokoli, informacioni modeli i alati za proveru usaglašenosti, slika 1.



Sl. 1. Struktura STEP standarda

STEP-NC standard predstavlja proširenje STEP standarda i omogućava povezivanja između STEP-om podržanih CAX i CNC sistema. Namena STEP-NC modela podataka je da obezbeđuje zahteve za standardizovane podatke o procesu obrade koji su povezani sa CNC obradom.

Kao i ostale STEP aplikacije, STEP-NC datoteke su takođe usklađene sa ISO 10303-21 datotekom. Datoteka STEP-NC se sastoji iz dva dela (odeljka), koja se nazivaju zaglavlje i podaci, što je prikazano na slici 2 [3].



Sl. 2. Struktura STEP-NC modela podataka

U odeljku zaglavlje, uključene su neke opšte informacije i komentari u vezi sa delom programa, kao što su: naziv datoteke, autor, organizacija, datum, itd. Odeljak podaci, predstavlja glavni deo programa, koji sadrži sve informacije o geometriji proizvoda i proizvodnim procesima. Suštinski, STEP-NC opisuje „šta da se radi“, dok G-kod opisuje „kako da se uradi“. STEP-NC opisuje zahvate obrade, koji su zasnovani na tipskim tehnološkim oblicima. U STEP-NC-u svaki plan obrade se detaljnije opisuje u: opisu tehnologije i opisu geometrije.

3. SISTEMI ZA RAČUNAROM PODRŽANO PLANIRANJE PROCESA INSPEKCIJE

Sistemi za računarom podržano planiranje procesa inspekcije (eng. Computer-Aided Inspection Process Planning, CAIPP) mogu da sadrže automatizovane i poluautomatizovane module koji su sposobni da identifikuju i prepoznaju dimenzionalne karakteristike merenja, zajedno sa povezanim ograničenjima pri merenju. Takođe, ovi moduli bi trebali biti u stanju da predlože metode merenja za sve dimenzionalne karakteristike merenja. Rezultat operacije merenja takođe treba da bude integrisan u opšti plan merenja [4]. Istraživanja bazirana na CAIPP sistemima se mogu kategorizovati na dve grupe sistema: *planiranja procesa merenja baziranog na tolerancijama* i *planiranje procesa merenja baziranog na geometriji*.

Istraživanja vezana za prvu kategoriju usmerena su na planiranje merenja za one tipske oblike koji imaju specifične zahteve u pogledu tolerancija. Istraživanja vezana za drugu kategoriju usmerena su na planiranje procesa merenja za dobijanje potpunog geometrijskog opisa obradka pomoću podataka o merenju (inspekciji). Na osnovu sprovedenih istraživanja, utvrđeno je da celokupni CAIPP sistemi moraju da imaju sledeće module [3]: *definisane tipskih oblika za merenje i operacije merenja; merenje/definisane mesta za prikupljanje uzoraka i optimizaciju; probno planiranje putanje u cilju izbegavanja kolizije i generisanje merenja (uključujući pristupačnosti i orijentaciju mernih senzora) i komande za izvršavanje generisane inspekcije*.

3.1 Pregled CAIPP sistema za merenje na mašini

Većina do sada razvijenih CAIPP sistema se uglavnom odnosi samo na CMM sisteme. CAIPP sistemi za operacije merenja na mašini (eng. on-machine measure, OMM) nisu značajnije istraživani i primenjeni pre sredine 90-tih godina prošloga veka. Glavni razlog za to, ležao je u činjenici da CNC mašine alatke nisu bile u stanju da obezbede dovoljno visoku tačnost za obavljanje izvodljivih OMM operacija. Zbog toga su OMM sistemi sa zakašnjenjem našli primenu u industriji. Međutim, ova situacija je počela da se menja kada su nove generacije CNC mašina alatki sa visokom tačnošću i visokim performansama postale dostupne. CAIPP sistemi za OMM i CMM su različiti. U istraživanju koja su sprovedena od strane autora [5], izvršena je analiza različitih strategija planiranja procesa merenja za OMM i

KMM sisteme u okviru CAD/CAM/CAI okruženja, na osnovu kojeg je zaključeno da postoje najveće razlike u modulu za merenje tipskih oblika. Za one sisteme koji koriste CMM, modul za merenje tipskih oblika je usmeren na analizu pristupačnosti i detekcije kolizije, definisanje prilazne putanje, itd. Za OMM operacije merenja, pri čemu je predmet obrađen i izmeren na istom obradnom centru, redosled zahvata tipskih oblika predstavlja osnovni faktor za izbor redosleda merenja tipskih oblika. Modul za izbor/redosled merenja tipskih oblika u CAIPP sistemima za OMM operacije ima tendenciju fokusiranja na merenje grupisanih tipskih oblika prema redosledu njihove obrade.

3.2 Pregled STEP-om podržanih CAIPP sistema

STEP sadrži, do sada, najobuhvatljivije modele podataka za informacije o proizvodima. Međutim, u okviru STEP-om podržanim istraživanjima, CAIPP sistemi su dobili najmanje pažnje. Među do sada realizovanim istraživanjima, CMM sistemi su uglavnom izabrani za obavljanje procesa merenja. Više STEP aplikacijskih protokola (eng. application protocol, AP) poseduje definicije koje se odnose na proces i zahvate merenja. Međutim, ovi standardi se međusobno preklapaju i još uvek su nepotpuni u podržavanju CAIPP sistema. Četiri dela STEP standarda (AP-203, AP-224, AP-219 i AP-238) omogućuju standardnu razmenu podataka (informacija) između CAD sistema, planiranja procesa obrade, planiranja procesa merenja. Aplikacioni protokoli AP-219 i AP-238 služe za razmenu informacija između sistema za planiranje procesa obrade i sistema za planiranje procesa merenja. Zbog složenosti standarda i nedostataka primene u industriji, u zajednici za dimenzionalnu metrologiju postoje neki rezervisani stavovi, u pogledu daljeg razvoja i premene aplikacionih protokola AP-219 i AP-238. Uprkos tome, STEP standard još uvek predstavlja najobuhvatljiviji standard koji se bavi problemima međuzavisnosti između istih i različitih komercijalnih softverskih rešenja. Međutim, STEP/STEP-NC standardi nisu još uvek potpuno definisani u pogledu definisanja GD&T, mernih uređaja i nekih informacija vezanih za proces obrade i merenja [3].

3.3 Model podataka za razmenu informacija o dimenzionalnoj inspekciji (AP-219)

ISO 10303 AP-219 definiše aplikacioni protokol za razmenu informacija koje proizilaze iz dimenzionalne inspekcije solid modela (eng. solid

parts), koji uključuju rukovođenje, planiranje i izvršavanje dimenzionalne inspekcije, zatim analizu i arhiviranje rezultata. Cilj ovog aplikacionog protokola je analiza i izveštavanje o aktivnostima dimenzionalne inspekcije. Sam proces merenja nije u delokrugu ovog aplikacionog protokola. Primarna korist ovog aplikacionog protokola je povezivanje programa za dimenzionalnu inspekciju, podržanih od strane ISO 22093 (DMIS 4.0), internetom podržana analiza (eng. web-based analysis) kao i kod praktičnih izveštaja, i standardnih informacionih modela za proizvodnju podržanih od strane npr. ISO 10303 AP-224 i ISO 10303 AP-238.

3.4 Model podataka za planiranje procesa merenja na mikro nivou (STEP AP-238)

U STEP standardu, informacije o dimenzionalnom merenju nisu definisane samo u aplikacionom protokolu AP-219, već i u aplikacionom protokolu AP-238 [6]. Aplikacioni protokol AP-238 je poznat i pod nazivom STEP-NC i on predstavlja primenu STEP metoda na mašine alatke sa numeričkim upravljanjem. Informacije koje se odnose na dimenzionalno merenje su definisane u Delu 16 u okviru ISO 14649 standarda. ISO 14649 Deo 16 i ISO 10303 AP-219 su nepotpuni i još uvek u fazi razvoja. ISO 14649 Deo 16 nema mogućnost definisanja tipskih oblika za merenje i geometrijskih tolerancija, dok se u okviru ISO 10303 AP-219 ne vrši preciziranje operacija merenja i strategija merenja za ogovarajuće tipske oblike za merenje. Oba ova standarda podržavaju samo operacije merenja koje se izvode na koordinatnim mernim mašinama.

4. PRIKAZ STEP-INSPEC SISTEMA ZA PLANIRANJE PROCESA MERENJA

STEP-INSPEC predstavlja integrisani sistem za planiranje procesa merenja, razvijen od strane autora [3]. Arhitektura ovog sistema sastoji se iz pet delova: *Sistema za prepoznavanje tipskih oblika i planiranje procesa; Integrisanog sistema za planiranje procesa obrade i OMM operacija; Sistema za planiranje procesa obrade na mikro nivou; Sistema za planiranje procesa merenja na mikro nivou i Sistema za analizu rezultata merenja i uživanje/povratnu spregu.*

Sistem za planiranje procesa obrade na mikro nivou obuhvata definisanje odgovarajućih alata, putanje alata i parametara obrade za definisane tipske oblike. U okviru sistema za planiranje procesa merenja na mikro nivou vrši se: definisanje broja mernih tačaka, raspored mernih

tačaka, ponovno određivanje mernih tačaka pri interakciji tipskih oblika, plan merenja i putanja mernog senzora. Interfejs STEP-INSPEC softvera se sastoji iz šest modula za definisanje [3]: *Ulaza; Dimenzija priprema, Strategija za merenje; CNC mašine alatki, Izlaza i Fizičke obrade*. U ulaznom delu softvera, korisnik može da odabere ulaznu STEP Deo 21 datoteku sa ekstenzijom (.stp) ili datoteku sa alatima (eng. tool file) koja ima ekstenziju (.tlt). Datoteka sa alatima uključuje sve alate za obradu rezanjem i merne uređaji koji su dostupni na mašini alatki. STEP-INSEP softver se sastoji iz četiri dela [3]: *generatora stabla prikaza; 3D generatora prikaza; Modula za planiranje procesa i interpretatora*. Generator stabla prikaza vrši izdvajanje informacija vezanih za tipske tehnološke oblike i zahvate obrade, a zatim ih prikazuje u stablu modela zajedno sa generisanim tipskim oblicima za merenje i informacijama o zahvatima. Generator za 3D prikaz vrši prikazivanje obradka, zajedno sa pripadajućim tipskim oblicima, mernim tačkama za zahvate merenja. U modulu za planiranje procesa donose se gore pomenute odluke i vrši planiranje procesa, generišu se komande za proces obrade i merenja, zatim se generiše nova datoteka STEP Dela 21 koja definiše nove operacije merenja u planu obrade. Sistem može da generiše dva tipa komandi za izvršavanje obrade: CMC i G-kod.

5. ZAVRŠNA RAZMATRANJA

Procesno merenje je veoma efikasan način korišćenja ograničene inspekcije u tehnološkom procesu između operacija rada kako bi se celokupni proces obrade držao pod kontrolom. Međutim, planiranje procesa za procesno merenje u današnjoj industriji je još uvek odvojeno od planiranja procesa obrade. Planiranje procesa procesnog merenja se još uvek vrši na nezavistan (eng. offline) način. Ovakav način planiranja procesnog merenja se sprovodi u velikoj meri zbog nedostatka potpunog i konsolidovanog modela podataka za sve sisteme obrade i merenja (inspekcije).

STEP i STEP-NC su relativno novi standardni, koji nisu još u potpunosti završeni i mnogi delovi standarda su još uvek u fazi razvoja. Prema tome, STEP i STEP –NC nisu još uvek u stanju da podrže automatizovani sistem za planiranje procesa merenja koji je integrisan zajedno sa planiranjem procesa obrade. Pojedine neophodne informacije koje su potrebe za automatizovani sistem planiranja procesa nisu još definisane u okviru STEP i STEP-NC standarda. Relevantna CAIPP istraživanja su uglavnom usmerena na testiranje izvodljivosti STEP modela podataka za

planiranje procesa merenja. U okviru pojedinih istraživanja su vršena su dodatna unapređenja ISO 14649 Deo 16 i ISO 10303 AP- 219 standarda. Među pregledanim istraživačkim radovima, može se zaključiti da je KMM i dalje glavni način za obavljanje operacija merenje.

6. LITERATURA

- [1] Jesse, C.: *Process Controlled Manufacturing*; Society of Automotive Engineers transactions,. Vol. 110 (01), pp. 227-232, 2001.
- [2] Whitehouse,D.: *Surfaces and Their Measurement*; Hermes Penton Ltd., London, 2002.
- [3] Zhao, Y.B.: *An integrated process planning system for machining and inspection*; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Auckland, doctoral thesis, 2009.
- [4] Wong, F.S.Y.; Chuah K.B.; Venuvinod, P.K.: *Automated extraction of dimensional inspection features from part computer-aided design models*; Int J Prod Res., Vol. 43(12), pp. 2377–2396, 2005.
- [5] Cho, M.W.; Seo, T.I.: *Machining error compensation using radial basis function network based on CAD/CAM/CAI integration concept*, Int J Prod Res. Vol. 40(9), pp. 2159–2174, 2002.
- [6] Zhao, Y.F.; Brown, R.J.T.; Kramer, R.; Xun, X.: *High-Level Dimensional Metrology Process Planning*; poglavlje u knjizi: *Information Modeling for Interoperable Dimensional Metrology*; Springer, pp. 119-165, 2011.

Napomena: Rad predstavlja deo istraživanja na projektu "Savremeni prilazi u razvoju specijalnih rešenja uležištenja u mašinstvu i medicinskoj protetici", ev. broj projekta TR 35025 koji finansiraju Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije.

Autori: M.Sc. Jovan Vukman, Prof. Dr. Mijodrag Hadžistević, Prof. Dr. Janko Hodolić, Doc. Dr. Dejan Lukić, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2473, Fax: +381 21 454-495.

E-mail: vukman@uns.ac.rs
miodrags@uns.ac.rs
hodolic@uns.ac.rs
lukicd@uns.ac.rs

Placak M., Kacmarcik I., Ivanisevic A.

TUBE HYDROFORMING – PLAUSIBLE ALTERNATIVE IN THE PRODUCTION OF LIGHT WEIGHT COMPONENTS

Abstract: In the modern automotive and aerospace industries reduction of mass of components and complete structures is one of the main challenges. Application of such components can improve functionality of the product, its ecological and economical features. In order to achieve mass reduction of a product, integrative activities have to be undertaken which include product design, proper material choice and appropriate manufacturing technology. Hydroforming of tubes offers a number of advantages when applied in the production of light weight components. Main principles of this technology have been illuminated in current paper. Special focus has been placed at friction phenomenon and its quantification. Integration of additional methods in hydroforming tooling is possible, which broaden product spectrum to be made.

Key words: Light weight constructions, tube hydroforming, friction, additional operations

1. INTRODUCTION

Due to technical, economical and ecological reasons light weight components are applied more and more in all engineering branches, especially in the transportation engineering. Light weight constructions in automotive and aerospace industry contribute to the increase and improvement of product functions, reduction of fuel consumption as well as significant ecological advantages.

Optimal mass reduction of the single mechanical engineering component and of the whole structure can be achieved only by creative design strategies, choice of proper material and by application of appropriate technology.

Among all metal forming technologies, tube hydroforming offers significant possibilities and advantages in manufacturing of light weight components. It enables manufacturing of parts with favorable weight to stiffness ratio and therefore it is very convenient for production of parts in transportation industry. In Figure 1 advantage of tube hydroforming in terms of lower component weight is illustrated. Two variants of production of part with the same function are compared: cutting (a) and hydroforming (b). Metal saving and weight reduction of app. 45% is achieved if hydroforming is applied.

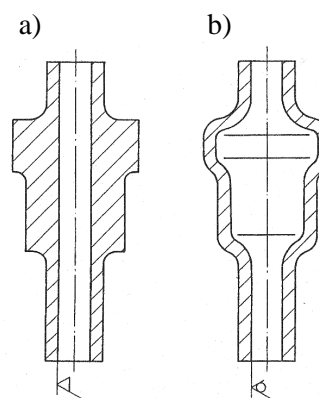


Fig. 1. Two variants of part design

Furthermore, unlike in metal cutting or casting, in hydroforming advantageous work hardening during deformation as well as adjusted material orientation takes place. This improves mechanical properties of produced workpieces significantly. Current paper elaborates brief presentation of tube hydroforming, main principles, friction issue and possibilities of process integration within a single tube hydroforming tooling.

2. BASICS OF TUBE HYDROFORMING

In tube hydroforming one metallic tube material, closed in the die, is subjected to the inner pressure. In the same time axial compressive forces act at both tube ends, due to which tube deforms and fulfills the opening in the die. In this way required component is manufactured (Fig. 2) [1].

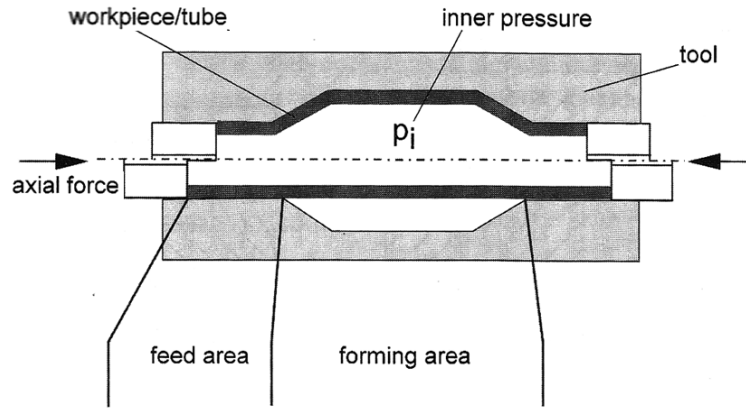


Fig. 2 Tube hydroforming

In this process two different zones within the material exist, a.) feed zone and b.) forming zone. Tube material in the feed zone is a kind of reservoir for the forming zone and in this zone only elastic deformation occurs. Plastic deformation happens in forming zone, where component obtains its final form [2].

One of the essential issue in performing of tube hydroforming is friction between tube and die wall. Knowledge of coefficient of friction (COF) is vital for the detailed quantitative and qualitative analysis of tube hydroforming. In the feed (elastic) zone COF can be determined by the so called “push-through” test (Fig.3). In this experimental procedure tube is placed into the die and is subjected to the inner pressure. Thereafter, tube is pushed through the die and friction force F_f between tube and die is measured. COF is then obtained as $\mu = F_f / (A \cdot p_i)$, (A – contact area, p_i – internal pressure).

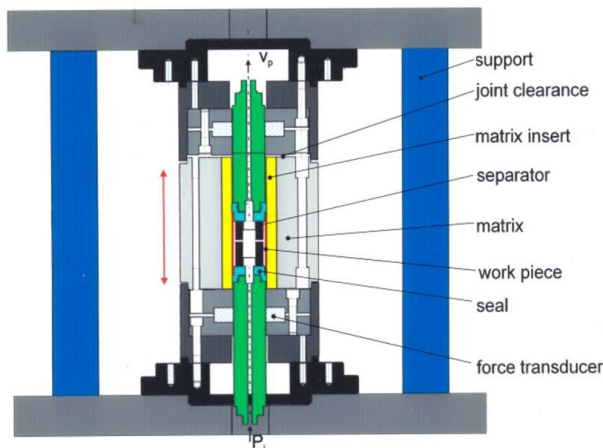
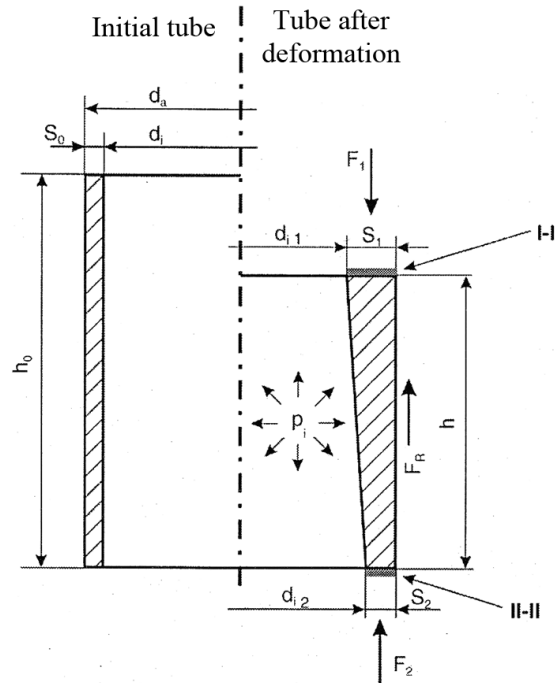


Fig. 3. Push – through test

Determination of COF for the forming (plastic) zone can be performed by various methods [3]. In [4] a new analytical method for COF determination has been suggested. According to this method COF can be calculated based upon tube material properties and tube

geometry prior and after deformation. Favourable specificity of proposed method is that there is no need for force measurement in the experiment.

Final analytical expression for COF is:



$$\mu = \frac{\beta C(A_1 \cdot \phi_1^n - A_2 \cdot \phi_2^n) + p_i(A_1 - A_2)}{p_i \cdot d_a \cdot \pi \cdot h} \cdot 1.15C \left\{ (d_a^2 - d_{i1}^2) [\ln(s_1(d_a - s_1) / s_0(d_a - s_0))]^n - (d_a^2 - d_{i2}^2) [\ln(s_2(d_a - s_2) / s_0(d_a - s_0))]^n \right\} + p_i(d_{i2}^2 - d_{i1}^2) \quad (1)$$

$$= \frac{4 p_i \cdot d_a \cdot h}{4 p_i \cdot d_a \cdot h}$$

$$s = f(s_0, s_1, s_2, h, d_a, p_i, c, n)$$

Tube geometry prior and after deformation Inner pressure Material properties

Tube geometry after deformation are obtained in the experiment which set up is given in Fig.4. Tube is placed into the closed die, subjected to

inner pressure and compressed by the movable punch for certain amount. At the end of the process tube is taken out from the die and final geometry (wall thickness and length), needed for the μ calculation by (1) is measured. It should be noted that, due to friction between tube and die

wall, wall thickness of the final tube along its length varies. This uneven thickness distribution is one indicator of the friction existence at the contact surface.

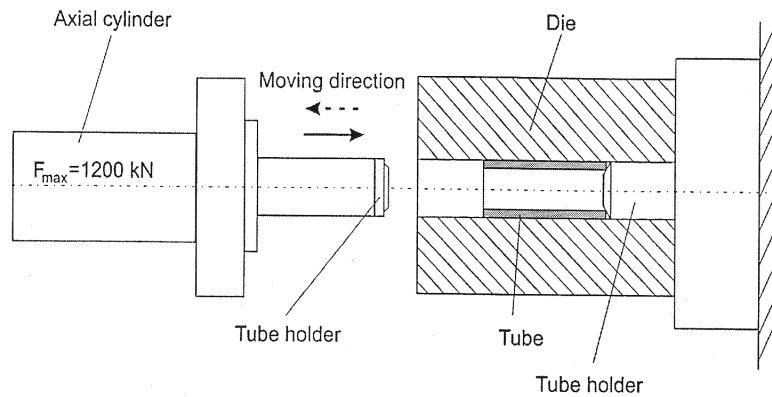


Fig. 4. Experimental set up

Typical outline of tube hydroforming process consists of following phases (Fig. 5):

- Preforming
- Hydroforming
- Additional operations (if needed)

Prior to hydroforming, in most cases preforming (bending) is performed. In this step preform gets its spatial shape but cross section form (circle) is not affected yet. After bending tube might be subjected to heat treatment. In hydroforming operation, due to high inner pressure, tube conforms to the surrounding die wall which results in the components with different (required) cross sections along its length.

Thereby, inner pressure of the fluid in the tube is in the range of 40 – 200 MPa but in some cases can be even higher (up to 400 MPa).

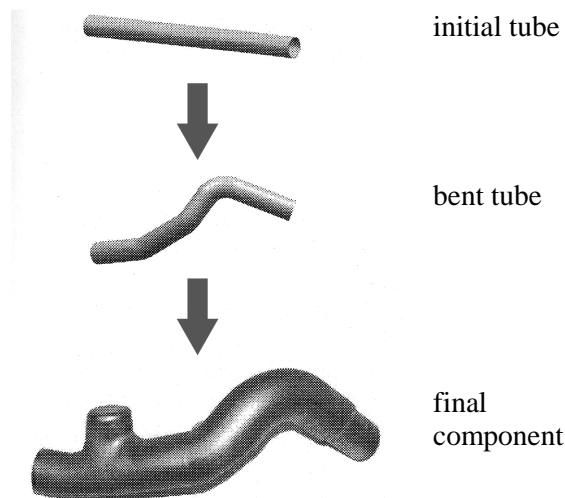


Fig. 5. Phases of hydroforming

After hydroforming additional operations, such as piercing, trimming, end processing etc. might be needed in order to manufacture complete part.

Piercing and local bending can be integrated into the hydroforming die as it is shown in Fig. 6 [5], [6].

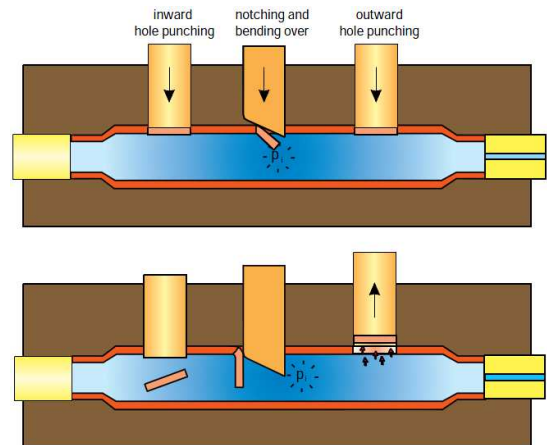


Fig. 6. Additional operations

In this figure three different possibilities of process integration are illustrated:

- Piercing into the tube (hydroforming media realizes counter force)
- Cutting and bending (part is only locally cut off, then bent into the inner tube)
- Piercing from the inside to the outside (inner pressure acts as a cutting force)

Performing of additional operations in the integrated hydroforming tooling guarantees high accuracy of the produced component.

3. CONCLUSION

Tube hydroforming makes possible to produce parts with advantageous properties when compared with other cutting and casting technologies. Produced component possesses lower weight, which is favourable characteristic, specially in the transportation engineering (automotive, aerospace). Furthermore, mechanical properties of tube hydroformed parts are higher, thanks to work hardening phenomenon in cold deformation. However, drawbacks of this technology is longer cycle time, need for complex machines and tools and certain limitation in terms of complex shape geometry.

In tube hydroforming integration of various additional technologies such as bending, piercing and trimming is possible, which expands application possibilities of this technology and broaden the spectrum of possible part shapes.

Friction between die and tube is important factor which influences process development and component quality. In current paper analytical method, suggested by the author, is presented and discussed. By using this method it is possible to determine coefficient of friction- COF – without force measurement in the experiments. For that purpose only material properties and tube geometry prior and after deformation are required.

3. REFERENCE

- [1] Vollertsen, F.: *Endeigenschaftnahe Formgebung – Fertigung und Bauteil Pruefung* – Shaker Verlag, 2000.
- [2] Vollertsen, F.: *Tube Hydroforming*, Seminar material, Paderborn, Germany, 2000.
- [3] Vollertsen, F., Plancak M.: *On possibilities for the determination of the coefficient of friction in hydroforming of tubes*, Journal of Materials Technology 5939, pp. 1-9, 2002.
- [4] Plancak, M., Vollertsen, F.: *Analysis, finite element simulation and experimental investigation of friction in tube hydroforming*, Journal of Materials Technology 170, pp. 220-228, 2005.
- [5] Eichhorn A., Motds, S.: *Forming and Piercing of tubes by means of hydroforming, comparison of numerical and experimental results*, 4th International conference, Form 98, Tu Brno, 1998.
- [6] Jeswiet et al: *Metal forming processes since 2000*, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology 1/2008, pp. 2-17, 1/2008.

ACKNOWLEDGEMENT

This paper was created within the project CEEPUS HR-108. Authors are grateful for the support.

Authors: Prof. dr Miroslav Plancak, M.Sc. Igor Kacmarcik, M.Sc. Aljosa Ivanisevic, University of Novi Sad, Faculty of Technical Science, Department of Production Engineering, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia. Tel: +381 21 485 2337, Fax: +381 21 454-495.
email: plancak@uns.ac.rs
igorkac@uns.ac.rs
aljosa@uns.ac.rs

Antić, A., Milošević, M., Živković, A., Ungureanu N.

UTICAJ HABANJA ALATA NA PROMENU OBLIKA SEGMENTACIJE STRUGOTINE I SPEKTRA SIGNALA VIBRACIJA

Rezime: U radu su prikazani rezultati istraživanja vezani za identifikaciju uticaja procesa segmentacije strugotine u procesu obrade rezanjem na spektar signala ubrzanja vibracija u cilju verifikacije predložene metoda za prepoznavanje stanja pohabanosti alata pri obradi struganjem. Mikroskopskom analiziranim poprečnog preseka strukture strugotine, nastale u procesu rezanja, određena je frekvencija segmentacije strugotine na osnovu koje se određivala korelacija sa izmerenim vibracijama nastalim na dršci alata. Istraživanje je sprovedeno sa ciljem dokazivanja da u visokofrekventnom delu spektra signala vibracija dominantan uticaj ima procesa formiranja strugotine, dok je zanemarljivo učešće viših sopstvenih frekvencija elemenata obradnog sistema na posmatrani spektar signala.

Ključne reči: vibracije, habanje alata, segmentacija strugotine

1. UVOD

Izvori vibracija koji se javljaju na alatu su različite prirode, a uzroci se mogu svrstati u determinističke i nedeterminističke. Među determinističke spadaju: deformacija materijala, trenje alata i obratka i odvajanje strugotine, a njihova osnovna odlika je inherentna nelinearnost, koja za posledicu ima pojavu samopobudnih vibracija u procesu rezanja [1].

Porast otpor rezanja, koji je rezultat sabijanja materijala u zoni rezanja, kao direktan uticaj izaziva na dršci noža povećanje potencijalne energije zbog prisustva elastičnih deformacija iste. Povećana opterećenja dovode do prekoračenja granice elastičnosti materijala što se ogleda kroz skokovit prelaz u zonu plastičnog deformisanja i razaranja materijala. Pri ovome se oslobađa akumulirana energija koja se impulsno pojavljuje svaki put kada se desi proces smicanja lamela tj. formiranje strugotine. Navedena pojava se može objasniti na taj način da se u materijalu, koji poseduje kristalnu strukturu, pri razbijanju kristala stvara mikro pukotina koja se brzo premešta stvarajući lom materijala tj. pucanje međukristalnih veza i oslobađanje energije. Ovi kratkotrajni pojedinačni događaji pobuđuju elastoviskoznu strukturu elemenata obradnog sistema koja generiše vibracije u širokom frekventnom spektru [2].

Istraživanja segmentacije strugotine otkrivaju mehanizam formiranja lamela strugotine, kao i definisanje najpogodnije tehnologije obrade. Istraživanja uticaja termičkog efekta pri obradi pohabanim alatom i da li je stepen pohabanosti odgovoran za smanjenje frekvencije segmentacije. Neka zapažanja u dosadašnjim istraživanja nisu

dovoljno razjašnjena, poput efekta dubine rezanja na frekvenciju segmentacije.

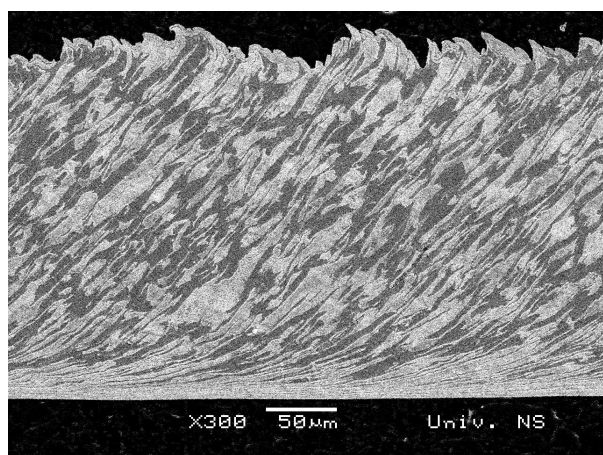
Vibracije su takođe povezane i sa mehaničkim prenosnicima u kinematskom lancu mašine alatke, ali se one nalaze na mnogo nižim frekvencijama. Istraživanja su pokazala da najveći izvor vibracije strugarskog noža, pri stabilnoj obradi, uglavnom nastaju zbog segmentacije strugotine i trenja ledne površine alata i obradka [3]. Osnovna frekvencija vibracija alata je rezonantna frekvencija strukture izazvana silom trenja na reznjivici i energetskim impulsima segmentacije strugotine. Imajući u vidu da se vibracije reznog alata, koje izaziva segmentacija lamela strugotine, nalaze u srednjem i visokofrekventnom delu spektra (tj. iznad 1 kHz), ubrzanje vibracija je odabrano kao parametar za nadzor habanja alata

2. HABANJE ALATA I SEGMENTACIJA STRUGOTINE

Većina istraživanja obradljivosti materijala usmerena je na mehanizam formiranja strugotine i karakterizaciju habanja alata. Od značaja za proučavanje efekata habanja alata i morfologiju stvaranja strugotine imaju i režimi obrade. Primećeno je da promena stepena pohabanosti alata i uslova obrade menja oblik nastalih lamela strugotine [4].

Habanja alata, parametri procesa rezanja i njihov uticaj na nastanak i oblik strugotine su praćeni pri eksperimentalnom ispitivanju izvršenim na Departmanu za proizvodno mašinstvo. Oblik strugotine je meren na mikroskopu u zavisnosti od stepena pohabanosti alata, pri različitim režimima obrade (brzini rezanja, pomaku i dubinu rezanja). Merene

dimenzija strugotine su: korak (razmaka između lamela), visina zuba (neravnine na slobodnom kraju strugotine), visina kontinualnog dela, ukupna debljina strugotine i širina lamela. Tokom obrade merene se vibracije na dršci alata a frekvencija segmentacije je izračunata na osnovu izmerenih parametara poprečnog preseka strugotine na elektronskom mikroskopu. Slika 1 prikazuje poprečni presek strugotine, na elektronskom mikroskopu, pri obradi materijala novim alatom, dok je na slici 2 prikazan poprečni presek strugotine pri obradi materijala pohabanim alatom.



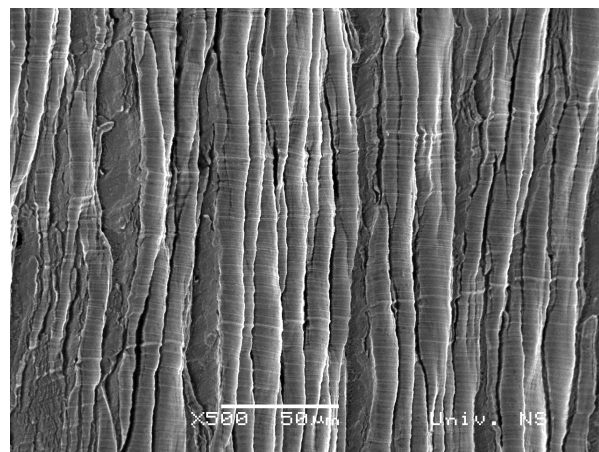
Sl. 1. Mikroskopski prikaz poprečnog preseka strugotine pri obradi novim alatom



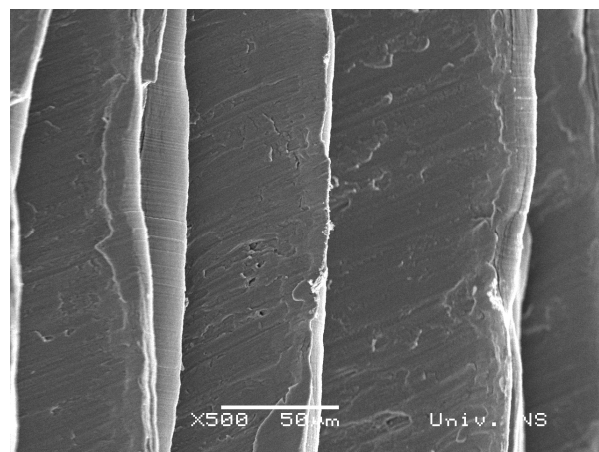
Sl. 2. Mikroskopski prikaz poprečnog preseka strugotine pri obradi pohabanim alatom

Kratersko habanje se direktno odražava na početnu strukturu stvaranja lamela strugotine koja uvek teže da ima karakter kontinualne neprekidne strugotine. Ledna strana strugotine pri izrazito formiranom krateru dovodi do početka stvaranja naslaga na reznoj ivici alata. Izgled slobodne površine strugotine nastale pri obradi novim alatom i alatom sa razvijenim kraterom na grudnoj površini prikazan je na slici 3 i 4. Progresivni razvoj habanja je povezan sa porastom temperature i trenja na grudnoj površini i, kako je

napomenuto, prodorom segmenata strugotine u osnovni materijal pločice i hemijski manje stabilan oslojeni titanijum nitrid (TiN) se odnosi sa strugotinom. Nastali krater slabi reznu ivicu i u sprezi sa povišenom temperaturom dovodi do razaranja i loma vrha pločice



Sl. 3. Mikroskopski prikaz slobodne površine strugotine pri obradi novim alatom

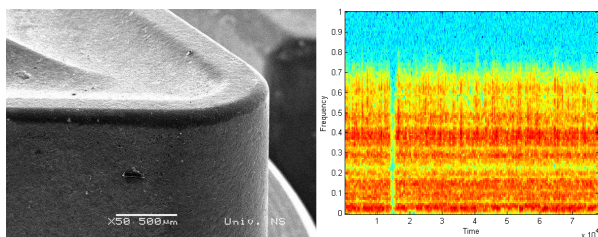


Sl. 4. Mikroskopski prikaz slobodne površine strugotine pri obradi pohabanim alatom

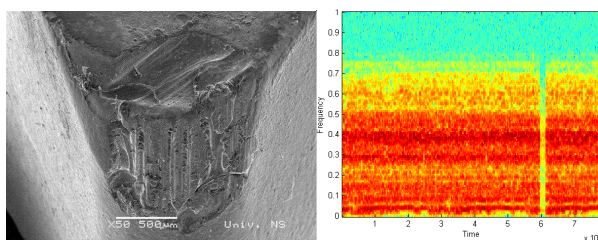
3. UTICAJ HABANJA NA SPEKTAR VIBRACIJA ALATA

Signali vibracija koji potiču od samog procesa rezanja su teško merljivi direktnim metodama i za definisanje stvarnog uticaja tehnički i praktično veoma nedostupni za merenja. U praktičnom smislu merljive su reakcije ukupnog sistema "Alat-obradak-mašina" na samom alatu. Pri izvođenju merenju javljaju se određena ograničenja pri identifikaciji i razdvajanju mehanizma pobude i prenosa vibracija sa ostalih elemenata mašine. To praktično znači da je za pojedine zahvate obrade moguće samo fenomenološko objašnjenje. Dominantni uticaj sopstvenih frekvencija alata u spektru signala može se u relativno tačno izračunati primenom određenih računskih metoda. Takvi proračuni u

mnogome mogu da olakšaju raščlanjavanje spektra. Takođe se može zaključiti da napredovanje kraterskog habanja povećava udeo vibracija i menja spektar frekvencija signala, što je prikazano na slikama 5 i 6.



Sl. 5. Izgled reznog alata i frekventnog spektra vibracija pri obradi prikazanim alatom

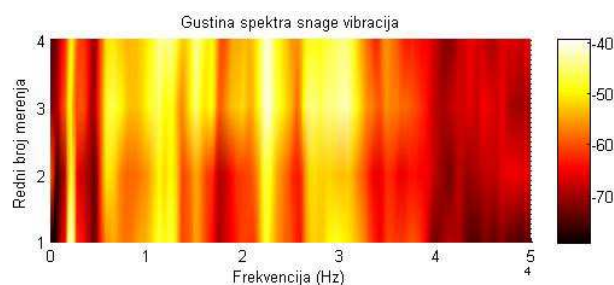


Sl. 6. Izgled reznog alata i frekventnog spektra vibracija pri obradi prikazanim alatom

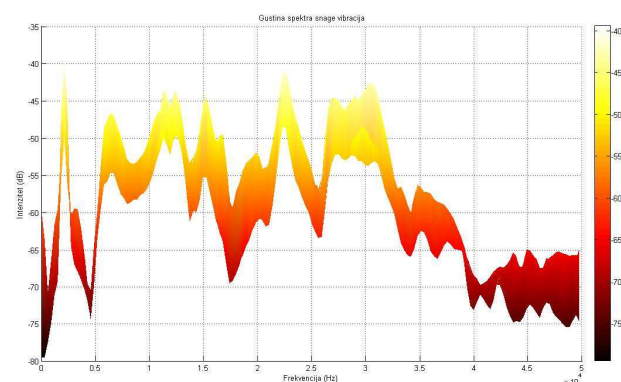
Prikaz uticaj promene rezne geometrije, usled promene stepena pohabanosti alata na oblik vibracija strugarskog noža izvršen je na osnovu izračunatog je spektara snage izmerenih signala. Gustina spektara snage vibracija je računata po Welch-ovoj metodi, primenom Hamming-ovog prozora širine 512 odmeraka i preklapanjem prozora od 128 odmeraka. Merni signal je posmatran kao kvazistacionaran. Ovakvim izborom parametara postignut je optimalan odnos između rezolucnosti po frekventnoj osi i preglednosti dobijenog grafika.

Posmatrajući spektar snage signala vibracija, za više merenja sa različitim stepenom pohabanosti alata, može se uočiti jasna promena spektra, prikaz na slici 6. Očigledno je da se na višim frekvencijama (preko 15 kHz) stanje rezne pločice više odražava na spektralni sastav signala nego na nižim. Pikovi na nižim frekvencijama u relativnom smislu su i dalje jako izraženi, relativno stabilni, što ukazuje na to da oni dolaze od strukture mašine alatke a ne od procesa rezanja. Ovim se potvrđuje ispravnost pristupa baziranog na korišćenju visokofrekventnog dela spektra u karakterizaciji stanja procesa rezanja odnosno, stanja reznog klina, što je u najdirektnijem smislu povezano sa habanjem alata. Realno je očekivati da na višim frekvencijama, od 50 do 500 kHz postoji još izraženija zavisnost između stanja geometrije alata i frekventnog odziva obradnog sistema. To nameće potrebu primene dodatnih

senzora baziranih na akustičnoj emisiji u ultrazvučnom domenu spektra.



Sl. 6. Promena spektar snage vibracija za različite stepene pohabanosti alata



Sl. 7. Promena intenziteta spektra snage vibracija za različite stepene pohabanosti alata

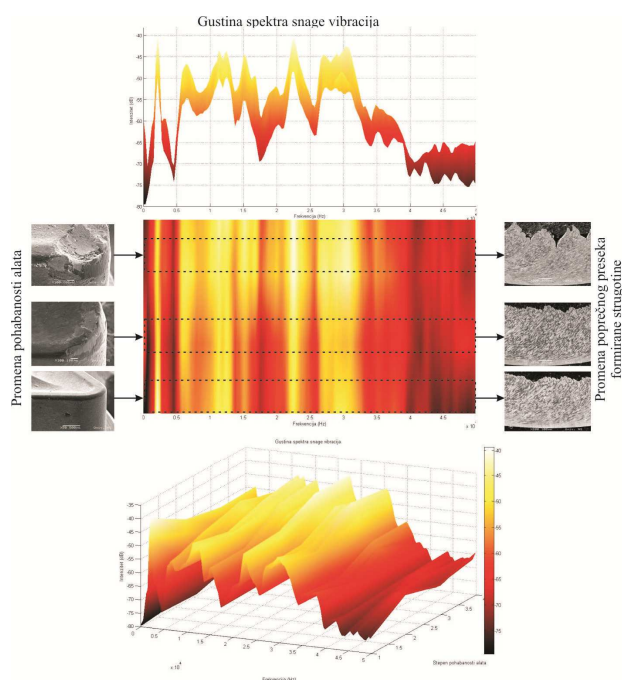
Slika 7 predstavlja uporedni prikaz promene intenziteta snage signala za različite pohabanosti pločica. Sa slike se može uočiti da na frekvencijama većim od 5 kHz stepen pohabanosti pločice više odražava na spektralni sastav signala dok je na nižim frekvencijama signal relativno konstantan.

4. VERIFIKACIJA REZULTATA

Merenje dimenzija strugotine: koraka, visine neravnina na slobodnom kraju strugotine, visina kontinualnog dela, ukupne debljine strugotine i širine lamela poslužili su za izračunavanje frekvencije stvaranja lamela strugotine u toku procesa obrade. Frekvencija segmentacije se povećava sa povećanjem brzine rezanja a opada sa povećanjem stepena pohabanosti alata. Posmatrajući slike mikroskopske analize više uzorkovanih delova strugotine, u toku izvođenja eksperimenta, jasno se uočava promena oblika segmentacije pri promeni stepena pohabanosti alata. Promena habanja grudne površine, tj. porast kraterskog habanja na grudnoj površini alata ima veoma velik uticaj na mehanizam formiranja segmenata strugotine, a takođe i na frekvenciju segmentacije i oblik strugotine. Kratersko habanje

se direktno odražava na osnovnu početnu strukturu stvaranja lamela strugotine koja uvek teži da ima karakter kontinualne neprekidne strugotine.

Promena ponašanja izračunatog spektra merenog signala vibracija, dovodi se u direktnu vezu sa povećavanjem zatupljenja alata tj. promenom poprečnog preseka strugotine, što se može jasno uočiti na slici 8. Analizom dobijenih rezultata na prikazanim slikama jasno se uočava promena gustine snage spektra vibracija na višim frekvencijama što ukazuje da pohabanost, tj. promena geometrije reznog klina, potiskuje pikove na višim frekvencijama i podiže ukupnu snagu signala. Takođe, može se uočiti i značajno povećanje energije i snage na tim frekvencijama i do nekoliko puta. Povećanje intenziteta, na prikazanim slikama, je čak za 6dB na pojedinim frekvencijama kod signala koji stvara pohaban alat u odnosu na signal kod novog alata. Povećanje snage signala, odatle, proizilazi i do 4 puta što je odličan pokazatelj korelacije spektra dinamičkog odziva obradnog sistema i stanja rezne geometrije alata.



Sl. 8. Uporedna analiza promene gustine spektra snage vibracija merenog signala i oblika segmentacije strugotine u zavisnosti od promene stepena pohabanosti alata pri parametrima obrade

5. ZAKLJUČCI

Na osnovu dobijenih rezultata mikroskopske analize pojedinih delova formirane strugotine, uočeno je veoma dobra korelacija mehanizma formiranja i morfologije strugotine sa stepenom pohabanosti reznog alata. Takođe, uočeno je da

promena stepena pohabanosti menja oblik i tip segmentacije strugotine, pri konstantnim parametrima obrade. Merenjem signala vibracija na dršci noža u neposrednoj blizini zone rezanja, i izračunavanjem PSD, uočena je korelacija sa stepenom pohabanosti alata, mehanizmom formiranja i morfologijom strugotine.

Promena PSD signala vibracija merena na dršci alata u neposrednoj blizini zone rezanja, pored boljeg razumevanja mehanizama formiranja i morfologije strugotine je indikator za prepoznavanje stanja pohabanosti alata u teškim uslovima obrade primenom indirektnih metoda nadzora izdvajanjem određenih karakterističnih veličina iz signala kao što su statistički momenti.

5. REFERENCE

- [1] Antić, A., Petrović, P., Zeljković, M., Kosec, B., Hodolič, J.: *The influence of tool wear on the chip-forming mechanism and tool vibrations*, Materijali in tehnologije, Vol. 46, No. 3, p.p. 279-285, 2012.
- [2] Antić, A., Zeljković, M., Petrović, P., Živković, A.: *Experimental analysis and FEM modelling of a cutting tool vibrations*, Strojarsvo: časopis za teoriju i praksu u strojarstvu, Vol. 54, No. 2, p.p. 117-125, 2012.
- [3] Cotterell, M., Byrne, G.: *Dynamics of chip formation during orthogonal cutting of titanium alloy Ti-6Al-4V*, CIRP Ann. - Manuf. Technology 57, p.p. 93-96, 2008.
- [4] Poulachon, G., Moisan, A., Jawahir, I.S.: *Tool-wear mechanisms in hard turning with polycrystalline cubic boron nitride tools*, Wear, Vol. 250, p.p. 576-586, 2001.

Napomena:

Rad predstavlja prikaz dela istraživanja u okviru projekta TR35025 finansiranog od strane Ministarstva za prosvetu i nauku Republike Srbije.

Autori: Doc. Dr Aco Antić, Doc. Dr Mijodrag Milošević, Doc. Dr Aleksandar Živković, Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Institut za Proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel: +381 21 485 2312, Fax: +381 21 454-495.

Prof. Dr Nicolae Ungureanu, Technical University of Cluj-Napoca Department of Engineering and Technologic Management, Dr. Victor Babes Street 62A, 430083 - Baia Mare, Romania, Tel: +40262 422778.

E-mail: antica@uns.ac.rs
mido@uns.ac.rs
acoz@uns.ac.rs
unicu@ubm.ro

Beniak, J., Križan, P., Matúš, M.,

SYSTEMS OF RAPID PROTOTYPING IN MECHANICAL ENGINEERING
PRACTICE

Abstract: *There is in the present time many ways how to produce the mechanical parts or prototypes, necessary for research and development but also for production of parts suitable for real usage. Could be used the conventional methods and technologies as milling, turning, drilling, or special technologies as for example Electro Discharge machines. In the present time are some new technologies on the increase among which we can include also Rapid Prototyping systems. Following paper show the basic Rapid Prototyping systems and areas of their use with important properties of Rapid Prototyping machines and the produced parts. Main described problem is within Fused Deposition Modeling technology.*

Key words: *Rapid Prototyping, 3D printer, ABS, PLA, FDM, Fused Deposition Modeling*

1. INTRODUCTION

Rapid Prototyping in one of the modern method for fast creation or production of new prototypes, design models, but also for production of final parts for real use. The produced parts by Rapid Prototyping are general suitable for: verification of parts size and functional principle; verification of shape and design sophistication; market analysis necessity; design of products, tools and fixtures, necessary for serial production of parts.

By expression of Rapid Prototyping are named groups of techniques used for fast production scaled models, real parts or assemblies based on 3D model, designed by CAD system [1]. There is a lot of different technologies which use different methods for model creation. Some of them are mentioned in following paragraphs.

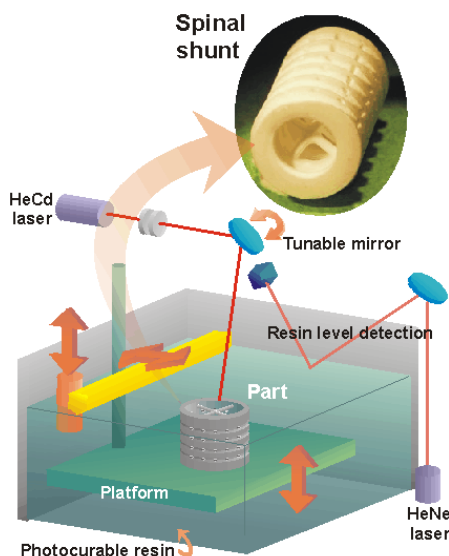


Fig. 1. Stereolithography system scheme [5]

STEREOLITHOGRAPHY (SLA) – is the one of the first Rapid Prototyping methods which have been invented. The basis of this is on liquid photosensitive resin, which solidify after activation by laser beam. Working table is always move little step down to liquid resin and laser beam expose the spots which have to solidify and create the solid body produced model. This way is built one layer of the model. Building of multiple layers one after another arise final prototype. Disadvantage of this system are toxic exhalations of used resin [2]. Advantage is good surface roughness.

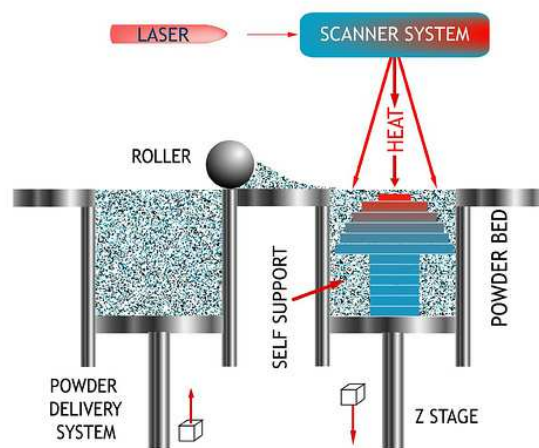


Fig. 2. Selective laser sintering system [6]

SELECTIVE LASER SINTERING (SLS) – this technology use special powder for creation of model. This powder is placed in thin layers on working table, which is located in nitrogen filled chamber. Using laser beam, the powder is sintered and creating solid structure of designed model. Also in this technique, the working table is moving down with distance equal to applied

powder thickness (layer thickness). By progressional deposition and sintering of powder layers, new body of model is created. Only Selective Laser Sintering technique allows prototypes producing from metal materials, mostly based on Ti alloy.

LAMINATED OBJECT MANUFACTURING (LOM) – the base is using of plastic foil, or also in some techniques also paper sheets, which is stratified one layer after another. In each layer is the foil cut to required shape by cross-section of prototype and at the same time by use of laser beam is sintered with previous foil layers. The LOM technique based on the paper sheets allow also paint (print) the model with defined texture.

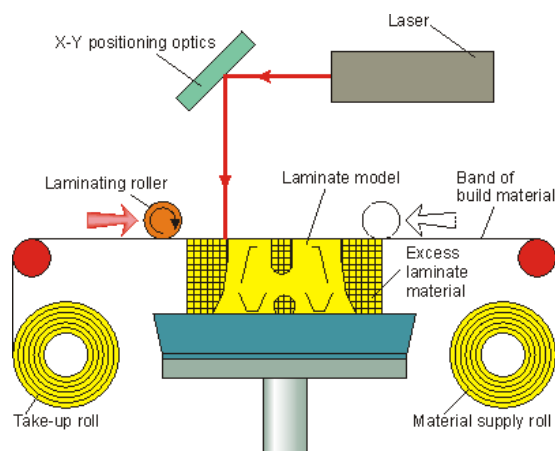


Fig. 3. Laminated Object Manufacturing [7]

MULTI JET MODELING (MJM) – prints very thin layers of photopolymers. Printing head have several nozzles. Fine drops of photopolymer are placed by heated print head and are polymerized by UV light. Also in this case is used support material on the areas where will be overhangs. For this purpose is used wax with lower melting temperature, which is removed by simple model heating-up. The advantage of this technique is possible use of more material types or multicolor model printing.

FUSED DEPOSITION MODELING (FDM) – this technique use one or two materials. The low cost FDM 3D printers use just one material, with one heating nozzle. The professional printers use 2 materials. One of them is modeling model material, used to build model. Second, support material used for build support structure on areas where modeling material will overhang the rest of model [4]. This technique works on similar principle as fuse-gun [3]. The model material is mostly ABS or PLA material, but we can see also the special materials like for example LayWood, what is mixture of 40% recycled wood with polymer as a binder. The material is unspool from spool to fuse-head, where is melted and deposited

on working table. Support material is after completing of model break away or dissolved in special bath.

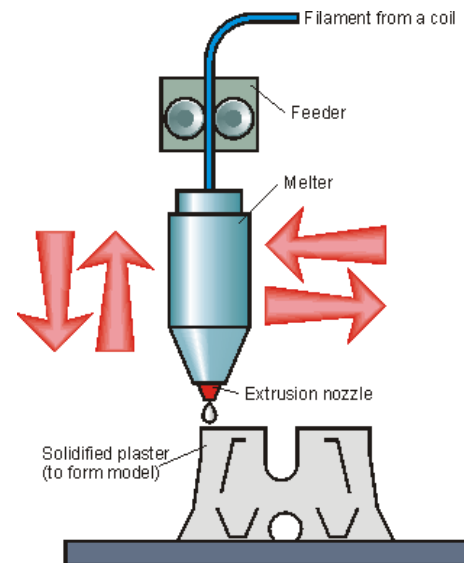


Fig. 4. Fused Deposition Modeling system [7]

2. FDM TECHNOLOGY

The last mentioned technology, Fused Deposition Modeling, is probably the most widespread Rapid Prototyping system which could be seen in the practice. The reason is probably that the patents regarding the basic of this technology is already expired. Also this technology use really easy available materials, which could be bought all over the world for low price. The technological principle of FDM is easy to design, manufacture and control.

As mentioned above, we can use basically two types of model material, which are ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) or PLA (Polylactic Acid). Less then this we can see also materials as LayWood what is the new extrusion material allows to print objects that look and smell like wood when finished. LayWood as a filament is made from 40% recycled wood that is combined with polymer binders allowing it to be melted and extruded like all of the other commercially available 3D filaments on the market today [8]. The ABS filament as a constructional material is widely used in the industry, for example as an interior parts material. So it can be easy printed also parts for real use. It depends just what material properties or part surface is requires. The PLA filament is a new, biodegradable material, which is environmental friendly. Also the advantage of this material is, that their use for 3D printers is more easy then ABS. Require lower heating temperature of nozzle, the parts are not so predisposed for deformation and do not require table heating.

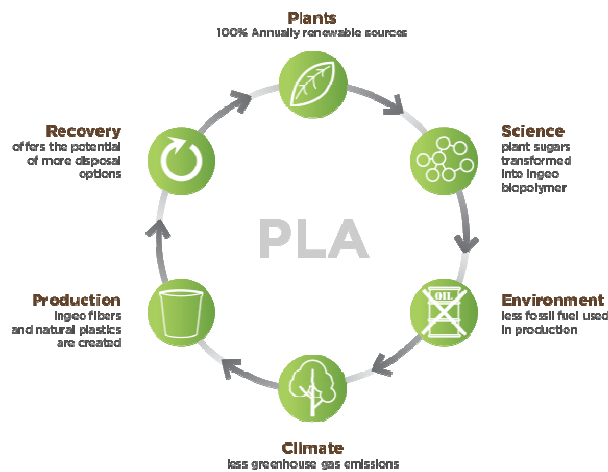


Fig. 5. PLA material life cycle [9]

There is also more materials which could be used for example as Nylon, but this materials are more complicated to extrude and are not so common then previous mentioned.

3. PROPERTIES OF FDM SAMPLES MADE FROM PLA PLASTIC

When we want to produce real parts for real use, it is necessary to know the material properties from which the parts are made. From the practice we know, that there are some parameters which are important and which influence the quality of final printed parts. By quality we understand for example surface roughness, but also for example ultimate tensile strength σ (MPa).

From the mechanical engineering practice we know that to measure this parameter, we have to use specimens which are suitable for this tensile test. For the smeller parts and smaller tensile strength values we used tensile testing device which is able to measure the tensile force up to 5kN, what is the maximum load.

Prepared specimens are shown on Fig. 6. From the previous testing of ABS plastic we know, that the model orientation inside of printing space is significant parameter which affect measured tensile force (tensile strength).



Fig. 6. Tensile test specimens from FDM printer

For this short pre-testing we used basic orientation of specimens when are printing, what is shown on Fig. 7. First sample is printed with 0degree, so is is not turned and on the Fig. 7 is oriented horizontally. Second sample is revolved with angle 45degree. Third sample is revolved with angle 90degree and is visible in vertical position.

This samples are created from PLA plastic material. When we see the data sheet of this material [9], we can see the maximum tensile strength value $\sigma = 60$ MPa. Of course, this value is not exact, there is few ways how to measure this parameter, so we have to take this mentioned value as an informative.

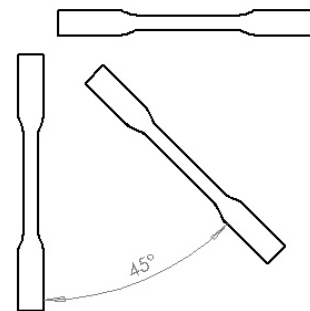


Fig. 7. Orientation of specimens in 3D printer

In other sources are mentioned values, which have been measured by ISO 527-2 is tensile strength at break 13,8MPa – 70,3MPa (2000 to 10200 psi), at temperature 22,8°C (73°F).

From measured data F_{max} (maximum force at break) we can calculate the compared ultimate tensile strength:

$$\sigma = \frac{F_{max}}{A_0} \quad (\text{MPa}) \quad (1)$$

Sample	Orientation	Orientation	σ (MPa)
	x-y	x-z	
1	0°	0°	56,8
2	45°	0°	59,0
3	90°	0°	60,0
5	0°	90°	33,5

Table 1. Measured ultimate tensile strength

In Table 1 we can see the calculated values of tensile strength, and we can compare it among of 4 samples printed with different orientation in printing space. The first three samples have almost the same values, or the different is just measurement error, because this deviation between the highest and lowest value is about 5,3%. But to have exact numbers of measurement errors, we have to realize more measurements.

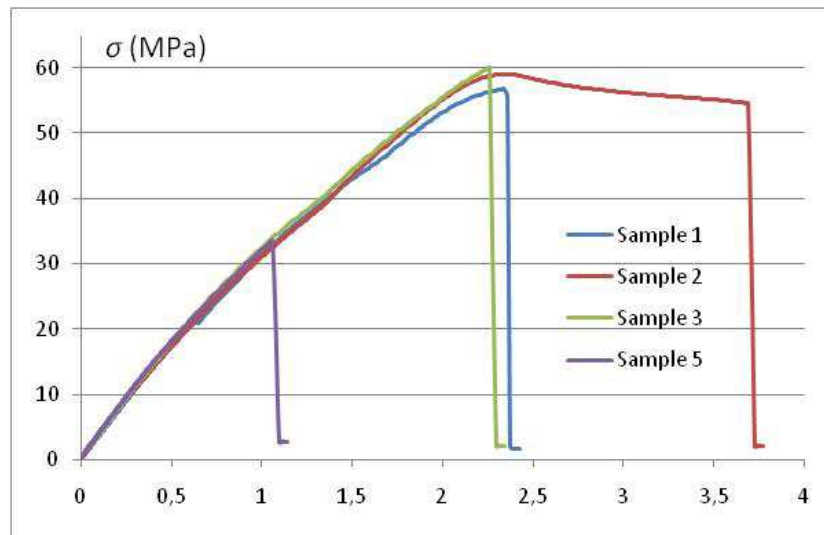


Fig. 8. Tensile test chart for mentioned specimens - ultimate tensile strength

On the Fig. 8 is the graphic presentation of calculated (measured) values for better perspective and reviewing of differences between presented samples.

4 CONCLUSION

The presented paper deal with Rapid Prototyping Techniques which could be use for Mechanical Engineering industry. Especially we can see more information about Fused Deposition modeling Technology, which is the most widespread Technology within Rapid Prototyping systems. There are in the paper some model properties which are influenced by used material or by used machine settings. This properties are necessary to know mainly if we want to use the created models (parts) for real usage.

5. REFERENCES

- [1] *Rapid Prototyping & Manufacturing Technologies*, IC LEARNING SERIES, The Hong Kong Polytechnic University, Industrial Centre
- [2] Williams, Ch., *Rapid Prototyping with Metals: A Review of Technology and Associated Material Properties*, Georgia Institute of Technology, Systems Realization Laboratory, November 2003,
- [3] DUC PHAM OBE FReNgAND STEFAN DIMOV, *Rapid Prototyping, A time compression tool, manufacturing engineering centre*, Cardiff University
- [4] Chua, C. K., Leong, K. F., Lim, C. S., *Rapid Prototyping, Principles and Applications*, Nanyang Technological University, Singapore, World Scientific Co. Pte. Ltd, 2003, ISBN 981-238-117-1

- [5] Jim H. Lee, Research: *Ceramic/polymer Composite Materials through Stereolithography*, Princeton University, available in: <http://www.princeton.edu/~cml/html/research/stereolithography.html>
- [6] Chen, Ch., Wettergreen, M.: *Selective Laser Sintering*, available in: www.flickr.com
- [7] *Major RP Technologies*, Available in: <http://www.uni.edu/>
- [8] Walters, R.: *Laywood filament lets you 3D print with wood.*, Available in: <http://www.geek.com>
- [9] *Simple Choices. Made Simply From Nature.* Available in: <http://www.renewablesbrand.com/>
- [10] Matbase (material properties database), Available in: <http://www.matbase.com/>

ACKNOWLEDGEMENT

This paper is an outcome of project KEGA, No. 026STU-4/2013, "E-Learning and testing modules for education in the field of Computer-aided Manufacturing" supported by The Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak Republic

Authors: Juraj Beniak, MSc., PhD, Peter Križan, MSc., PhD., Miloš Matúš, MSc., Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Manufacturing Systems, Environmental Technology and Quality Management, Nam. Slobody 17, 812 31 Bratislava, Slovak Republic.
E-mail: juraj.beniak@stuba.sk
peter.krizan@stuba.sk
milos.matus@stuba.sk

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
ETIKUM 2014

PROCEEDINGS

Session 2:
METROLOGY AND QUALITY CONTROL IN THE
BIOMEDICAL ENGINEERING

Novi Sad, 19 – 20 June 2014.

Veljko, D., Marjanović, D., Tepić, Ž.

ANDROID APLIKACIJA ZA AKVIZICIJU I PRIKAZ EEG SIGNALA

Rezime: U radu je opisan primer Android aplikacije za akviziciju i prikaz EEG signala. Signali se prikupljaju u realnom vremenu putem Bluetooth komunikacije. Takođe su prikazani implementirani algoritmi za obradu i prikaz signala u realnom vremenu. Aplikacija je razvijena u Qt programskom okruženju, tj. C++ i QML programskim jezicima. Za potrebe obrade signala u realnom vremenu razvijena je biblioteka sa primitivama za njihovu obradu, prikaz i čuvanje na stalnoj memoriji.

Ključne reči: Android, elektroencefalografija, EEG, obrada signala u realnom vremenu

1. UVOD

Elektroencefalograf (EEG) je uređaj za snimanje električne aktivnosti mozga, odnosno električnih signala na površini čovekove glave. EEG signali sadrže informacije o mentalnom stanju, čime je moguće vršiti dijagnostiku poremećaja svesti, praćenje stanja pacijenta u stanju kome, dijagnostikovanje moždane smrti, i dr. Pored toga, EEG predstavlja ključni deo pri realizaciji *Brain-computer interface*-a (BCI), gde se voljne radnje koriste za upravljanje drugim uređajima [1], ili pak za sigurnosne sisteme prilikom autentifikacije korisnika [2].

S obzirom na napredak tehnologije, EEG uređaji su postali pristupačni i za primenu izvan laboratorija. Ovakav razvoj događaja prouzrokovao je pojavu mobilnih EEG uređaja sa mogućnošću prenosa podataka bežičnim putem. Time je stvoren ambijent za primenu EEG uređaja u kućnim uslovima sa praktično neograničenim spektrom mogućnosti.

Kako bi u slučaju mobilnog EEG uređaja mobilnost sistema za akviziciju signala zavisila od mobilnosti personalnog računara, predloženo je rešenje aplikacije za akviziciju i prikaz EEG signala na mobilnom uređaju (slika 1). Time je omogućena apsolutna mobilnost sistema za akviziciju i prikaz EEG signala.



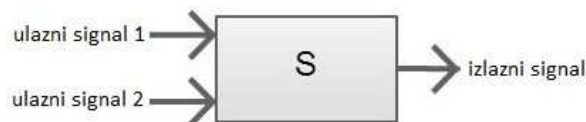
Sl. 1. Mobilni sistem za akviziciju i prikaz EEG

2. PROGRAMSKA PODRŠKA ZA RAD U REALNOM VREMENU

Za potrebe rada u realnom vremenu razvijena je C++ biblioteka za rad sa signalima u realnom

vremenu.

Biblioteka je zasnovana na uobičajenim apstrakcijama signala i sistema [3] iz inženjerskog sveta. Sastoji se od klasa ISignal, OSignal i Sistem, kao primitiva za rad sa signalima u realnom vremenu. Klasa Sistem predstavlja apstrakciju sistema, dok klase ISignal i OSignal predstavljaju ulazni i izlazni signal sistema, respektivno. Na slici 2 je grafički prikazan sistem S sa dva ulaza i jednim izlazom.

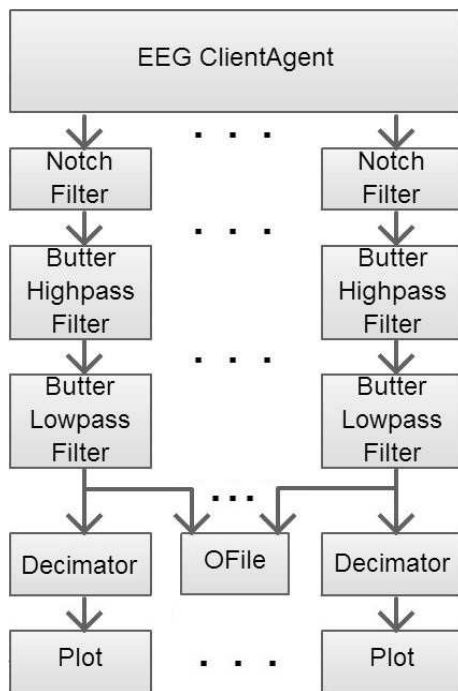


Sl. 2. Primer grafičkog prikaza sistema

U radu su implementirani sledeći sistemi za obradu signala:

- EEGClientAgent, sistem za akviziciju podataka sa Bluetooth EEG uređaja. EEGClientAgent poseduje 24 izlazna signala koji predstavljaju 24 kanala EEG signala.
- Decimator, sistem za decimaciju signala. Decimator poseduje jedan ulazni i jedan izlazni signal.
- NotchFilter, sistem koji predstavlja notch filter [4]. NotchFilter poseduje jedan ulazni i jedan izlazni signal.
- ButterFilter, sistem koji predstavlja Butterworth filter [4]. ButterFilter poseduje jedan ulazni i jedan izlazni signal.
- Plot, sistem za grafički prikaz signala. Plot poseduje jedan ulazni signal.
- OFile, sistem za skladištenje signala u binarnu datoteku. OFile poseduje jedan ulazni signal.

Složeni sistem za akviziciju i prikaz EEG signala je implementiran povezivanjem već pomenutih sistema, kao što je prikazano na slici 3.



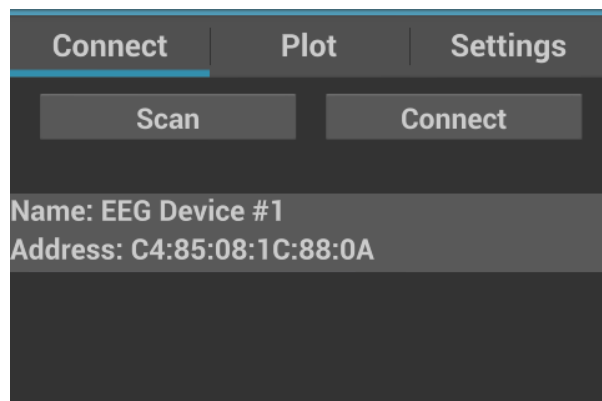
Sl. 3. Sistem za akviziciju i prikaz EEG signala

3. GRAFIČKA SPREGA

Grafička sprega je implementirana u QML [5] programskom jeziku. Grafička sprega se sastoji od tri tabulatora, čijim izborom se prelazi između grupa funkcija vezanih za uspostavu veze sa EEG uređajem, prikaz signala u realnom vremenu ili podešavanja rada aplikacije.

3.1 Tabulator za uspostavu veze

Tabulator za uspostavu veze (slika 5) nudi korisniku mogućnost pretraživanja dostupnih Bluetooth EEG uređaja, kao i uspostavu ili prekid veze sa određenim uređajem.



Sl. 4. Tabulator za uspostavu veze

3.2 Tabulator za prikaz signala

Tabulator za prikaz signala (slika 4) omogućava korisniku prikaz signala sa EEG

uređaja u realnom vremenu.



Sl. 5. Tabulator za prikaz signala

S obzirom na to da amplituda EEG signala tokom snimanja može da promeni red veličine, potrebno je vršiti skaliranje vertikalne ose kako bi korisniku bio prikazan signal u korisnom opsegu. Pored toga, skaliranje vertikalne ose je potrebno vršiti što je ređe moguće, kako se ne bi često menjale vrednosti podeoka na grafiku i time korisniku otežavalo očitavanje signala. U tu svrhu razvijen je algoritam za automatsko skaliranje vertikalne ose.

Neka je signal koji se prikazuje obeležen sa X i neka su srednja vrednost signala i maksimalno odstupanje od srednje vrednosti signala u proteklih N sekundi obeleženi sa \bar{X} i D . Neka su gornja i donja granica prikazanog opsega obeležene sa Y_h i Y_l . Tada se skaliranje vertikalne ose vrši u slučajevima kada je:

- signal izašao izvan vidljivog opsega ($X > Y_h \vee X < Y_l$) (slika 6.a)
- odstupanje signala od srednje vrednosti isuviše malo, manje od $\varepsilon \cdot 100\%$ vidljivog opsega ($D < \varepsilon \cdot (Y_h - Y_l)$), tako da su korisne promene signala teško uočljive (slika 6.c)

Nakon skaliranja vertikalne ose prikazani opseg signala je centriran oko srednje vrednosti signala. Prikazani opseg je K puta veći od opsega signala. Tada gornja i donja granica prikazanog opsega imaju nove vrednosti određene jednačinama:

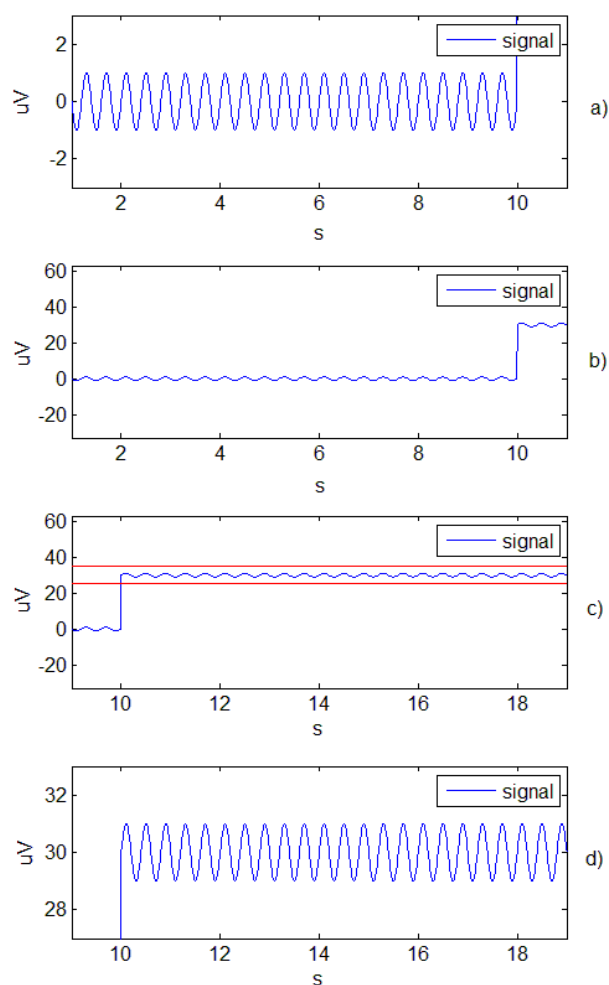
$$Y_h = \bar{X} + K \cdot D \quad (1)$$

$$Y_l = \bar{X} - K \cdot D \quad (2)$$

Vrednosti parametara, $N = 3$, $\varepsilon = 0.1$ i $K = 3$, su eksperimentalno utvrđene.

Primer rada algoritma za skaliranje vertikalne ose je dat na slici 6. U slučaju 6.a signal je izašao izvan opsega, što je jedan od uslova za ponovno skaliranje vertikalne ose. Na slici 6.b je prikazan ishod skaliranja signala iz 6.a. U slučaju 6.c promena signala je isuviše mala u odnosu na prikazani opseg, čime je uslov za ponovno

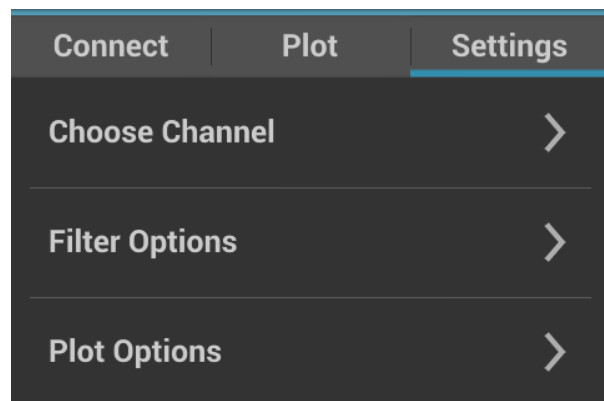
skaliranje vertikalne ose ispunjen. Na slici 6.d je prikazan ishod skaliranja signala iz 6.c.



Sl. 6. Primeri skaliranja vertikalne ose

3.3 Tabulator za podešavanja

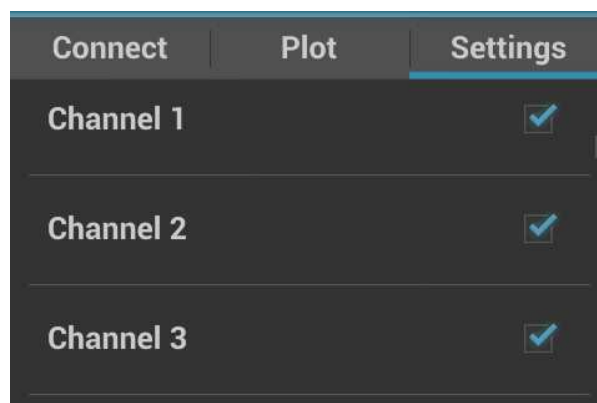
Tabulator za podešavanja (slika 7) omogućava korisniku da menja rad aplikacije i prilagodi je svojim potrebama.



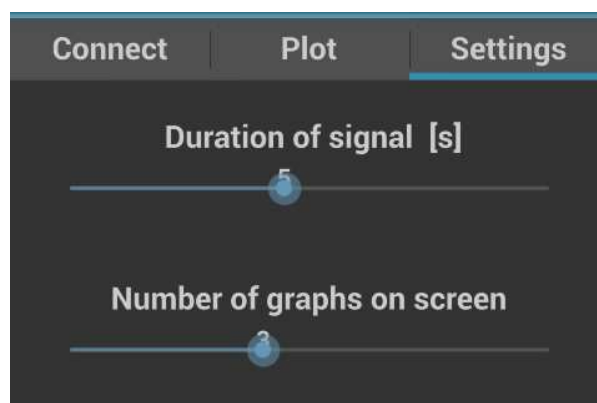
Sl. 7. Tabulator za podešavanja

Implementirana su sledeća podešavanja za prikaz signala (slike 8 i 9):

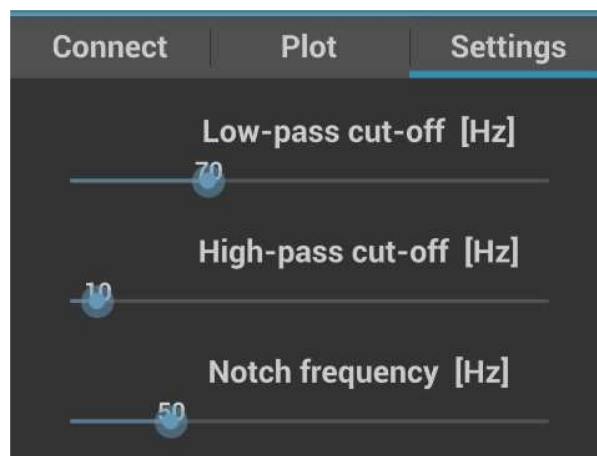
- izbor signala koji će se prikazivati u listi signala
- broj prikazanih signala po visini ekrana
- dužina prikazanog signala u sekundama
- , kao i podešavanja za filtriranje signala (slika 10):
- granična frekvencija niskopropusnog Butterworth filtra
- granična frekvencija visokopropusnog Butterworth filtra
- frekvencija notch filtra



Sl. 8. Podešavanja za odabir signala za prikaz



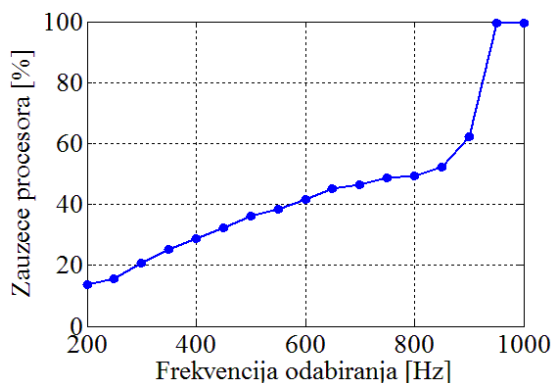
Sl. 9. Podešavanja za prikaz signala



Sl. 10. Podešavanja za filtriranje signala

4. MERENJE I ANALIZA PERFORMANSI

Performanse razvijene aplikacije su merene time što su mereni neophodni resursi (dostupnost procesora) u zavisnosti od frekvencije odabiranja signala EEG uređaja. Merenje performansi je izvršeno na uređaju sa Qualcomm MSM 8255 1GHz Scorpion procesorom, 512MB radne memorije, Adreno 205 grafičkim procesorom i Android 4.0.4 operativnim sistemom. EEG uređaj korišćen za snimanje signala poseduje 24 kanala, 24 bit-ne preciznosti.



Sl. 11. Rezultati merenja performansi

Iz rezultata merenja performansi (slika 11) se vidi da za frekvencije odabiranja manje od 850 Hz aplikacija izvršavana na pomenutom uređaju zadovoljava svaku praktičnu primenu za rad sa EEG signalima u realnom vremenu. Za frekvencije preko 850 Hz neophodni resursi za rad u realnom vremenu naglo rastu, što je posledica prevelike komunikacije između niti prilikom njihove sinhronizacije i raspoređivanja.

5. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan sistem za akviziciju i prikaz EEG signala u realnom vremenu, zasnovan na Android mobilnom uređaju i mobilnom EEG uređaju sa Bluetooth bežičnom komunikacijom. Prikazani sistem je zbog svoje mobilnosti sposoban za korišćenje na lokacijama bez neposredne blizine računara.

Aplikacija za akviziciju i prikaz signala omogućuje rad sa 24-oro kanalnim EEG uređajem, i pri tome vrši filtriranje šuma mrežnog napona, kao i band-pass filtriranje. Moguća je promena parametara filtera ili pak parametara grafičke sprege, čime se aplikacija može prilagoditi potrebama korisnika.

6. REFERENCE

- [1] Megalingam, R., Thulasi, A., Krishna, R., Venkata, M., Gupta, A., Dutt, T.: *Thought*

Controlled Wheelchair Using EEG Acquisition Device, 2013

- [2] Klonovs, J., Kjeldgaard Petersen, C., Olesen, H., Hammershøj, A.: *Development of a Mobile EEG-based Biometric Authentication System*, 2013
- [3] Oppenheim, A., Willsky, A.: *Signals and Systems (2nd Edition)*, Prentice Hall, 1996
- [4] Oppenheim, A., Schaffer, R.: *Discrete-time signal processing (2nd Edition)*, Prentice Hall, 1999
- [5] Blanchette, J.: *C++ GUI Programming with Qt 4 (2nd Edition)*, Prentice Hall, 2008

Autori: Dušan Veljko, Dragan Marjanović, Željko Tepić, Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Katedra za automatiku i upravljanje sistemima, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2446.
E-mail: v_duschan@hotmail.com
draganmarjanovic10@gmail.com
zeljkotepic@gmail.com

Milutinović Aleksandar, Popović Bojan, Popov Nikola

**STIM – PROGRAMSKI JEZIK ZA KONTROLU
FUNKCIONALNE ELEKTRIČNE STIMULACIJE**

Rezime: U ovom radu je prikazana implementacija novog programskog jezika - STIM za potrebe kontrole funkcionalne električne stimulacije. U okviru rada su prikazane komande realizovanog programskog jezika, osnovne funkcije jezika, kao i primer implementacije stimulacionog protokola za potrebe elektronskog stimulatora neuroproteze šake. Realizovani protokoli stimulacije se izvršavaju na PC računaru, a rezultati izvršavanja odgovarajućih komandi se prosleđuju elektronskom stimulatoru TremUNA.

Ključne reči: Funkcionalna električna stimulacija, Rehabilitacija, STIM programski jezik

[1]1. UVOD

Neuromuskularna električna stimulacija (NMES) se definiše kao upotreba električne struje u cilju izazivanja kontrakcije mišića. Funkcionalna električna stimulacija (FES) je definisana kao upotreba NMES u cilju izvršavanja namenskih pokreta kao što su držanje šolje ili pomoć prilikom hodanja u situacijama gde su nervi koji aktiviraju mišiće oštećeni ili uništeni. Samim tim FES se može smatrati neuralnom protezom [1]. Istraživačke grupe u polju FES su često suočene sa činjenicom da trenutno dostupni komercijalni FES stimulatori ne pružaju dovoljnu fleksibilnost i ne mogu biti upotrebljeni za izvršavanje različitih stimulacionih protokola. Primeri ovakvih sistema su *Bionic Glove* [2] i *Ness HandMaster* [3]. Oba uređaja se sastoje od stimulacione jedinice u vidu rukavice u kojoj unutrašnjosti se nalaze elektrode i kontrolne jedinice. *Bionic Glove* funkcioniše tako što na osnovu senzora pokreta koji se nalazi na zglobu ruke aktivira stimulacioni protokol za hvat ili otpuštanje šake. U zavisnosti od veličine pomeraja šake u zglobu pacijent određuje da li želi hvat ili otpuštanje šake. Kontrolna jedinica neuralne proteze *Ness HandMaster* preprogramirana je za dva moda za vežbanje i tri funkcionalna moda. Modovi za vežbanje (ciklično otvaranje šake + relaksacija ili ciklično otvaranje šake + hvat) služe za jačanje mišića. Funkcionalni modovi su otvaranje šake, hvat šake i hvat ključa. Odabir moda stimulacije se izvodi preko tastera koji se nalazi na kućištu kontrolne jedinice.

Manjak fleksibilnosti komercijalnih sistema doveo je do toga da su različiti FES istraživački timovi razvili svoje stimulatore [4] [5]. Ovaj rad će se fokusirati na realizaciji programskog jezika za upravljanje neuralnom protezom baziranom na površinskoj električnoj stimulaciji [6] [7] [8].

2. METODE**2.1 Hardver**

Programski jezik STIM je namenjen za rad sa TremUNA električnim stimulatorom. TremUNA je programabilni multikanalni stimulator koji podržava asinhornu aktivaciju više različitih elektroda. Podaci sa senzora se digitalizuju i šalju računaru koji kontroliše stimulator preko USB-a. Centralni deo TremUNA stimulatora je mikrokontroler ATmega2560 koji upravlja svim funkcionalnim jedinicama: izvorima struje, sistemom za napajanje i komunikacionim interfejsom. Stimulator se napaja litijum-jonskom baterijom koja pruža mogućnost besprekidnog rada stimulatora od najmanje 10 sati. Izlazna jedinica stimulatora se sastoji od 8 nezavisnih strujnih izvora koji proizvode monofazne kompenzovane stimulacione impulse. Odmah nakon pravougaonog impulsa koji vrši depolarizaciju motornog neurona sledi eksponencijalni kompenzacioni impuls obrnutog polariteta čija je uloga da spreči moguće oštećenje tkiva usled galvanskih procesa. Komunikacija između stimulatora i računara se vrši preko USB 2.0 interfejsa. USB port stimulatora je galvanski izolovan od ostalih delova stimulatora.

Programabilni parametri stimulatora su: frekvencija $F=1-50$ pulsa po sekundi (pps), sa korakom od 1 pps, širina impulsa $W=50-500$ μ s, sa korakom od 10 μ s, amplituda pulsa $I=0-50$ mA, sa korakom od 1 mA i kašnjenje kanala $\Delta T=0-1000$ ms, sa korakom od 0.1 ms. Snaga strujnih izvora je ograničena maksimalnim izlaznim naponom od $U=95$ V [9] [10]. Stimulator TremUNA je prikazan na slici 1.



Sl. 1. TremUNA stimulator

2.2 Softver

Programski jezik STIM nastao je u cilju povećanja fleksibilnosti stimulacije. STIM je tekstualno bazirani programski jezik. On se izvršava u realnom vremenu na samom stimulatoru i namenjen je definisanju stimulacionih protokola za FES. Upotrebom rezervisanih reči koje su prikazane u tabeli 1 i komandi moguće je implementirati različite stimulacione protokole.

Struja	Frekvencija	Širina Impulsa	Analogni ulazi
ICH1	FCh1	WCh1	AI1
ICH2	FCh2	WCh2	AI2
ICH3	FCh3	WCh3	AI3
ICH4	FCh4	WCh4	AI4
ICH5	FCh5	WCh5	AI5
ICH6	FCh6	WCh6	AI6
ICH7	FCh7	WCh7	AI7
ICH8	FCh8	WCh8	AI8

Tabela 1. Rezervisane reči

Rezervisane reci ICh#, FCh#, WCh# i AI# predstavljaju amplitude struja, frekvencije stimulacije, sirine impulsa i vrednost analognih ulaza za svaki kanal respektivno.

Upotrebom rezervisanih reči možemo pristupiti svakom parametru pojedinačno. U tabeli broj 2 su prikazane naredbe programskog jezika.

START()
STOP()
IF()
ELSE
END_IF
REPEAT()
END_REPEAT
WHILE()
END_WHILE
SET()
DELAY()
RISE()
FALL()

Tabela 2. Naredbe

Naredba START() kao parametar prihvata rezervisanu reč Ch# (# označava kanal stimulatora) i šalje komandu stimulatoru da uključi kanal .

Naredba STOP() kao parametar prihvata rezervisanu reč Ch# (# označava kanal stimulatora) i šalje komandu stimulatoru da isključi kanal.

Naredba IF() ELSE kao parametar prihvata uslov i ako je uslov ispunjen izvršavaju se naredbe ispod IF-a ,ako nije izvršavaju se naredbe posle ELSE.

Naredba REPEAT() kao parametar prihvata broj ponavljanja i naredbe uključene u REPEAT-END_REPEAT blok će se izvršavati onoliko puta koliko je naznačeno.

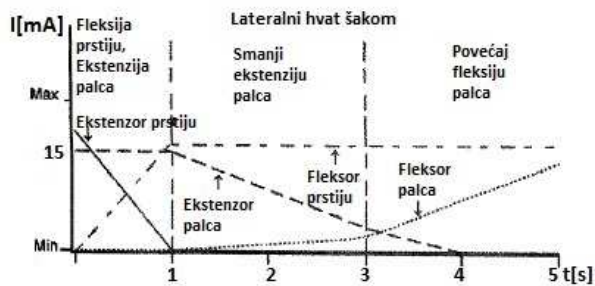
Naredba WHILE() kao parametar prihvata uslov i komande unutar WHILE-END_WHILE bloka se izvršavaju ciklično sve dok je uslov ispunjen.

Naredba SET(){} kao parametar prihvata Ch#. U telu naredbe zadaju se vrednosti parametra kanala u formi {I= ; F= ; W= ;} gde je I- jačina struje , F- frekvencija i W-širina impulsa.

Naredba DELAY() kao parametar prihvata vreme u milisekundama. Ova naredba služi da odgodi izvršavanje sledeće naredbe za zadano vreme.

Naredba RISE() kao parametre prihvata vreme i jedan od parametara kanala. Ova naredba služi da poveća vrednost parametra kanala sa trenutne vrednosti na zadatu u vremenskom periodu koji je prosledjen.

Naredba FALL() kao parametre prihvata vreme i jedan od parametara kanala. Ova naredba služi da smanji vrednost parametra kanala sa trenutne vrednosti na zadatu u vremenskom periodu koji je prosledjen.



Sl. 2. Protokol stimulacije

U primeru ispod napisan je programski kod za fleksiju šake koji je prikazan na slici 1. Za formiranje pokreta neophodna su 4 kanala gde 1. kanal služi za fleksiju palca, 2. kanal služi za ekstenziju palca a 3. i 4. za fleksiju i ekstenziju mišića prstiju. Sekvencu pokreta je neophodno izvršiti 10 puta.

```

1: REPEAT(10)
2:
3: SET(Ch1){ I=0 ; F=30;W=250; }
4: SET(Ch2){ I=15;F=30;W=250; }
5: SET(Ch3){ I=0 ; F=30;W=250; }
6: SET(Ch4){ I=18;F=30;W=250; }

7:   START(Ch1)
8:   START(Ch2)
9:   START(Ch3)
10:  START(Ch4)

11:  FALL(1000,ICh4=0)
12:  RISE(1000,ICh3=15)

13:  DELAY(1000)

14:  FALL(3000,ICh2=0)
15:  RISE(2000,ICh1=5)

16:  DELAY(2000)

17:  RISE(2000,ICh1=14)

18:  END_REPEAT
19:  STOP(Ch1)
20:  STOP(Ch2)
21:  STOP(Ch3)
22:  STOP(Ch4)

```

U 1. liniji koda inicijalizuje se petlja koja će se izvršavati 10 puta.

Od 2. do 6. linije postavljene su početne vrednosti parametara kanala sa tim da je Ch1

fleksija palca, Ch2 ekstenzija palca, Ch3 fleksija prstiju, Ch4 ekstenzija prstiju.

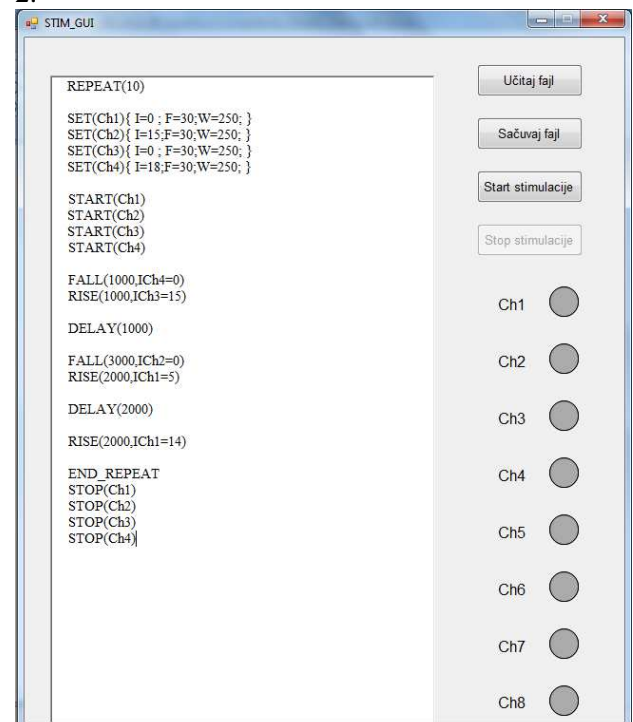
Od 7. Do 10. linije koda startuju se kanali za stimulaciju.

U 11. i 12. liniji postepeno se smanjuje jačina struje u Ch4 odnosno povećava u Ch3. Potrebno je uzeti u obzir da se sve naredbe do DELAY naredbe izvršavaju paralelno.

14. i 15 linija koda će se izvršiti tek posle vremena naznačenog u u DELAY naredbi u 13. liniji koda

Od 19. do 22. linije koda isključuju se svi kanali.

Korisnički interfejs je prikazan na slici 2.

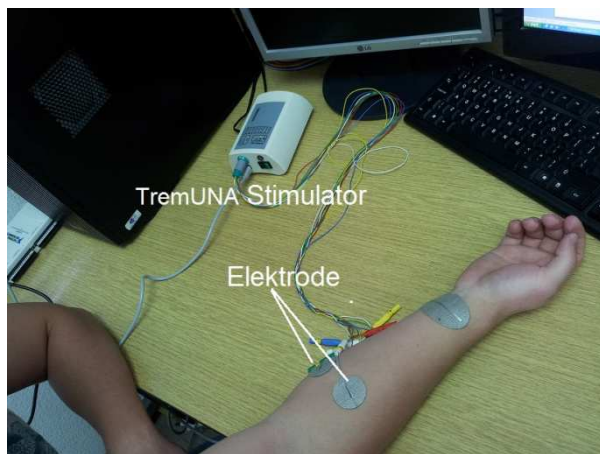


Sl. 3. Korisnički interfejs

Okruženje za programiranje stimulacionih protokola se sastoji od tekstualnog editora , dugmeta za čuvanje fajla , dugmeta za učitavanje fajla sa računara , dugmeta za start stimulacije i dugmeta za zaustavljanje stimulacije .Pored ovoga na korisničkom interfejsu postoje i 8 indikatora aktivnosti kanala sa naznačenim brojem kanala.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Da bi se u praksi proverile mogućnosti programskog jezika STIM izvršen je eksperiment hvata šake .Pozicije elektroda u toku eksperimenta su prikazane na slici 3.



Sl. 4. Eksperiment

Algoritam je naimenično uključivao kanal jedan i kanal dva. Uključivanjem jednog pa drugog kanala korisnik je smanjio zamor prilikom kontrakcije i omogućio korisniku da lakše upravlja neuralnom protezom. STIM programski jezik omogućuje laku implementaciju navedenog algoritma kojišćenjem samo par naredbi.

4. ZAKLJUČAK

STIM pretstavlja programski jezik namenjen za realizaciju različitih protokola funkcionalne električne stimulacije mišića. Njegova primena je moguća u rehabilitaciji pacijenata kod kojih postoji oštećenje strukture nerava koji su zaduženi za pobuđivanje različitih grupa mišića. Upotrebom STIM programskog jezika ubrzali smo razvoj rehabilitacionog algoritma neuralne proteze. Njegovom upotrebom omogućena je velika fleksibilnost u izvršavanju različitih stimulacionih protokola. Programski jezik je univerzalnog tipa i može se koristiti sa bilo kojim stimulatorom. U ovom radu korišten je osmokanalni TremUNA stimulator.

5. REFERENCE

- [1] D. N. Rushton, "Functional Electrical Stimulation," *Physiological Measurement*, vol. 18, pp. 241-275, 1997.
- [2] Prochazka Arthur , Gauthier Michel, Marguerite Wieler, Zoltan Kenwell , "The bionic glove: an electrical stimulator garment that provides controlled grasp and hand opening in quadriplegia ",*Arch Phys Med Rehabil* 1997;78:608-14.
- [3] M.J. Ijzerman, T.S. Stoffers, F.A.C.G. in 't Groen,M.A.P. Klatte, G.J. Snoek, J.H.C Vorseveld, R.H Nathan and H.J Hermens : "The NESS Handmaster orthosis: restoration of hand function in C5 and stroke patients by means of electrical stimulation "

- [4]Thierry Keller, Milos R. Popović, Ion P.I. Papas, Pierre-Yves Muller : *Transcutaneous Functional Electrical Stimulator „Complex Motion“*
- [5] Rebersek S, Vodovnik L,"*Proportionally controlled functional electrical stimulation of hand*" *Arch Phys Med Rehabil* 1973, 54:378
- [6] Malešević N, Popović L, Bijelić G, Kvaščev G, "*Muscle twitch responses for shaping the multi-pad electrode for functional electrical stimulation*".*J Automatic Control* 2010, 20:53-57
- [7] Popovic LZ, Malesevic NM, Popovic MB, "*Optimization of multi-pad surface electrode: Selective stimulation of wrist*" *St. Petersburg Russia: Proc of IEEE EuroCON; 2009:142-145. OpenURL*
- [8] Long C,"*An electrophysiologic splint for the hand*" *Arch Phys Med Rehabil* 1963, 44:499-503.
- [9] Lana Popovic,Maneski,Nikola Jorgovanovic,Vojin Ilic,Strahinja Dosen, Thierry Keller, Mirjana B. Popovic,Dejan B. Popovic,"*Electrical stimulation for the suppression of pathological tremor*"
- [10] Popović DB, Sinkjær T, Popović MB,"*Electrical stimulation as a means for achieving recovery of function in stroke patients*"

Autori: Milutinović Aleksandar, Bojan Popović, Nikola Popov, Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2306, Fax: +381 21 454-495.
E-mail: a.milutinovic@gmail.com
boxi89@live.com
npopov@uns.ac.rs

Maksimović Saša, Živković Dejan, Ilić Vojin

MIOELEKTRIČNI UPRAVLJAČKI INTERFEJS
NEUROPROTEZE ŠAKE

Rezime: U ovom radu je prikazana realizacija mioelektričnog (EMG) upravljačkog interfejsa neuroproteze šake. Za potrebe realizacije upravljačkog interfejsa neuroproteze, upotrebljen je mioelektrični pojačavač. Izdvajanje komande iz mioelektričnog signala se izvodi na osnovu anvelope EMG signala. Određivanje anvelope EMG signala se izvršava u realnom vremenu, a dobijena komanda se koristi za aktivaciju unapred definisanog protokola električne stimulacije u cilju restauracije funkcije šake.

Ključne reči: Neuroproteza, EMG, anvelopa

1. UVOD

Neuroproteza (NP) je sistem za restauraciju funkcije nervnog sistema, koja je izgubljena ili oslabljena usled povrede kičmene moždine ili moždanog udara. Upravljački interfejs NP se sastoji iz dva podsistema – upravljački i izvršni. Upravljački podsistem čini elektrofiziološki pojačavač, čiji je osnovni zadatak pojačavanje signala sa mišića ili nerava zgloba šake. Osnovni zadatak izvršnog podsistema NP je stimulacija nervno-mišićnih tkiva (npr. aktivacija senzornih ili motornih vlakana), koja se još naziva i FES (Functional Electrical Stimulation). FES izaziva kontrolisanu aktivaciju mišića ili nerava slanjem strujno kontrolisanih signala.[1]

NP šakese koristi kod osoba kojima je, usled povrede kičmene moždine ili moždanog udara, oštećen deo centralnog nervnog sistema (CNS) zadužen za upravljanje pokretima šake. Za upravljanje pokretima, NP šake moguće je koristiti EMG ili EEG signale. EMG signali se snimaju sa mišića koji su zdravi, tj. koristi se zdrav mišić za kontrolu bolesne ruke. Moguće je, takođe, NP šake kontrolisati pomoću EEG signala, snimanjem električne aktivnosti kore mozga. U ovom radu biće reč o NP šake koje vrše restauraciju šake stimulisanjem EMG signala.

EMG signali su biomedicinski signali koji mere električnu struju u mišićima pri njihovoj kontrakciji. Ovaj signal je veoma složen. Sastoji se od signala sa više različitih motornih i nervnih jedinica, pa je, stoga, veoma teško izdvojiti signal određene motorne jedinice. Ipak, EMG signali su veoma korisni za dijagnostiku nervno-mišićnih poremećaja. Zato je razvijen veliki broj algoritama i metoda za prikupljanje i analizu EMG signala.[2]

NP šake se primenjuje u rehabilitacione svrhe. Upotreba NP šake je ograničena, jer često zahteva veliki napor pacijenta, a željeni ishod nije

zagarantovan. Uprkos ograničenjima, razvijen je veliki broj NP šake, koje koriste EMG signale kao upravljačke. Beogradska šaka je prva adaptivna multifunkcionalna NP sa EMG upravljanjem i senzornom povratnom spregom, razvijena 1963. godine.[3] Jedan od prvih FES sistema za hvatanje namenjen tetraplegičarima razvijen je u Ljubljani od strane Dr. L. Vodovnik 1976. godine.[4] Takođe, razvijen je trokanalni sistem za stimulaciju 1997. u Izraelu pod nazivom Handmaster NMS1.[5] Na beogradskom elektrotehničkom fakultetu (ETF), razvijen je 1998. Beogradski sistem za hvatanje (BGS).[6]



Sl. 3. Primeri neuroproteze šake

Na slici levo prikazan je Handmaster NMS1, a na slici desno je Beogradski sistem za hvatanje.

2. REALIZACIJA EMG UPRAVLJAČKOG
INTERFEJSA NP ŠAKE

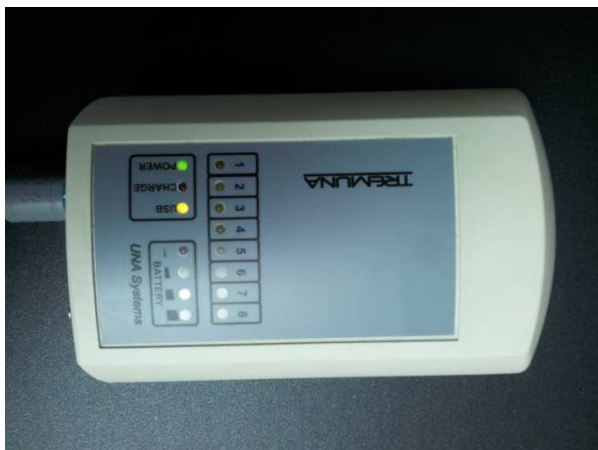
Cilj ovog rada je implementacija upravljačkog interfejsa, koji će biti primenjen za električnu stimulaciju motornih mišića šake. Kao upravljački signal korišćen je EMG signal dobijen sa fleksora zgloba šake. Signali su snimljeni upotrebom površinskih elektroda i elektrofiziološkog pojačavača. Izlaz pojačavača je povezan na akvizicionu karticu. Za akviziciju podataka korišćena je NI USB 6211 akviziciona kartica. Korišćenjem akvizicione kartice visokog kvaliteta omogućena je kvalitetnija kontrola. Akviziciona kartica ima 16 analognih ulaza sa

ugrađenim predpojačavačima koji omogućuju kvalitetniju akviziciju signala. Svaki kanal je ima 16 bitnu rezoluciju. Maksimalno vreme odabiranja je 250 kS/s. Akvizicija podataka je urađena u programskom alatu MATLAB

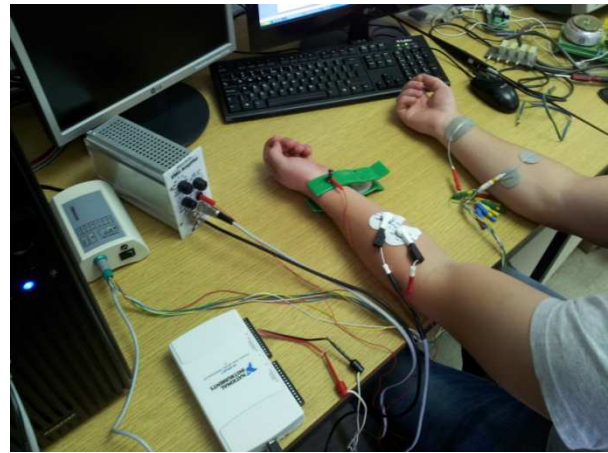


Sl. 4. NI-DAQ akviziciona kartica

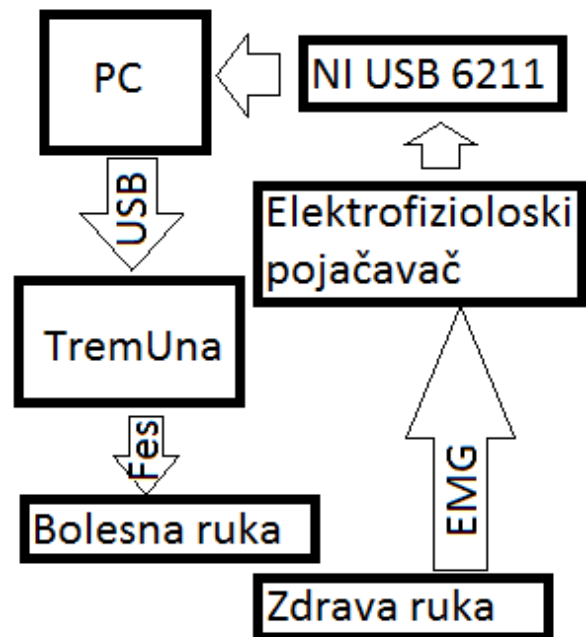
Za stimulaciju korišćen je 8-kanalni TremUNA stimulator. Stimulator omogućava monofaznu kompezovanu stimulaciju. Svaki kanal stimulatora može da se podešava nezavisno. Maksimalna struja stimulacije je 50mA i može da se podešava u opsezima od 1mA. Maksimalna frekvencija stimulacije je 50Hz a širina stimucionog impulsa je maksimalno 500 μ s. Strujne izlaze stimulatora kontroliše mikrokontroler ATMEGA 2560 koji je povezan na FT232RL čip. Ovaj čip omogućuje da jednostavno povežemo PC računar sa ovim stimulatorom. Stimulator se kontroliše slanjem komandi sa računara. TremUNA stimulator omogućava da se podešava svaki kanal pojedinačno ili da se svi kanali podeše preko jedne komande. Postoji povratna informacija da li je stimulator prihvatio komandu prilikom slanja čime se povećava robusnost sistema.



Sl. 5. 8-kanalni TremUNA stimulator



Sl. 6. Primer eksperimenta



Sl. 5. Pojednostavljena šema sistema

Da bi se dobile informacije potrebne za upravljanje EMG signalom, potrebno je odrediti njegove pragove. Pragovi EMG signala se mogu odrediti pomoću anvelope. Za određivanje anvelope potrebno je snimljeni signal ispraviti, zatim filtrirati. Na osnovu anvelope, moguće je definisati odgovarajući stimacioni protokol.

Za filtriranje EMG signala korišćen je niskopropusni (NF) IIR (Infinite Impulse Response) filter, čija je funkcija prenosa:

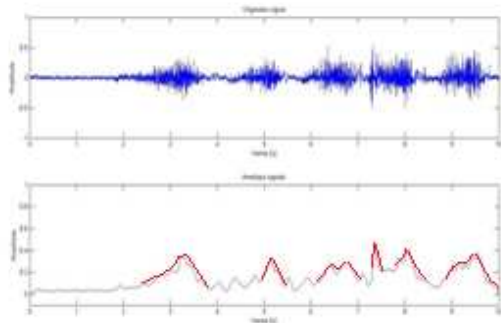
$$H(z) = \frac{\sum_{i=0}^p b_i z^{-i}}{1 + \sum_{j=0}^q a_j z^{-j}} \quad (1)$$

IIR filter je izabran iz razloga što može efikasnije da aproksimira željenu amplitudsku karakteristiku za razliku od FIR (Finite Impulse

Response) filtra. Mana IIR filtra je to što ima nelinearnu faznu karakteristiku. Prilikom formiranja amvelope nije potrebno ostvariti linearnu faznu karakteristiku pa je moguće koristiti IIR filter. IIR filter ima rekursivnu funkciju prenosa. To znači da se za izračunavanje tekućeg odbirka koriste prethodni odbirci signala.

Pošto se EMG signal kreće u opsegu frekvencija od 2 do 500 Hz, ulazni signal je odabiran sa frekvencijom odabiranja od 2000 Hz. Ova frekvencija odabiranja zadovoljava Nikvistovu teoriju odabiranja pri čemu je vođeno računa da ne dođe do prevelikog odabiranja. Pre same akvizicije signala korišten je elektrofiziološki pojačavač koji ne propušta jednosmernu komponentu i ima u sebi nisko propusni filter tako da nije potrebno predprocesirati signale pre same obrade.

Izvršena je Batervortova aproksimacija amplitudske karakteristike filtra. Korišten je filter trećeg reda. Frekvencija odsecanja u propusnom opsegu filtra je 5 Hz (sl. 6).



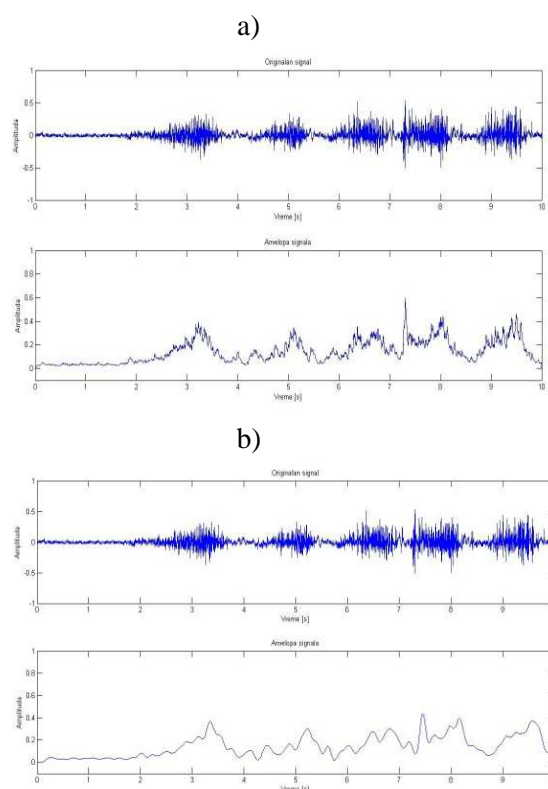
Sl. 6. Anvelopa EMG signala aproksimirana Batervortovim filtrom 3. reda, frekvencije odsecanja 5 Hz

Funkcija prenosa projektovanog filtra izgleda ovako:

$$H(z) = \frac{\sum_{i=0}^3 b_i z^{-i}}{1 + \sum_{j=0}^3 a_j z^{-j}} \quad (2)$$

Na slici (sl. 6) crvenom bojom su označeni pragovi anvelope. Kad se pređe ta vrednost, dolazi do aktivacije stimacionog protokola.

Poređenja radi, izvršeno je više eksperimenata sa različitim redom filtra i frekvencijama odsecanja, što je prikazano na sledećim graficima.



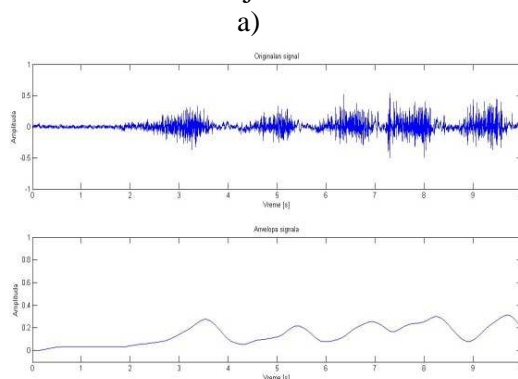
Sl. 7. Anvelopa EMG signala aproksimirana Batervortovim filtrom a) 1. i b) 7. reda, frekvencije odsecanja 5 Hz.

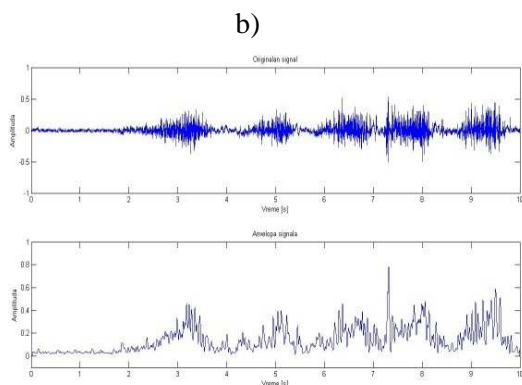
Funkcije prenosa filtera korišćenih za dobijanje anvelopana slici iznad su:

$$H(z) = \frac{b_1 * z^{-1} + b_0}{1 + a_0 + a_1 * z^{-1}} \quad (3)$$

$$H(z) = \frac{\sum_{i=0}^7 b_i z^{-i}}{1 + \sum_{j=0}^7 a_j z^{-j}} \quad (4)$$

Formula (3) se odnosi na sliku a), a formula (4) predstavlja funkciju prenosa filtra na slici b) (sl. 7). Vidi se da je za red filtra 1 anvelopa poprilično zašumljena, dok se za 7. red filtra dobija dobar rezultat. Zbog računске jednostavnosti izabran je 3. red filtra.





Sl. 8. Anvelopa EMG signala aproksimirana Batervortovim filtrom 3. reda, frekvencije odsecanja a) 1 i b) 20 odbiraka/s.

Sa slike (sl. 8) je očigledno da se povećanjem frekvencije odsecanja povećava i šum. Za premalu frekvenciju signal je izobličen, te se ne mogu pravilno detektovati pragovi signala. Samim tim, nije moguće ni pravilno određivanje stimulacionog protokola.

Anvelopa omogućava laku interpretaciju i detekciju nastanka aktivnosti. Takođe, smanjuje frekvencijski sadržaj signala i, samim tim, dozvoljava manje frekvencije odabiranja, te manje zauzeće memorijskog prostora. Mana je što anvelopa unosi kašnjenje.[7]

Na osnovu anvelope, dobija se informacija o pragovima EMG signala. Kad se detektuje određen nivo amplitude signala, dobija se povratna informacija, koja predstavlja okidač za aktivaciju stimulacionog protokola.

Stimulacioni protokol predstavlja upotrebu neuroproteze za određene pokrete pacijenta u saradnji sa fizioterapeutom. Određivanjem anvelope moguće je ustanoviti pragove EMG signala pacijenta, te podešavanjem struje, frekvencije ili širine impulsa zadati odgovarajuću stimulaciju pokreta.

3. ZAKLJUČAK

U radu je detaljno opisan način određivanja anvelope EMG signala. Anvelopa nosi informacije o EMG signalu koje su značajne za stimulisane odgovarajuće grupe mišića zadužene za određeni pokret. Na osnovu anvelope moguće je definisati stimulacioni protokol koji će biti primenjen u terapiji.

Očekuje se da će neuroproteza biti u stanju da predvidi nivo stimulacije paralizovanih mišića na osnovu nivoa aktivacije mišića pri voljnoj kontrakciji. To znači da se nivoi aktivacije paralizovanih mišića mogu mapirati na nivo stimulacije merenjem jačine mišića i određivanjem maksimalnog nivoa aktivacije koji

može da se postigne električnom stimulacijom.

Upotreba preostalih voljnih kontrolnih mehanizama uveliko iskorištava mogućnosti prilagođavanja nervnog sistema. Dugoročno očekivanje je da će neoštećeni delovi nervnog sistema moći da se prilagode na upotrebu neuroproteze i da nauče da komuniciraju s njom. Smatra se da će veza između nervnog sistema i neuroproteze da povрати funkciju oštećenog ekstremiteta, tako da pokret bude više nalik prirodnom.[8]

4. LITERATURA

- [1] Popović B. Dejan, Sinkjaer Thomas, "Control of Movement for the Physically Disabled", Center for Sensory-Motor Interaction, Aalborg University, Aalborg, Denmark, 2003, p.p. 208.
- [2] M.B.I. Raez, M.S. Hussain, F. Mohd-Yasin, „Techniques of EMG signal analysis: detection, processing, classification and applications“, 2006.
- [3] Long II C, Masciarelli CV, „An electrophysiologic splint for the hand“, (1963).
- [4] Reberšek S, Vodovnik L, „Proportionally controlled functional electrical stimulation of hand“, (1973).
- [5] Nathan R, „Handmaster NMS1 – present technology and next generation“, (1997).
- [6] Ilić M, Vasiljević D, Popović D, „A programmable electronic stimulator of FES systems“, (1994).
- [7] D.Gordon E. Robertson, „Electromyography: Processing“, Biomechanics Laboratory, School of Human Kinetics, University of Ottawa, Ottawa, Canada
- [8] Juan Gabriel Hincapie, Robert F. Kirsch, „Feasibility of EMG-Based Neural Network Controller for an Upper Extremity Neuroprosthesis“

Autori: Saša Maksimović, Dejan Živković, Vojin Ilić, Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia

E-mail: sasa.maksimovic6@gmail.com
zivkovicdejan230@gmail.com
vojnin@uns.ac.rs

Simić, M., Sireteanu, M.

**REAL TIME TEMPERATURE AND RELATIVE HUMIDITY MONITORING SYSTEM
USING LABVIEW**

Abstract: *In this paper improved design of previously developed system for temperature and relative humidity measurement and data acquisition is described. Main software improvement is adding of PC application developed in LabVIEW which enables presentation of measured values in real time. Hardware of the system is extended with SHT11 sensor for outdoor air temperature and relative humidity. The same sensor is used for indoor measurements. Storing the results is on the micro SD card in CSV file while PC application also performs storing of data on hard disk drive. The designed system is tested under different conditions and in all tests the system worked stable and accurately.*

Key words: *data acquisition and processing, LabView interface, microcontroller, relative humidity, temperature, sensors.*

1. INTRODUCTION

Temperature and humidity are two important factors affecting thermal comfort. Indoor temperatures between 20 °C and 25 °C in winter and between 23 °C and 27 °C in summer are generally perceived by building occupants as comfortable. At these temperatures, relative humidity levels between 30% and 60% will provide the greatest comfort for occupants [1].

Low humidity can also affect the thermal environment by: causing discomfort; drying mucous membranes; drying eyes and skin; and increasing static electricity.

High humidity can affect the thermal environment by: causing discomfort; stimulating the growth of potentially hazardous mold and fungus; and damaging buildings and electrical equipment.

It is very important to ensure information about outdoor conditions because when outdoor temperatures are very cold, high indoor humidity can cause building damage and mold growth [1].

Various design and application of systems for indoor and outdoor temperature and relative humidity measurements can be found in literature.

Better growing conditions are achieved in greenhouses by maintaining a higher internal ambient as compared with external ambient temperature. A computer-based control and monitoring system which provides visualization, control and coordination of temperature and humidity in a greenhouse was presented in [2].

In [3] the outdoor climate impact on indoor climate in cowsheds with 500, 420 and 250 cow places during winter and summertime is presented. Outdoor air temperature and relative humidity

were measured at the same time and the obtained results are well applicable when designing new cattle housing or improving the indoor climate of already existing uninsulated cowsheds.

Indoor moisture and temperature conditions and equipment operation were measured and analyzed for 43 homes in different climate regions of the United States [4].

Based on these facts it is obviously that development of reliable and stable temperature and relative humidity measurement system with data acquisition is very important and has wide range of application in industrial and nonindustrial applications.

System presented in this paper presents redesign of system reported earlier [5]. All good features of previously developed system are implemented with optimization regarding dimensions and power consumption. Main contribution of this paper is adding of PC application developed in LabVIEW which enables online presentation of measured values.

Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench (LabVIEW) is a highly developed graphical programming language widely used for creating custom applications for data acquisition, signal processing and hardware control. The G programming language is an ideal environment for developing a control and monitoring system for sensors. In this paper a new data acquisition system for humidity and temperature sensors is proposed, interconnected with LabVIEW software. In contrast to text-based programming languages, where instructions determine program execution, LabVIEW uses dataflow programming, where the flow of data determines execution. The developed interface offers the possibility of

simultaneous numerical and graphical display of humidity and temperature readings, data processing plus time and date.

2. DEVICE STRUCTURE

Proposed structure of device for measurement and data acquisition of indoor and outdoor temperature and relative humidity is presented in Fig. 1. System hardware consists of Control Board and measuring device, two SHT11 sensors.

The hardware of Control Board has been built around a microcontroller (AVR ATmega32) that interfaces with user via a display and a keyboard. The microcontroller is used with a supply voltage of 5 V and an external quartz crystal of 16 MHz. Other parts of control board are micro SD card, real time clock DS1307 and LCD. Alphanumeric LCD is used for displaying results and configuration on the field.

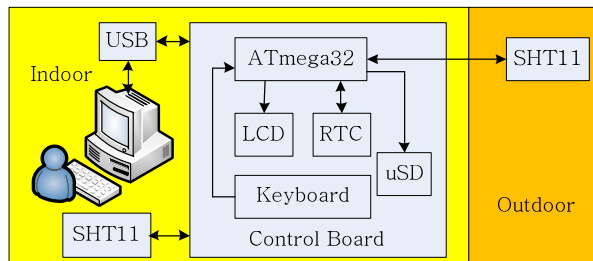


Fig. 1. Block scheme of the system

Real time clock DS1307 with backup battery is used to provide time measuring. Time and date values are used for displaying on display and for additional information for every result in report on micro SD card. These values are also sent to LabVIEW application with results of measurement.

Keyboard is connected to the Control board to ensure easy manipulation through menu system for configuration and measurements. Menu system is based on finite state machine and it can be accessed by external keyboard with two navigation keys (Up and Down) and two confirmation keys (OK and Esc). Device also has an ON/OFF key for turning on and turning off device (toggle operation).

Sensor device SHT11 [6] is attached directly to the microcontroller ATmega32. SHT11 is a Sensirion's family of surface mountable relative humidity and temperature sensors. The sensors integrate sensor elements plus signal processing on a tiny foot print and provide a fully calibrated digital output. A unique capacitive sensor element is used for measuring relative humidity while temperature is measured by a band-gap sensor. Both sensors are seamlessly coupled to a 14bit

analog to digital converter and a serial interface circuit. Another advantage of SHT11 is that it has fast response and uses CMOSens technology to guarantee reliability and stability. The size of device is also small with dimension of 7.47x4.93x2.5 mm. Its weight is only 100 mg. The sensor also requires low power consumption with average current consumption of 0.55 mA during measuring and it can be used with single power supply between 2.4 V and 5.5 V. The SHT11 has operating range of temperature between -40 and +123.8 °C and range for relative humidity between 0 and 100 %RH.

Measured values of indoor and outdoor relative humidity and temperature are stored on 2 GB micro SD card. FAT16 file system is used to allow manipulation of file with results on PC and off-line processing. The main advantage for using a micro SD card as data storage system is the ease of transferring data directly to other electronic devices such as laptops or smart phones which support the FAT format as a file system.

Device also has three LEDs for signalization of regular (green LED) and critical conditions (two red LEDs for low and high alarm).

A hardware outcome of Control board with attached SHT11 sensor for indoor measurements is shown in Fig. 2.

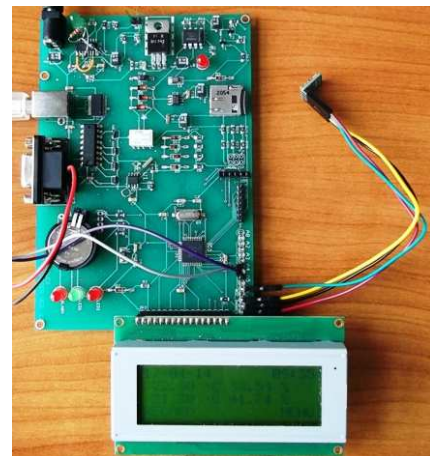


Fig. 2. A prototype hardware outcome of Control board with connected SHT11 sensor for indoor measurements

The LabVIEW real time Module can be used for monitoring in time evolution of the data provided by the sensors values. As is shown in Fig. 3 LabVIEW software allows graphical and numerical visualization of measurement values of indoor/outdoor temperature and humidity. The user interface shows and other information as follow: Baud rate is the serial port parameters, visual alarm of set point of temperature, user also can set file of data storage for future data

processing.

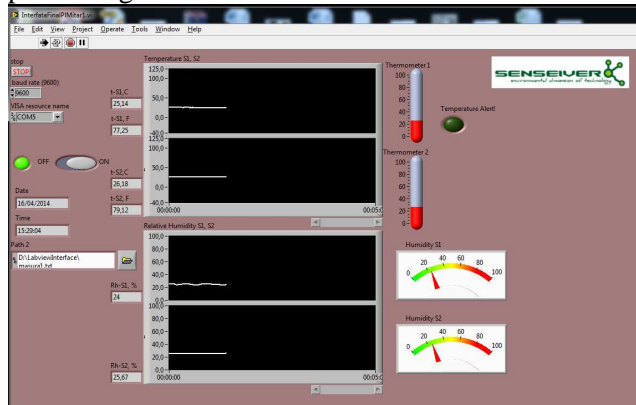


Fig. 3. Graphical User Interface in LabVIEW

By using G language it was created the program in a pictorial form as is represented in Fig. 4. Block diagram contains the graphical source code that defines the functionality of the VI (Virtual Instrument). Objects from GUI are resulted terminals of block diagram. The connector panel receives data at its input terminals and passes the data to the block diagram code through the front panel controls and receives the results at its output terminals from the front panel indicators [7].

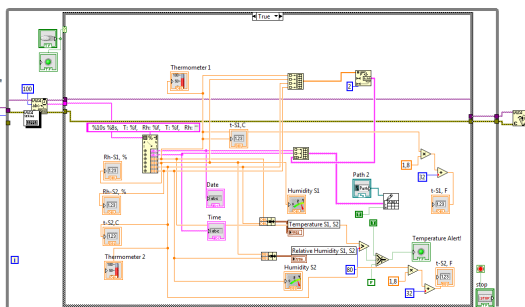


Fig. 4. Graphical code in LabVIEW

Sensor for outdoor measurements is placed in box to prevent direct Sunlight and wind influence on the accuracy of measurements as shown in Fig. 5.



Fig. 5. Outdoor sensor installation

A hardware outcome of complete indoor equipment of the system is shown in Fig. 6.



Fig. 6. Hardware outcome of device for indoor and outdoor temperature and relative humidity monitoring

System described in this paper also can be used as standalone device without connection with LabVIEW application. In both cases, device can be used in two modes for data collecting: continuous and manual. In continuous mode, the device collects data from sensor automatically with defined sampling time and stores it on micro SD card. In manual mode, the user has an option to manually choose the moment of recording the results. More details about implemented options can be found in [26], where results of comparison with commercial temperature and relative humidity data logger are presented.

3. EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION

As reliability test of redesigned system, during about 8 hours indoor and outdoor temperature and relative humidity were monitored and stored in file on micro SD card as presented in Fig. 7. Curves of temperature and relative humidity changes are presented in Fig. 8 and Fig. 9.

DATE	TIME	HUMIDITY 1 [%]	TEMPERATURE 1 [°C]	HUMIDITY 2 [%]	TEMPERATURE 2 [°C]
30-04-14	08:08:08	52.26999	22.85999	52.55999	22.53999
30-04-14	08:08:10	52.16999	22.85999	52.52999	22.46999
30-04-14	08:08:12	51.94999	22.84999	52.55999	22.50999
30-04-14	08:08:14	51.72999	22.85999	52.55999	22.45999
30-04-14	08:08:16	51.49999	22.87999	52.64999	22.37999
30-04-14	08:08:18	51.31999	22.86999	52.74999	22.35999
30-04-14	08:08:20	51.15999	22.87999	52.83999	22.30999
30-04-14	08:08:22	51.01999	22.88999	52.92999	22.27999
30-04-14	08:08:24	50.89999	22.89999	53.03999	22.16999
30-04-14	08:08:26	50.79999	22.89999	53.18999	22.08999
30-04-14	08:08:29	50.70999	22.90999	53.37999	22.07999
30-04-14	08:08:31	50.60999	22.92999	53.52999	22.02999
30-04-14	08:08:33	50.51999	22.91999	53.59999	21.99999
30-04-14	08:08:35	50.44999	22.92999	53.69999	21.95999

Fig. 7. Example of created report

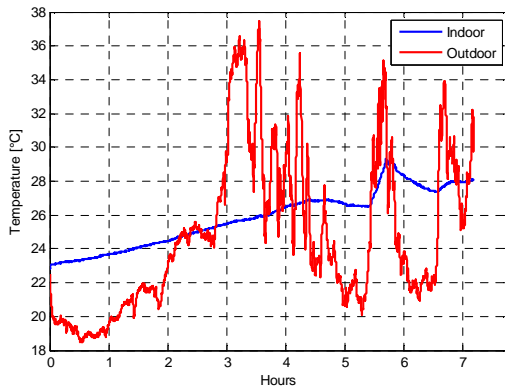


Fig. 8 Curves of indoor and outdoor temperature changes

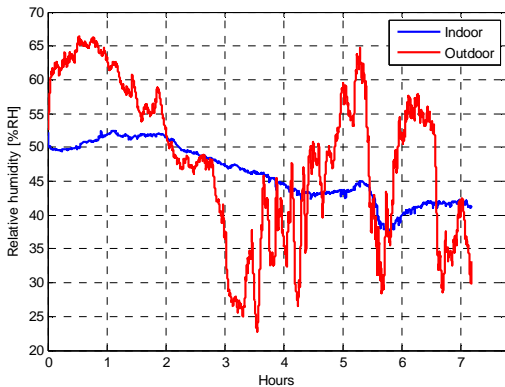


Fig. 9 Curves of indoor and outdoor relative humidity changes

As may be noticed, even outdoor sensor was protected with box, there are strong fluctuations in temperature and relative humidity which are consequence of wind and position of sensor (about 30 m above ground). For more stable measurements special design of protected box has to be used.

4. CONCLUSION

The main contribution in the current study was to provide LabView application to the previously developed system for measuring and data acquisition of air temperature and relative humidity. That accomplishment provides online graphical presentation of measured values. A remote user only requires a common PC to carry out reading from sensors.

The future plans of this work are to improve the functionalities of measuring system with adding new hardware and software features.

Software expansion can be done such as a global positioning system (GPS) receiver. His purpose is to provide location information for the reading units in case that system is based on more than one unit for indoor and outdoor temperature and relative humidity monitoring in wide areas.

Various types of sensors (pressure, different gas sensors, etc.) can be attached to the Control Board via appropriate transducer circuit to ensure more information about environment parameters and indoor/outdoor air quality.

5. ACKNOWLEDGMENT

This work was financially supported by European Commission in the framework of the FP7 project SENSEIVER, grant number 289481.

6. REFERENCES

- [1] Thermal Comfort in Offices and Retail Outlets, www.worksafesask.ca, (last accessed on 17th April 2014)
- [2] M. Omid, A. Shafaei, "Temperature and relative humidity changes inside greenhouse", *Int. Agrophysics*, Vol. 19, pp. 153-158, 2005.
- [3] B. Reppo, E. Mikson, "Relation Between The Indoor and Outdoor Climate In Uninsulated Cowsheds", Estonian University of Life Sciences
- [4] A. Rudd, H. I. Henderson, "Monitored Indoor Moisture and Temperature Conditions in Humid-Climatic US Residences", *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*, Volume 113, Part 1.
- [5] M. Simic, "Microcontroller Based System for Measuring and Data Acquisition of Air Relative Humidity and Temperature", 37th International Conference of IMAPS-CPMT Poland, Krakow, 22-25 September 2013.
- [6] SHT11, Datasheet, Available on www.sensirion.com
- [7] LabView User Manual 2000, Available on www.ni.com

Authors: Mitar Simić, NORTH Point Ltd., Trg Cara Jovana Nenada 15/8, 24000 Subotica, Serbia, Tel: +381 64 444 2997.

E-mail: mitarsimic@yahoo.com

Sireteanu Mariana, Department of Electrical Measurements and Materials, Technical University "Gheorghe Asachi" of Iasi, Romania.

E-mail: sireteanu.mariana@gmail.com

NANO METROLOGY IN BIOMEDICAL ENGINEERING

Abstract: *The science of measurement at the nanoscale is called Nanometrology. Biomedical Engineering draws upon a number of key multidisciplinary strengths across Engineering and the Environment, related to the diagnosis, treatment and or monitoring of human disease. The importance of computer-aided measurement techniques as a means of controlling industrial manufacturing and testing technical products with high accuracy increases ever more with the general goal of improving the quality of all kinds of products. In this paper, review has been taken about development and recent progress in instruments used in biological and medical sciences for nanometrology.*

Key words: *nanometrology, nanomaterials, biomedicine.*

1. INTRODUCTION

Nanotechnologies, however defined, cannot progress independently without progress of Nanometrology. The instruments for making such measurements are many and varied.

To trap viruses, bacteria, living cells, repairing bones, implant of soft tissues, artificial tooth development and cavity repair are important biomedical application areas of nanotechnology where the greater control on nanoscale is required (Figure 1).

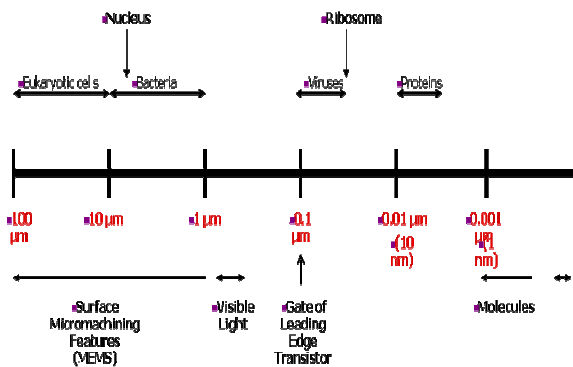


Fig.1. Nanoscale in biomedicine

The properties of materials can be different at the nanoscale for the main reason that nanomaterials have a relatively larger surface area when compared to the same mass of material produced in a larger form. This can makes the materials to react more effectively with other molecules like antigen and in some cases materials that are inert in their larger form are reactive when produced in their nanoscale form and affect their strength or electrical properties [1].

The needs for measurement and testing that may be derived from the foreseen developments in

nanotechnology are substantial and wide range. Prosperous industrial sectors are Precision Engineering, Micro- & optoelectronics, as well as Bio-molecular technology [2]. The measurement techniques used for macro systems cannot be directly used for measurement of parameters in nanosystems.

2. MEASUREMENT TECHNIQUES

The past 20 years have seen increasing importance of computer-aided production metrology as a means to control industrial manufacturing, to test technical products with high accuracy and to improve the quality of all kinds of products. Therefore, a sophisticated measurement technique must be considered as a very crucial requirement for the production of industrial goods of controlled and optimized quality. This fact played an important role in the improvement of the quality of industrial products. As a result of the remarkable progress in the development of new hardware and software concepts, almost every measuring task can be accomplished without unnecessary delay and high cost.

Figure 2 shows a nonconventional example that coordinate metrology is an up-to-date measuring method for complex dimensional and geometrical measuring problems.

Applications also include confinement and organization for cell sorting, cell manipulations, tracking of movement of bacteria, sperms, red cells etc., application and measurement of small forces. Similarly repairing bones, implant of soft tissues, artificial tooth development, and cavity repair are important medical applications of nanotechnology where the greater control on nanoscale is required.

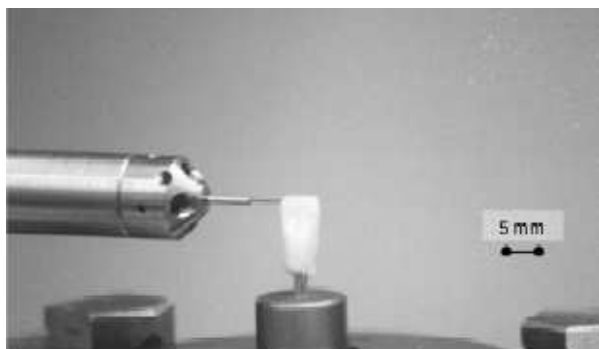


Fig. 2. Measuring of the artificial tooth

Atomic force microscopy (AFM), (Figure 3), is gaining recognition as a powerful tool for life science researchers wanting nanoscale imaging and manipulation to study cells, molecules, and forces.

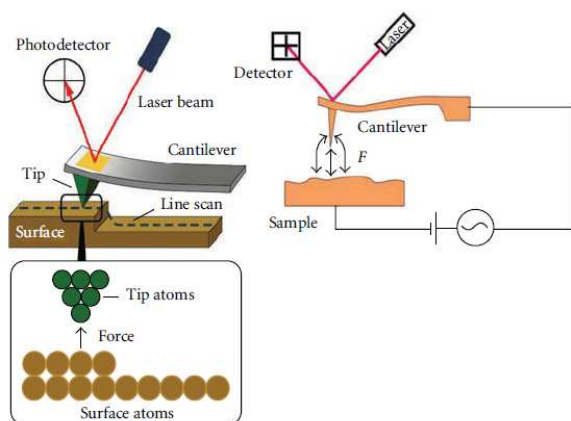


Fig. 3. General principle of AFM.3

The human tooth has two main calcified parts with quite different mechanical properties. The enamel is hard and brittle, while the dentin is tough, and can absorb and distribute stress. Enamel and dentin meet at the dentino-enamel junction (DEJ). Figure 4 shows that the structure into which Hydroxyapatite grows on the FAP islands in the laboratory experiment, at pH = 8, is similar to the structure it has in natural dental enamel; it grows into separate, parallel crystals of nanometerscale-diameter that do not fuse.

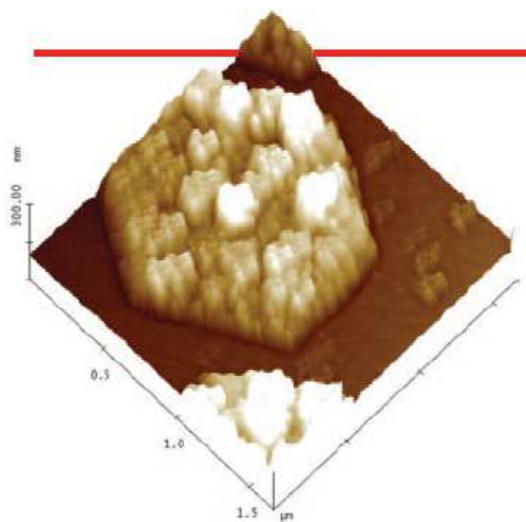


Fig. 4. In the presence of amelogenin, at pH=8, hydroxyapatite grows into a structure that is similar to that in dental enamel

This application note illustrates how the AFM has become an indispensable tool for research on the structure and function of various agents involved in the natural and artificial growth of dental amel. The tooth, however, is not the only subject in biology and life science research where the AFM is playing a key role. The subject list is fast growing, and so are the AFM options designed to address the items on that list.

After the first AFM images of biological structures were obtained, it was soon realized that a crucial factor for successful imaging is the specimen preparation. The first issue is to select an appropriate substrate. Indeed, to observe biological structures in their native state, these must be well attached to a smooth solid substrate to resist the lateral forces exerted by the scanning tip. Several approaches may be used for preparing biomolecules for AFM in air. A simple immobilization procedure consists of depositing a drop of an aqueous solution containing the macromolecule of interest on the substrate, and then allowing the drop to evaporate or blowing the sample dry in nitrogen. Alternatively, the substrate can be immersed in the solution to allow adsorption of the biomolecules for a given period of time, rinsed and then air-dried. Finally, the molecules can also be sprayed with an aqueous solution, or in the presence of glycerol, onto the substrate.

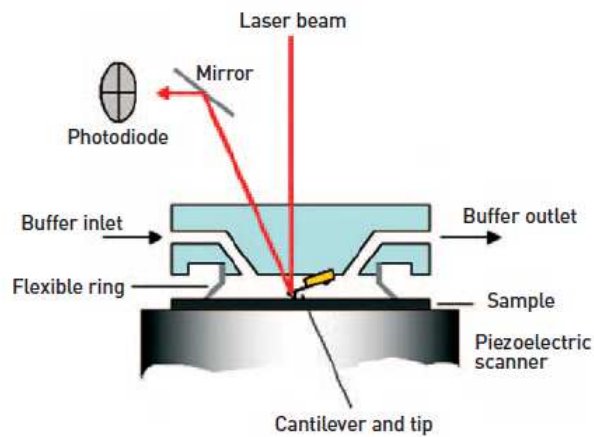


Fig. 5. Cross section schematic of the AFM fluid cell setup

DNA alone or in association with proteins has been deposited using these protocols, and then imaged.

The high resolution imaging capabilities of AFM in fluid environments make it an ideal technique for studying the structure of live cells (Figure 6).

Direct observation by AFM of the rearrangement of the cytoskeleton can provide insights into the dynamics of cellular processes such as migration and cell division.

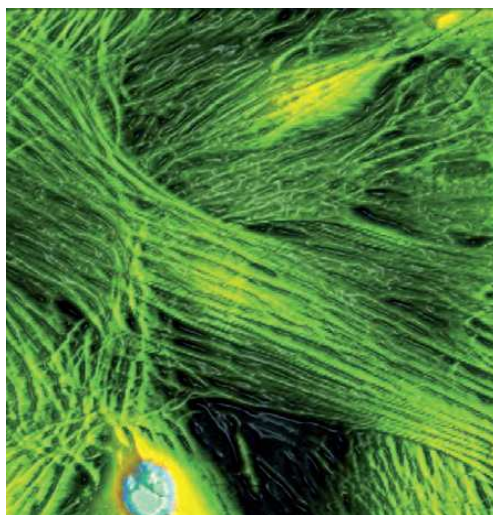


Fig. 6. The high resolution imaging capabilities of AFM, in fluid environments, of live cells

3D-CT Technique. One of the new developed concepts in the last years is the computed tomography (CT) metrology using X-rays. computed tomography (CT) metrology is a technology to measure both internal and external geometries simultaneously in a great variety of parts.

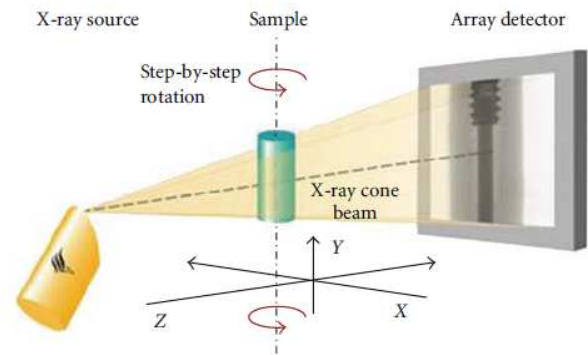


Fig. 7. Principle operation of CT technique

In new study, the advanced computed tomography CT reconstruction technique for measuring an instantaneous 3D distribution of chemiluminescence of a turbulent premixed flame has been accomplished for a turbulent propane-air rich premixed flame.

These displays help us to recognize the detail and total shape of objective flame. It can be clearly seen that the CT technique is able to clearly distinguish between the dental bone extracted from the two different sockets [4]. The socket with the bioscaffold had natural bone with the osteocytes. sample grafted shows greater presence of soft tissues in Figure 8.



Fig. 8. Micro-CT 3D render image of bioscaffold regenerated bone sample [4]

MEMS/NEMS (Micro/Nano Electro-Mechanical Systems) are part of biotechnology instrumentation. Unlike conventional integrated circuits, these devices can have many functions, including sensing, communication, and actuation. Just like microelectronics, MEMS/NEMS technology will permeate our everyday lives in the coming decades. The specific experience in this area allows to achieve excellent practical results especially when machining hard materials where

ultraprecision turning may be used as an alternative to fine grinding [5].

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

3. CONCLUSIONS

Nanometrology is a rapidly expanding field in which researchers are establishing standard measurements, methods and even terminology for nanoscale phenomena.

The AFM's ability to image surfaces with nanometer scale resolution in 3 dimensions, together with the option to image in liquids at different pH levels, make the instrument a useful tool for *ex-situ* investigation of physiological processes, such as tooth growth.

The advanced nanomeasuring techniques are very important in the surface metrology for understanding the properties of the objects quality, design purposes, diagnostics, and high throughput screening.

4. REFERENCES

[1] E. T. den Braber, H. V. Jansen, M. J. de Boer, H. J. E. Croes, M. Elwenspoek, L. A. Ginsel, J. A. Jansen, 'Scanning electron microscopic, transmission electron microscopic, and confocal laser scanning microscopic observation of fibroblasts cultured on micro

grooved surfaces of bulk titanium substrata', John Wiley & Sons, Inc., 1998

[2] Carneiro K., The need for measurement and testing in nanotechnology, High Level Expert Group on Measurement and Testing Under the European Framework , 2002.

[3] The principles of Atomic Force Microscopy (AFM), <https://www.uclan.ac.uk/schools/computing/engineering/physical/jost/files/AFM>

[4] R. Gunaseelan, V. Prabhu, B. Praveen et al., "Evaluation of bone quality in dental socket with two different approaches for ridge preservation using grey scale imaging and Novel Micro CT," Dental Asia, pp. 22–27, 2010.

[5] B. Škorić, R. Schrittwieser, A. Cavaleiro, Nanoscale dimensional metrology and physical characterization, Journal of Production Engineering., p.p. 65-69, 2014

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

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

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

Brajlih, T., Kostevšek, U., Zupančič, H. T., Paulič, M., Irgolič, T., Balič, J., M. Hadžistević, Drstvenšek, I.

COMPARISON OF MANUFACTURING TECHNOLOGIES OF FIXED STRUCTURES IN PROSTHETIC DENTISTRY

Abstract: Fixed structures in prosthetic dentistry are highly customized products, individually manufactured for patients that are missing teeth. When choosing the technology for fixed dental structure manufacturing, three viable options are available (precise casting, milling, selective laser melting). Fixed structure performs a holding and positioning function for a tooth prosthetics that have nutrition as well as an aesthetic function. The choice of dental structure's manufacturing technology is influenced by structures' material and economical efficiency. The choice of material is influenced by current market trends and knowledge about chemical (non-) compliance of several widely used metal alloys. Results presented in this work, show some technological as well as time-efficiency advantages of selective laser melting (SLM) technology in the field of manufacturing metal dental structures

Key words: Casting, CNC milling, Additive manufacturing, Prosthetic dentistry.

1. INTRODUCTION

Teeth have an important role in mechanical phase of food digestion. Due to various causes (caries, illness, injuries...) losses of teeth can occur. With each missing tooth the capability of proper chewing is significantly reduced. Missing teeth can be replaced by fixed prosthetic replacements that consist of fixed (usually metal) dental structure and ceramic coating (Fig. 1).

The oldest and most common manufacturing procedure for fixed dental structures is investment casting. Due to large amounts of manual labour required in this procedure the quality of end product depends largely on skills and experience of dental technician. With development of three-dimensional scanning, computer aided design, CNC machining and additive manufacturing some manual phases of manufacturing can be replaced by dedicated computer software and computer controlled machines. The goal of this paper is to examine different possibilities of manufacturing fixed dental structures. An individual case study is also used for manufacturing time analysis.

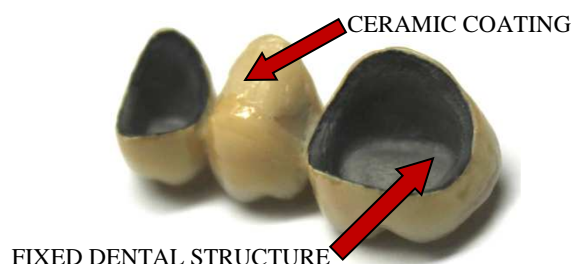


Fig. 1. Fixed prosthetic replacement

2. INVESTMENT CASTING

Manufacturing of dental structures begins by taking a negative mould of patient's jaw that is later used to produce a plaster model. In investment casting procedure, this model is used by dental technician to manually model the construction's wax pattern. Also, the casting system with channels and feeders is designed in wax (Fig. 2). This pattern is then removed from the plaster model and poured over by embedding mass to produce a mould that is later used for metal casting. Most often cobalt-chrome or gold-based dental alloys are used.

The quality of design and proper casting depend largely on complexity of individual case and experience and manual skill of dental technician. Therefore, the successful casting and proper product geometry cannot be guaranteed and if any errors occur, all work-time spend from wax pattern design to casting is lost.

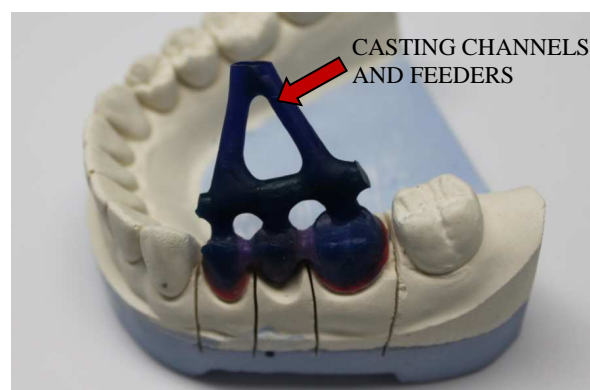


Fig. 2. Wax structure model with channels on plaster model

3. OPTICAL SCANNING

One of the main advantages of optical scanning is an ability to quickly transform complex physical geometry into accurate three-dimensional computer model [1]. In fixed dental structure production, optical scanning is used to import the geometry of plaster model into dedicated computer software. The plaster model that would otherwise be used for wax modelling can be used, but additional preparation can be required in order to achieve proper feature recognition functionality inside computer software (Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5).



Fig. 3. Additional preparation of plaster model for optical scanning

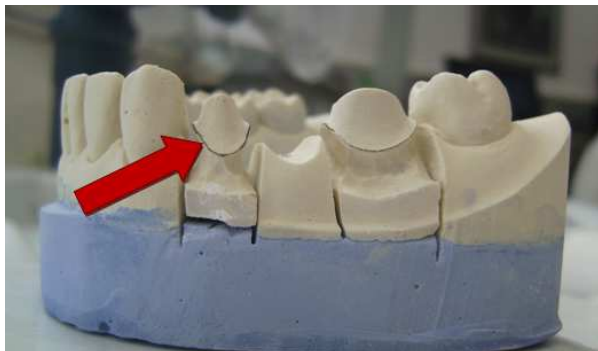


Fig. 4. Results of additional preparation of plaster



Fig. 5. Displayed scanned plaster

Currently, there is also a lot of research into possibilities of intra-oral three-dimensional scanning. This method would make a production

of plaster model unnecessary and avoid possible inaccuracies that can occur during this phase.

4. COMPUTER AIDED DESIGN AND MANUFACTURING

Regardless of what kind of scanning method is used, a three dimensional computer model of actual patient's jaw and teeth configuration is later used to model the dental construction in virtual environment of computer aided design software. This is usually dedicated dental design software, with large standard part library and automatic element and fixture creation. Because this kind of software is usually used by dental technicians some also include design functionality that is similar to manual wax modelling.

Finished dental construction CAD model is later used in manufacturing process. Two main possibilities are CNC milling or selective laser melting.

5. CNC MILLING

Milling is one of the most important manufacturing procedures by material removal. With development of CNC controlled machines complex geometry machining became possible. Writing a NC program that controls the machine is a necessary manufacturing step in CNC machining. This is usually done by computer aided manufacturing software (Fig. 6). In dedicated dental software NC programming phase is usually automatic and hidden from user. This is possible due to a significant shape similarity between customized dental constructions that can always be manufactured by the same milling strategy [2].

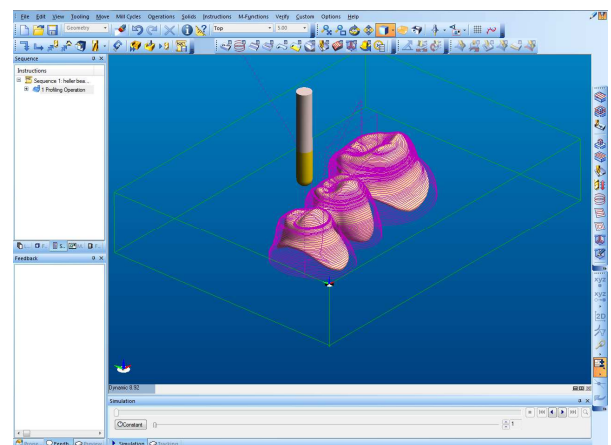


Fig. 6. Computer aided NC programming

Milling of dental structures is done by dedicated CNC milling machines. Tools used are often of smaller diameters, therefore the

machine's spindle must enable higher rpm ranges. These machines are also equipped with clamping systems designed for holding standardized dental material blocks. Tool-changes during manufacturing are automatic and predefined in NC program. One of the main advantages of milling dental structures is a possibility of machining ceramic material.

6. SELECTIVE LASER MELTING

Selective laser melting is additive manufacturing technology. It is based on shaping a three-dimensional object from powder material by laser or electronic beam. Manufacturing is done by layers of less the 0,1 mm thickness. Programming the machine is based on slicing the three-dimensional model in layers and setting the laser parameters for machining (Fig. 7).

Machining is usually done inside an inert gas atmosphere; therefore selective laser melting is very suitable for manufacturing dental constructions from titanium alloys [3].

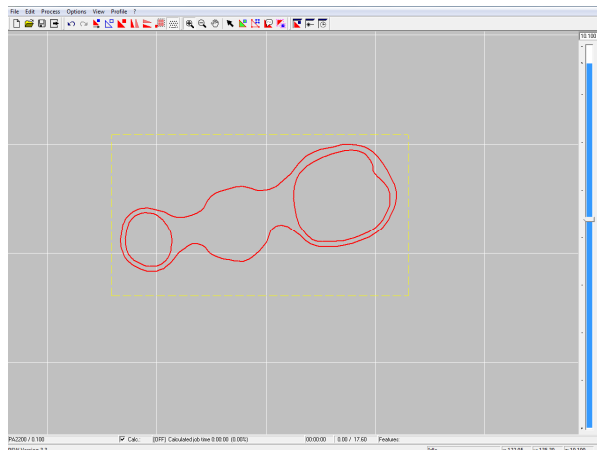


Fig. 7. Sliced three-dimensional model in layers positioned on work tray

7. POST-PROCESSING AND CERAMIC COATING

Regardless how a fixed dental construction is manufactured, some form of post-processing before ceramic coating is necessary. When casting is used, the casting channels in feeders have to be cut away (Fig.8). When milling, finished construction has to be removed from the rest of the material blank (Fig. 9). With selective laser melting, a support structure has to be removed (Fig. 10). Also in each case, grinding of the construction surface and sandblasting is necessary [4].

Ceramic coating is usually done in three layers. After each layer a construction has to be heated up and cooled down.



Fig. 8. Casting made construction with casting channels and feeders

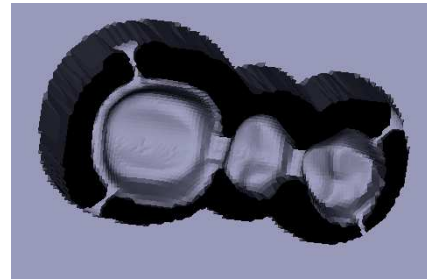


Fig. 9. Milling made construction with rest of the material blank



Fig. 10. SLM made construction with support structure

8. COMPARISON

Comparison is based on 3-part case study, already presented on previous figures. This dental construction was made with each presented methodology and time analysis and fitting test was carried out.

9. TIME ANALYSIS

Time analysis is based on measuring the time required for each individual phase of production. Some phases of production are common regardless of methodology selected. The following chart (Fig. 11) presents the workflow of production and phases required for each methodology. Estimated time requirements for each phase for presented 3-part case study are also presented. Required time estimation is especially problematic for phases that include manual labour, due to be somewhat dependant on experience and skill of the technician.

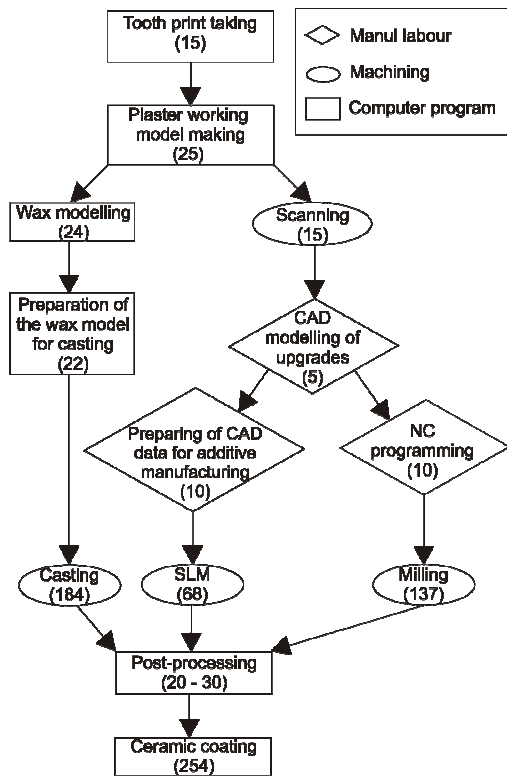


Fig. 11. The workflow of production and phases required for each methodology

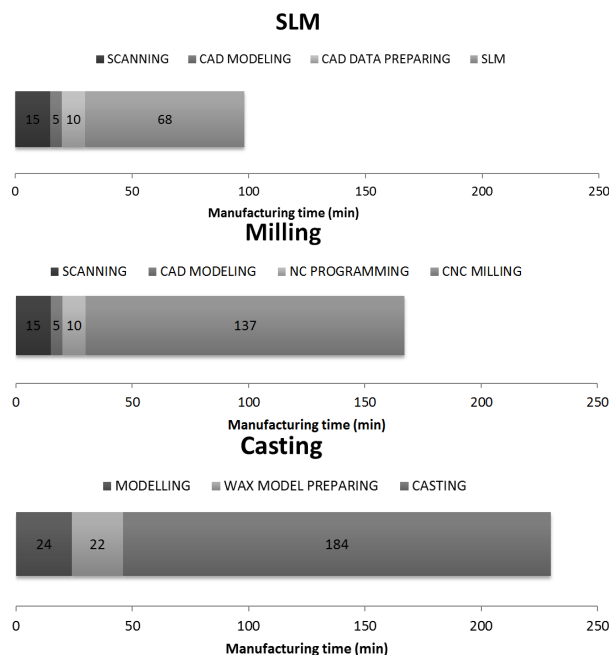


Fig. 12. Time duration for different methods

Because initial and final phases of dental replacement production are the same for each methodology, the following charts present the time requirements for intermediate phases that differ between methodologies.

Diagrams clearly show the difference between manufacturing times of each methodology. Absolute time differences are valid only for presented case study but the ratios can be generalized for optional case.

10. CONCLUSION

Investment casting is most commonly used technology despite the longer manufacturing times. This is mainly due to the long history of using casting in dentistry and consequentially a large availability of required equipment in dental laboratories.

Milling is also well established technology especially due to a possibility of producing ceramic dental constructions.

Selective laser melting is a rather new technology in the dentistry field. Research presented in this paper clearly shows the advantages of using this technology in terms of manufacturing time consumption. That is way a number of SLM machine variants specially build for dental applications is constantly increasing.

11. REFERENCES

- [1] Brajliah, T., Tasič, T., Drstvenšek, I., Valentan, B., Hadžistevič, M., Pogačar, V., Balič, J., Ačko, B.: *Possibilities of using three-dimensional optical scanning in complex geometrical inspection*, Journal of mechanical engineering, 57, p.p. 826-833, Nov. 2011.
- [2] Klančnik, S., Balič, J., Čuš, F.: *Intelligent prediction of milling strategy using neural networks*, Control and Cybernetics, 39, p.p. 9-22, Sept. 2010.
- [3] Zupančič, H. T., Sajko, G., Vuličević, Z. R., Anžel, I., Drstvenšek, I.: *Dodajalne tehnologije - tehnologije prihodnosti tudi v stomatologiji in medicini*, Glasilo Zdravniške zbornice Slovenije, 20, p.p. 65-67, Dec 2011.
- [4] Šafner, J., Kostevšek, U., Kadivnik, Ž., Brajliah, T., Drstvenšek, I.: *Ugotavljanje hrapavosti površin po peskanju*, Orodjarstvo 2008, p.p. 149-153, Portorož, GZS, LJ, Oct. 2008.

Authors: Prof. Dr. Igor Drstvensek, Prof. Dr. Joze Balic, Dr. Tomaz Brajliah, B.Sc. Zupančič Hartner Tjaša, M.Sc. Urska Kostevsek, B.Sc. Matej Paulic, B.Sc. Tomaz Irgolic, University of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering, Institute for Production Engineering, Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenia, Phone.: +386 2 220 7596, Fax: +386 2 220 7996.

E-mail: igor.drstvensek@um.si

joze.balic@um.si

tomaz.brajliah@um.si

urska.kostevsek@gmail.com

matej.paulic@um.si

tomaz.irgolic@um.si

tjasa@ortotip.com

miodrags@uns.ac.rs

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

ISPITIVANJE MEHANIČKIH OSOBINA
STOMATOLOŠKIH NANOKOMPOZITA NA BAZI POLIMERNIH SMOLA

Rezime: Poznavanje svojstava stomatoloških materijala je od velikog značaja, jer omogućuje pravilan izbor materijala u okvirima različitih kliničkih indikacija. Podvrgavanje ovih materijala testovima radi utvrđivanja mehaničkih svojstava omogućuje prikupljanje informacija koje upotpunjuju znanje i olakšavaju odabir materijala u praksi. Nanokompoziti su najčešće primenjivani nanomaterijali u stomatološkoj praksi. Očekuje se da ti materijali imaju bolje mehaničke osobine usled prisustva nanočestica specifičnih osobina. Cilj sprovedene studije je bilo određivanje mehaničkih osobina savremenih stomatoloških nanokompozitnih materijala na bazi polimernih smola.

Ključne reči: Mehaničke osobine, nano kompozitni stomatološki materijali

1. UVOD

Doktor stomatologije treba da bude upoznat sa inženjerskim aspektima stomatoloških materijala da bi bio u mogućnosti da pravilno izabere odgovarajući materijal za svaku kliničku indikaciju [1,2]. Mehaničke osobine stomatoloških materijala su esencijalne osobine materijala koje mogu uticati na uspeh sprovedene terapije [3].

Moderni stomatološki tretmani produžavaju vek trajanja zuba, uzrokujući sve češću potrebu za kvalitetnim dugoročno otpornim materijalima i stabilnim terapijskim rezultatima. Značajan istraživački napor je uložen u ispitivanje i poboljšanje ukupnih svojstava stomatoloških materijala, uključujući i njihove mehaničke osobine.

Stomatološki materijali treba da imaju dovoljnu mehaničku otpornost kako bi izdržali statičko i dinamičko opterećenje koje se javlja prilikom žvakanja [4]. Ovi materijali treba da istraju u dužem vremenskom periodu u kompleksnim uslovima oralnog okruženja [5, 6].

Najčešće korišteni materijali u restaurativnoj stomatologiji su kompozitni materijali na bazi polimera [7]. Ovi materijali imaju najpribližnije estetske karakteristike kao i prirodan zub i sastoje se od organskog matriksa, neorganskih punioca i vezujućeg sredstva (silana) između ove dve komponente [8, 9]. Stomatološki materijali su svetlosno-polimerizujući materijali čija polimerizacija počinje kada se materijal izloži odgovarajućem izvoru svetla vidljivog dela spektra [8, 9]. Kompozitni materijali mogu biti klasifikovani prema različitim kriterijumima. Jedan od najčešće korišćenih kriterijuma je veličina čestica neorganskog punioca. Prema tom kriterijumu, stomatološki materijali se mogu

odeliti na: mikropunjene, mikrohibridne, nanopunjene i nanohibridne materijale [10].

Uticao sastava kompozitnih materijala na njihova mehanička svojstva je dobro poznat fenomen. Savremeni stomatološki nanokompozitni materijali su proizvedeni kako bi se neutralisale slabosti prethodno korišćenih materijala, i kako bi im se poboljšale ukupne karakteristike [8, 9]. Nanočestice imaju jedinstvena fizičko-hemijska svojstva, i veliku površinsku reaktivnost zbog koje imaju sposobnost da ojačaju osnovni materijal u koji su dodate [11, 12]. Dalje, veći udeo neorganskog punjenja smanjuje udeo organskog matriksa odgovornog za negativne karakteristike materijala, kao što su: značajna kontrakcija pri polimerizaciji, visok koeficijent termičke ekspanzije i kontrakcije, upijanje vode i rastvorljivost, niska mehanička otpornost, loša otpornost na habanje itd. [8,11,13,14,15,16]. Generalno, povećanjem količine neorganskog punioca povećava se kvalitet kompozitnog materijala. Prema De Souza i saradnicima, najčešći uzrok propadanja stomatoloških kompozitnih materijala u funkciji vremena u oralnim uslovima je polimerizaciona kontrakcija. Drugi razlog je niska mehanička otpornost [3].

Savremeni stomatološki nanokompozitni materijali na bazi smola se dele u dve glavne grupe: nanohibridne i nanopunjene materijale [19]. Nanohibridni kompoziti sadrže čestice različitih dimenzija, neke mikrometarskih, a neke nanometarskih dimenzija (npr. čestice prečnika 2 µm pomešane sa česticama prečnika 50 nm). Nanopunjeni kompoziti sadrže čestice ujednačenijih dimenzija, i to sve ispod „nano“ limita ograničenog na 100 nm (npr. kombinacija čestica prečnika 75 nm sa česticama prečnika od

5-25 nm) [8,10,15]. Od stomatoloških nanokompozita se očekuje da imaju odlične estetske karakteristike, ali i dobru mehaničku čvrstoću, bar približnu, ako ne i veću, nego mikrohibridni kompoziti, koji se preporučuju za rekonstrukciju bočnih zuba [18].

Cilj ovog rada je određivanje mehaničkih svojstava savremenih stomatoloških nanokompozitnih materijala na bazi smola i poređenje tih osobina sa osobinama univerzalnog mikrohibridnog kompozita.

2. MATERIJALI I METODE

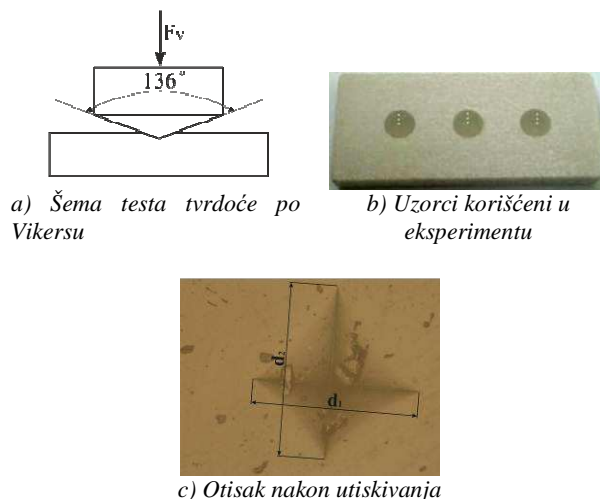
Za ispitivanja prikazana u ovom radu su se koristila tri reprezentativna kompozitna materijala: Filtek Ultimate Translucent (FUT), Tetric EvoCeram (TEC) i Filtek Z250 (FZ250).

Za izradu uzoraka koristili su se kalupi proizvedeni primenom tehnologije brze izrade prototipova. Dimenzije uzoraka su bile $\phi 4 \times 4 \text{ mm}$ za test sabijanja, $\phi 5 \times 2 \text{ mm}$ za test poprečnog sabijanja i $\phi 4 \times 2 \text{ mm}$ za test tvrdoće prema Vikersu. Princip izrade uzoraka bio je sledeći: kalupi ispunjeni određenim stomatološkim materijalom postavljeni su između dva mikroskopska stakla i svetlosno-polimerizovani sa gornje strane svetlom iz SmartLite® IQTM 2 LED svetlosnog izvora, u trajanju od 40 sekundi.

Nakon izrade uzoraka izvedena su eksperimentalna istraživanja. Za eksperiment aksijalnog i poprečnog sabijanja je korišćena mehanička presa, nominalne sile 50kN. Za praćenja promene sile u zavisnosti od hoda primenjeni su davač sile, davač hoda i univerzalni pojačivač Spider8. Eksperimentalna istraživanja su izvedena u Laboratoriji za materijale na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu.

Za ispitivanje tvrdoće korišćen je uređaj za ispitivanje tvrdoće prema Vikersu. Na slici 1a je prikazana šema procesa. Tvrdoća je merena sa obe strane uzorka, a kao utiskivač je korišćena dijamantska piramida sa uglom vrha od 136° . Sila utiskivanja F_v u trajanju od 30 sekundi je iznosila 98,1N. Test je sproveden na po tri uzorka za svaki testirani materijal. Radi lakšeg pozicioniranja na mašini, uzorci su ostavljeni u kalupima (slika 2b). Na svakom uzorku je izvršeno 6 merenja (po 3 sa obe strane uzorka). Nakon utiskivanja, merene su dužine dijagonala otiska (d_1 i d_2) (slika 1c), a vrednosti su uvrštene u izraz za izračunavanje tvrdoće po Vikersu:

$$HV = 0,1891 \cdot \frac{F_v}{\left(\frac{d_1 + d_2}{2}\right)^2} \quad (1)$$



Sl. 1. Test tvrdoće po Vikersu

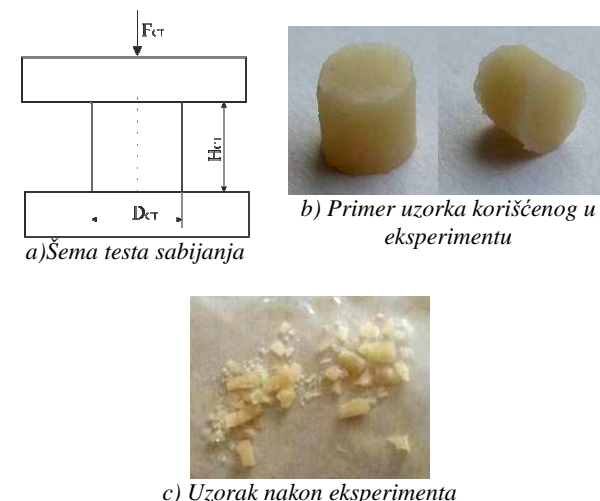
Za test sabijanja izvedenog prema slici 2a su korišćena tri uzorka početnih dimenzija $\phi 4 \times 4 \text{ mm}$. Slika 2b prikazuje uzorak pre, a slika 2c uzorak nakon izvršenog eksperimenta. Uzorci su sabijani ravnim alatima, pri brzini prese od 10mm/min, bez podmazivanja. Proces je trajao do razaranja uzorka, a pritisna čvrstoća p je računata prema:

$$p = \frac{F_{CT}}{A^2} = \frac{4 \cdot F_{CT}}{D_{CT}^2 \cdot \pi} \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right] \quad (2)$$

Gde je:

F_{CT} – sila na kraju procesa [N]

D_{CT} – Prečnik uzorka [mm]



Sl. 2. Test sabijanja

Test poprečnog sabijanja (diametral tensile test – DTS) je često primenjivan metod za ispitivanje zatezne čvrstoće krutih materijala, jer su ovim testom isključene neke poteškoće koje se javljaju kod standardnog testa zatezanja [20]. Test poprečnog sabijanja je izveden prema slici 3a a korišćena su tri uzorka (slika 3b). Uzorci su sabijani u pravcu koji je normalan na aksijalnu osu

uzorka čime je omogućeno stvaranje zateznih napona unutar uzorka. Test je izvršen bez podmazivanja, a brzina kretanja alata je iznosila 10mm/min. Proces je trajao do razaranja uzorka (slika 3c), a čvrstoća (DTS) je računata prema:

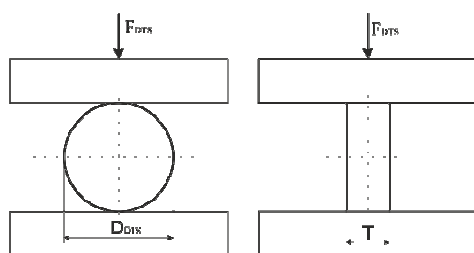
$$DTS = \frac{2 \cdot F_{DTS}}{D_{DTS} \cdot \pi \cdot T} \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad (3)$$

Gde je:

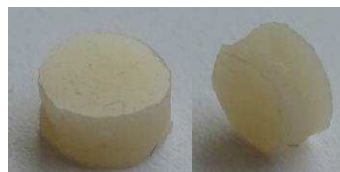
F_{DTS} – Sila na kraju procesa [N]

D_{DTS} – Prečnik uzorka [mm]

T – debljina (visina) uzorka [mm]



a) Šema testa poprečnog sabijanja



b) Primer uzorka korišćenog u eksperimentu

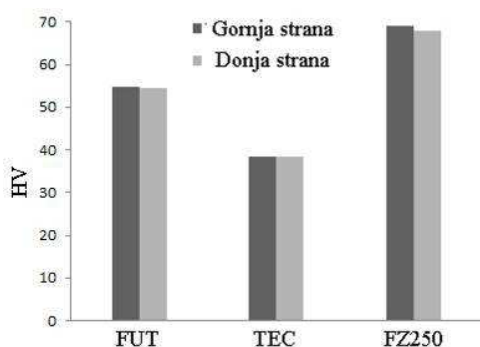


c) Uzorak nakon eksperimenta

Sl. 3. Test poprečnog sabijanja

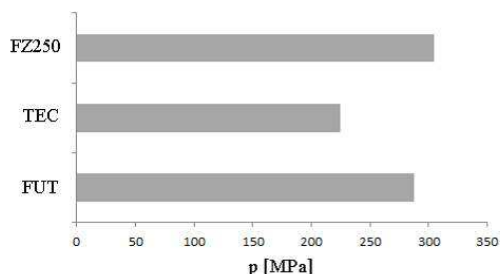
3. REZULTATI

Analizom rezultata moguće je zaključiti da je najveću tvrdoću imao mikrohibridni materijal FZ250 dok je najniža tvrdoća zabeležena kod nanhibridnog materijala Tetric EvoCeram (TEC), slika 4. Takođe je moguće zaključiti da je razlika u tvrdoći sa gornje i donje strane uzorka, za sva tri ispitivana materijala bila do 1%.

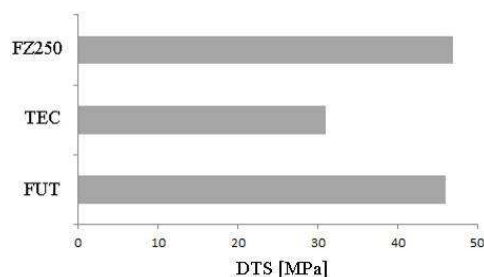


Sl. 4. Vrednosti tvrdoće za ispitivane uzorke

Vrednosti pritisne čvrstoće p i zatezne čvrstoće DTS su prikazane na slikama 5 i 6. Analizom slika 5 i 6 moguće je zaključiti da je najniža vrednost i pritisne i zatezne čvrstoće ostvarena u slučaju ispitivanja materijala Tetric EvoCeram (TEC), dok su pritisne čvrstoće u slučaju ostala dva ispitivana materijala, kao i zatezne čvrstoće, približno jednake.



Sl. 5. Pritisna čvrstoća p



Sl. 6. Zatezna čvrstoća DTS

4. ZAKLJUČAK

Uzimajući u obzir vrednosti sila koje se ostvaruju prilikom žvakanja, sve ostvarene vrednosti čvrstoće testiranih materijala su zadovoljavajuće za kliničku upotrebu. Ipak, jedino dobro izbalansirani kompozitni materijali, koji sadrže samo čestice čije su dimenzije na nanoskali i imaju visok udeo neorganskog punjenja, mogu imati poboljšana mehanička svojstva. U okvirima ograničenja ove studije, nanopunjeni materijal ima vrlo visoke vrednosti mehaničke otpornosti, koje su približne mehaničkoj otpornosti univerzalnog mikrohibridnog kompozita. U pogledu ispitivanih mehaničkih svojstava, nanopunjeni kompozit je značajno superiorniji od nanohibridnog materijala.

6. REFERENCE

- [1] Sakaguchi R., Powers J.: Craig's Restorative Dental Materials, 13th ed., Elsevier, USA, Philadelphia, 2012.
- [2] Nicholson J.W., Czarnecka B.: The clinical repair of teeth using direct filling materials: engineering considerations, P I Mech Eng H, Vol. 220, pp. 635-645, 2006.

- [3] De Souza J.A., Goutianos S., Skovgaard M., Rensen B.F.: Fracture resistance curves and toughening mechanisms in polymer based dental composites, *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, Vol. 4, pp. 558-557, 2011.
- [4] Tanimoto Y., Hirayama S., Yamaguchi M., Nishiwaki T.: Static and dynamic moduli of posterior dental resin composite under compressive loading, *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, Vol.4, pp. 1531-1539, 2011.
- [5] Arola D., Galles L.A., Sarubin M.F.: A comparison of the mechanical behavior of posterior teeth with amalgam and composite MOD restoration. *Journal of Dentistry*, Vol. 29(1), pp. 63-73, 2001.
- [6] Machado N.A., Fonseca R.B., Branco C.A., Barbosa G.A., Fernandes Neto A.J., Soares C.J.: Dental wear caused by association between bruxism and gastroesophageal reflux disease: a rehabilitation report, *Journal of Applied Oral Sciences*, Vol 15(4), pp. 327-333. 2007.
- [7] Sadowsky S.J.: An overview of treatment considerations for aesthetic restorations: a review of the literature, *Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol. 96, pp. 433-442, 2006.
- [8] Chen M.H.: Update of dental nanocomposites, *Journal of Dental Research*, Vol. 89(6), pp. 549-560, 2010.
- [9] Cramer N.B., Stansbury J.W., Bowman C.N.: Recent advances and developments in composite dental restorative materials, *Journal of Dental Research*, Vol. 90(4), pp. 402-416, 2011.
- [10] Ferracane J.: Resin composite - state of art, *Dental Materials*, Vol. 27, pp. 29-38, 2011.
- [11] Gojny F.H., Wichmann M.G.H., Fiedler B., Bauhofer W., Schulte H.: Influence of nanomodification on the mechanical and electrical properties of conventional fibre reinforced composites, *Composites: Part A*, Vol. 36, pp. 1525-1535, 2005.
- [12] Bayne S.C.: Dental biomaterials: Where are we and where are we going?, *Journal of Dental Education*, Vol.69(5), pp.571-585, 2005.
- [13] Khaled, S.M.Z., Miron, R.J., Hamilton, D.W., Charpentier, P.A., Rizkalla, A.S.: Reinforcement of resin based cement with titania nanotubes, *Dental Materials*, Vol. 26, pp. 169-178, 2010.
- [14] Curtis, A.R., Palin, W.M., Fleming, G.J.P., Shortall, A.C.C., Marquis, P.M.: The mechanical properties of nanofilled resin-based composites, *Dental Materials*, Vol. 25, pp. 188-197, 2009.
- [15] Mitra, S.B., Wu, D., Holmes, B.N.: An application of nanotechnology in advanced dental materials, *JADA*, Vol. 134, pp. 1382-1390, 2003.
- [16] Heintze, S.D., Zellweger, G., Zappini, G.: The relationship between physical parameters and wear of dental composites, *Wear*, Vol. 263, pp. 1138-1146, 2007.
- [17] Malhotra N., Mala K., Acharya S.: Resin-based composite as a direct aesthetic restorative material, *Compendium of Continuing Education in Dentistry*, Vol. 32, pp. 14-23, 2011.
- [18] Swift Jr E.J.: Nanocomposites, *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, Vol. 17, pp.3-4, 2005.
- [19] Beun S., Glorieux T., Devaux J., Vreven J., Leloup G.: Characterization of nanofilled compared to universal and microfilled composites, *Dental Materials*, Vol. 23, pp. 51-59, 2007.
- [20] Cho G.C., Kaneko L.M., Donovan T.E., White S.N.: Diametral and Compressive Strength of Dental Core Materials, *Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol. 82(3), pp. 272-276, 1999.

ZAHVALNICA

Ovaj rad predstavlja deo istraživanja ostvarenih u okviru projekta TR 35020, finansiranog od strane Ministarstva za Nauku i Tehnološki Razvoj Republike Srbije.

Autori se zahvaljuju kompaniji 3M (East) AG u Srbiji i distributerima Ivoclar Vivadent dentalnih proizvoda za Srbiju na podršci.

Autori: Dr Tijana Lainović¹, MSc Aljoša Ivanišević², prof. dr Larisa Blažić¹, prof. dr Dragiša Vilotić², prof. dr Katarina Gerić²

¹ Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski Fakultet Novi Sad, Katedra za stomatologiju, Hajduk Veljkova 12, 21000 Novi Sad, Srbija.

² Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija.

E-mail: tijana.lainovic@gmail.com

aljosa@uns.ac.rs

larisa.blazic@gmail.com

vilotic@uns.ac.rs

gerick@uns.ac.rs

Tovilović, T., Đurović-Koprivica, D., Milekić, B.

PRIMENA GIPSEVA U STOMATOLOŠKOJ PROTETICI

Rezime: Izrada fiksnih i mobilnih zubnih nadoknada prolazi kroz niz kliničkih i laboratorijskih faza, među kojima izrada anatomskih, studijskih i radnih modela zauzima značajno mesto. Odabir odgovarajućeg materijala doprinosi uspehu protetske terapije. Dentalni gipsevi odgovaraju na zahteve kao precizni, otporni i dimenziono stabilni materijali. Cilj ovog rada bio je ukazati na parametre koji menjaju fizičke karakteristike dentalnih gipseva.

Ključne reči: radni model, vezivna ekspanzija, čvrstoća na pritisak, radno vreme

1. UVOD

Preciznost izrade indirektnih zubnih nadoknada u mnogome zavisi od preciznosti reprodukcije intraoralnog stanja, tj. zubnog otiska i izlivenog radnog modela na kom će nadoknada biti napravljena. Materijali koji se koriste za izradu radnih modela razlikuju se po hemijskom sastavu i strukturi, i mogu spadati u grupu gipseva, akrilata ili savremenih epoksi smola koje se koriste u stereolitografiji. Zahtevi za njihovu upotrebu definisani su u skladu sa predviđenom funkcijom i obuhvataju: sposobnost finog reprodukovanja detalja sa zubnog otiska, kompatibilnost sa otisnim materijalom, odgovarajuću tvrdoću i čvrstoću, otpornost na abraziju, malu vezivnu ekspanziju, kompaktnost površine, postojanost na visokim temperaturama i odgovarajuće radno vreme. Dimenziona postojanost radnog modela osnovni je preduslov za izradu odgovarajuće zubne nadoknade, čije odstupanje u odnosu na tkiva u ustima treba da bude u definisanim granicama prihvatljivosti, koja za fiksne zubne nadoknade iznosi 120 μm [1].

Gipsevi koji se koriste u stomatološkoj protetici predstavljaju prirodni sedimentacioni mineral kalcijum sulfata sa dva molekula kristalne vode, čiji je tačan hemijski naziv kalcijum sulfat dihidrat, a formula $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ [2]. U komercijalne svrhe pakuju se u obliku kalcijum sulfata poluhidrata, koji se dobija procesom kalcinacije. Postupak obuhvata zagrevanje kalcijum sulfata dihidrata na temperaturu od 110°C do 120°C, kada dolazi do delimičnog uklanjanja kristalne vode. Zavisno od metode kalcinacije, postoje tri tipa gipseva: α poluhidrat, α' - modifikovani poluhidrat i β poluhidrat. Međusobno se razlikuju po veličini kristala, površini i pravilnosti kristalne rešetke [3]. Navedene razlike uslovljavaju količinu vode koju je potrebno dodati kalcijum sulfatu poluhidratu u

cilju prevođenja u kalcijum sulfat dihidrat, a samim tim utiču na fizičke karakteristike gipsa. Reakcija vezivanja gipsa odvija se u nekoliko faza. U inicijalnoj fazi dolazi do rastvaranja kalcijum sulfat poluhidrata i stvaranja zasićenog rastvora. Zatim se reakcija nastavlja agregacijom i percipitacijom kristala kalcijum sulfat dihidrata. Vreme vezivanja gipsa zavisi od uslova rastvaranja kalcijum sulfat poluhidrata, odnosno od brzine i intenziteta mešanja vode i praha, količine i vrste dodatih jedinjenja koja predstavljaju centre kristalizacije, odnosa praha i vode kao i temperature vode [2].

Rasprostranjenost upotrebe gipsa tokom razvoja stomatologije pa sve do današnjeg dana, svedoči o njegovom kvalitetu, kao materijalu, koji je precizan, otporan i dimenziono stabilan. Zbog svojih povoljnih osobina gips još uvek predstavlja referentnu vrednost za ostale materijale u izradi radnih, anatomskih i studijskih modela.

2. MATERIJAL I METOD

Zubni gipsevi se klasifikuju prema ANSI/ADA specifikaciji na [4]:

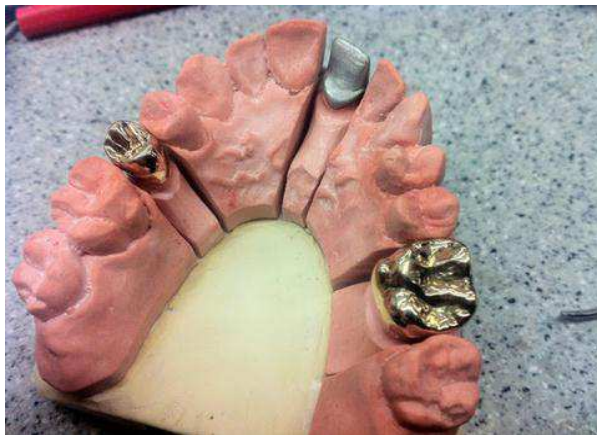
1. Tip I- gips za otiske, u savremenoj stomatološkoj praksi ovaj tip se više ne koristi jer je zamenjen manje rigidnim materijalima kao što su elastomeri i hidrokoloidei.
2. Tip II- alabaster ili tzv. beli gips, preparat β poluhidrata, koristi se za izradu anatomskih i modela za studije, kivetiranje proteza, izradu postolja radnih modela.
3. Tip III- poboljšani tvrdi gips, preparat α poluhidrata, karakteriše ga visoka čvrstoća na pritisak od minimalno 20,7 do 34,5 MPa, što ga čini materijalom izbora za izradu radnih modela za zubne proteze.



Slika 1. Radni modeli gornje vilice

4. Tip IV– preparat α poluhidrata, čija je kristalna struktura poboljšana dodavanjem rastvora kalcijum- ili magnezijum-hlorida, što ga odlikuje izuzetno velikom čvrstoćom na pritisak, zateznom čvrstoćom, malom vezivnom ekspanzijom i otpornošću na abraziju. Navedene prednosti ga čini materijalom izbora za izradu modela zubnih patrljaka.

5. Tip V– gips velike tvrdoće i otpornosti na pritisak, ali i velike vezivne ekspanzije (10 % - 30 %). Koristi se za izradu modela zubnih patrljaka, gde se nadoknada lije od neplemenitih legura.



Slika 2. Radni model sa modelom zubnog patrljka i liveanim krunicama

Poznavanje osobina i načina rukovanja sa gipsom kao materijalom za izradu radnih modela je neophodno, kako bi se moguće greške svele na minimum a buduća zubna nadoknada odgovarala stanju u ustima pacijenta. Zbog sumiranja grešaka tokom nekoliko faza izrade zubnih nadoknada taj ideal je još uvek nedostižan, ali poznavanje parametara koji utiču na preciznost i postojanost radnih modela, doprinosi krajnjem kvalitetu rada i uštedi vremena.

2.1 Vezivna ekspanzija

Priprema gipsa se obavlja mešanjem praha gipsa sa destilovanom vodom, kada dolazi do reakcije vezivanja. Prilikom reakcije vezivanja gipsa, tj. prelaženja poluhidrata u dihidrat dolazi do povećanja zapremine, nasuprot činjenici da je zbir molarnih zapremina poluhidrata i vode veći od molarne zapremine dihidrata, što dokazuje da dolazi do volumetrijske kontrakcije. Objašnjenje za ovu kontradiktornost leži u mehanizmu kristalizacije gipsa. Naime, kristalizacija gipsa se prikazuje kao izrastanje kristala iz centara kristalizacije, pri čemu dolazi do potiskivanja kristala međusobno, što rezultuje smanjenjem stvarne zapremine pojedinačnog kristala i stvaranjem mikropora, ali i do povećanja sveukupne zapremine mase. Rendgenskom difrakcijom utvrđeno je da se vezivna ekspanzija gipsa odigrava i posle devet minuta, ali nisu proučavali šta se dalje dešava sa gipsom u funkciji vremena. Time se bavio Heshamati i Nagy koji su dokazali da se vezivna ekspanzija odigrava do 120 sati posle mešanja [5]. Naveli su da ekspanzija nije ista za sve komercijalne tipove gipseva i razlika ide od 0.14 do 0.35 %. Ekspanzija će biti veća što je odnos vode i praha manji, jer će na taj način kristali biti bliže raspoređeni i jačom silom će delovati jedni na druge. To je praćeno daljim formiranjem mikropora, čime se objašnjava veći volumen gipsa sa manje pora, kod smanjenog odnosa voda/prah [6]. Biće manje vode, pa će njenim isparavanjem ostati manje pora, ali će kristali zbog bliskosti jače delovati međusobno, pa će njihovim pomeranjem nastati više mikropora, što na kraju rezultira mikroporoznim, umesto makroporoznog gipsa koji bi nastao kod suficita vode. Na taj način, smanjenjem nevezane vode, poboljšavamo fizičke karakteristike i smanjujemo ekspanziju. Kod poboljšanih tvrdih gipseva količina nevezane vode iznosi 7 ml od ukupnih 22ml, koliko je potrebno za mešanje materijala. Fenomen vezivne ekspanzije se mora kontrolisati u cilju dobijanja preciznih modela od gipsa. Pored odnosa vode i praha, na vezivnu ekspanziju direktno proporcionalno utiče i dužina mešanja gipsa. U literaturi se navodi način kontrolisanja vezivne ekspanzije dodavanjem određenih jedinjenja od strane proizvođača, iako eksperimentalno nije potvrđeno [3]. Naime dodavanjem natrijum hlorida u koncentraciji do 2%, kao i kalijum sulfata do 4% smanjuje vezivnu ekspanziju, dok dodavanje natrijum hlorida u većim koncentracijama povećava vezivnu ekspanziju.

2.2 Higroskopska ekspanzija

U osnovi nastajanja ovog tipa ekspanzije nalazi se isti mehanizam kao i kod vezivne ekspanzije na vazduhu. Ako se posle inicijalnog vezivanja izliveni model potopi u vodu, ekspanzija će se udvostručiti. To se objašnjava povećanim površinskim naponom kojim molekuli vode vrše pritisak na kristale gipsa, a koji izostaje kada vode ima u izobilju. Pored toga, voda dodatno deluje kao lubrikant i na taj način pospešuje ekspanziju [7]. Sličan rad je kasnije objavio Michalakakis i Athanasios koji su zaključili da je vreme i materijal bitniji faktor od količine vode tokom vezivanja gipsa [8]. Pošto njihovi modeli nisu bili konstatno potopljeni tokom vršenja eksperimenata, već su ih pre svakog merenja polivali sa 15 ml vode, ostaje da se zaključi da li je to dovoljno da dođe do potpune higroskopske ekspanzije.

2.3 Radno vreme

Vreme vezivanja je u korelaciji sa drugim parametrom, vezivnom ekspanzijom. Predstavljeno je kao vremenski interval u kome dolazi do promene konzistencije zamešanog gipsa, od tečnog ka čvrstom. Winkler i Monaghan su Gilmorevom iglom izmerili da je to vreme između 7.5min i 9.25min [9]. Sve manipulacije sa gipsom, kao što su izlivanje radnih modela, kivetiranje voštanih modela proteza, moraju biti završene u vremenu u kome je gipsana masa dovoljno viskozna, pre nego što izgubi plastičnost, tj. u okviru radne faze koja prethodi inicijalnoj fazi vezivanja gipsa [2]. Vreme vezivanja gipsa zavisi od uslova rastvaranja kalcijum sulfat poluhidrata, odnosno od brzine i intenziteta mešanja vode i praha, količine i vrste dodatih jedinjenja koja predstavljaju centre kristalizacije, odnosa praha i vode kao i temperature vode. Vreme vezivanja se može skratiti primenom intenzivnijeg mešanja, a što se objašnjava činjenicom da se prilikom mešanja razbijaju postojeći kristali dihidrata i tako stvara više centara kristalizacije. Određena hemijska jedinjenja deluju kao akceleratori reakcije vezivanja gipsa, kao što su kalijum sulfat, natrijum sulfat (3-4%), kalijum hlorid (2%), dok citrati i 2%-tni boraks usporavaju reakciju vezivanja. Povećanje količine vode takođe usporava reakciju vezivanja gipsa. Dva su osnovna mehanizma kojim temperatura utiče na vreme vezivanja gipsa: porast temperature dovodi do smanjenja odnosa rastvorljivosti poluhidrata i dihidrata, što usporava vezivanje gipsa, ali takođe dovodi i do povećanja pokretljivosti kalcijum i sulfatnih jona, što sledstveno skraćuje vreme vezivanja. Ova dva mehanizma se superponiraju,

pa povećanje temperature do 45°C skraćuje vreme, dok dalje povećanje temperature produžava vreme vezivanja [2].

2.4 Čvrstoća gipsa

Kada se razmatra čvrstoća gipseva, prvenstveno se odnosi na vrednost čvrstoće na pritisak, dok je zatezna čvrstoća manje bitan parametar. Prema teoretskim proračunima, samo 18.6 ml vode učestvuje u hemijskoj reakciji nastanka dihidrata a ostatak služi da bi se poboljšala plastičnost i rukovanje tokom izlivanja [2]. Pošto nevezana voda smanjuje čvrstoću gipsa, treba da je bude što manje da bi dobili kvalitetni odlivak. Jedan od načina je dodavanje aditiva, u obliku lignosulfata. Količina vode neophodne za kvašenje se na taj način smanjuje i nastaje kompaktniji materijal sa manje pora. [10]. Vakumskim mešanjem takođe utičemo na kvalitet gipsa, smanjujući poroznost za 20% [11]. Takođe i vreme mešanja gipsa utiče na direktno proporcionalno na čvrstoću gipsa.

3. ZAKLJUČAK

Kao što je prethodno naglašeno, dimenziona stabilnost radnog modela je jedan od najvažnijih faktora izrade precizne zubne nadoknade. Poznavajući parametre koji utiču na preciznost izrade radnih modela i poštovajući propise proizvođača, dentalni gipsevi zadovoljavaju standarde kao dimenziono stabilni, otporni i precizni materijali. Ipak, u savremenoj stomatologiji, interesovanje se preusmerilo na novije sintetičke materijale i pojedina saznanja o gipsevima su ostala u okviru teorije.

4. LITERATURA

- [1] McLean, J.M., Von Fraunhofer, J.A. (1971) The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. *British Dental Journal*, 1971;131(3):107-111.
- [2] Stamenković D, Obradović-Đuričić K, Beloica D, Leković V, Ivanović V, Pavlović G et al. *Stomatološki materijali*. 2003; 410.
- [3] Anusavice J. K. *Phillips science of dental materials*. 2003; 11; 805.
- [4] American National Standards/American Dental Association, Specification 25 for dental gypsum products. New York: American National Standards Institute; 2000. p. 244-53.
- [5] Heshmati R. H, Nagy W. W, Carl G. Wirth G. C, Dhuru B V. Delayed linear expansion of

improved dental stone. J prost dent 2002;88:26-31.

[6] Lautenschlager E. P, Corbin F. Investigation on the Expansion of Dental Stone. J dent research 1969;48:206.

[7] Mahler D. B, Adi A. An explanation of the hygroscopic setting expansion of dental gypsum products. J Dent Res 1960 39:578.

[8] Michalakis X. P, Stratos A, Hirayama H, Pissiotis L. A, Touloum F. Delayed setting and hygroscopic linear expansion of three gypsum products used for cast articulation. J prosth dent 2009;102:313-318.

[9] Winkler M, Monaghan P, Gilbert L. J, Lautenschlager P. E. Comparison of four techniques for monitoring the setting kinetics of gypsum. J prosth dent 1998;79:532-536.

[10] Combe E. C, Smith C. D. Improved Stones for the Construction of Models and Dies. J dent reserch 1971 50:897.

[11] Azer S, Kerby R, Knobloch L. Effect of mixing methods on the physical properties of dental stones. Journal of dentistry 36;(2008):736-744.

Autori: Dr Tijana Tovilović, Asist.dr Daniela Đurović-Koprivica, Doc.dr. Bojana Milekić.

Univezitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet, Katedra za stomatologiju, Hajduk Veljkova 12, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 661-33-62, Fax: +381 21 526-120.

E-mail: tixitovilovic@hotmail.com

danielladjurovic@gmail.com

bojana.zagorka@gmail.com

ZAHVALNICA

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

Vuletić, J.¹, Marković, D.¹, Šokac, M.², Santoši, Ž.², Tadić, A.¹, Mirković, S.¹

ISPITIVANJE BIOKOMPATIBILNOSTI AM MATERIJALA ZA PRIMENU U STOMATOLOŠKOJ PROTETICI

Rezime: *Poznavanje osobina stomatoloških materijala je prvi korak do sagledavanja potencijala za primenu u oblasti medicine i stomatologije. Stomatološki materijali i njihova struktura treba da ispune veliki broj zahteva od kojih su stabilnost i biokompatibilnost među najvažnijima. Biokompatibilnost materijala je preduslov za upotrebu u stomatologiji, jer toksične komponente mogu uzrokovati iritaciju ili čak degradaciju okolnih tkiva. Ocena biokompatibilnosti zavisi ne samo od tetsiranog materijala, već i od izabrane eksperimentalne metode. S obzirom na veliku raznovrsnost neželjenih tkivnih reakcijau ne može se oceniti samo na osnovu jednog testa, već na osnovu grupe različitih eksperimenata.*

Ključne reči: *biokompatibilnost, stomatološki materijali, in vitro testovi, in vivo eksperimenti*

1. UVOD

Termin biomaterijal se odnosi na bilo koji avitalni materijal namenjen za interakciju sa biološkim sistemima unutar ili na ljudskom telu [1]. Stomatološki materijali prema tome spadaju u grupu biomaterijala. Poslednjih godina dolazi do brzog razvoja trodimenzionalnih kompjuterskih tehnologija u stomatologiji, kao i do kontinuiranog razvoja širokog spektra biomaterijala koji se koriste u tu svrhu [2].

Aditivna proizvodnja je definisana od strane Američkog udruženja za testiranje materijala kao: „ proces spajanja materijala kako bi se napravili objekti od trodimenzionalnih podataka dodavanjem materijala sloj po sloj“. Prednost računara je obavljanje zadataka brže, jednostavnije i predvidljivije u odnosu na manuelnu proizvodnju. Kompleksni oblici se uz pomoć aditivne proizvodnje proizvode po pristupačnim cenama sa malim ili bez gubitaka materijala. Izazov za naučnu zajednicu koja izučava stomatološke materijale jeste da poveže tehnologiju sa materijalima koji su podesni za upotrebu u stomatologiji. Tako se otvara mogućnost da se istraživanje stomatoloških materijala preusmeri u sasvim novom pravcu.

Kada se nov materijal pojavljuje na tržištu ili kada se proizvodi drugačijim tehnološkim postupkom, neophodno je ispitati njegove osobine pre njegovog stavljanja u upotrebu u oblasti medicine i stomatologije [3]. Širom sveta, većina zemalja dozvoljava upotrebu samo onih materijala koji su uspešno prošli poseban proces verifikacije [1].

Po Vilijamsu, biokompatibilnost (tkivna kompatibilnost) opisuje sposobnost materijala da ispunjava svoju ulogu uz odgovarajući odgovor

domaćina, kada je primenjen na način za koji je predodređen [5]. Za biomaterijale postoji dugačka lista poželjnih osobina: netoksični, neimunogeni, netrombogeni, nekancerogeni, nealergeni [6, 7].

2. MATERIJAL-TKIVO INTERFEJS

2.1 Faktori koji utiču na biokompatibilnost

Biokompatibilnost zavisi od više faktora koji potiču kako od domaćina, tako i od samog materijala. Glavni faktori koji potiču od domaćina su: vrsta, genetsko nasleđe, mesto implantacije i mikrookruženje [8]. Faktori koji potiču od materijala su: oblik, veličina i površina uzorka (njegov dizajn, hrapavost i morfologija), hemijski sastav materijala, poroznost i degradacija, sterilnost i trajanje kontakta između materijala i tkiva. Ovi faktori mogu biti odgovorni za varijacije u intenzitetu i trajanju tkivne reakcije [8].

Interakcija materijal-tkivo predstavljena je na taj način da kako materijal izaziva odgovor tela, tako i tkivo izaziva promene u materijalu, što znači da će svi materijali biti izmenjeni do nekog stepena uvođenjem u biološku sredinu- bilo korozijom, hemijskom modifikacijom, depozicijom supstance, degradacijom ili nekim drugim mehanizmom. Materijal-tkivo međuspoj se smatra dinamičnim spojem koji se menja vremenom, jer promene koje se dešavaju u jednom trenutku uzrokuju dalje promene u istom sistemu [9]. Biomaterijali su strana tela i biološki odgovor na ove materijale je okarakterisan kao odgovor na strana tela. Većina dokaza podupire teoriju da materijali (uglavnom oslobođanjem supstanci kroz rastvorljivost ili koroziju) promovišu nespecifičnu apsorpciju proteina koja

dalje okida formiranje džinovskih ćelija tipa oko stranog tela koje stvaraju kolageno fibroznu avaskularnu barijeru između materijala i tkiva [8]. U obzir treba uzeti i to da su reakcije materijal-tkivo zapravo funkcija tkiva gde je međuspoj kreiran. Na primer, spoj materijala i dentina je umnogome različit u odnosu na onaj kreiran u kosti ili mekom tkivu [10]. Sledi dakle, da svaki test osmišljen kako bi se ocenila biokompatibilnost stomatoloških materijala treba što približnije imitirati uslove buduće kliničke upotrebe materijala kako bi se sto pouzdanije ocenila biokompatibilnost [5].

2.2 Tkivni odgovori na materijale

Efekti biomaterijala na tkivo mogu biti podeljeni na:

- sistemsku toksičnost
- lokalne reakcije
- alergijske reakcije
- druge reakcije [11].

3. PREGLED TEST METODA

Evaluacija biokompatibilnosti stomatoloških materijala je kompleksna i izazovna oblast iz razloga što postoji širok spektar neželjenih tkivnih reakcija. Pojedinačne test metode su primenljive za istraživanje samo jednog tipa neželjenih reakcija od širokog spektra mogućih [1]. Uobičajeni princip u testiranju biološkog ponašanja materijala je početi sa jednostavnijim *in vitro* testovima baziranim na ćelijskim kulturama, kao što se uobičajeno radi u toksikologiji. Ukoliko ovi eksperimenti daju obećavajuće rezultate, rade se složeniji eksperimenti na životinjama kao i testovi upotrebe na ljudima [1]. Kada se ispituje novi materijal, u početku su obično dostupni samo podaci o njegovim fizičkim, hemijskim i biološkim karakteristikama. Ove osobine se razmatraju i donosi se odluka koje su buduće studije potrebne [1].

3.1 *In vitro* testovi

In vitro testovi se trenutno definišu kao najmlađa strategija u ocenjivanju biokompatibilnosti materijala. To su testovi koji se izvode van živog organizma, u nekoj vrsti laboratorijskog posuđa, uz korišćenje kultura ćelija sa ciljem da se simulira biološka reakcija tkiva koje dolazi u kontakt sa materijalom [12].

Prednost *in vitro* testova je što su dobro prilagođeni za identifikovanje mehanizama ćelijskog odgovora, mogućnost ponavljanja pod identičnim uslovima, takođe su brži, jednostavniji,

jeftiniji, lakši za ponavljanje i za ocenjivanje u odnosu na ostale testove [13, 14].



Sl. 1. Ispitivanje citotoksičnosti

Međutim, pošto *in vitro* testovima može manjkati relevantnost za kliničku upotrebu materijala, jer za razliku od *in vivo* testova, nedostaju odbrambene reakcije tkiva na prisustvo materijala, oni se prvenstveno koriste kao skrining za biološku sigurnost materijala [9]. Komponente *in vitro* testova su biološki sistem (kulture tkiva ili organa), vrsta kontakta materijala i ispitivanog sistema i konačna biološka reakcija na materijal [9].

Za *in vitro* ispitivanja toksičnosti stomatoloških materijala obično se koriste jednoslojne kulture ćelija i trodimenzionalni modeli oralne mukoze dobijeni tkivnim inženjeringom. Kontakt između ćelijske kulture i ispitivanog materijala ostvaruje se direktnim, indirektnim putem ili posredstvom ekstrakta. U slučaju direktnog kontakta, citotoksičnost se meri stopom ćelijske smrti u funkciji vremena ekspozicije i udaljenosti od uzorka koji je u čvrstom agregatnom stanju. Indirektni kontakt ćelija i materijala podrazumeva upotrebu propustljivog intermedijuma, najčešće sintetičkog filtera ili dentinske membrane. Ovaj metod je nezavistan od fizičkog stanja materijala koji može biti u čvrstom, tečnom ili polutečnom stanju. Kontakt između nerastvorljivih materijala i ćelija se može uspostaviti i ekstrahovanjem oslobođenih komponenti rastvaračem (ćelijski medijum, destilovana voda, fiziološki rastvor), što je i najčešća metoda ispitivanja citotoksičnosti različitih stomatoloških materijala [16, 17, 18, 19]. Rezultati *in vitro* testova se, pre svega, odnose na akutni toksični efekat. Najčešće primenjivani u *in vitro* ispitivanju biološkog ponašanja medicinskih produkata su: *Agar overlay test*, *Filter test* и *MTT test* (20).

3.2 Eksperimenti na životinjama

Uprkos njihovoj ceni, kontroverzi i teškim birokratskim izazovima, eksperimenti na

životinjama su važan korak za ocenu bioloških odgovora na novi materijal pre nego što se on upotrebi na ljudima.

Mnogi aspekti biološkog odgovora ne mogu biti reprodukovani *in vitro* testovima, uključujući krvne interakcije, zarastanje rana, reakcije preosetljivosti, karcinogeneza, hronična inflamacija, dentinogeneza, formiranje kosti. Eksperimenti na životinjama pružaju informacije o ovim tipovima efekata bez izlaganja ljudi riziku, a pored toga mogu biti tako osmišljeni da imitiraju kliničku upotrebu do određenog stepena, jevtiniji su od eksperimenata na ljudima, izvode se brže i mogu biti u većem stepenu kontrolisani. Ipak, dobijene rezultate treba uzeti sa određenom rezervom, jer razlike u morfološkim i funkcionalnim osobinama tkiva i organa ljudi i životinja postoje.

Najbolji animalni modeli su primati, ali se oni i najređe koriste u eksperimentima [20].



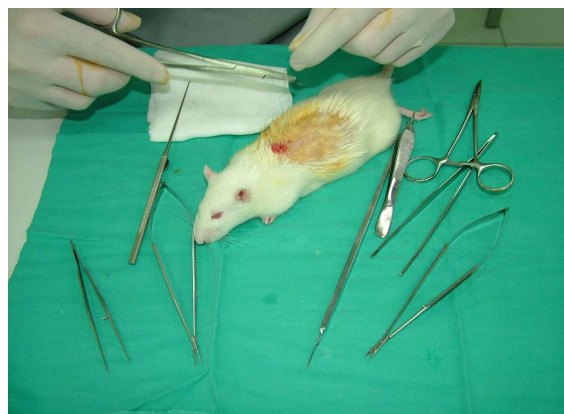
Sl. 2. Test iritacije oralne mukoze

Za ispitivanje biokompatibilnosti stomatoloških materijala koriste se testovi definisani standardom ISO 10993-6 (20). Test subkutane implantacije je opisan kao jedna od najpouzdanijih metoda u evaluaciji biološkog odgovora stomatoloških materijala, dok je test iritacije oralne mukoze približniji kliničkoj upotrebi.

3.3 Kliničke studije

Kliničke studije se generalno smatraju „zlatnim standardom“ u oceni bilo koje dimenzije stomatološkog materijala, uključujući i biološki odgovor. Postoji nekoliko vrsta kliničkih studija. Ove studije su uglavnom skupe, vrenski ograničene, veoma teške za kontrolisanje i interpretiranje rezultata. Svaki od ovih tipova ima svoje prednosti i nedostatke. Testovi primene su posebna klinička kontrola novog materijala na

volonterima i predstavljaju najrelevantnije testove biokompatibilnosti.



Sl. 3. Test subkutane implantacije

4. ZAKLJUČAK

S obzirom na sve veći pritisak javnosti u cilju zaštite eksperimentalnih životinja i kako ispitivanje na ljudima takođe podleže strogim etičkim principima, prednost treba dati testovima zasnovanim na veštačkim modelima tkiva i organa, sa što boljom simulacijom uslova koji postoje u živom organizmu. Neophodno je da svakom *in vivo* eksperimentu prethodi detaljna analiza na kompjuterski simuliranim modelima i ispitivanje u *in vitro* uslovima. Prava ocena biokompatibilnosti nekog materijala može se dati tek nakon dužeg korišćenja u kliničkoj praksi (5).

5. REFERENCE

- [1] Schmalz, Gottfried, and Dorthe Arenholt-Bindslev. *Biocompatibility of Dental Materials*. Berlin: Springer, 2009.
- [2] Six N., Lasfargues J. J., Goldberg M. In Vivo Study of the Pulp Reaction to Fuji IX, a Glass Ionomer Cement. *J. of Dent.* 2000; 28(6):413-422.
- [3] Wataha, J. C., Lockwood, P. E., Nelson, S. K. and Rakich, D. In vitro cytotoxicity of dental casting alloys over 8 months. *Journal of Oral Rehabilitation*. 1999; 26(5):379-387.
- [4] Noort, Richard Van. "The Future of Dental Devices Is Digital." *Dental Materials* 28.1 (2012): 3-12.
- [5] Browne M. R. (1994) 'Animal Tests for Biocompatibility of Dental Materials- Relevance, Advantages, and Limitations', *Journal of Dentistry*, 22(2), pp. s21-s24.

- [6] Parsapour A., Nouri Khorasani S., Hossein fathi M. Effect of Surface Treatment and Metallic Coating on Corrosion Behavior and Biocompatibility of Surgical 316L Stainless Steel Implant. *J Mater Sci Technol.* 2012; 28(2):125-131.
- [7] Watacha JC. Principles of biocompatibility for dental practitioners. *J Prosthet Dent* 2001; 86: 203-209.
- [8] Fournier E., Passirani C., Montero- Menei C. N., Benoit J. P. (2003) 'Biocompatibility of Implantable Synthetic Polymeric Drug Carriers Focus on Brain Biocompatibility', *Biomaterials*, 24(19), pp. 3311-31.
- [9] Watacha C. John. Predicting Clinical Biological Responses to Dental Materials, *Dental Materials.* 2012; 28(1), pp. s23-40.
- [10] Schmaiz G . Use of cell cultures for toxicity testing of dental materials- advantages and limitations. *J Dent Suppl.* 2004; 22: s6-s11.
- [11] Kostić M., Krunić N., Najman S. Savremeni aspekt ispitivanja biokompatibilnosti materijala u stomatologiji *Acta Stomatologica Naissi.* 2010; 26(62): 1007 – 1016.
- [12] Tang ATH, L i J, Ekstrand J, L iu Y . Citotoxicity tests of in situ polymerized resins: Methodological comparisons and introduction of tissue culture insert as a testing device. *Int Biomed Mater Res.* 1999; 45: 214-222.
- [13] Dee KC, Puleo DA, Bizios R. Biocompatibility. U: An introduction to tissue-biomaterial interactions. Wiley- Liss 2002; 173-183.
- [14] Čolić M. Testovi za ispitivanje biokompatibilnosti stomatoloških materijala. U: Stamenković D i sar. *G radivni stomatološki materijali (dostignuća i perspektive): Stomatološki fakultet Beograd* 2007; 37-62.
- [15] Moharamzadeh K, Brook IM, V an Noort R. Biocompatibility of resin-based dental materials. *Materials* 2009; 2: 514-548.
- [16] Polyzois GL . In vitro evaluation of dental materials. *Clinical Materials* 1994; 16: 21-60.
- [17] Kostić M, Krunić N, Najman S, Kocić J, Veselinović M. Promene na *HeLa* ćelijskoj kulturi u prisustvu akrilata za bazu proteze. *Acta Stomatol Naiss* 2008; 58: 793-800.
- [18] L efebvre CA, Knoernschild KL, Schuster G S. Cytotoxicity of eluates from light-polymerized denture base resins. *J Prosthet Dent* 1994; 72: 644-650.
- [19] Bakopoulou A, Mourelatos D, Tsifsoglou AS, Giassin NP, Mioglou E, G arefis P. G enotoxic and cytotoxic effects of different types of dental cement on normal cultured human lymphocytes. *Mutation Research* 2009; 672: 103-112.
- [20] Zafalon E. J., Versiani M. A., de Souza C. J., Moura C. C., Dechichi P. In Vivo Comparison of the Biocompatibility of Two Root Canal Sealers Implanted into the Subcutaneous Connective Tissue of Rats. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontics.* 2007; 103(5):88-94.
- [21] Schmalz G . Concepts in biocompatibility testing of dental restorative materials. *Clin Oral Invest* 1997; 1:154-162.

Autori: Dr Jelena Vuletić, Prof. dr Dubravka Marković, Ana Tadić, Prof. dr. Siniša Mirković, Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet u Novom Sad, Departman za stomatologiju, Hajduk Veljkova 12, 21000 Novi Sad, Srbija, Telefon: +381 21 661-33-62, Fax: +381 21 526-120.

E-mail: jelenavuletic@gmail.com

dubravkamarkovic@yahoo.com

tadic.ana76@gmail.com

sinisa.mirkovic021@gmail.com

M.Sc. Mario Šokac, M.Sc. Željko Santoši, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Trg Dositeja Obradovića 6, Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485 2314, Fax: +381 21 454-495.

E-mail: marios@uns.ac.rs

zeljkos@uns.ac.rs

ZAHVALNICA

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

Potran, M., Milutinović, M., Milekić, B., Trifković, B., Puškar, T.

ISPITIVANJE MEHANIČKIH KARAKTERISTIKA AKRILATNIH MATERIJALA ZA PRIMENU U STOMATOLOŠKOJ PROTETICI

Rezime: Ispitivanje mehaničkih karakteristika materijala koji se koriste za izradu baze mobilne zubne nadoknade je kontinuiran proces u stručnoj i naučnoj javnosti zbog stalne potrebe za proverom postojećih materijala i njihovim međusobnim poređenjem. Ograničenja koja postoje pri korišćenju i mogućnosti postojećih materijala i tehnologija ukazuju na potrebu za istraživanjem osobina i mogućnosti primene materijala i tehnologija za izradu mobilnih zubnih nadoknada.

Ključne reči: mobilne zubne nadoknade, polimetilmetakrilat, mehaničke karakteristike

1. UVOD

Mobilnim zubnim nadoknadama-protezama nadoknađuju se izgubljeni zubi i delovi alveolarnog grebena radi postizanja funkcionalne i estetke rekonstrukcije stomatognatog sistema pacijenta. Pored osnovne funkcije-žvakanja hrane, zubne proteze pružaju potporu okolnim mekim tkivima, učestvuju u formiranju glasova pri govoru, utiču na izgled i samopouzdanje pacijenta, čime se preventivno deluje na opšte zdravstveno stanje i poboljšava kvalitet života [1].

Materijal od koga se prave mobilne zubne nadoknade mora da ima odgovarajuće mehaničke karakteristike. Materijal treba da ima odgovarajuću čvrstoću, tvrdoću, otpornost na istezanje, savijanje, otpornost na ponavljana opterećenja kao i postojanost. Nakon završene izrade zubna proteza se aplikuje u usnu duplju u vlažnu sredinu sa promenljivim pH (od pH \approx 2 do pH \approx 8) i temperaturnim varijacijama od oko 70°C [2]. Pored toga zubne nadoknade su izložene dejstvu mastikatornih sila, koje mogu dovesti do zamora materijala i propadanja zubne nadoknade. Još od 1940 osnovni gradivni materijal za izradu zubnih proteza bio je polimetilmetakrilat (PMMA) [3,4,5]. U međuvremenu puno truda uloženo je u unapređenje karakteristika materijala za izradu baze zubnih proteza, utičući na sastav samog materijala kao i na dodatak eksternih suplemenata kako bi se povećala njihova otpornost. Najčešće korišćeni načini ojačanja su impregnacija PMMA sa gumom (butadiene styrene) kao i ojačanje sa različitim vlaknima [6]. Dodatna poboljšanja mehaničkih karakteristika mogu se vršiti mikrotaslasnim zračenjem kao i dodatkom nanočestica [7,8,9]. Konstatno unapređenje procesa

proizvodnje materijala zahteva proveru konvencionalnih sistema zato što proizvođač nije dužan da navodi punu specifikaciju proizvoda osim osnovnih stvari vezanih za bezbednost materijala. Izbor materijala i poznavanje njegovih karakteristika neophodno je kako bi se odabrao najpogodniji materijal za datu kliničku situaciju.

Prema podacima Hergravesa et al, kod 63% proteza dolazi do frakture u prve tri godine [10]. Fraktura proteze može nastati usled slabih mehaničkih karakteristika materijala, ali i zbog drugih činioca kao što su povećana resorpcija rezidualnog alveolarnog grebena, nagle promene u debljini materijala (loš dizajn proteze), prisustvo unutrašnjih napona i poroznost materijala [11]. Poroznost materijala može nastati oslobađanjem rezidualnog monomera, koji pored toksičnosti koju ima na živi organizam, predstavlja problem i sa mehaničkog aspekta otpornosti materijala od kojih je proteza izrađena. Funkcija mastikatorne i orofacijalne muskulature dovodi do opterećenja proteze sa različitim pravcem dejstva na bazu proteze.

2. MATERIJAL I METOD

Čvrstoćaje osobina materijala koja pokazuje kolika opterećenja (sile ili momente sila) može materijal izdržati. U zavisnosti od toga na koji način se materijal opterećuje postoje: zatezna čvrstoća, pritisna čvrstoća, savojna čvrstoća i uvojna čvrstoća. Analiza osobina materijala vrši se prema njegovoj nameni i uslovima u kojima će materijal da obavlja svoju funkciju. Pošto PMMA koji se koristi za izradu zubnih proteza se karakteriše visokom pritisnom čvrstoćom, većom nego što se može razviti tokom žvakanja, a uvojne

sile se kod mobilnih zubnih nadoknada retko javljaju, najbitniji parametri za ispitivanje mehaničkih osobina zubnih proteza predstavljaju zatezna i savojna čvrstoća, uz dopunske testove.

Fraktura proteze najčešće nastaje na sredini nepca, zato što tokom žvakanja na ovom mestu dolazi do naizmenične smene sila fleksije i ekstenzije. Kao posledica toga proteza se ciklično savija. Ovo je potvrđeno kliničkom studijom Khasawneh et al. koji je utvrdio da 61% fraktura nastaje na sredini nepca, što je kasnije dokazano i in vitro studijom od strane Prombonas et al [12,13]. Utvrđeno je da u slučaju mandibularne totalne proteze područje pritiska je planarno i sastoji se od kompresivnih sila niskog intenziteta i malog napona smicanja. U isto vreme odgovarajuće polje pritiska kod maksilarne totalne proteze se karakteriše visokim zateznim silama i visokim naponom smicanja. Ovo je od posebnog značaja kada se proteze proizvode od krutih materijala, kao što je PMMA, koji poseduje znatno veću kompresivnu čvrstoću od zatezne. Lom materijala će nastati usled istezanja, što čini test zatezne čvrstoće jedan od prvih pri analiziranju čvrstoće materijala (slika 1) [13]. Ovo saznanje se često ne koristi u kliničkom radu i izbor materijala se uglavnom vrši prema savojnoj čvrtoći.



Sl.1. Ispitivanje zatezne čvrstoće

Test savojne čvrtoće je značajan zato što reprodukuje savijanje proteze kao što se dešava u ustima tokom mastikacije. Tokom savijanja proteze, u zavisnosti od pravca delovanja sile, dolazi do kombinacije kompresije materijala na jednoj strani, i istezanja materijala sa suprotne. Zbog manje zatezne čvrstoće, fraktura materijala će nastati na strani koja se isteže, što ovaj test čini dopunom prethodnog, zbog različitog slaganja sila koje više odgovara stanju u ustima [14]. Ispitivanje savojne čvrtoće vrši se „three point bending testom„-gde se trakasti uzorak materijala

slobodno naslanja na dva kugličasta oslonca, dok se pritisak vrši od gore, po sredini uzorka (slika 2). Raspon oslonaca treba podesiti prema očekivanom rastojanju koje zauzimaju sedla proteze u ustima t.j prema očekivanom mestu oslanjanja koje čine rezidualni alveolarni grebenovi (do 50 mm) [15]. Pošto PMMA spada prvenstveno u krte viskoelastične materijale, pored raspona oslonaca bitna je i brzina opterećenja. Ako se sila postepeno povećava kruti materijali pokazuju veći stepen plastične deformacije, pa može doći do pogrešnog očitavanja stvarne čvrstoće materijala, zato što lom nastaje posle plastične deformacije. PMMA će pokazati različite vrednosti sile loma u zavisnosti od brzine opterećenja, pokazujući veću čvrstoću tokom naglog porasta sile pritiska. Sporim opterećenjem dolazi do plastične deformacije koja može maskirati stvarnu čvrstoću materijala. Plastična deformacija je nepoželjna kod materijala koji se koriste za izradu zubnih proteza, pošto takva nadoknada više neće odgovarati stanju u ustima pacijenta.

Zbog prirode opterećenja kao i svojstva materijala, zatezna i savojna čvrstoća predstavljaju najbitnije parametre koji utiču na otpornost proteze. Zatezna i savojna čvrstoća definisane su standardom ISO 20795, gde je naglašeno da minimalna zatezna čvrstoća materijala za izradu mobilne zubne nadoknade treba da iznosi 60 MPa kod hladnopolimerizujućih i 65 MPa kod ostalih grupa akrilata [16]. Modul savijanja treba da je najmanje 1500 MPa za hladnopolimerizujuće t.j 2000 MPa za preostale akrilate.



Sl. 2. Ispitivanje savojne čvrstoće

Frakturna linija kod zubnih proteza nastaje na mestu unutrašnjih ili spoljašnjih pukotina, pa tendencija nastanka i širenja pukotina (test čvrstoće loma) pruža dodatna saznanja o izboru materijala. Mikropukotine u materijalu mogu da nastanu usled oslobađanja unutrašnjih napona, koji su uzrokovani tokom obrade materijala, neadekvatnog rukovanja sa materijalom, odabirom

poprečnog načina polimerizacije kao i toplotnom kontrakcijom [14]. Prisustvo mikropukotina je kod akrilata neizbežno, ali pravilnim rukovanjem sa materijalom treba da se smanji na najmanju moguću meru. Test čvrstoće loma je pogodan za ispitivanje čvrstoće akrilata, jer meri propagaciju veštački napravljene pukotine tokom savijanja. Postupak merenja je sličan određivanju savojne čvrstoće, s tim što se na ovaj način bliže određuje očekivano ponašanje materijala u realnim uslovima, pa predstavlja dopunu testu savijanja [16].

Mikrotvrdoća predstavlja suprotstavljanje materijala nastanku površinskih defekata. Određuje se aplikacijom pritiska preko oštrog vrha prodirućeg instrumenta, koji može da bude različitog oblika, i merenjem dubine i oblika nastalog defekta na površini materijala. Postoji veći broj metoda ispitivanja tvrdoće, ali dominantne su četiri metode- Brinel, Vickers, Rokvel, Martens [15, 16]. Najviše korišćene metode su Vickers i Rokvel. Razlikuju se po obliku prodirućeg instrumenta i oblika nastalog defekta na materijalu. Pošto kod ovih metoda postoji mogućnost postepenog povećanja pritiska, pružaju više informacija o destruktiji materijala u odnosu na Brinelov test, ali nedostatak ovih metoda odnosi se na povećan otpor materijala koji se javlja tokom dubljeg prodiranja penetrirajućeg instrumenta. Očitavanje defekta vrši se nakon aplikacije sile, iznos čega može da poremeti viskoelastičan povratak materijala. Savremeniji način određivanja mikrotvrdoće predstavlja Martensov metod, pošto se očitavanje tvrdoće vrši digitalno, direktnim merenjem prodiranja instrumenta, čime se eliminiše greška elastičnog povraćaja materijala [17]. Visoka čvrstoća loma i otpornost nastanka pukotina su preduslovi kako bi se smanjio rizik frakture proteze. To je razlog zašto kliničko ponašanje materijala za bazu zubne proteze može da se razlikuje od njegovog mehaničkog potencijala i podataka dostupnih u literaturi.

Određivanje zamora materijala predstavlja najzahtevniji deo ispitivanja mehaničkih karakteristika materijala, ali pruža najverniji prikaz njegovih osobina. Test je zasnovan na činjenici da fraktura materijala nastaje pri manjim silama od ranije definisanih prethodnim testovima, usled cikličnog opterećenja koje dovode do zamora i frakture materijala. Pacijenti koji nose mobilne zubne nadoknade obave 300.000 žvačnih ciklusa tokom jedne godine sa prosečnim silama od 100 do 250 N [15]. Trajanje mobilnih zubnih nadoknada treba da je minimalno 5 godina, pa bi simulacija kompletnog vremenskog toka zahtevala veliki broj ponavljanja koja se u laboratorijskim

uslovima teško izvode. Zbog ubrzanja postupka, u današnje vreme koristi se predefinisani broj ciklusa ponavljanja (10.000-100.000), posle čega sledi klasičan „*three point bending*„ test savojne čvrstoće [18,19]. Zbog složene interakcije različitih bioloških i mehaničkih činioca u usnoj dupli, ponašanje materijala se može lakše predvideti ako se uzme u obzir korelacija njegovih pojedinačnih karakteristika [20]. Podaci dobijeni korelacijom mogu da se koriste za detaljniju analizu materijala u isto vreme smanjujući vreme i cenu dodatnog ispitivanja svakog materijala ponaosob.

3. ZAKLJUČAK

Ispitivanje mehaničkih karakteristika materijala koji se koriste za izradu baze mobilne zubne nadoknade je kontinuiran proces u stručnoj i naučnoj javnosti zbog stalne potrebe za proverom postojećih materijala i njihovim međusobnim poređenjem. Ispitivanjem i korelacijom mehaničkih karakteristika materijala može se postići ušteda u vremenu i materijalu, kako bi se odabrao pogodan materijal za svaki individualan slučaj u stomatološkoj struci.

4. LITERATURA

- [1] Krstić M, Petrović A, Sinobad D.S, Stošić Z. Stomatološka protetika-Totalna proteza. Velarta 2006; 13-71.
- [2] Aframian D.J, Davidowitz T, Benoliel R. The distribution of oral mucosal pH values in healthy saliva secretors. Oral Diseases 2006;12:420-423.
- [3] Jagger D.C, Harrison A, Jandt K.D. The reinforcements of dentures-review. J Oral Rehabil 1999; 26:185-194.
- [4] Bettencourt A.F, Neves C.B, de Almeida M.S, Pinheiro L.M, Oliveira S.A, Lopes L.P, Castro M.F. Biodegradation of acrylic based resins: A review. Dent Mater 2010;26:171-180.
- [5] Krunić N, Kostić M, Anđelković M. Acrylic resins- still irreplaceable material in prosthetic dentistry. Acta Stomatologica Naissii 2007;23(56):747-752.
- [6] Vallittu P.K. A review of fiber reinforced denture base resins. J Prosthodont 1996;5(4):270-276.
- [7] Balos S, Balos T, Sidjanin L, Marković D, Pilic B, Pavlicević J. Study of PMMA Biopolymer Properties Treated by Microwave Energy. Mater Plast 2011;48:127-31.
- [8] Balos S, Balos T, Sidjanin L, Marković D, Pilic B, Pavlicević J. Flexural and impact Strength of Microwave Treated

- Autopolymerized Poly (Methyl-Methacrylate). Mater Plast 2009;46:261-5.
- [9] Balos S, Pilic B, Markovic D, Pavlicevic J, Luzanin O. PMMA nanocomposites with low silica addition, J Prosthet Dent, In Press.
- [10] Hargreaves A.S. The prevalence of fractured dentures. A survey. Br Dent J 1969;126:451–455.
- [11] Demir H, Dogan O.M, Dogan A. Tensile properties of denture base resin reinforced with various esthetic fibers. Journal of applied polymer science 2012;123:2354-2362.
- [12] Khasawneh S.F, Arab J.M. A clinical study of complete denture fractures at four military hospitals in Jordan. JRMS 2003;10(2):27-31.
- [13] Prombonas A.E, Vlissidis D.S. Comparison of the midline stress fields in maxillary and mandibular complete dentures: A pilot study. J Prosthet Dent 2006;95:63-70.
- [14] Phillips' Science of Dental Materials, Elsevier Saunders, 2013.p.489-490.
- [15] Sakaguchi R, Powers J. Craig's Restorative dental materials. Elsevier Mosby 2012; p84-107.
- [16] SRPS ISO 20795-1. Stomatologija- Bazni polimer, Deo 1: Polimeri za bazu zubne proteze, 2011.
- [17] Shahdad S, McCabe J, Bull S, Rusby S, Wasell R. Hardness measured with traditional Vickers and Martens hardness methods. Dent Mater 2007;23:1079-1085.
- [18] Diaz-Arnold A, Vargas M, Shaul K, Lafoon J, Qian F. Flexural and fatigue strengths of denture base resin. J Prosthet Dent 2008;100:47-51.
- [19] Gurbuz O, Unalan F, Dikbas I. Comparative study of the fatigue strength of five acrylic denture resins. J Mech Behav Biomed Mater 2010;3(8):636-639.
- [20] Lee H.H, Lee C.J, Asaoka K. Correlation in the mechanical properties of acrylic denture base resins. Dent Mater J 2012;31(1):157–164.

Autori: Dr Michal Potran, Doc.dr Bojana Milekić, Doc.dr. Tatjana Puškar. Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet, Katedra za stomatologiju, Hajduk Veljkova 12, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 661-33-62, Fax: +381 21 526-120.

E-mail: michalpotran@gmail.com
tatjanapuskar@yahoo.com
bojana.zagorka@gmail.com

Doc.dr Mladimir Milutinović, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet Tehničkih Nauka, Institut za Proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja

Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2306, Fax: +381 21 454-495.

E-mail: mladomil@uns.ac.rs

Asis.dr.sci Branka Trifković. Univerzitet u Beogradu, Stomatološki fakultet, 11000 Beograd, Rankeova 4, Telefon: 011 2685 288.

E-mail: brankatr@yahoo.com

ZAHVALNICA

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

Durović-Koprivica, D., Jevremović, D., Milekić, B., Potran, M.

PRIMENA SAVREMENIH TEHNOLOGIJA I RAČUNAROM PODRŽANIH SISTEMA PRI ODREĐIVANJU OKLUZO-ARTIKULACIONIH ODNOSA

Rezime: Prilikom dijagnostike malokluzija i izrade bilo koje vrste zubnih nadoknada adekvatno određivanje okluzo-artikulacionih odnosa je od neprocenjive važnosti. U tu svrhu se u svakodnevnoj stomatološkoj praksi koriste mehanički artikulatori kao posebno konstruisane naprave za simulaciju viličnih kretnji i određivanje međuviličnih odnosa.

Međutim, budućnost stomatologije usko je povezana sa upotrebom računarom podržanih tehnologija, posebno onih koje se baziraju na virtuelnim objektima i omogućavaju stomatologu da simuliraju prave pokrete koje izvodi mandibula pacijenta. Virtuelni artikulatori konstruisani su u cilju iscrpne analize statičke i dinamičke okluzije sa željom da se izbegnu sve moguće greške koje se javljaju prilikom primene analognih sistema.

Ključne reči: analiza okluzije, artikulatori, virtuelni artikulatori

1. UVOD

Artikulatori su naprave koje imitiraju vilični kompleks i temporomandibularne zglobove koji su konstruisani ili se mogu mehanički podesiti da simuliraju određene segmente viličnih kretnji.[1] Osnovna namena istih je da fiksiraju modele gornje i donje vilice u odgovarajućim međusobnim odnosima tako da se dijagnostičke, korektivne i restaurativne procedure mogu izvesti van usta pacijenta.

Svaki artikulator ima sledeće osnovne delove: gornju granu (mehaničku zamenu gornje vilice); donju granu (mehaničku zamenu za donju vilicu); zglobni sistem odn. zglobno vođenje (mehaničku zamenu za temporo-mandibularni zglob); incizalni sistem odn. incizalno vođenje (mehaničku zamenu za prednje zube) i sistem za montiranje modela.

Postoje razne klasifikacije artikulatora, a kao najprihvaćenija ističe se ona koja artikulatore deli prema njihovim funkcijskim mogućnostima.

Prvu grupu čine najjednostavnije naprave, pozicioneri i fiksatori modela takozvani okludatori koji prihvataju samo jedan statički registar međuviličnog odnosa i mogu da simuliraju kretnje samo u jednoj (vertikalnoj) ravni. Zbog neadekvatne dimenzije i nemogućnosti simuliranja viličnih kretnji, oni se danas ne koriste pri radu.

Drugu grupu čine razne varijacije artikulatora srednjih vrednosti tzv. polupodesivi artikulatori koji su takođe ograničeni na prihvatanje samo jednog statičkog registrata, ali za razliku od okludatora mogu da simuliraju kretnje osim u vertikalnoj i u horizontalnoj ravni.

Treću, ujedno i najzastupljeniju grupu čine tzv. podesivi artikulatori, koji za razliku od artikulatora iz predhodne dve grupe imaju mogućnost prihvatanja pozicionih odnosno dinamičkih registrata položaja i pokreta donje vilice na osnovu kojih se podešavaju vodeći elementi i sa velikom preciznošću i tačnošću reprodukuju određene segmente individualnih kretnji donje vilice (slika 1). [1]



Sl. 1. Artikulatori (okludatori, polupodesivi i visoko podesivi)

Artikulatori se takođe dele i prema mogućnosti prihvatanja prenosnog obraznog luka na one koji imaju i nemaju istu mogućnost.

Prenosni obrazni luk je naprava koja se koristi za utvrđivanje prostornog odnosa između gornje vilice i terminalne šarnirske osovine i orijentisanje modela gornje vilice u tom odnosu prema šarnirskoj osovine artikulatora. Sastoji se iz metalnog luka, zglobnih nastavaka, zagrižajne viljuške, pokazivača prednje referentne tačke i niza zavrtnja (slika 2). [1]

Stariji obrazni lukovi imaju fiksnu širinu i centriraju se na lice pacijenta manuelno, tako da prenošenje gornjeg modela u artikulator pomoću njih iziskuje veliku preciznost i nosi za sobom veliki rizik od pojave greške. Noviji tipovi imaju metalne lukove prilagodljive individualnom

interkondilnom rastojanju, ali preciznost u prenošenju i dalje mora biti na jako visokom nivou.



Sl. 2. Obrazni luk (Amann Girschbach Artex)

2. NEDOSTACI MEHANIČKIH ARTIKULATORA

U svakodnevnoj praksi mehanički artikulatori koriste se u cilju dijagnoze malokluzija i radi simulacije efekata koji morfološke promene imaju na dentalnu okluziju. Takođe se upotrebljavaju prilikom izrade fiksnih i mobilnih zubnih nadoknada radi uspostavljanja fizioloških okluzo-artikulacionih odnosa kakvi su vladali u ustima pacijenta u prirodnoj denticiji.[2]

Međutim, pokreti reprodukovani mehaničkim artikulatorom prate strukture koje su u skladu sa mehaničkim zglobovima i koje ostaju nepromenjene tokom vremena i nemaju mogućnost reprodukovanja mišićnih pokreta koji zavise od elastičnosti mišića i rezilijencije mekih tkiva i diskusa temporomandibularnog zgloba. Štaviše, pokretljivost zuba nije moguće simulirati gipsanim modelima, što kao rezultat daje nemogućnost reprodukovanja dinamičkih uslova okluzije u stvarnom životu.[3,4] Takođe, javlja se i problem koji proizilazi iz materijala koji se koriste za prenošenje modela u artikulator, problem preciznosti i tačnosti prilikom prenošenja, problem kontrakcije i ekspanzije gipsa, deformacije materijala za uzimanje zagrižajnih registrata, stabilnosti artikulatora itd.[4] Zbog svih navedenih problema koji prate primenu mehaničkih artikulatora stiče se utisak da je dinamička reprodukcija okluzo-artikulacionih odnosa i pokreta donje vilice korišćenjem analognih sistema prilično oskudna i nepouzdana.[5,6]

3. PREDNOSTI VIRTUELNIH ARTIKULATORA

Virtuelni artikulatori su konstruisani u cilju iscrpne analize okluzije i nude mogućnost

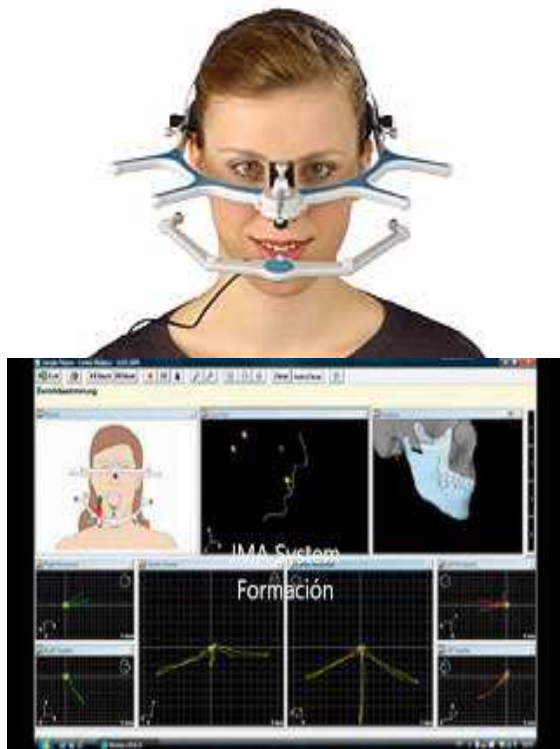
značajnog redukovanja nedostataka mehaničkih artikulatora zbog niza prednosti.[7,8] Kao prvo, pružaju mogućnost potpune analize statičke i dinamičke okluzije i međuviličnih odnosa kao i uvid u stanje struktura temporomandibularnog zgloba, zahvaljujući dinamičkoj preglednosti u tri dimenzije gornjeg i donjeg viličnog kompleksa kao i mogućnosti selektovanja odgovarajuće regije i observacije iste.[4] Kao drugo, virtuelni artikulatori u kombinaciji sa CAD-CAM sistemom pružaju veliki potencijal u planiranju zubnih implanta, budući da omogućavaju veću preciznost i manje trajanje tretmana.[2]

4. FUNKCIONISANJE VIRTUELNIH ARTIKULATORA

Način korišćenja i podešavanje virtuelnih artikulatora objasnili su Kordass i Gärtner 1999.godine. Za snimanje se koristi trodimenzionalni laserski skener, kao što je npr. Laser Scan 3D (Willytec, Munich, Germany). Kao rezultat dobija se digitalna slika površine svakog zuba, kao i kompletnog zubnog luka i zagrižaja. Ovaj skener projektuje vertikalni laserski zrak na površinu svakog objekta, a digitalna kamera registruje snop koji se odbija od objekta i prenosi digitalni signal na elektronski sistem na obradu. Obradeni digitalni podaci se prenose u skenerski softver i prikazuju na ekranu i spremni su za kompjutersku manipulaciju.

Mnogi sistemi imaju mogućnost preciznog registrovanja pokreta donje vilice. Gärtner i Kordass [6], i Bisler et al. [2], koristili su ultrazvučni sistem za analizu mandibularnih pokreta tzv. the Jaw Motion Analyser (JMA) (Comp Zebris, Isny, Germany). Sistem se sastoji iz ultrazvučne sonde postavljene na labijalnu stranu mandibule i senzora smeštenog u kružni sistem koji se nalazi oko pacijentove glave u formi obraznog luka. Sistem obrazuje ravan pomoću tri snimljene tačke dve kondilarne i infraorbitalne i beleži pokrete sa najmanje tri tačke u odnosu na ovu ravan. Konkretno ove tri tačke čine dve kondilarne tačke i centralna tačka koja predstavlja mesto na kome se nalazi ultrazvučna sonda na bazi mandibule.[9] Ovim sistemom moguće je registrovati rotaciju i tačnu poziciju kondila pri svakom pokretu vrlo precizno (slika 3).[8,9] Postoje takođe razni drugi kompjuterski podržani sistemi za identifikaciju pokreta mandibule bazirani na različitim tehnologijama, kao što su npr. optoelektronski uređaji koji koriste CCD kamere koje registruju zrake svetlećih dioda (LEDs) postavljene oko glave pacijenta pretvarajući snimljene zrake u slike i prenoseći ih na kompjuter. Fang i Kuo su konstruisali

individualne naprave za svakog pacijenta koje su fiksirane na istim pozicijama na gipsanim modelima i u ustima pacijenta [11]. Prvo se modeli skeniraju, a onda se od pacijenta traži da izvodi tri vrste kretnji, otvaranje i zatvaranje usta, protruziju i retruziju i laterotruziju najmanje 20 puta. Dobijeni rezultati se matematički obrađuju da se rekonstruiše dinamika kretnji za svakog pacijenta ponaosob i dalje šalje na vizuelizaciju i kompjutersku analizu.[11]



Sl. 3. Digitalni obrazni luk sa senzitivnim sensorima koji prenosi izmerene vrednosti na softverski sistem kompjutera (JMA Zebris)

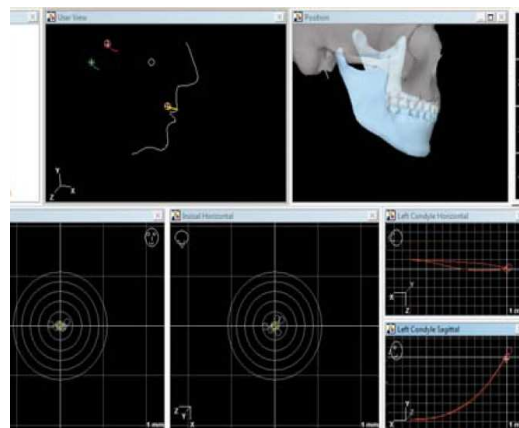
Osnova funkcionisanja virtuelnih artikulatora jeste registrovanje odgovarajućih pokreta mandibule i tačaka okluzije na osnovu unetih podataka i matematička obrada koja se prenosi na ekran u formi koda.[4]

Idealno, virtuelni artikulator bi trebao da omogući registrovanje specifičnog pokreta mandibule kod datog pacijenta (kao što je JMA) i da integriše pokret koji je snimljen u animaciji (slike 4 i 5). Ukoliko uređaj ne poseduje te karakteristike specifični pokreti mandibule se moraju definisati i porediti sa već postojećim parametrima dobijenim u prethodnim merenjima, na sličan način kao kod mehaničkih artikulatora. Nakon određivanja parametara viličnih kretnji, snimaju se okluzalni kontakti u cilju identifikacije ograničenja pokreta.

Na primer, softverski sistem Dent-CAM virtuelnog artikulatora koristi tri glavna prozora prikazujući obrazac jednog istog pokreta u

različitim aspektima, u prvom prikazuje dinamički odnos maksile i mandibule iz raznih uglova, u drugom okluzalne kontakte na površinama gornjih i donjih zuba koji se pojavljuju prilikom pokreta i u trećem omogućava pregled odgovarajućeg segmenta gornjeg i donjeg zubnog luka pomoću kojeg može detaljno da se analizira stepen interkuspidacije kao i nagibi odgovarajućih funkcionalnih kvržica.[10]

Jedan od najnovijih dostignuća u tehnologiji virtuelnih artikulatora jeste 3D virtual articulation sistem. Ovaj sistem zahteva ulazne podatke u formi 3D skenera, softver za protetsko modelovanje i detekciju okluzalnih kontakata baziranih na virtuelnom prikazu i izlazni modul (brzu izradu prototip sistema). Sa ovakvim sistemom moguće je detaljno analizirati žvačne pokrete uključujući i jačinu okluzalnih kontakata i učestalost kontakata pri određenim pokretima.[12]



Sl. 4. Softver koji je povezan sa JMA Zebris mernim sistemom veoma precizno pokazuje mesta naprezanja mišića prilikom odgovarajućih kretnji mandibule i neadekvatnih okluzalnih kontakata



Sl. 5. Bazirajući se na izmerenim vrednostima JMA Zebris sistemom moguće je obezbediti optimalne okluzo-artikulacione odnose za datog pacijenta

5. ZAKLJUČAK

Mnogobrojne studije koj su imale za cilj poređenje preciznosti dobijenih rezultata

računom podržanih sistema prilikom određivanja okluzo-artikulacionih odnosa u odnosu na one dobijene analognim sistemima, pokazale su da okluzalni kontakti proračuti virtuelnim merenjem mnogo bliže odgovaraju stvarnom stanju od onih dobijenih merenjem i detekcijom pomoću mehaničkih artikulatora. Iz svega navedenog može se zaključiti da su virtuelni artikulatori veoma precizan alat za potpunu analizu okluzije i mogu dovesti do značajnih pomaka u stomatologiji u smislu pravilne dijagnostike i određivanja najboljeg mogućeg plana terapije.

6. LITERATURA

- [1] Sinobad D. Osnovi gnatologije, Beograd 2006; III 229-271
- [2] Bisler A, Bockholt U, Kordass B, Suchan M, Voss G. The virtual articulator. *Int J Comput Dent.* 2002;5:101-6.
- [3] Böröcz Z, Dirksen D, Thomas C, Runte C, Bollmann F, von Bally G. Investigation of influencing variables on the computer-aided simulation of contacts in dynamic occlusion based on optically digitized plaster casts. *Biomed Tech (Berl).* 2004;49:111-6
- [4] Kordass B, Gärtner C, Söhnel A, Bisler A, Voss G, Bockholt U, et al. The virtual articulator in dentistry: concept and development. *Dent Clin North Am.* 2002;46:493-506.
- [5] Tamaki K, Čelar AG, Beyrer S, Aoki H. Reproduction of excursive tooth contact in an articulator with computerized axiography data. *J Prosthet Dent.* 1997;78:373-8.
- [6] Gsellmann B, Schmid-Schwab M, Piehslinger E, Slavicek R. Lengths of condylar pathways measured with computerized axiography (CADIAX) and occlusal index in patients and volunteers. *J Oral Rehabil.* 1998;25:146-52.
- [7] Hayashi T, Saitoh A, Ishioka K, Miyakawa M. A computerized system for analyzing occlusal relations during mandibular movements. *Int J Prosthodont.* 1994;7:108-14.
- [8] Gärtner C, Kordass B. The virtual articulator: development and evaluation. *Int J Comput Dent.* 2003;6:11-24.
- [9] Ferrario VF, Sforza C, Miani A Jr, Serrao G, Tartaglia G. Open-closed movements in the human temporomandibular joint: does a pure rotation around the intercondylar hinge axis exist?. *J Oral Rehabil.* 1996;23:401-8.
- [10] Enciso R, Memon A, Mah J. Three-dimensional visualization of the craniofacial patient: volume segmentation, data integration and animation. *Orthod Craniofac Res.* 2003;6 Suppl 1:66-71.
- [11] Fang JJ, Kuo TH. Modelling of mandibular movement. *Comput Biol Med.* 2008;38:1152-62.
- [12] Ruge S, Kordass B. 3D-VAS--initial results from computerized visualization of dynamic occlusion. *Int J Comput Dent.* 2008;11:9-16.

Autori: Asist.dr Daniela Đurović-Koprivica, Doc.dr Bojana Milekić, Dr Michal Potran.

Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet, Katedra za stomatologiju, Hajduk Veljkova 12, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 661-33-62, Fax: +381 21 526-120.

E-mail:

danielladjurovic@gmail.com

bojana.zagorka@gmail.com

michalpotran@gmail.com

Prof.dr.Danimir Jevremović. Univerzitet Privredna Akademija, Stomatološki fakultet Pančevo, Žarka Zrenjanina 179, 13000 Pančevo

E-mail:

drdanimir@sbb.rs

ZAHVALNICA

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

Jevremović, D., Trifković, B., Sekulić, S., Morisan-Basta, I., Reljić, A., Budak, I., Vukelić, Đ.

PRIMENA RAZLIČITIH TEHNOLOŠKIH SISTEMA ZA IZRADU BEZMETALNIH
ZUBNIH NADOKNADA

Rezime: Bezmetalne keramike predstavlja veoma tražen i danas sve više rasprostranjen gradivni materijal u stomatološkoj protetici. Za uspešno korišćenje ovih materijala u terapijske svrhe, od presudne je važnosti, pored poznavanja samog materijala, svakako i način njegove izrade. U zavisnosti od tipa materijala, bezmetalna keramika može se izrađivati metodom refraktarnog patrljka, presovanjem, slip-cast ili kompjuterizovanom tehnologijom. Vrsta upotrebene tehnologije značajno utiče na raznolika svojstva materijala. U radu su opisani principi rada, praktična upotreba, kao i indikaciona polja navedenih metoda rada sa bezmetalnim keramičkim materijalima.

ključne reči: bezmetalna keramika, tehnike rada, zubne nadoknade.

1. UVOD

Bezmetalna keramika danas se smatra jednim od vodećih estetskih materijala za izradu fiksno-protetskih radova u stomatološkoj praksi (sl. 1).



Sl. 1. Bezmetalne nadoknade iz grupe staklo-keramičkih materijala.

Prvi bezmetalni sistemi razvijeni su još krajem prošlog veka, i od tada su konstantno poboljšavani i usavršavani. Osnovni razlozi traganja za sistemima, koji mogu da zamene leguru metala kao osnovu, potiču od estetskih manjkavosti metalo-keramičkih sistema [1]. Naime, legure metala daju veoma neprirodnu boju metalo-keramičkoj nadoknadi, pa se oni moraju sakriti neprozirnim slojem, koji se naziva opakera. Ovaj tanki keramički sloj blokira prolaz svetla u dublje slojeve nadoknade, te sa većom ili manjom efikasnošću pokriva podlogu. Uspešnost opakera u ovom zadatku zavisi, međutim, od mnogo faktora, kakvi su vrsta legure, tip opakera, debljina sloja, umešnost zubnog tehničara itd. Mnoge legure (npr. legure titana ili neplemenite legure) i pored neprozirnog sloja na površini i dalje prosijavaju hladno-sivkasto. Ovi efekti nešto su manji kod legura zlata, koje daje topliju boju. Ipak, u oba slučaja, rub krunice – koji je i najtanji deo

nadoknade – mora se spustiti subgingivalno, čime se znatno oštećuju zubna i parodontalna tkiva. Činjenica je, međutim, da prirodni zub ne poseduje opakni sloj, čime su estetske karakteristike metal-keramičkih nadoknada u startu postale inferiorne. Stoga su istraživanja bila usmerena u smeru stvaranja keramičkih sistema visoke translucencije, što se i uspelo sa razvojem leucitne keramike 1991. godine. Translucencija daje keramici tzv. efekat kišobrana, vidljiv po boji marginalne gingive oko prednjih zuba [2]. Naime, kod prirodnih zuba, svetlo prolazi kroz sloj gleđi i dentina, rasipa se, te se deo vraća natrag kroz vratni deo zuba i s unutrašnje strane osvetljava interdentalnu papilu i marginalnu gingivu. Kod metalo-keramičkih nadoknada, kao i kod netransparentnih bezmetalnih sistema, ovaj efekat izostaje, usled bloka prolaska svetla neprozirnim slojem opakera. Ukoliko je linija smeha visoka, dovoljno spoljašnjeg svetla prolazi do mekih tkiva, te unutrašnja iluminacija nije neophodna. Nasuprot, kod čestih slučajeva srednje linije osmeha, položaj gornje usne blokira prolaz svetla, pa manjak unutrašnjeg svetla vodi tamnoj prebojenosti papila oko zuba. Ova prebojenost nije vezana za pritisak od strane krunice, a česta je u uslovima manjka direktnog osvetljenja osmeha. Translucencija pojedinih bezmetalnih keramika omogućava prirodnu integraciju krune u uslove žive sredine [3]. Dalji razvoj bezmetalnih keramičkih sistema išao je u smislu proširenja indikacionog područja, s obzirom da prve bezmetalne keramike nisu mogle da izdrže radove veće od pojedinačnih rekonstrukcija [4]. Tako se došlo i do visoko otpornih bezmetalnih keramika, koje, po nekim parametrima, čak mogu da pariraju metalo-keramičkim konstrukcijama [5]. Treba, međutim, napomenuti da ovo podudaranje

nije apsolutno i ne važi za deo čak vrlo značajnih poređenja, kakva je, na primer, otpornost na udar ili krtost materijala. Takođe, treba imati u vidu, da je stepen ojačanja keramike u obrnutoj proporciji sa translucencijom materijala. Pa tako, materijal najveće transparentije zapravo je namanje otpornosti, dok su visoko otporni materijali zapravo netransparentni. Tako se može doći do još jednog paradoksalnog zaključka – bezmetalne keramike, koje mogu parirati po otpornosti metal-keramičkim nadoknadama, tek su nešto od njih bolje kad su u pitanju estetski parametri. Činjenica je, međutim, da visoka biokompatibilnost keramičkih materijala stomatološku struku svakako opredeljuje za sisteme pune keramike, izbegavajući potencijalno opasno dejstvo spojeva oslobođenih iz legura metala [6].

Bezmetalne keramike, osim završnih svojstava, takođe se razlikuju i po tehnološkom sistemu korišćenom pri njihovoj izradi [7]. Upotreba nekog od ovih sistema varira od vrste do vrste bezmetalne keramike, a često značajno utiče i na završni kvalitet materijala [8].

2. NAČINI IZRADE BEZMETALNIH RADOVA

Bezmetalne nadoknade mogu se izraditi na nekoliko načina, s tim da nisu svi materijali pogodni za svaku vrstu izrade. Prednosti ili mane tehnologija variraju, od preciznosti, tačnosti, vremena izrade, kvaliteta završne obrade, učešća čoveka, primene kompjutera, estetskih vrednosti itd. Metode rada sa bezmetalnim materijalima su sledeće:

- refraktarni patrljak,
- presujuća tehnika,
- slip-cast tehnika,
- CAD/CAM tehnologija.

2.1 Refraktarni patrljak

Ovaj način izrade, tehnološki veoma jednostavan, veoma je zahtevan za laboratorijski postupak i iziskuje umeće i iskustvo zubnog tehničara. Nakon uzimanja otiska, iziva se radni model i dublira u vatrostalnoj masi. Na ovako dobijen model, može se naneti feldspatna keramika, direktnim nanošenjem četkicom. Keramičke mase sinteruju se u klasičnoj peći za keramiku, te se na taj način dobija bezmetalna nadoknada.

Na ovaj način, mogu se dobiti pojedinačni radovi u frontalnoj regiji (najčešće su u pitanju fasete, sl. 2.). U pitanju su veoma fragilne nadoknade, otpornosti oko 90 MPa. Stoga je njihova upotreba ograničena na pacijente sa

uravnoteženom okluzijom, uz neophodno adhezivno cementiranje. Tek upotrebom kompozitnih cemenata, ove nadoknade dobijaju svoju punu funkciju, takođe, i estetske vrednosti, s obzirom da visoka translucencija materijala omogućava uticaj sloja cementa na završnu boju nadoknade.



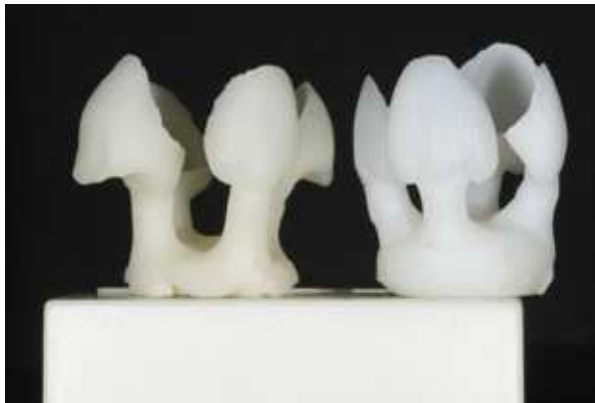
Sl. 2. Minimalno invazivna keramička faseta na centralnom sekutiću.

S obzirom na tanak keramički sloj, sve estetske karakteristike u punoj su zavisnosti od umeća zubnog tehničara, njegove mogućnosti slaganja boja, kao i karakteristika podloge, odnosno brušenog zuba.

2.2 Presujuća metoda

Presovanje je tehnologija razvijena prvobitno za leucitnu, a potom prilagođena i litijum-disilikatnoj keramici. Presovanje podrazumeva postupak sličan livenju metala, makar u fazi pripreme modela nadoknade. Naime, nakon izlivanja i pripreme radnog modela, pravi se voštani model nadoknade odgovarajućih karakteristika (košuljica ili puna morfološka kruna). Treba obratiti pažnju na neophodnost upotrebe organskih voskova, koji sagorevaju bez ostatka, jer eventualno zaostale rezidue mogu prebojiti keramiku. Presovanje se vrši nakon kivetiranja i eliminacije voska žarenjem, u posebno prilagođenim pećima za presovanje. Temperature variraju, u zavisnosti od vrste keramike, a postupak može biti presovanje pod vazдушnim pritiskom ili elektronski kontrolisano. Elektronske peći imaju brojne prednosti, jer se postupak vrši mehanizmom povratne sprege, gde parametri, koje senzori očitavaju u kivetu, regulišu pritisak i vreme presovanja.

Presujućom tehnologijom mogu se dobiti solo nadoknade u celom zubnom luku, kao i tročlani mostovi do drugog premolara, uz upotrebu litijum-disilikata kao gradivnog materijala (sl. 3.). Takođe, staklo-keramički materijali omogućavaju zavidan nivo prozirnosti, pa presujuća tehnologija podrazumeva izradu visoko estetskih nadoknada.



Sl. 3. Litijum-disilikatna keramika neposredno nakon presovanja.

2.3 Slip-cast metoda

Ova tehnika služi manunoj izradi nadoknada na bazi aluminijum-trioksida, i sastoji se od dve faze. U prvoj, izrađuje se košuljica od alumine, koja se, potom, sinteruje i stvara se veza između kristala difuzionim procesom na njihovoj površini.

U drugoj fazi, vrši se infiltracija niskoviskoznim staklom, čime se popunjavaju poroziteti i dobijaju završna mehanička svojstva nadoknade.

Govoreći o slip-cast tehnici, treba napomenuti da je sam proces veoma osetljiv, pucanja košuljice pre infiltracije česta, a svaka greška zahteva ponavljanje celokupne procedure. Sa razvojem kompjuterskih sistema rada s aluminom ova tehnika poprilično je izgubila na značaju.

2.4 Kompjuterski vođene nadoknade

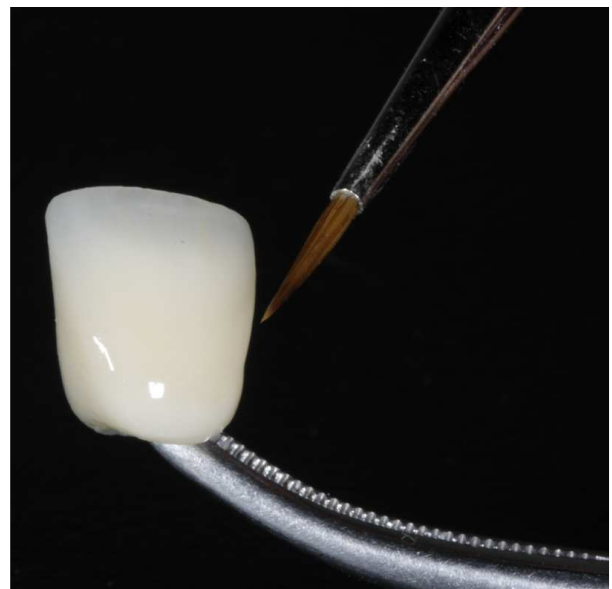
CAD/CAM (skraćenica od Computer Aided Design and Manufacturing) danas je veoma primenjivan i naširoko tražen modalitet izrade keramičkih nadoknada (sl. 4.). Sam proces sastoji se iz tri dela. U prvom, vrši se prostorna digitalizacija, odnosno, prenošenje realnog u viruelni model. Ovaj proces podrazumeva skeniranje radnog modela, a može se vršiti i direktno u ustima pacijenta. Skeneri mogu biti mehanički, optički ili laserski, pri čemu razlike potiču od rezolucije, brzine skeniranja, mogućnosti skeniranja problematičnih regija itd. Jednom skeniran, model biva prenešen u digitalni zapis, na kome se, u drugom delu (CAD) vrši softversko dizajniranje nadoknade. U ove svrhe postoje razni alati, počev od prepoznavanja demarkacije, izbora morfoloških karakteristika iz različitih banaka podataka, automatsko prepoznavanje morfologije susednih zuba (tzv. biogenerička funkcija), dodavanje ili oduzimanje materijala sa kontaktnih tačaka, kvržica itd. Po završenom dizajnu, daje se naredba numerički

vođenoj mašini (CAM), koja, iz početnog keramičkog bloka, metodom frezovanja dobija konačni objekt.



Sl. 4. Kompjuterski izrađene keramičke nadoknade.

Premda CAD/CAM jeste tehnologija budućnosti, do njenog potpunog savršenstva potrebne su još godine razvoja [9, 10]. Naime, iako se tačnost, preciznost, kvalitet marginalnog zaptivanja, vreme izrade i slični parametri ne mogu porediti sa manualnih tehnologijama, takođe se ni estetika ovakvih radova ne može pohvaliti. Naime, završni proizvod CAD/CAM tehnologije, bez ljudske dorade, u najboljem slučaju je prosečne estetike, bez mogućnosti za individualizaciju ili kreiranje posebnih efekata za zubima. Stoga, i pored upotrebe kompjutera, kao osnove, neophodan je ljudski element, kako bi rad dobio svoju završnu estetsku formu, prilagođenu individualnim željama pacijenta (sl. 5.).



Sl. 5. Individualizacija keramičkih krunica.

3. ZAKLJUČAK

Bezmetalni keramički materijali danas su široko rasprostranjeni i predstavljaju sadašnjost i budućnost stomatološke struke. Tehnološki postupci i metode, koje se primenjuju u njihovoj izradi, daju raznolikost upotrebe ovih materijala. Treba napomenuti, da nijedan postupak ne može obezbediti sve zahteve nauke i struke, pa je stoga, u konkretnom slučaju, neophodno odabrati onaj, koji najpribližnije oslikava želje i potrebe pacijenta.

4. REFERENCE

- [1] Zarone, F., Russo, S., Sorrentino, R. From porcelain-fused-to-metal to zirconia: Clinical and experimental considerations. *Dental Materials*, 2011, 27(1):83-96.
- [2] Magne, P., Besler, U. Bonded Porcelain Restorations in the Anterior Dentition: A Biomimetic Approach. Quintessence publishing, 2002.
- [3] Vichi, A., Louca, C., Corciolani, G., Ferrari, M. Color related to ceramic and zirconia restorations: A review. *Dental Materials*, 2011, 27(1):97-108.
- [4] Dhima, M., Paulusova, V., Carr, A., Rieck, K., Lohse, C., Salinas, T. Practice-based clinical evaluation of ceramic single crowns after at least five years. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 2014, 111(2):124-130.
- [5] Takeichi, T., Katsoulis, J., Blatz, M. Clinical outcome of single porcelain-fused-to-zirconium dioxide crowns: A systematic review. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 2013, 110(6): 455-461.
- [6] McGinley, E.L., Moran, G. Fleming, G. Biocompatibility effects of indirect exposure of base-metal dental casting alloys to a human-derived three-dimensional oral mucosal model. *Journal of Dentistry*, 2013, 41(11):1091-1100.
- [7] Denry, I. How and when does fabrication damage adversely affect the clinical performance of ceramic restorations? *Dental Materials*, 2013, 29(1):85-96.
- [8] Ansong, R., Flinn, B., Chung, K.H., Mancl, L., Ishibe, M., Raigrodski, A. Fracture toughness of heat-pressed and layered ceramics. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 2013, 109(4):234-240.
- [9] Burke, F., Crisp, R., Cowan, A., Lamb, J., Thompson, O., Tulloch, N. Five-year clinical evaluation of zirconia-based bridges in patients in UK general dental practices. *Journal of Dentistry*, 2013, 41(11):992-999.
- [10] Schlichting, L., Schlichting, K., Stanley, K., Magne, M., Magne, P. An approach to biomimetics: The natural CAD/CAM restoration: A clinical report. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 2014, 111(2):107-115.

Autori:

Dr Danimir Jevremović, dr Svemir Sekulić, dr Ivana Morisan-Basta, dr Aleksandra Reljić, Univerzitet Privredna Akademija, Stomatološki fakultet, Klinika za stomatološku protetiku, Žarka Zrenjanina 179, 13000 Pančevo, Srbija.

E-mail: dr.danimir@sbb.rs

Ivana.morisan@gmail.com

Reljic.aleksandra@gmail.com

jsekulic@yahoo.com

Dr Branka Trifković, Univerzitet u Beogradu, Stomatološki fakultet, Klinika za stomatološku protetiku, Rankeova 4, 11000 Beograd, Srbija.

E-mail: trifkovicbranka1011@gmail.com

Dr Igor Budak, dr Đorđe Vukelić, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel: +381-21-485-22-55, Fax: +381-21-454-495.

E-mail: budaki@uns.ac.rs

vukelic@uns.ac.rs

ZAHVALNICA

Rezultati prezentovani u radu predstavljaju segment istraživanja u okviru projekta "Istraživanje i razvoj metoda modeliranja i postupaka izrade dentalnih nadoknada primenom savremenih tehnologija i računarom podržanih sistema" (TR-35020), finansiranog od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Antonov, M., Potran, M., Šokac, M., Todorović, BA., Jevremović, D., Puškar, T., Trifković, B.

UREĐAJI ZA INSTRUMENTALNO ODREĐIVANJE BOJE ZUBA

Rezime: Određivanje boje zuba i zubnih nadoknada je komplikovan postupak, koji predstavlja jedan od glavnih izazova u estetskoj stomatologiji. Vizuelna komparacija sa uzorcima iz ključa za boje, primena spektrofotometara, kolorimetara i kompjuterska analiza digitalne fotografije predstavljaju najzastupljenije metode koje se primenjuju u određivanju boje. Instrumentalno određivanje boje obazbeđuje: eliminaciju uticaja faktora koji vode poreklo od okolnog okruženja i osvetljenja, ponovljivost rezultata, memorisanje i pouzdan prenos podataka. Na ovaj način omogućeno je postizanje vrhunskih estetskih rezultata koji predstavljaju imperativ svakodnevnih zahteva pacijenata, stomatologa i zubnih tehničara. Cilj rada je da prikaže osnovne karakteristike i mogućnosti uređaja za instrumentalno određivanje boje.

Ključne reči: boja, zub, spektrofotometri, kolorimetri, digitalna fotografija, estetika

1. UVOD

Ljudsko oko je sposobno da razlikuje deset miliona različitih boja. Boja je karakteristika koja zubnim nadoknadama daje "živost" i predstavlja univerzalni jezik u komunikaciji između lekara i zubnih tehničara. Tačno određivanje boje zuba i zubnih nadoknada je komplikovan postupak i predstavlja izazov u estetskoj stomatologiji. Savremeni protokoli nalažu da se u zubotehničku laboratoriju proslede sve informacije o osnovnim parametrima boje i vrsti odabranog materijala.

Do pre nekoliko godina stomatolozi i zubni tehničari primenjivali su isključivo konvencionalne ključeve za određivanje boje. Implementacija instrumentalnih metoda omogućila je da se prevaziđu nedostaci konvencionalnog postupka. [1]

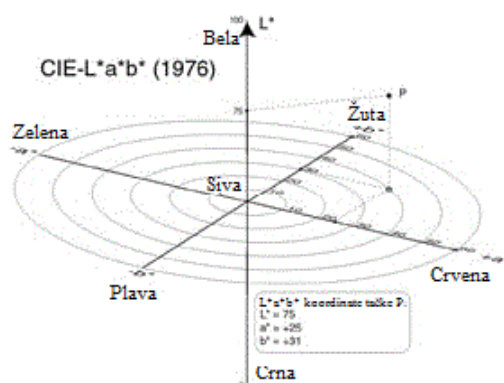
U poslednjih nekoliko decenija interesovanja za istraživanja u ovoj oblasti su sve više zastupljena. [2, 3] Razvoj računarskih tehnologija, interneta i sistema za komunikacije u mnogome su oblikovali moderno društvo. Stomatološka profesija je pod velikim uticajem nove generacije tehnologija koje su usmerene ka analizi i verifikaciji boje.

Percepcija boje uslovljena je prisustvom tri faktora: svetlošću, objektom i posmatračem. Boja ne može da se percipira, ako neki od ovih elemenata ne postoji. Boja je emocionalni i visceralni osećaj koji realno egzistira samo u našim mislima. Svaki posmatrač u zavisnosti od prethodnih iskustava različito interpretira i verbalno opisuje boju istog objekta.

Osnove teorije o boji postavio je Isak Njutn. Svaku boju iz spektra vidljive svetlosti elektromagnetnog zračenja karakteriše određena

frekvencija i talasna dužina u rasponu od 400 – 700 nm. Propuštanje bele svetlosti kroz staklenu prizmu dovodi do njene separacije u spektar boja: crvena, narandžasta, žuta, zelena, plava, indigo i ljubičasta. Objekat određene boje, reflektuje svetlost odgovarajuće talasne dužine koja pobuđuje štapiće i čepiće u retini oka. Stimulusi se potom prenose u mozak, koji je zadužen za kompletan doživljaj boje.

Svetlost emituju različiti izvori. Ona se u kontaktu sa objektom potpuno ili delimično apsorbira, reflektuje ili transmituje. Do ljudskog oka dospeva reflektovana svetlost koja predstavlja krajnji proizvod hemijske i/ili fizičke interakcije ukupne svetlosti koja se emituje sa površine objekta. Reflektovani zraci, različitih talasnih dužina, čine "otisak" svetlosnog spektra. Njegove talasne dužine predstavljene su krivom spektralne refleksije.



Slika 1. Trodimenzionalni CIE L*a*b* prostor boja

Boja se opisuje u trodimenzionalnom koordinatnom sistemu pomoću CIE L*a*b i L*c*h* prostora boja. (Slika 1) Tačna granica

primetljive i prihvatljive razlike u boji za posmatrača još uvek nije definisana. [4] Utvrđeno je da je estetski prihvatljiva razlika od $\Delta E^* < 4$ i $\Delta L^* < 2$, dok se razlika od $\Delta E^* = 1,6$ između prirodnog zuba i keramičke nadoknade golim okom ne primećuje. [5]

Cilj rada je da prikaže osnovne karakteristike i mogućnosti uređaja za instrumentalno određivanje boje.

2. BOJA U STOMATOLOGIJI

Početkom dvadesetog veka Albert Munsell je ustanovio da se boja sastoji iz tri dimenzije: osnovna boja, svetlina i zasićenost. Ovoj klasifikaciji treba dodati i translucenciju. Percepcija boje je kompleksan fenomen. U postupku evaluacije boje važnu ulogu imaju uslovi okolnog osvetljenja i okruženja, kao i karakteristike posmatrača. Intenzitet svetlosti od 15 – 200 cd omogućava da zenica bude dovoljno raširena i da svetlost u potpunosti dopire do fovee (centar vidnog polja na retini). Izvori svetlosti sa oznakom D50 i D65 (temperature 5000K, odnosno 6500K) se sugerišu kliničarima za svakodnevnu upotrebu, zbog toga što svetlost koju emituju najpribližnije odgovara prirodnoj sunčevoj svetlosti.

Boje koje odaju utisak istovetnosti pod određenim osvetljenjem i imaju različite krive spektralne refleksije nazivamo metamerama. Ovaj fenomen je prepoznatljiv i pod terminom metamerizam. 8% muškaraca i 0,5% žena ima neku vrstu defekta koji mogu predstavljati ograničavajuće faktore u percepciji boje. Stomatolozima se preporučuje da testiraju sopstvenu percepciju boja i ukoliko je to potrebno, u cilju što tačnijeg određivanja, potraže asistenciju. Mnogo je efekata koji zavise od posmatrača, a utiču na krajnji rezultat u određivanju boje. Neki od njih su: slepilo za boje, uzrast, ishrana, zamor, emocije, lekovi i binokularna razlika.

Klinički protokol određivanja boje podrazumeva sledeće postupke:

1. Uklanjanje šminke intenzivnih boja i ruža za usne. Ako je pacijent obučen u odeću drečavih nijansi, preporuka je da se prekrije kompresom neutralne boje.
2. Uklanjanje naslaga i evidentiranje kliničkog statusa preostalih zuba (može da ima uticaja na način preparacije i planirani vid terapije).
3. Određivanje translucencije i opaciteta (značajno za selekciju građivnih materijala). Zabeležiti sledeće parametre: hrapavost površine, sjaj i lokalne karakteristike boje.

4. Određivanje boje vrši se pre planirane intervencije. Na ovaj način se smanjuje i uticaj zamora očiju. Oči operatera treba da se nalaze u nivou zuba pacijenta na udaljenosti od 25 do 35 cm. Posmatranje uzoraka i zuba ne treba da bude duže od 5-7 sekundi, nakon čega sledi pauza od 5 sekundi u toku koje se posmatra pozadina sive boje.
5. Uzorke treba pozicionirati tako da refleksija svetlosti sa njih i prirodnih zuba bude ista. Važno je istaći da se boja određuje u trenutku kada je zub najviše hidriran (pre brušenja ili otiskivanja).
6. Određivanje boje vrši se posebno za svaku od horizontalnih trećina zuba. Ceo postupak se fotografira. Protokol predviđa da se prvo odredi svetlina, potom zasićenost i na kraju osnovna boja zuba.
7. Izbor potencijalnih uzoraka treba da se odredi najbrže što je moguće i samo odabrani uzorci treba da se koriste u opservaciji.
8. Na rezultate određivanja boje mogu da utiču sledeći parametri: izvor svetlosti, ugao posmatranja, udaljenost, znanje i iskustvo terapeuta.
9. Potrebno je napraviti fotografije zuba sa po jednim izrazito svetlim i izrazito tamnim uzorkom iz ključa za boje.
10. Fotografija osmeha u celini.
11. Razmena informacija između laboratorije i ordinacije.

U cilju što tačnijeg određivanja boje zuba preporučuju se sledeće smernice:

- Selekcija svetlijih nijansi kod pacijenata svetlije puti, i obrnuto.
- Primena svetloplave ili sive (18%) pozadine.
- Pozadina manjeg stepena zasićenosti u odnosu na boju zuba.
- Smanjenje svetline za ½ nijanse, ako se nadoknada percipira uveličano.
- Boja retrudiranih zuba može da bude malo svetlija, protrudiranih tamnija.
- Potrebna je pauza u postupku uzastopnog posmatranja boja različitih nijansi.

3. ODREĐIVANJE BOJE ZUBA

3.1. Konvencionalan način određivanja boje

Vizuelno određivanje boje podrazumeva komparaciju različitih boja uzoraka iz ključa sa zubom, u cilju određivanja najbolje popudarnosti. Od velikog značaja za lekare i zubne tehničare su edukacija i praktične vežbe iz ove oblasti. Uzevši u obzir da je konvencionalan način najzastupljeniji vid određivanja boje, pokazalo se da program

“Toothguide trainer” ima veliki značaj u edukaciji. [6]

Vita Classical ključ za boje predstavlja zlatni standard od momenta kada se pojavio 1956. godine. Uzorci osnovne boje poredani su u četiri grupe: A- Narandžasta, B- Žuta, C- Žuto/Siva, D- Žuto/Narandžasta (Smeđa). Zasićenost i svetlina obeleženi su brojevima: 1- Manja zasićenost, visoka svetlina, 2- Veća zasićenost, niska svetlina.

Vita 3D Master ključ uspeo je da u velikoj meri eliminiše subjektivnosti koje se javljaju u postupku određivanja boje. U okviru ovog sistema postoje tri ključa: Toothguide, Linearguide i Bleacheguide. Uzorci su obeleženi kombinacijom broj-slovo-broj, koji predstavljaju svetlinu, osnovnu boju i zasićenost. (Slika 2)

Firma Ivoclar Vivadent dizajnirala je Hromaskop, ključ sličan Vita Classical ključu. Međutim, ovaj ključ ima mnogo manju praktičnu upotrebu.



Slika 2. Vita 3D Master ključ za boje

Uprkos postojanju različitih ključeva za boje, neophodno je napomenuti da je opseg varijacija prirodne boje zuba toliko veliki, da vrlo često prevazilazi mogućnosti koje nude ključevi koji su u svakodnevnoj upotrebi. [7]

3.2. Instrumentalno određivanje boje zuba

Brojna klinička istraživanja ukazuju na veći uspeh u određivanju boje primenom instrumentalnih metoda. [8] S obzirom na varijacije od strane posmatrača u procesu vizuelnog određivanja boje, predlažu se nove kompjuterske metode koje se smatraju superiornijim u odnosu na konvencionalan način. [9,10] Tačno određivanje boje je teško i zahteva uvežbanost, što podrazumeva odgovarajuće uslove okruženja i primenu više koraka koji moraju da budu izvedeni u skladu sa predviđenim protokolom. Konvencionalan način određivanja boje u proseku traje 10 – 15 minuta, dok je za određivanje za boje primenom instrumentalnih metoda potreban oko 1 minut.

Na vizuelnu percepciju boje zuba značajno

utiču translucencija, opalescencija i površinska struktura. Uređaji za instrumentalno određivanje boje sastoje se od: detektora, uređaja za emitovanje signala i softvera. S obzirom na način određivanja izvršena je podela na uređaje za tačkasto i uređaje za površinsko određivanje boje zuba.

Uređaji za *tačkasto određivanje* detektuju boju na maloj površini zuba. Površinu zuba sa koje se prikupljaju informacije sa tri referentne tačke gingivalne, srednje i incizalne trećine zuba (ukupno devet tačaka) odgovara promeru glave sonde ovih uređaja. Veliki broj predviđenih pozicija za merenje produžava vreme potrebno za određivanje boje. Međutim, količina informacija o boji koje se prikupe u postupku merenja pomoću uređaja za tačkasto određivanje nije dovoljna, jer boja zuba predstavlja jednu nehomogenu strukturu. Ovi uređaji su najpogodniji za preliminarno određivanje boje i uglavnom predstavljaju pomoćno sredstvo. Najpoznatiji uređaji iz ove grupe su VITA Easysshade Compact (Vident, California, USA) i Shade X (X Rite, Neu Isenburg, Germany).

Uređaji za *površinsko određivanje* boje obezbeđuju topografski prikaz distribucije boje na celokupnoj površini zuba. Njihova primena omogućila je da se sve informacije o boji prikažu na jednoj slici. Ovakav način određivanja obezbeđuje mnogo tačnije informacije koje se prosleđuju u zubnu laboratoriju. Nedostatak ovih uređaja je primena koja je ograničena isključivo na prednje zube, zbog veličine senzora kojeg nije moguće aplikovati na zube bočne regije. Najpoznatiji uređaji iz ove grupe su: SpectroShade™ Micro (MHT Optic Research AG, Niederhasli, Switserland), ShadeVision TMSystem (X-Rite, Regensdorf, Switserland) i CrystalEye (.Olympus, Tokyo, Japan)

3.2.1. Uređaji za instrumentalno određivanje boje zuba

Instrumentalno određivanje boje omogućilo je eliminaciju uticaja okolnog okruženja i osvetljenja, ponovljivost rezultata, lako memorisanje i pouzdan prenos podataka.

RGB uređaji

Akronim RGB koristi se za uređaje (video kamere, digitalni foto aparati) koji zajedno sa digitalnim kamerama predstavljaju deo najosnovnijeg pristupa u elektronskom određivanju boje. Oni prikupljaju informacije o crvenoj, zelenoj i plavoj boji. Međutim, ove informacije se mogu koristiti isključivo kao pretpostavka, i u cilju unapređenja komunikacije

između lekara i zubnih tehničara. Njihova tačnost je diskutabilna jer ne predstavljaju merne instrumente. Informacija o boji dobija se isključivo na osnovu snimljene slike. Najpoznatiji predstavnik ove grupe je ShadeVision™ System (X-Rite, Regensdorf, Switzerland).

Spektrofotometri

Spektrofotometri su uređaji koji mere talasne dužine reflektovane svetlosti (osnovna boja, zasićenost i svetlina) na udaljenosti od 10 nm. Reflektovana svetlost formira krivu spektralne refleksije. Ovi uređaji detektuju vizuelne spektre sa površine objekta, u proseku na 16 do 32 tačaka. Informacije koje se prikupljaju pomoću spektrofotometara se obrađuju i prevode u oblik u kome su praktično upotrebljive. Savremeni spektrofotometri sadrže informacije o CIE standardnom posmatraču, spektralnim krivuljama mnogih standardnih izvora svetlosti i softver za izračunavanje CIE tristimulskih vrednosti. Masovna upotreba ovih uređaja u kliničkim i laboratorijskim uslovima ograničena je zbog visoke cene i poteškoća u postupku određivanja boje u in vivo uslovima.

Istraživanja pokazuju da su najveće podudarnosti u određivanju boje između spektrofotometra i ljudskog oka u svetlini i osnovnoj boji, a znatno manje u zasićenosti. [12]

Postoji mnoštvo različitih vrsta spektrofotometara koji se koriste u naučne svrhe. U postupku određivanja boje primenom ovih uređaja objekat se nalazi u centru i eksponiran je zracima sa svih strana i uglova, što omogućava najveći stepen tačnosti i preciznosti merenja. Međutim, u kliničkim uslovima zub ne može da se eksponira na ovaj način. Umesto toga svetlosni zraci se projektuju direktno na površinu zuba.

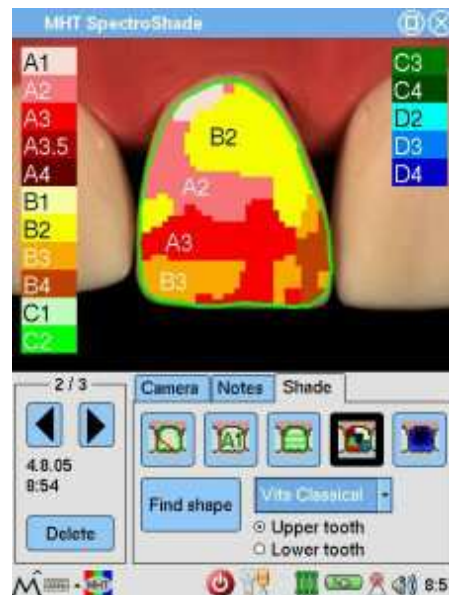
Postoje dve osnovne pozicije izvora svetlosnih zraka koje se primenjuju u spektrofotometriji:

- Osvetljenost 0 stepeni, ugao posmatranja 45 stepeni (0/45),
- Osvetljenost 45 stepeni, ugao posmatranja 0 stepeni (45/0).

Budući da usna duplja ima ograničene uslove i ne obezbeđuje adekvatan pristup, jedino je ugao posmatranja od 45/0 moguće primeniti u kliničkim uslovima.

Jedan od spektrofotometara koji je namenjen kliničkoj primeni u stomatologiji je SpectroShade™ Micro (MHT Optic Research AG, Niederhasli, Switzerland). (Slika 3) Uređaj poseduje dve digitalne kamere opremljene optičkim vlaknima koje su povezane sa integrisanim spektrofotometrom. Na rezultate merenja, koji su prikazani u obliku grafičke kolor šeme, ne utiču

uslovi okolnog osvetljenja i okruženja. Uređaj detektuje boju zuba i predlaže najpribližniji spektar boja koje treba uključiti u postupku rekonstrukcije. Ima mogućnost izračunavanja razlike između parametara (boja, svetlina, zasićenost) osnovne boje zuba i selektovane boje.



Slika 3. Grafička kolor shema SpectroShade™ Micro uređaja

Najpoznatiji spektrofotometar koji ima i najveću praktičnu primenu je VITA Easyshade Compact (Vident, California, USA). (Slika 4) Određivanje boje usklađeno je sa VITA Classical i VITA 3D Master ključevima.



Slika 4. VITA Easyshade Compact

S obzirom da spektrofotometri u velikoj meri isključuju uticaj osvetljenja i subjektivan ljudski faktor, pripisuje im se veća tačnost u određivanju boje. [13]

Kolorimetri

Ovi instrumenti su dizajnirani tako da određuju boju na isti način kao što je percipiraju ljudske oči. Prikazuju boju u jednom od postojećih prostora boja i omogućavaju izračunavanje razlike ΔE . Najpoznatiji predstavnik ove grupe bio je Shade X (X-Rite, Neu Isenburg, Germany). [14] (Slika 5) Instrument je kreirao veoma tačnu sliku objekta pomoću informacija sa oko 22000 piksela, što je omogućavalo analizu boje na oko 50 regiona na površini zuba. Određivanje boje primenom ovog instrumenta bilo je usklađeno sa: Vita Classical, Vita 3D Master, Chromaskop, Esthet – X i Bioform ključevima za boje. Međutim, danas se ovaj uređaj ne proizvodi.



Slika 5. Shade X

Kolorimetri imaju manji stepen tačnosti u odnosu na spektrofotometre, ali u kraćem vremenskom roku prikazuju rezultate merenja. Obe vrste uređaja zahtevaju kalibraciju pre svake upotrebe.

Digitalne kamere

Digitalne kamere postaju sredstvo koje se sve više koristi u postupku određivanja boje. Njihova primena pruža brojne pogodnosti: jednostavne su za upotrebu, za njihovu primenu nisu potrebna velika znanja iz oblasti kompjutera i fotografije. Međutim, digitalna fotografija pojedinačno nije dovoljna za određivanje boje.

Digitalna fotografija

Digitalna fotografija je sredstvo na osnovu koga možemo dobiti informacije o površinskim karakteristikama zuba kao što su: pukotine, hipokalcifikacije, translucencija i opalescencija. Za primenu digitalne fotografije u postupku određivanja boje potrebni su kamera, siva karta i foto-šop kompjuterski program.

Postoje metode koje su se pokazale korisnim

prilikom korišćenja digitalnih fotografija u određivanju boje zuba, a kojima se prevazilaze nedostaci kolorimetara i spektrofotometara. [15] Podesno kalibrisane komercijalne digitalne kamere, imaju veliki potencijal u tačnom određivanju boje. [16] Međutim, one se koriste isključivo kao dopunsko sredstvo, jer pojedinačne digitalne fotografije nisu dovoljne za određivanje boje zuba.

Diskusija

Na tačnost određivanja boje utiče niz faktora. Jedan od njih je fenomen „edge loss„ (gubljenje ivica) koji se javlja zbog toga što se svetlost gubi prolaskom kroz translucentan zub ili deo keramike koji predstavlja gleđ. Zbog toga se u softveru uređaja za određivanje boje ugrađuju algoritmi, čiji zadatak je akomodacija svetlosnih zraka koji se rasipaju. Fenomen je teško u potpunosti izbeći, ali primena filtera predstavlja jedan od načina da se značajno umanjí. Nedostatak svih sistema za digitalno određivanje boje je prikaz mape translucencije. Kopiranje translucencije zuba predstavlja jedan od najvećih izazova u postupku određivanja boje. Transfer ove trodimenzionalne optičke karakteristike u dvodimenzionalnu mapu nije jednostavan.

Jedan od faktora koji može da naruši tačnost i preciznost postupka određivanja boje je i pozicija glave sonde. Uređaji koji primenjuju metodu tačkastog merenja imaju ograničene mogućnosti jer ne pružaju informacije sa celokupne površine zuba. Kada je reč o rezultatima istraživanja o pouzdanosti spektrofotometara u poređenju da ljudskim vidom, treba naglasiti da zahvaljujući tehničkim karakteristikama spektrofotometri pokazuju veći stepen pouzdanosti i tačnosti. [17, 18]

4. ZAKLJUČAK

Određivanje boje zasniva se na konvencionalnim i instrumentalnim metodama. Svaka od njih ima izvesna ograničenja, prednosti i nedostatke. Međutim, vrhunske estetske rezultate isključivo je moguće postići kombinacijom vizuelnih i instrumentalnih metoda.

5. REFERENCE

- [1] S. J. Chu, R. D. Trushkowsky, R. D. Paravina: *Dental color matching instruments and systems*, Review of clinical and research aspects, *Journal of dentistry* 2010; 38: 2–16.
- [2] A. Joiner.: *Tooth colour: a review of the literature*, *Journal of dentistry* 2004; 32: 3–12.

- [3] A. Joiner, I. Hopkinson, Y. Deng, S. Westland: *A review of tooth colour and whiteness*, Journal of dentistry 2008; 36: 2–7.
- [4] Delwin T. Lindsey, Alvin G. Wee: *Perceptibility and acceptability of CIELAB color differences in computer-simulated teeth*, Journal of dentistry 2007; 35: 593–599.
- [5] S. Ishikawa-Nagai, A. Yoshida, M. Sakai, J. Kristiansen, J.D.Da Silva: *Clinical evaluation of perceptibility of color differences between natural teeth and all-ceramic crowns*, Journal of Dentistry 2009; 37: 57–63.
- [6] C. Olms, Th. Klinke, P. Pirek, W.B. Hannak: *Randomized multi-centre study on the effect of training on tooth shade matching*, Journal of Dentistry 2013;41:1259–1263.
- [7] J. Yuan, J. D. Brewer, E. Monaco, E. L. Davis: *Defining a natural tooth color space based on a 3-dimensional shade system*, Journal of Prosthetic Dentistry 2007; 98: 110–119.
- [8] J. Da Silva, S.E.Park, H. Weber, S.Ishikawa-Nagai: *Clinical performance of a newly developed spectrophotometric system on tooth color reproduction*, Journal of Prosthetic Dentistry 2008; 99: 361–368.
- [9] Rajul Vivek, Ankita Singh, Romesh Soni, S.V.Singh, T.P.Chaturvedi: *Conventional and digitally assisted shade matching-A comparative study*, Indian Journal of Dentistry 2013;4:191–199.
- [10] J.F. Lasserre, I.S.P. Ciutrla, H. A. Colosi: *A comparison between a new visual method of color matching by intraoral camera and conventional visual and spectrometric methods*, Journal of Dentistry 2011; 39: 29–36.
- [11] Derdilopoulou FV, Zantner C, Neumann K: *Evaluation of visual and spectrophotometric shade analyses: a clinical comparison of 3758 teeth*, International Journal of Prosthodontic 2007;20:414–6.
- [12] C. Go´mez-Polo, M. Go´mez-Polo, A. Celemin-Vin, J. De Parga: *Differences between the human eye and the spectrophotometer in the shade matching of tooth colour*, Journal of Dentistry 2014, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jdent.2013.10.006>.
- [13] P. Lagouvardos, A. Fougia, S. Diamantopoulou, G. Polyzois: *Repeatability and interdevice reliability of two portable color selection devices in matching and measuring tooth color*, Journal of Prosthetic Dentistry 2009;101:40–45.
- [14] B. H. Choa, Y. K. Limb, Y. K. Leec: *Comparison of the color of natural teeth measured by a colorimeter and Shade Vision System*, Dental materials 2007; 23: 1307-1312.
- [15] W.K. Tam, H.J. Lee: *Dental shade matching using a digital camera*, Journal of dentistry 2012; 40: 3–10.
- [16] A. G. Weea, D. T. Lindseyb, S. Kuoa, W. M. Johnstona: *Color accuracy of commercial digital cameras for use in dentistry*, Dental materials 2006; 22: 553–559.
- [17] Horn DL, Bulan-Brady, Hicks ML. *Sphere spectrofotometer versus human evaluation of tooth shade*, Journal of Endodontics 1998;24:786-90.
- [18] Paul S, Peter A, Pietrobon N, Hammerle CH.: *Visual and spectrophotometric shade analysis of human teeth*, Jour of Dent Research 2002;81:578-82.

Autori: Milica Antonov, Prof. dr Aleksandar Todorović, Asis. dr. sci Branka Trifković, Univerzitet u Beogradu, Stomatološki fakultet, Dr Subotića 8, 11000 Beograd, Srbija.
E-mail: milica_antonov@yahoo.com
trifkovic.branka1011@gmail.com
a.todorovic@sbb.rs

Doc. dr Tatjana Puškar, Dr Potran Michal, Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet Novi Sad, Departman za stomatologiju, Hajduk Veljkova 12, Novi Sad, Telefon: +381 21 661-33-62.
E-mail: tatjanapuskar@yahoo.com
michalpotran@gmail.com

M.Sc. Mario Šokac, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Trg Dositeja Obradovića 6, Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485 2332, Fax: +381 21 454-495.
E-mail: marios@uns.ac.rs

Dr Jevremović Danimir, Univerzitet Poslovna Akademija, Stomatološki fakultet Pančevo, Žarka Zrenjanina 179, 26000 Pančevo, Srbija.
E - mail: dr.danimir@sbb.rs

ZAHVALNICA

Ovaj rad predstavlja deo istraživanja ostvarenih u okviru projekta “ Istraživanje i razvoj metoda modeliranja i postupka izrade dentalnih nadoknada primenom savremenih tehnologija i računarom podržanih sistema” TR 35020, finansiranog od strane Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

Matin, I., Hadžistević, M., Hodolić, J., Vukelić, Đ., Puškar, T., Potran, M., Drstvenšek, I.

RAZVOJ EKSPERTNOG SISTEMA ZA PROJEKTOVANJE SIMULACIONOG MODELA METALNE SUBSTRUKTURE ZA METALOKERAMIČKU KRUNICU

Rezime: *Precizno livenje (IC) i brzo precizno livenje (RIC) predstavljaju najzastupljenije tehnologije livenja u stomatologiji, što zahteva automatizaciju projektovanja kalupa i simulacionog modela u svim fazama projektovanja. Autori predlažu skup CAD/CAE modelskih formi potrebnih za razvoj simulacionog modela strukture. U radu se predstavlja arhitektura modularnog, distributivnog, integralnog CAD/CAE/RP ekspertnog sistema za konceptualno i detaljno projektovanje simulacionog modela metalne strukture za metalokeramičku krunicu i određivanje parametara preciznog livenja. U zaključku se predviđa tendencija daljeg razvoja ovog ekspertnog sistema.*

Ključne reči: *ekspertni sistem, precizno livenje, CAD/CAE, baza podataka*

1. UVOD

Precizno livenje se primenjuje u automobilske, vazduhoplovne, vojne industrije i biomedicine, a posebno u stomatologiji za livenje geometrijski složenih modela. Kod ove tehnologije oblik kalupa se formira na osnovu voštanog modela. Voštani model se topi, formira kalupnu šupljinu a nakon toga se uklanja zagrevanjem. Voštani model se izrađuje manuelno za svakog pacijenta posebno. Prednost ove tehnologije ogleda se u odličnoj reprodukciji složenih geometrijskih oblika, relativno niskoj ceni i minimalnom gubitku materijala [1]. Nedostaci ove tehnologije ogledaju se u pojavi poroznosti, zaostalih napona, deformacija, gasnih uključaka, hemijske i fizičke neujednačenosti. Ovi nedostaci se mogu umanjiti pravilnim projektovanjem kalupa i tehnologije livenja. Često se za ova projektovanja koriste ekspertni sistemi (ES).

Cheah i dr. [2] razmatraju primenu preciznog i brzog preciznog livenja na proizvode složenog oblika. Autori ističu potrebu za automatizacijom svih faza projektovanja, i obaveznu primenu ES.

Martinez-Hernandez i dr. [3] prikazuju tehnologiju izrade šupljih polimernih uzoraka brzom izradom prototipa u cilju stvaranja školjkastog kalupa za precizno livenje.

Lee i dr. [4] su razvili ekspertni sistem za projektovanje kalupa. Sistem sadrži bazu podataka (BP) i bazu znanja potrebnu za modeliranje i izradu kalupa. Ovo predstavlja integrisani CAD/CAM sistem.

Matin i dr. [5, 6] su razvili parametarski, modularan, objektno-orijentisan, ES zasnovan na modelskim formama. Sistem integriše Pro/E sa

originalno razvijenim CAE modulom za proračun parametara kalupa. Interfejs omogućava brzo projektovanje novog rešenja, pretraživanje i promenu predhodnog.

Pattnaik i dr. [7] su razvili ES za određivanje glavnih parametara preciznog livenja. Glavni parametri su temperatura livenja, vreme ulivanja, pritisak ulivanja, koeficijent linernog širenja i kvalitet obrađene površine.

Guofa i dr. [8] su razvili simulacioni model koristeći Pro/E za modeliranje i View Cast za simulaciju ulivanja i očvršćavanja.

Chan i dr. [9, 10] vrše komparativnu analizu komercijalnih programskih sistema, ES i patentiranih tehnologija na relaciji „kalup-odlivak“.

Yin i dr. [11] istražuju mogućnost modeliranja CAD i CAE modelskih formi korišćenjem relacija. Modelske forme klasifikuju kao konceptualne, za modeliranje sklopova, osnovne za modeliranje elemenata i detaljne za projektovanje elementa.

Gujarathi i dr. [12] su predstavili metod za CAD/CAE integraciju pomoću „tekućih podataka“ koji sadrže parametarske informacije vezane za geometriju i CAE analizu. Ovi „tekući podaci“ se mogu automatizovano kodirati. Svaka izmena podataka na CAD modelskoj formi izaziva polu automatsku promenu odgovarajuće CAE modelske forme. Autori su koristili tri skupa modelskih formi (geometrijske, relacione i standardne za razvoj aplikacija) i produkciona pravila za njihovo povezivanje.

Zhou i dr. [13] su razvili ES zasnovan na numeričkoj simulaciji.

Ma i dr. [14, 15, 16] su razvili ES koji sadrži objektno-orijentisanu BP sa geometrijskim i negeometrijskim modelskim formama.

Kuzman, Nardin i dr. [17, 18, 19] su razvili CAD/CAE/CP sistem za projektovanje simulacionog modela i kalupa. Sistem omogućava prenos geometrijskih i tehnoloških informacija direktno na mašinu.

Er i dr. [20, 21] su razvili ES za izbor tehnologije livenja primenom produkcijskih pravila. Kritične modelske forme za izbor su: debljina zida, otvor, rupa, radijus, oborena ivica, nagib, rebro, tolerancija slobodne mere, tolerancija oblika i položaja, kvalitet obrađene površine, veličina i masa odlivka.

Bodein, Y i dr. [22] su razvili metod za modeliranje složenih geometrijskih proizvoda koristeći funkcionalne reference dodate komercijalnom CAD sistemu.

Na osnovu predhodnog može se zaključiti da autori na različite načine rešavaju probleme projektovanja tehnologije livenja izborom odgovarajućih informacija iz BP. Oni često koriste CAD/CAE integraciju za stvaranje pravila neophodnih za razvoj simulacionog modela. Neki od njih koriste CAE sisteme za numeričku simulaciju livenja kao što je MAGMASOFT [1, 23, 24, 25, 26, 27, 28] i stvaraju CAD/CAE, CAD/CAE/CP, CAD/CAE/CAM integraciju. Cilj takvih integrisanih sistema je veća podrška u projektovanju simulacionog modela, kalupa i parametara preciznog livenja što doprinosi podizanju kvaliteta odlivka. Za gradnju ovih sistema najčešće se koriste sledeće inženjerske tehnike: LP-linearno programiranje, NLP-

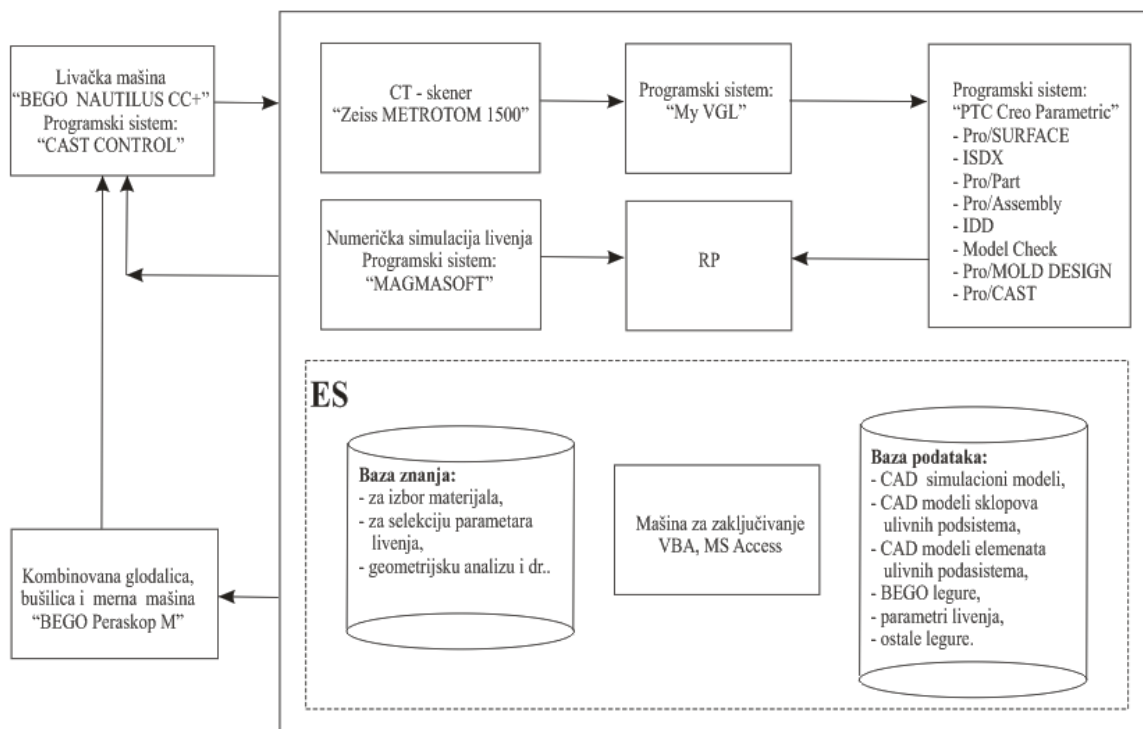
nelinearno programiranje, SA-simulacija, IR-iterativni redizajn, PDT-parametarski templejt, GBA-gradijentni algoritmi, BB-arhitektura table, HR-heuristička pravila, RBR-rezonovanje na osnovu pravila, CBR-rezonovanje na osnovu slučaja, GA-genetski algoritmi, AR-analognu rezonovanje [6].

2. PROJEKTOVANJE SIMULACIONOG MODELA

Tok projektovanja simulacionog modela i uprošćena arhitektura ES prikazuje se na slici 1. Ovako pozicioniran ES zauzima centralno mesto i položaj u projektovanju simulacionog modela. Baza znanja, BP i mašina za zaključivanje moraju pravovremeno obezbediti čitanje, modifikaciju, razvoj i dvosmerni prenos informacija sa sledećim programskim sistemima:

- My VGL,
- Creo Parametric (Pro/E),
- MAGMASOFT i
- CAST CONTROL.

ES treba da poseduje arhitekturu koja je integralna nad celokupnim prostorom znanja i omogućava kontinualan tok projektovanja.



Sl. 1. Tok projektovanja simulacionog modela metalne substrukture za metalokeramičke kronicu

CAD model sadrži oblak tačaka generisan primenom CT skenera "Zeiss Metrotom 1500" uz korišćenje programskog sistema "My VGL". Tako dobijeni facet model, se dalje rekonstruiše i pretvara u solid primenom programskog sistema "Creo Parametric" [5]. Nakon toga, u okviru numeričke simulacije u MAGMASOFT-u vrši se određivanje parametara preciznog livenja, izbor materijala, i geometrije ulivnog podsistema. Parametri livenja, stomatološke legure i modela ulivnog podsistema ili nekog njegovog sastavnog dela se učitavaju iz BP.

3. KOMPONENTE EKSPERTNOG SISTEMA

BP, baza znanja i mašina za zaključivanje predstavljaju centralne komponente ekspertnog sistema, što prikazuje slika 1. Ova parametarska BP sadrži:

- standardne „BEGO“ materijale,
- materijale koji ne spadaju u grupu materijala proizvođača „BEGO“,
- parametre livenja,
- režime obrade za kombinovanu glodalicu, bušilicu i mernu mašinu „BEGO Paraskop M“,
- modele ulivnih podsistema sa odgovarajućim srednjim prečnicima ulivnih kanala (Ø4mm, Ø6mm, Ø8mm, i dr.), uglovima osa ulivnih kanala prema vertikalnoj ravni (12°, 15°, 18°, 20°, 22°), i odgovarajuće zapremine ulivnih čaša, i
- podatke o karakteristikama stomatološke livačke mašine "BEGO Nautilus CC+".

Baza znanja je sastavljena od različitih izvora znanja od kojih je najčešće inferentno, a najčešće primenjivano pravilo je produkciono. Nekolicina produkcionih pravila se prikazuju preko atributivnih uzročno-posledičnih iskaza (1, 2, 3, 4, 5, 6).

IF mat1 (Ti) THEN "poruka 2" OR IF mat1 (NON-BEGO AND Be OR Ti) THEN "poruka 2" ELSE Subroutine "CASTCONTROL"(1)

Poruka 2 "MASINA NIJE NAMENJENA ZA LIVENJE OVE LEGURE"(2)

IF NOT ($T_{liv}^* \leq T_{liv} + 10$ AND $T_{liv}^* \geq T_{liv} - 10$) THEN poruka „STOP!*- Temperatura livenja nije u granicama $\pm 10^0 C$ “ ELSE Subroutine

(CASTCONTROL, "search code" by BEGO)(3)

IF mat1 (AlF3 OR SB OR Sb2Te3 OR GaAs OR InP OR InS OR MgO OR Pt) THEN RECOMMENDED CRUCIBLE mat2 (Graphite 1)(4)

IF mat1 (Cd OR CdSe OR Co OR GaN OR Ge OR GeO2 OR Au OR Fe OR FeS OR Li) THEN RECOMMENDED CRUCIBLE mat2 (Al2O3, kvarc)(5)

IF BEGO GROUP CoCr AND mat1 (Wirobond C) THEN (Program Code 192, $T_{liv}=1500^0C$ AND MAGMA_PARAMS ($T_{kalupa\ min}=900^0C$, $T_{kalupa\ max}=1000^0C$) AND CRUCIBLE INSERT BEGO mat 2 (Graphite 1)) (6)

gde su: (T_{kalupa} , $T_{kalupa\ min}$, T_{liv} , $T_{kalupa\ max}$, T_{liv}^* , mat1, mat2 i GROUP CoCr) celobrojne vrednosti; Grupa „GROUP CoCr“ sadrži sledeće materijale (Wirobond C, Wirobond LFC, Wirobond SG, Wironium, Wironium Plus i dr.) koji su iskazani preko tekstualnih oznaka.

4. ARHITEKTURA EKSPERTNOG SISTEMA

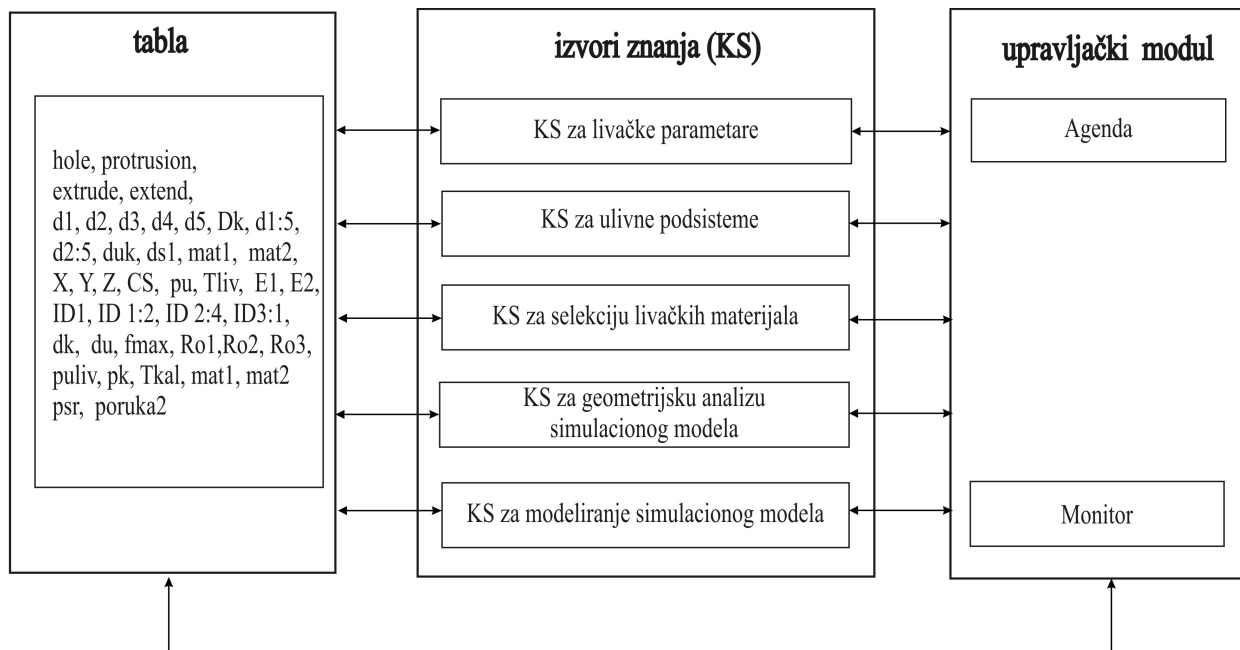
Na osnovu uprošćene arhitekture ekspertnog sistema prikazane na slici 1, razvijena je arhitektura table (BBA), što prikazuje slika 2.

BBA je pogodna za rešavanje problema kod kojih više različitih izvora znanja mora biti integrisano. Rešavanje problema uključuje kooperativno donošenja odluka između podmodula koji sadrže različite vrste znanja odnosno izvora znanja. Svaki izvor generiše delimično rešenje problema projektovanja. Izvor znanja može da generiše rešenja na osnovu drugih rešenja. Konačno rešenje se postiže kada su sva parcijalna rešenja ispunila produkciona pravila i ograničenja od strane korisnika, odnosno ekspertnog sistema.

BBA sadrži tablu, podeljene izvore znanja, monitor, i upravljački modul, što je prikazano na slici 2.

Tabla je globalno dostupna BP koja sadrži podatke i parcijalna rešenja data iskazima odnosno pravilima. Za upravljački modul koristi se VBA.

Tabla sadrži formalizovane ulazne, među i izlazne informacije.



Sl. 2. Arhitektura ekspertnog sistema za projektovanje simulacionog modela metalne substrukture za metalo-keramičku krunicu

BP i znanja sadrži proceduralno, deklarativno, heurističko i strukovno znanje različitog domena.

5. ZAKLJUČAK

Razvijeni ES omogućava:

- CAD modeliranje simulacionog modela metalne substrukture za metalokeramičku krunicu,
- automatizaciju modeliranja tipskih elemenata kalupa korišćenjem modelskih formi i Pro/E opcije „Family Table“,
- proveru livkosti,
- određivanje parametara livenja numeričkom simulacijom,
- izbor standardnih elemenata ulivnih pod sistema i materijala iz BP,
- modeliranje, upotrebu i razvoj BP i baze znanja, i
- skraćenje vremena projektovanja kalupa i tehnologije preciznog livenja.

Na osnovu prikazane arhitekture, može se zaključiti da je ES predstavlja originalno i autentično rešenje.

ES je projektovan za precizno livenje za tačno određenu mašinu za livenje.

ES se može koristiti za dobijanje CAD simulacionog modela RE modeliranjem, koji se zatim transformiše u fizički model primenom RP. Takav model služi za proveru generisanog CAD modela što diže kvalitet primene IC na područje RIC tehnologije.

Razvoj interfejsa koji bi mogao da prepozna geometrijske i tehnološke parametre na osnovnom CAD/CAE simulacionom modelu, značajno bi unapredilo stepen automatizacije sistema. Iako MS Access i VBA spadaju u grupu najrasprostranjenijih sistema i jezika za razvoj i upravljanje BP, trenutno postoje sistemi koji imaju bolje karakteristike u pogledu upravljanja, distribucije i zaštite podataka. Projektovani ES ispunjava zahteve gradnje i egzistencije u skladu sa OSA i OSI standardima.

Poboljšanje u budućnosti može se odnositi na stvaranje direktnog transporta podataka CAE parametara iz MAGMASOFT-a na mašinu za livenje, bez upotrebe „BEGO CAST CONTROL“ aplikacije. Poboljšanje se može odnositi na razvoj postojećih i stvaranje novih izvora znanja primenom veštačke inteligencije i drugih inženjerskih metoda. Dalje istraživanje može biti razvoj kolaborativnog sistema pomoću web tehnologija.

Ovako razvijeni ES je namenjen za sofisticirano stomatološko precizno livenje, ali bi se mogao proširiti i na druge vrste livenja (vakuumsko i centrifugalno) i druge mašine za livenje.

6. REFERENCE

- [1] Atwood, R.C., Lee, P.D., Curtis, R.V., Maijer, D.M.: *Modeling the investment casting of a titanium crown*, Dental Materials, Vol.23, pp.60-70, 2007.
- [2] Cheah, C.M., Chua, C.K., Lee, C.W., Feng,

- C., Totong, K.: *Rapid prototyping and tooling techniques: A review of applications for rapid investment casting*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.25, pp.308–320, 2005.
- [3] Martinez-Hernandez, M., Juarez-Hernandez, A., Ayala, V.M., Ayala-Cazares, J., Hernandez-Rodriguez, M.: *Optimization of the investment casting process*, METABK, Vol.51, No 2, pp.273-276, 2012.
- [4] Lee, S.H.: *Feature-based non-manifold modeling system to integrate design and analysis of injection molding products*, Journal of Mechanical Science and Technology, Vol.23, pp.1331-1341, 2009.
- [5] Matin, I., Potran, M., Hadzistevic, M., Hodolic, J., Vukelic, DJ., Puskar, T., Drstvensek, I., Vrba, I.: *Development of the simulation model for casting of metal substructure of metal-ceramic crown*, Journal of Production Engineering, Vol.16., No 2., pp.49-53, 2013.
- [6] Matin, I., Hadzistevic, M., Hodolic, J., Vukelic, DJ., Lukic, D.: *A CAD/CAE-integrated injection mold design system for plastic products*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.63, No 5-8, pp.595-607, 2012.
- [7] Pattnaik, S., Karunakar, D.B, Jha, P.K.: *Multi-characteristic optimization of wax patterns in the investment casting process using grey-fuzzy logic*, Vol.67, pp.1577-1587, 2013.
- [8] Guofa, M., Changyun, L., Zeng, G.: *Application of numerical simulation on cast steel toothed plate*, Engineering Review, Vol.34, No 1, pp.1-6, 2014.
- [9] Chan, W.M., Pinfold, M., Kwong, C.K., Szeto, W.H.: *A review of research, commercial software packages and patents on family mold layout design automation and optimization*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.57, No 1-4, pp.23-47, 2011.
- [10] Chan, W.M., Yan, L., Xiang, W., Cheok, BT.: *A 3D CAD knowledge-based assisted injection mould design system*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.22, No 5-6, pp.387-395, 2003.
- [11] Yin, C.G., Ma, Y.S.: *Parametric feature constraint modeling and mapping in product development*, Advanced Engineering Informatics, Vol.26, No 3, pp.539-552, 2012.
- [12] Gujarathi, G.P., Ma, Y.S.: *Parametric CAD/CAE integration using a common data model*, Journal of Manufacturing Systems, Vol.30, pp.118–132, 2011.
- [13] Zhou, H., Shi, S., Ma, B.: *Virtual Injection Molding System Based on Numerical Simulation*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.40, No 3-4, pp.297-306, 2009.
- [14] Ma, Y.S., Britton, G.A., Tor, S.B., Jin, L.Y.: *Associative assembly design features: concept, implementation and application*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.32, No 5-6, pp.434-444, 2007.
- [15] Ma, Y.S., Chen, G., Thimm, G.: *Paradigm shift: unified and associative feature-based concurrent and collaborative engineering*, Journal of Intelligent Manufacturing, Vol.19, No 6, pp.645-641, 2008.
- [16] Ma, Y.S., Tang, S.H., Chen, G.: *A Fine-grain and Feature-oriented Product Database for Collaborative Engineering*, Collaborative Product Design and Manufacturing Methodologies and Applications, pp.110-136, 2007.
- [17] Ferreira, J.C., Mateus, A.: *A numerical and experimental study of fracture in RP stereolithography patterns and ceramic shells for investment casting*, Journal of Materials Processing Technology, Vol.134, pp.135-144, 2003.
- [18] Kuzman, K., Nardin, B., Kovac, M., Jurkosek, B.: *The integration of rapid prototyping and CAE in mould manufacturing*, Journal of Materials Processing Technology, Vol.111, pp.279-285, 2001.
- [19] Nardin, B., Kuzman, K., Kampus, Z.: *Injection moulding simulation results as an input to the injection moulding process*, Journal of Material Processing Technology, Vol.130–131, pp.310-314, 2002.
- [20] Er, A., Dias, R.: *A rule-based expert system approach to process selection for cast components*, Knowledge-Based Systems, Vol.13, pp.225-234, 2000.
- [21] Masood, S.H., Soo, A.: *A rule based expert system for rapid prototyping system selection*, Robotics and Computer Integrated Manufacturing, Vol.18, pp.267-274, 2002.
- [22] Bodein, Y., Rose, B., Caillaud, E.: *Explicit reference modeling methodology in parametric CAD system*, Computer in Industry, Vol.65, pp.136-147, 2014.
- [23] Radisa, R., Gulisija, Z., Mihajlovic, M.: *Virtual manufacturing of casting using CAE techniques, metals and alloys casting simulation-savings in Serbian foundries and tool-rooms*, Conference Machine Design, Faculty of Technical Sciences, 2008.
- [24] Vaskova, I., Fecko, D., Eperjesi, L.:

- Comparison of simulation programs MAGMASOFT and NOVAFLOW&SOLID in terms of results accuracy*, Archives for foundry engineering, Vol.11, No 1, pp.51-54., 2011.
- [25] Wu, M., Augthun, M., Wagner, I., Sahm, P., Spiekermann, H.: *Numerical simulation of the casting process of titanium tooth crowns and bridges*, Materials in Medicine, Vol.12, pp.485-490, 2001.
- [26] Wu, M., Tinschert, J., Augthun, M., Wagner, I., Schädlich-Stubenrauch, J., Sahm, P.: *Application of laser measuring, numerical simulation and rapid prototyping to titanium dental castings*, Dental Materials, Vol.17, pp.102-108, 2001.
- [27] Wu, M., Wagner, I., Sahm, P.R., Augthun, M.: *Numerical simulation of the casting process of titanium removable partial denture frameworks*, Journal of Material Sciences: Materials in Medicine, Vol.13, No 3, pp.301-306, 2002.
- [28] Wu, M., Tinschert, J., Augthun, M., Wagner, I., Schädlich-Stubenrauch, J., Sahm, P.R., Spiekermann, H.: *Application of laser measuring, numerical simulation and rapid prototyping to titanium dental castings*, Dental Materials, Vol.17, pp.102-108, 2001.
- [29] Bonilla, W., Masood, S.H., Iovenitti, P.: [An investigation of wax patterns for accuracy improvement in investment cast parts](#), International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.18., No 5, pp. 348-356, 2001.
- [30] Brusco, N., Andreetto, M., Lucchese, L., Carmignato, S., Cortelazzo, G.: *Metrological validation for 3D modeling of dental plaster casts*, Medical Engineering and Physics, Vol.29, pp.954-966, 2007.
- [31] Chen, X., Gao, S., Yang, Y., Zhang, S.: *Multi-level assembly model for top-down design of mechanical products*, Computer-Aided Design, Vol.44, pp.1033-1048, 2012.
- [32] Curtis, R.V.: *The suitability of dental investment materials as dies for superplastic forming of medical and dental prostheses*, Material Sciences and Engineering Technology, Vol.39, No 4-5, 2008.
- [33] Gao, Sh., Zhang, Sh., Chen, X., Yang, Y.: *A framework for collaborative top-down assembly design*, Computers in Industry, Vol.64, pp.967-983, 2013.
- [34] Miyazaki, T., Hotta, Y.: *CAD/CAM systems available for the fabrication of crown and bridge restorations*, Australian Dental Journal, Vol.56, pp.97-106, 2011.
- [35] Pal, D., Ravi, B.: *Rapid tooling route selection and evaluation for sand and investment casting*, Virtual and Physical Prototyping, Vol.2, No 4, pp.197-207, 2007.
- [36] Xiao, Sh., Chen, Y., Tian, J., Xu, L., Kong, F., Chen, Y.: *Improvement in collapsibility of ZrO₂ ceramic mould for investment casting of TiAl alloys*, Research and Development, 2011.
- [37] Xu, Q., Wu, S., Xue, X.: *Mold filling behavior of Titanium melt in thin-walled and complicated cavities in hypergravity field*, Engineering Review, Vol.33, No 1, pp.57-63, 2013.
- [38] Yue, Sh., Wang, G., Yin, F., Wang, Y.: *Application of an integrated CAD/CAE/CAM system for die casting dies*, Journal of Materials Processing Technology, Vol.139, pp.465-468, 2003.
- [39] Zhang, X.P., Chen, G., Xiong, Sh.M., Xu, Q.Y.: *Computer simulation of the solidification of cast titanium dental prostheses*, Journal of Material Science, Vol.40, pp.4911-4916, 2005.

Autori: Dr. Ivan Matin, Prof. Dr. Miodrag Hadžistević, Prof. Dr. Janko Hodolič, Doc. dr. Đorđe Vukelić, Univerzitet u Novi Sadu, Fakultet Tehničkih Nauka, Departman za Proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel: +381 21 485 2332, Fax: +381 21 454 495.
E-mail: matini@uns.ac.rs
miodrags@uns.ac.rs
hodolic@uns.ac.rs
vukelic@uns.ac.rs

Prof. dr Tatjana Puškar, Dr Michal Potran, Univerzitet Novi Sad, Medicinski fakultet, Klinika za stomatologiju, Hajduk Veljkova 12, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel: +381 21 420 677, Fax: +381 21 662 4153.
E-mail: tatjanapuskar@yahoo.com
michalpotran@gmail.com

Prof. dr Igor Drstvenšek, Univerzitet u Mariboru, Strojnički fakultet, Smetanova 17, SI-2000 Maribor, Slovenija, Tel: +386 2 220 75 93.
E-mail: drsti@uni-mb.si

ZAHVALNICA

Rezultati istraživanja prikazani u ovom radu predstavljaju deo istraživanja realizovanog na projektu "Istraživanje i razvoj metoda modeliranja i postupaka izrade dentalnih nadoknada primenom savremenih tehnologija i računarom podržanih sistema", TR-35020, finansiran od Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj R. Srbije.

Santoši, Ž., Šokac, M., Trifković, B., Till, V., Budak, I.

REKONSTRUKCIJA 3D MODELA LJUDSKE VILICE PRIMENOM
FOTOGRAMETRIJSKE METODE

Rezime: U ovom radu opisana je primena fotogrametrijske metode kod kreiranja poligonalnog 3D modela ljudske vilice izrađene rapid prototyping (RP) tehnologijom. U okviru toga su detaljnije obuhvaćeni pripremni proces, kao i način rada primenjenog softvera kod obrade fotografija i generisanja 3D modela. Na osnovu dobijenog 3D modela i 3D modela dobijenog na bazi CT snimaka koji je korišćen za izradu fizičkog modela pomoću RP tehnologije urađena je i uporedno-komparativna analiza tačnosti.

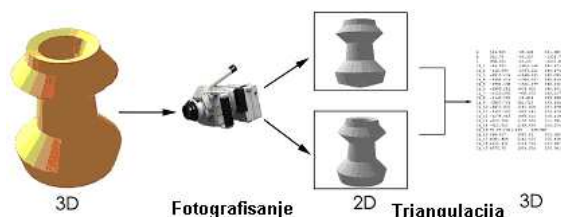
Ključne reči: 3D model, fotogrametrija, reverzibilno inženjerstvo, ljudska vilica,

1. UVOD

Zbog brzog razvoja računara i potrebe za novim načinima merenja, fotogrametrijska metoda reverzibilnog inženjerstva postala je prihvatljiva za izradu i merenje 3D virtuelnih modela postojećih fizičkih objekata, koji se dalje mogu koristiti i modifikovati u drugim CAx softverskim paketima. Tehnologija reverzibilnog inženjerstva je zasnovana na prikupljanju informacija sa površina realnog fizičkog objekta u vidu diskretnih koordinata X, Y, Z, zatim njihovom prevodjenju u digitalni oblik i generisanju CAD modela [1, 2].

2. TEORIJSKE OSNOVE
FOTOGRAMETRIJSKE METODE

Za rekonstrukciju trodimenzionalnog objekta nije dovoljna samo jedna fotografija, već su potrebne najmanje dve snimljene fotografije sa dve različite pozicije. Snimanjem fotografija sa najmanje dve različite lokacije, moguće je formirati tzv. linije-vidokruga od svake fotografije do tačaka na objektu [3,4,5]. Ove linije-vidokruga se matematički presecaju da bi se dobile 3D koordinate željene tačke u prostoru. Fotogrametrija se može podeliti na dva sastavna dela [3]: fotografski deo za koji su vezani fotografski principi sadržani u fotogrametriji i metrološki deo koji se bavi tehnikama za dobijanje 3D koordinata iz 2D fotografija sl. 1.



Sl. 3. Princip fotogrametrije.

2.1 Fotografski deo fotogrametrije

Snimanje fotografija predstavlja vrlo bitan deo fotogrametrijske 3D digitalizacije. Da bi se postigla visoka preciznost i tačnost merenja neophodno je da fotografije budu vrhunskog kvaliteta [3,4]. Tri osnovne karakteristike za dobijanje dobre fotografije su [3]:

Vidno polje objektiva – definiše koliko objektiv (fotoaparata) “vidi” i predstavlja funkciju žižne daljine sočiva i veličine (formata) digitalnog senzora.

Dubina polja - omogućava postizanje zadovoljavajuće oštine objekta na fotografiji. Opseg zadovoljavajuće oštine zavisi od niza faktora među kojima su žižna daljina, format, daljina kamere od objekta, veličina objekta itd.

Vremenski period otvaranja zatvarača i prolaska svetlosti kroz blendu¹ fotoaparata prilikom kojeg se senzor izlaže svetlosti naziva se ekspozicija.

2.2 Metrološki deo fotogrametrije

Fotogrametrijska merenja su bezdimenziona, odnosno na fotografiji ne postoji informacija o veličini fotografisanog objekta. Ukoliko su poznate stvarne koordinate nekih referentnih tačaka, moguće je odrediti njihovo međusobno rastojanje i iskoristiti ih za definisanje dimenzija merenog objekta [5]. Metrološki deo fotogrametrije se sastoji iz tri podjednako važna procesa [3]:

- Triangulacija - služi za izračunavanje 3D koordinata tačaka sa fotografija, gde se na osnovu matematičkog presecanja konvergentnih linija može odrediti 3D pozicija neke tačke u prostoru. Rešenje matematičkog modela postiže se postavljanjem sistema jednačina u kojem su koordinate objekta na

¹ Blenda – podešavajući otvor na objektivu kroz koji prolazi svetlost

fotografijama u funkciji: objektnih koordinata, orijentacije fotoaparata kod fotografisanja svake fotografije i žižne daljine [6].

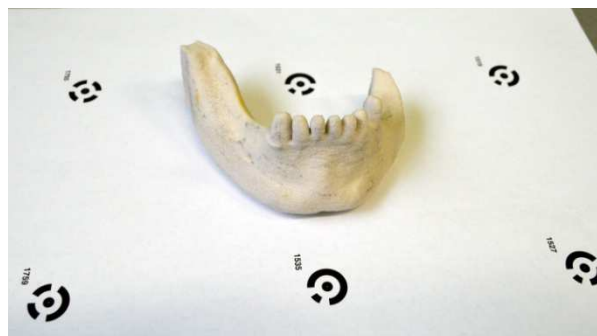
- Resekcija - predstavlja proceduru za određivanje konačne pozicije i smera snimanja (zajedno se ove dve karakteristike nazivaju orijentacija) kamere u trenutku snimanja fotografije, da bi se proces triangulacije mogao sprovesti. Orijehtaciju kamere definiše šest veličina i to: tri koordinate za poziciju snimanja i tri ugla za smer snimanja.
- Kalibrisanje – s obzirom da kamere kod fotogrametrije predstavljaju precizne merne instrumente, neophodno je vršiti njihovu kalibraciju u cilju određivanja i eliminisanja greške. Savremene kamere imaju mogućnost auto-kalibrisanja što praktično znači da će kamera biti kalibrisana u trenutku merenja (snimanja) prema uslovima okoline (količina svetlosti, temperatura svetlosti itd.).

Tačnost merenja kod fotogrametrije može značajno da varira s obzirom da zavisi od nekoliko međusobno zavisnih faktora, gde se mogu izdvojiti [3,4]: rezolucija (i kvalitet) korišćenog fotoaparata, veličina objekta koji se meri, broj fotografija i geometrijska orijentacija fotografija relativno u odnosu na objekat i u odnosu na ostale fotografije.

3. STUDIJA SLUČAJA: REKONSTRUKCIJA DENTALNOG 3D MODELA LJUDSKE VILICE

3.1 Pripremne aktivnosti

Da bi se mogla sprovesti rekonstrukcija 3D modela ovako specifičnog objekta kao što je model ljudske vilice izrađen (RP) tehnologijom, pomoću fotogrametrijske metode, potrebno je prethodno pripremiti odgovarajuću opremu i stvoriti uslove za fotografisanje. U ovom slučaju od opreme je korišćen SLR digitalni fotoaparatar marke Nikon D3200 koji spada u kategoriju polu profesionalnih digitalnih fotoaparata. U fotoaparatar je ugrađen CMOS senzor veličine 23,2 x 15,4 mm sa maksimalnom rezolucijom slike od 24 Mpix, i izmenljivi objektiv AF-S DX VR Zoom 18-55mm f/3.5-5,6G. Radni predmet (dentalni model ljudske vilice izrađen RP tehnologijom) potrebno je pozicionirati tako da su vidljive i dostupne sve prioritete površine (Sl. 2). Takođe pre početka fotografisanja potrebno je prilagoditi (kalibrisati) fotoaparatar datim uslovima osvetljenja i u merni prostor postaviti kalibracione markere. Kalibracioni markeri služe za određivanje referentnih dužina koje se koriste za određivanje stvarne razmere i dodeljivanje dimenzija radnom predmetu.



Sl. 2. Model ljudske vilice izrađen RP tehnologijom postavljen u merni prostor.

3.2 Akvizicija fotografija

Prilikom fotografisanja objekta potrebno je prikupiti što više fotografija sa prosečnim stepenom preklapanja ≈ 3 što znači da se svaka jedinstvena tačka na objektu vidi sa najmanje 3 fotografije. Jedna od glavnih prednosti digitalne fotogrametrije je ta što je moguće vrlo lako za kratak vremenski period prikupiti veliki broj fotografija i na licu mesta pregledati snimljene fotografije i proceniti da li je postignuta željena pokrivenost objekta fotografijama.

Fotografisanje objekta se ne može obaviti sasvim proizvoljno i sa bilo koje pozicije, već je potrebno pridržavati se određenim pravilima u zavisnosti od objekta i cilja rekonstrukcije (da li je to samo prednji deo, kompletan deo ili samo neki njegov detalj) [7]. Zbog prioritetečnosti i akcenta na tačnost dela vilice u predelu gde je primećena resorpcija usled nedostataka zuba, ti delovi površine su najviše fotografisani.

3.3 Obrada fotografija

Nakon akvizicije, prelazi se na sledeću fazu u procesu rekonstrukcije, a to je obrada fotografija. U ovom slučaju fotografije su obradivane u PhotoScann-u, softveru za rekonstrukciju 3D modela iz 2D fotografija. PhotoScann je napredni softver zasnovan na algoritmima za rekonstrukciju i kreiranje digitalnog 3D površinskog modela. Može da obradi fotografije sa bilo koje pozicije pod uslovom da na susednim fotografijama postoje zajedničke vidljive tačke. Jedino ograničenje koje treba spomenuti je to da PhotoScan može obradivati samo fotografije direktno preuzete sa digitalnog fotoaparata u nekom od standardih formata (JPEG; TIF, PNG, BMP, itd.), pošto bilo kakve izmene na fotografijama od strane nekog drugog programa npr. sečenje, menjanje osvetljenosti i sl. onemogućava obradu u ovom softveru [7]. Postupak obrade fotografija može se podeliti u tri osnovne faze [7]:

- Učitavanje, grupisanje fotografija i odstranjivanje pozadine – kreira nje maski;

- Poravnavanje fotografija;
- Kreiranje površinskog 3D modela;

U prvoj fazi obrade fotografija nakon učitavanja u softver, sledi kreiranje „maski“ oko objekta 3D rekonstrukcije. Maske služe za izolovanje objekta od okoline kako bi se ograničila i suzila oblast pretraživanja zajedničkih tačaka. Maske su korisne kada objekat zauzima vrlo mali deo fotografije, a uz to znatno skraćuju vreme obrade fotografija i smanjuju šumove između objekta i pozadine. Za svaku fotografiju koja će se koristiti u daljoj obradi poželjno (čak i obavezno) je kreirati masku. Dobro kreirana maska je ona maska na kojoj nisu osenčeni delovi objekta, Sl. 3. a maska jasno prati njegovu konturu i vidi se da je pozadina kompletno uklonjena. Maskom je moguće prekriti i delove modela koji su usled loše akvizicije odnosno loše definisane dubine polja ostali nejasni.



Sl. 3. Primer dobro kreirane maske.

Proces poravnavanja fotografija, pored dobro kreiranih maski predstavlja jedan od najvažnijih koraka u kreiranju 3D modela jer se u ovoj fazi mogu generisati greške koje će se dalje preslikavati na sve sledeće korake procesa rekonstrukcije.



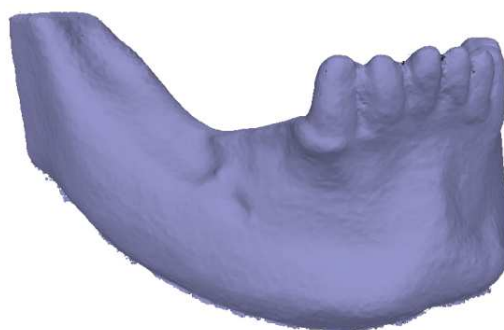
Sl. 4. Oblak tačaka kao rezultat poravnavanja fotografija.

Kao rezultat poravnavanja fotografija dobija se oblak tačaka i pozicije sa kojih su načinjene fotografije Sl. 4. Ukoliko postoje nepravilno poravnate fotografije, iste se mogu pokušati ponovo poravnati ili eliminisati iz daljeg procesiranja što obično predstavlja najbolje

rešenje.

3.4 Kreiranje površinskog 3D modela

Na osnovu dobijenog početnog „sirovog“ oblaka tačaka, izborom opcije za aproksimaciju koju podržava softver, moguće je povećati broj tačaka u odnosu na početni broj tačaka. Postupak aproksimacije je računarski izuzetno zahtevna operacija pa je potrebno i do nekoliko sati za procesiranje, sve u zavisnosti od broja fotografija i njihove rezolucije. Preporučljivo je da se prvo izgradi gusti oblak tačaka sa najmanjim stepenom aproksimacije pa tek onda podizati kvalitet u zavisnosti od performansi računara. Ukoliko bi se odmah izabrao najveći kvalitet procesiranje ne bi ni počelo, a ako bi počelo trajalo bi jako dugo i vrlo verovatno bi se završilo neuspehom, pošto bi program prijavio nedostatak memorije pri samom kraju procesa i sl. Nakon generisanja aproksimiranog oblaka tačaka prelazi se na generisanje površinskog 3D modela. Jednostavnim podešavanjem ponuđenih opcija među kojima su opcije za isključivanje i uključivanje interpolacije kao i opcija za podešavanje broja kreiranih poligona moguće je vrlo lako dobiti poligonalni 3D model. Rezultat kreiranog 3D modela prikazan je na slici 5.



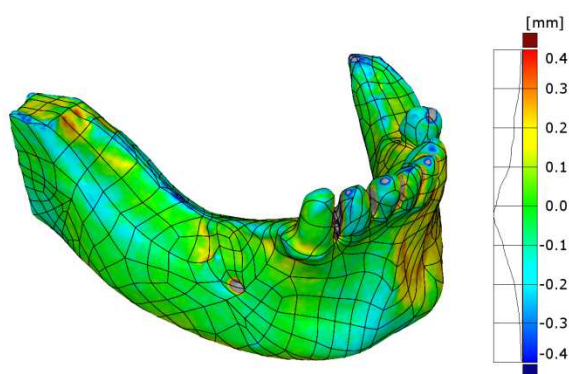
Sl. 5. Kreirani 3D model fotogrametrijskom metodom.

Kao što može da se vidi sa slike 5 problem pri generisanju 3D modela vilice javlja se u prostoru između zuba, zbog veoma malog zazoru i nemogućnosti softvera da jasno definiše položaj tačaka. Ovaj problem moguće je otkloniti naknadnom obradom poligonalnog 3D modela u CAx softverima. Prilikom generisanja ovog modela opcija interpolacije je bila isključena, tako da je model dobijen samo na osnovu gustog oblaka tačaka.

4. UPOREDNA ANALIZA 3D MODELA DOBIJENOG NA BAZI FOTOGRAMETRIJE I 3D MODELA NA BAZI CT SNIMAKA

Analiza je vršena pomoću GOM inspect-a

specijalizovanog softvera za komparativnu analizu 3D modela [2]. Rezultati koji su dobijeni ovom analizom prikazani su na slici 6.



Sl. 6. Analiza odstupanja CT i fotogrametrijskog modela.

Prilikom ove analize kao etalon model koristio se CAD model dobijen pomoću CT snimaka. Odstupanja prikazana na slici 6 variraju u tolerancijskom polju $\pm 0,4\text{mm}$ u koje se uklapa 99% modela. Ukupna greška P koja je generisana prilikom ove rekonstrukcije prikazana je jednačinom (1).

$$P = P_{RF} + P_f \quad (1)$$

Gde je:

P_{RF} - greška generisana prilikom izrade modela vilice pomoću RP tehnologije, a

P_f - greška generisana prilikom kreiranja modela fotogrametrijskom metodom.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata i uporednom analizom 3D modela pokazana je mogućnost povezivanja različitih dostupnih metoda i tehnologija koje čine zatvoreni krug u okviru procesa izrade dentalnih modela. Konverzije iz fizičkog u digitalni svet i obrnuto su sve češće u savremenoj dentalnoj medicini, gde je potreba za iteracijama neophodna kako bi se omogućilo što bolje i kvalitetnije lečenje pacijenata. Naravno broj iteracija bi trebao biti što manji jer se sa svakom novom konverzijom iz digitalnog u fizički svet i obrnuto povlači određena greška.

6. REFERENCE

- [1] Budak I., Vukelić Đ., Bračun D., Hodolić J., Soković M.: Pre-Processing of Point-Data from Contact and Optical 3D Digitization Sensors, Sensors, 2012, Vol. 12, No 1, pp. 1100-1126, ISSN 1424-8220
- [2] Budak I., Trifković B., Puškar T.M., Vukelić Đ., Vučaj-Ćirilović V., Hodolić J.

Todorović A.J.: Comparative Analysis of 3D Digitization Systems in the Field of Dental Prosthetics, Tehnički vjesnik-technical gazette, vol. 20/2, str. 291-296, 2013.

- [3] ----: The Basics of Photogrammetry, Geodetic Services Inc., 2002.
<http://www.geodetic.com/Whatis.htm>
- [4] Newton I., Mills J. P.: Photogrammetric Reverse Engineering of the Angel of the North, Thompson Symposium of the Photogrammetric Society, University of Durham, 1998.
- [5] Blagojević M., Rakić D., Bogdanović Z., Živković Z., Optička koordinatna merenja delova i sklopova u automobilske industriji, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Zastava auto, Zastava automobili, Kragujevac 2009.
- [6] ----: Kontrola dimenzija i oblika pomoću fotogrametrije, FSB Zagreb, XVI Symposium SORTA 2004.
- [7] ----: Agisoft PhotoScan User Manual Professional Edition, Version 0.9.0

Autori: MSc Željko Santoši¹, MSc Mario Šokac¹, Ass. dr sci. Branka Trifković², Prof. dr Viktor Till³, Doc. dr Igor Budak¹,

1. Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Institut za Proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: 021 485 2314, Fax: 021 454-495.

E-mail: zeljkos@uns.ac.rs

marios@uns.ac.rs

budaki@uns.ac.rs

2. Univerzitet u Beogradu, Stomatološki fakultet, Klinika za Stomatološku protetiku, Rankeova 4, 11000 Beograd, Tel: 011 2433-433

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

3. Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet, Hajduk Veljkova 3, Novi Sad, Tel.: 021 420 677.

E-mail: vtill@eunet.rs

Šokac, M., Santoši, Ž., Puškar, T., Vučaj-Cirilović, V., Budak, I.

**PRIMENA RAZLIČITIH MODELA SEGMENTACIJE CBCT SNIMAKA
KOD REKONSTRUKCIJE 3D MODELA DONJE VILICE**

Rezime: Postupak segmentacije medicinskih snimaka danas predstavlja veoma važan, ali i veoma kompleksan problem koji privlači ogromnu pažnju istraživača iz raznih oblasti. Podaci o snimcima, generisanim primenom sistema kao što su Cone Beam CT (CBCT), magnetna rezonanca (MR) i drugi, su od ogromnog značaja, posebno u oblastima medicine i stomatologije. U ovom radu je predstavljen prilaz kod postupka segmentacije donje vilice koji za cilj ima skraćivanje vremena potrebnog za post-procesiranje snimaka (prečišćavanje, uklanjanje nepotrebnih tačaka, modifikovanje granica objekata itd.). U okviru toga je primenjen softver za obradu medicinskih snimaka 3D DOCTOR, gde se kao rezultat dobija površinski 3D model donje vilice.

Ključne reči: Cone Beam CT, Segmentacija, 3D DOCTOR

1. UVOD

Sa napretkom računarske tehnologije, medicinski snimci generisani primenom sistema kao što su magnetna rezonanca (MR), kompjuterizovana tomografija (CT) i drugi, obezbeđuju efikasan način za mapiranje anatomskih i fizioloških struktura čoveka. Zbog toga imaju sve važniju ulogu u oblasti medicine i stomatologije, pre svega kod izrade dentalnih nadoknada i implantata [1].

Posvećeni su veliki istraživački naponi kod obrade i analize medicinskih snimaka kako bi se iz njih izvukle važne informacije kao što su geometrijske karakteristike i zapremina objekata, radi otkrivanja abnormalnosti i kvantifikacije promena u prapatnim studijama [2].

Analiza medicinskih snimaka ima sve veću potrebu za automatizovanim postupkom segmentacije ljudskih organa i složenih podstruktura iz velikih skupova podataka višedimenzionalnih slika [3].

**2. SEGMENTACIJA MEDICINSKIH
SNIMAKA****2.1 Opšte o segmentaciji**

Potreba za preciznim alatima za segmentaciju u medicinskim aplikacijama je vođena povećanjem kapaciteta uređaja koji se koriste za generisanje snimaka. Uobičajeni sistemi kao što su CT i MR generišu snimke koji se usled velikih rezolucija i velikog broja snimaka jednostavno ne mogu ručno analizirati. Osim toga, veoma je teško vizuelno prikazati kompleksne strukture u trodimenzionalnim zapreminama bez uklanjanja delova koji su od, možda, velikog značaja. Alati, kao što je segmentacija, omogućavaju

medicinskom osoblju analiziranje takvih velikih setova snimaka tako što izdvajaju objekte koji su od posebnog značaja. Pored toga, segmentacija omogućuje izvoz površinskih 3D modela kosti, organa, tumora kao i drugih objekata za njihovu dalju analizu, kvantifikaciju i simulaciju [4].

Pored toga što predstavlja jedan od najvažnijih zadataka kod primene u mnogim medicinskim aplikacijama, segmentacija je ujedno i jedan od najtežih. Ima za cilj da na medicinskom snimku podeli regione ili objekte, kao i da izoluje više anatomskih struktura koji su od interesa i koji se nalaze na snimcima [5].

2.2 Algoritmi za segmentaciju i njihov značaj

Algoritmi za segmentaciju medicinskih snimaka igraju vitalnu ulogu u brojnim biomedicinskim aplikacijama za obradu snimaka kao što je kvantifikacija zapremine tkiva, dijagnoza, lokalizacija oboljenja, proučavanje anatomske strukture, planiranje tretmana, delimična korekcija zapremine funkcionalnih podataka kao i računarom podržana hirurgija [3].

Tehnike segmentacije se koriste za razdvajanje regiona interesa (eng. ROI) od ostatka snimka. Segmentacija je od kritičnog značaja pošto predstavlja glavni korak kod obeležavanja i razdvajanja regiona koji su od interesa od ostatka snimka i na taj način ima veliki uticaj na geometrijsku tačnost generisanog 3D modela [1].

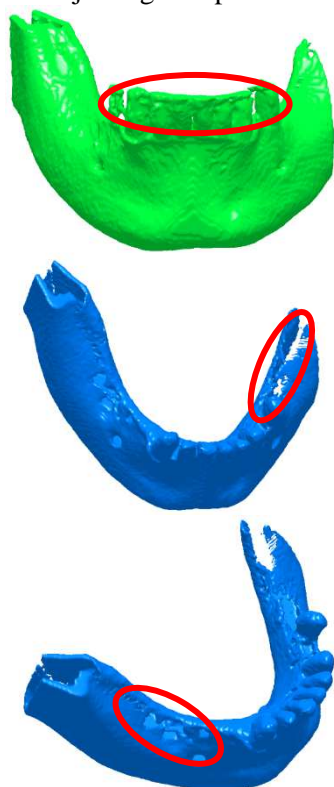
**3. POSTUPCI SEGMENTACIJE I
GENERISANJA 3D MODELA NA
PRIMERU DONJE VILICE**

U okviru ovog dela je prikazan prilaz gde je izvršena rekonstrukcija donje vilice pacijenta na osnovu Cone Beam CT (CBCT) snimaka gde je

značajno skraćeno vreme potrebno za obradu podataka nakon izvršenog postupka segmentacije.

Jedan od problema koji se javlja kod postupka segmentacije donje vilice, na osnovu CBCT snimaka, jeste taj što u nekim slučajevima prilikom primene istog seta parametara kod segmentacije donje vilice se ne dobijaju zadovoljavajući rezultati, kako kod zuba, tako i kod kosti vilice. To je usled toga što prilikom menjanja parametara dolazi do povećanja šuma ili na zubima ili na kosti vilice.

Na Slici 1 je prikazan rezultat postupka segmentacije donje vilice gde se jasno mogu uočiti nepravilnosti (poroznost i/ili prevelika gustina zuba) primenom jednog seta parametara.

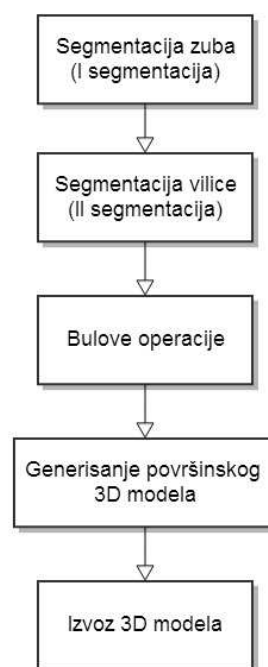


Sl. 1. Neadekvatni parametri kod segmentacije donje vilice

Prilikom segmentacije donje vilice, kod pronalaženja zadovoljavajućih parametara gornje i donje granice praga piksela, ustanovljeno je da prilikom menjanja ovih parametara, kako bi se obezbedila što tačnija reprezentacija kosti vilice, dolazi do narušavanja anatomske reprezentacije zuba, i obrnuto.

Kako bi se skratio postupak post-procesiranja segmentiranih objekata nakon postupka segmentacije, predstavljen je algoritam na Slici 2.

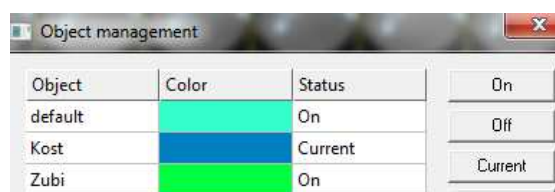
Na algoritmu je prikazan postupak rada gde se vrši zasebna segmentacija zuba i kosti donje vilice pacijenta gde se nakon toga, primenom Bulovih operacija, vrši njihovo sjedinjavanje (unija dva objekta) kako bi se generisao jedinstveni 3D model donje vilice.



Sl. 2. Dijagram toka operacija

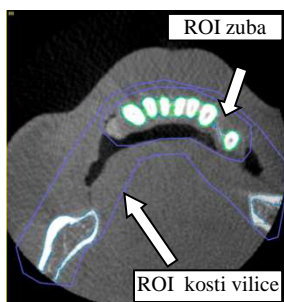
Primenom ovog prilaza se skraćuje vreme potrebno za post-procesiranje donje vilice usled toga što se na zubima i kosti nalazi manje šumova u odnosu na prvobitno prikazani postupak segmentacije gde se koristio samo jedan set parametara. Ceo ovaj postupak je rađen u softveru 3D DOCTOR, a u okviru ovog rada je načelno prikazan postupak segmentacije bez nekog ulaženja u detalje. Detaljnije informacije o samom postupku segmentacije u softveru 3D DOCTOR je dat u [6].

Prilikom definisanja objekata za obradu, u obzir su uzeta dva objekta od interesa, a to su zubi i vilica. U ovom koraku se definiše njihov vizuelni prikaz u vidu različitih paleta boja (Slika 3).



Sl. 3. Definisavanje objekata za rad u programu 3D DOCTOR

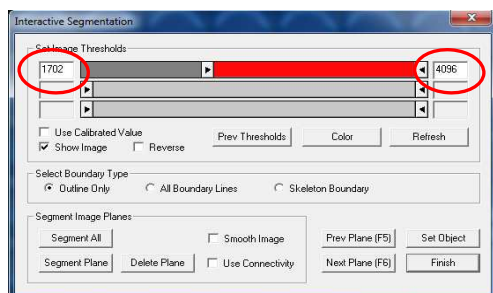
3D DOCTOR podržava crtanje više granica istovremeno, tako da se region/područje za obradu može definisati kao zatvorena kontura ili kao region sa ostrvima ili rupama. [6]. Prilikom definisanja regiona/područja za obradu, potrebno je obratiti pažnju na ocrtavanje samo objekata od interesa, u ovom slučaju to su zubi i kost vilice (Slika 4).



Sl. 4. ROI zuba i kosti vilice

3.1 Segmentacija i definisanje granica objekta

U okviru ovog koraka vrši se interaktivna segmentacija trenutno aktivnog snimka za izdvajanje granica objekta. Selektovanjem opcije za segmentaciju pojavljuje se dijalog okvir koji prikazuje raspon piksela unutar minimalnog i maksimalnog praga u crvenoj boji unutar definisanog ROI. Pomoću horizontalnog klizača omogućeno je povećanje/smanjenje gustine piksela (Slika 5).



Sl. 5. Dijalog okvir za segmentaciju

U Tabeli 1 su dati parametri koji su korišćeni kod pojedinačnog postupka segmentacije zuba i kosti vilice. Tu su date minimalne i maksimalne vrednosti praga gustine piksela koje su se koristile, kao i broj snimaka u okviru kojih se nalaze zubi i vilica na koje su primenjeni ovi parametri, respektivno.

Posle kraće analize ustanovljeno je da su se parametri u Tabeli 1. pokazali kao optimalni u odnosu na druge parametre prilikom generisanja zasebnih 3D modela zuba i kosti vilice i kao takvi su se koristili kod segmentacije ovih 3D modela.

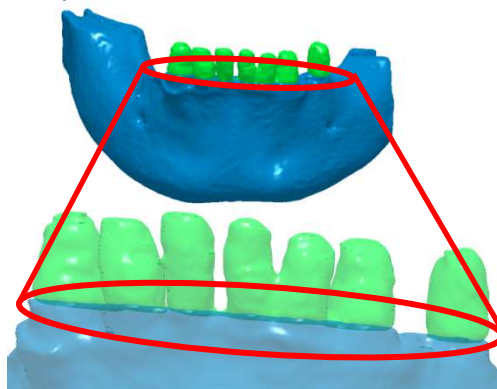
	Br. snimaka	Vredost praga piksela	
		Min.	Max.
Zubi	88-110	1500	4096
Kost vilice	0-88	1268	4096

Tabela 1. Korišćeni parametri kod postupka segmentacije

3.2 Generisanje 3D modela zuba i kosti vilice

Nakon izvršene segmentacije zuba i kosti vilice na Slici 6. su prikazani 3D modeli ova dva objekta. Međutim, usled primene dve odvojene segmentacije, ova dva objekta nisu međusobno

povezana. Zbog toga se koriste Bulove operacije (unija dva objekta) gde se kao rezultat dobija jedinstveni 3D model donje vilice. Pritom se na mestu kontakta ova dva modela, usled primene različitih parametara segmentacije, aproksimiraju granice koje ustvari na osnovu ova dva modela generišu jedan novi 3D model.

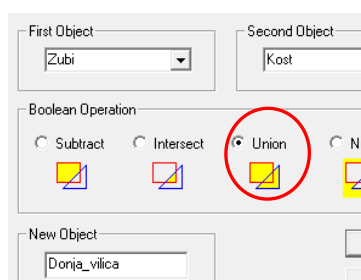


Sl. 6. Mesto kontakta zuba i kosti vilice

3.3 Primena Bulovih operacija

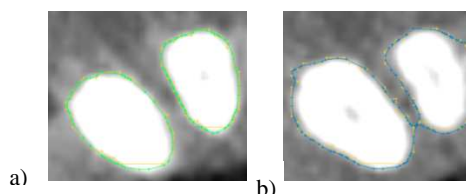
Korišćenjem *Combination* komande se na dva selektovana objekta primenjuju Bulovi operatori, a to su oduzimanje, presek, unija ili negativ. U ovom slučaju se koristila unija dva objekta, a to su zubi i kost vilice. Kao rezultat primene ove operacije generisan je novi objekat.

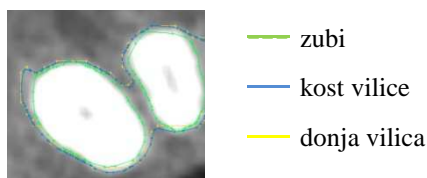
U *Combine Objects* dijalog okviru se odaberu dva objekta na kojima se primenjuju Bulove operacije (Slika 7). Nakon toga se izabere željena operacija i unese se ime novog objekta, a zatim se potvrdi sa *OK*.



Sl. 7. Primena Bulovih operatora

Nakon ove operacije se generiše novi objekat pod nazivom *Donja_vilica* sa njegovim granicama prikazanim na slici 8. Ovde su prikazane granice novog objekta, preklapljen sa a) granicama zuba, b) granicama kosti vilice i c) na mestu preseka ove dve granice, gde se kao rezultat Bulovih operacija mogu videti granice novog objekta, aproksimirane na mestu preseka ova dva objekta.

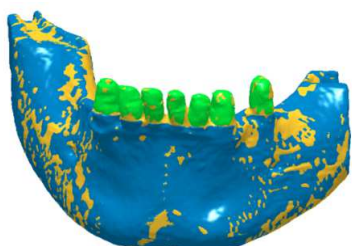




c)
Sl. 8. Prikaz granica novog objekta sa granicama: a) zuba, b) kosti vilice i c) na mestu preseka ove dve granice

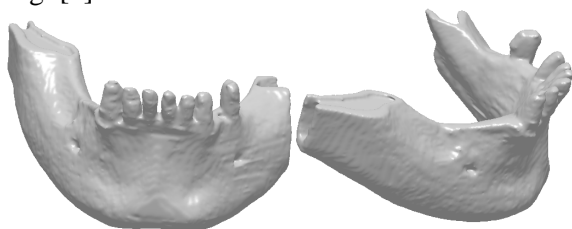
3.4 Generisanje 3D modela kompletne donje vilice

Nakon što se definišu granice novog objekta, sledeći korak jeste generisanje površinskog 3D modela donje vilice. Na Slici 9 je prikazan 3D model donje vilice (žuta boja) preklapljen sa modelima zuba i kosti vilice.



Sl. 9. 3D model donje vilice (žuta boja) preklapljen preko modela zuba i kosti vilice

Nakon što se generiše 3D model donje vilice, on se izvozi u neki od formata zapisa koje pruža program 3D DOCTOR. Podržani su stl, dxf, igs i drugi [6].



Sl. 10. 3D model donje vilice

4. ZAKLJUČAK

Ovde je predstavljen prilaz kod segmentacije donje vilice na osnovu CBCT snimaka gde se primenom višestruke segmentacije i Bulovih operacija generiše funkcionalni 3D model donje vilice. Pri ovom pristupu je znatno skraćeno vreme post-procesiranja (obrade) snimaka što ujedno predstavlja i osnovnu prednost ovog pristupa. Dalja istraživanja mogu da obuhvataju, sa jedne strane detaljniju aplikabilnost predloženog pristupa u medicinskim i stomatološkim aplikacijama, a sa druge strane analizu geometrijske tačnosti 3D modela generisanih primenom ovog pristupa.

5. LITERATURA

[1] Budak I., Trifković B., Puškar T.M., Vukelić

Đ., Vučaj-Ćirilović V., Hodolić J. Todorović A.J.: *Comparative Analysis of 3D Digitization Systems in the Field of Dental Prosthetics*, Tehnički vjesnik-technical gazette, vol. 20/2, str. 291-296, 2013.

- [2] Huang X., Tsechpenakis G.: *Medical Image Segmentation*, In Information Discovery on Electronic Health Records, Chapman & Hall, Chapter 10, 2009.
- [3] John B., Jerry P., Pierre-Louis B.: *A multiple object geometric deformable model for image segmentation*, 117(2), February 2013, p.p. 145–157, Computer Vision and Image Understanding, 29 October 2012.
- [4] Gunnar L.: *Segmentation Methods for Medical Image Analysis: Blood vessels, multi-scale filtering and level set methods*, thesis - comprehensive summary, Linköping University, The Institute of Technology, 2010.
- [5] Hao L.: *Registration-Based Segmentation of Medical Images*, Graduate Research Paper, July 2006. URL: <https://www0.comp.nus.edu.sg/~leowwk/thesis/lihao-grp.pdf>
- [6] Šokac M.: *Primena reverzibilnog inženjerstva na bazi multi-slajs kompjuterizovane tomografije kod modeliranja dentalnih nadoknada*, Diplomski rad, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Novi Sad, 2012.

Autori: M.Sc. Mario Šokac, M.Sc. Željko Santoši, doc. dr Igor Budak, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Trg Dositeja Obradovića 6, Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485 2332, Fax: +381 21 454-495.

E-mail: marios@uns.ac.rs
zeljkos@uns.ac.rs
budaki@uns.ac.rs

Doc. dr Tatjana Puškar, Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet Novi Sad, Departman za stomatologiju, Hajduk Veljkova 12, Novi Sad, Telefon: +381 21 661-33-62.

E-mail: tatjanapuskar@yahoo.com

dr Viktorija Vučaj-Ćirilović, Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet, Hajduk Veljkova 3, Novi Sad, Tel.: 021 420 677.

E-mail: vcirilovic@hotmail.com

ZAHVALNOST

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

Skakun, P., Milutinović M., Vilotić D., Lendel, R.

MOGUĆNOST IZRADE DENTALNIH KOMPONENTI METODOM
INKREMENTALNOG DEFORMISANJA LIMA

Rezime: Metoda inkrementalnog deformisanja lima spada u metode tehnologije plastičnog deformisanja sa parcijalnim zahvatom alata. Takve metode su pogodnije za maloserijsku i pojedinačnu proizvodnju, što je posebno interesantno kod izrade metalnih dentalnih komponenti, s obzirom da one spadaju u tzv. "custom-made" proizvode. Prednost ovog procesa je što se delovi složene konfiguracije mogu izraditi bez skupih specijalnih alata.

U ovom radu prikazan je princip inkrementalnog deformisanja, njegove osnovne karakteristike kao i priprema elemenata potrebnih za izradu baze proteze primenom ove metode. Tu spadaju: definisanje 3D CAD modela, definisanje i izrada alata i izbor mašine.

Ključne reči: inkrementalno deformisanje lima, baza proteze

1. UVOD

Pored mnogobrojnih prednosti koje metode tehnologije plastičnog deformisanja omogućavaju (ušteda materijala, energije, vremena izrade, ...) glavna prepreka za njihovu primenu najčešće je visoka cena specijalnih alata koji su neophodni da bi se neki konkretan deo proizveo. Zbog toga je primena ograničena i moguća samo ako se radi o proizvodnji u velikim serijama. Potreba za pojedinačnom ili proizvodnjom u malim serijama dovela je do razvoja novih metoda tehnologije plastičnog deformisanja čija je primena moguća i bez korišćenja skupih alata. Takve metode kod kojih je tečenje materijala ograničeno na vrlo usku oblast trenutnog delovanja alata na materijal nazivaju se metode sa parcijalnim zahvatom alata. Alati koje se koriste u ovim metodama su znatno jednostavniji nego oni koji se koriste kod klasičnih procesa što ima za rezultat da je oblast u kojoj dolazi do deformisanja materijala manja u odnosu na procese sa kompletnim zahvatom alata, zbog čega je i deformaciona sila potrebna za proces znatno niža. Jedna od takvih metoda je i inkrementalno deformisanje lima.

Prvi rezultati vezani za istraživanje inkrementalnog deformisanja lima objavljeni su 1978. godine [1], da bi sama metoda zaživela 90-tih godina prošlog veka kao alternativna fleksibilna tehnologija koja se koristi za proizvodnju obradaka složenog oblika, ali bez potrebe za korišćenjem specijalnih skupih alata. Ideja je bila da se iskoriste kretanja koje alat može da ostvari na CNC mašinama za izradu delova u malim serijama ili za izradu prototipova [2].

Metoda je razvijena u više varijanti, ali dve najčešće vrste procesa su inkrementalno deformisanje lima u jednoj tački, kada za

odvijanje procesa nisu potrebni pomoćni alati, i inkrementalno deformisanje lima u dve tačke, koje koristi potporne kalupe i sekundarne alate. U ovom radu biće prikazana metoda inkrementalnog deformisanja lima u jednoj tački (SPIF - Single Point Incremental Forming).

Glavni nedostaci ovog procesa su relativno dugo vreme izrade (u poređenju sa drugim metodama tehnologije plastičnog deformisanja) i tačnost gotovog dela, koja može da odstupa od zahtevanih vrednosti.

Zbog mogućnosti primene u malim serijama ili u pojedinačnoj proizvodnji primena ove metode ima svoje mesto u reparaciji i održavanju, izradi prototipova, u proizvodnji medicinskih implantanata, delova u avio industriji, građevini itd. Primena u medicini je posebno interesantna jer se prave tzv. "custom made" delovi.

U ovom radu biće prikazani svi neophodni elementi za izradu baze proteze metodom inkrementalnog deformisanja lima.

Uobičajeni postupak izrade baze proteze je livenje. Baza proteze (slika 1 desno) služi kao osnova za izradu totalne proteze (slika 1 levo). Na bazu proteze vezuje se set veštačkih zuba i ona fiksira položaj proteze u usnoj šupljini. Osim za izradu totalnih, može se koristiti i kod izrade parcijalnih proteza.



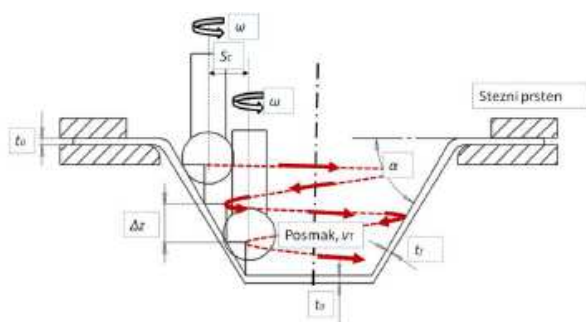
Sl. 1. Metalna baza proteze i njena primena kod totalne proteze

2. INKREMENTALNO DEFORMISANJE LIMA

2.1 Analiza procesa

Na slici 2 prikazano je kako se proces inkrementalnog deformisanja lima odvija. Pripremak je ploča od lima koja je na ivicama pričvršćena steznim prstenom (držačem lima). Sa donje strane lima ne postoji matrica. Lim se oblikuje pomoću alata sa sferičnim krajem koji se spušta vertikalno (pomak Δz) i "opisuje" traženu konturu u horizontalnoj ravni. Alat rotira ugaonom brzinom ω i kreće se u prostoru brzinom v_T . Nakon toga se ponovo spušta za pomak Δz i opisuje sledeću konturu, što se ponavlja dok se ne završi operacija. Ugao α između nedeformisanog lima u horizontalnoj ravni i deformisanog lima se naziva ugao izvlačenja i predstavlja meru obradivosti materijala. Maksimalni ugao α_{max} je najveći ugao koji može da se napravi, a da ne dođe do pucanja materijala [3].

Tokom obrade dolazi do smanjenja debljine lima (t_0 - početna debljina lima, t_r - debljina lima nakon deformisanja). Zbog načina obrade, debljina lima na dnu biće jednaka početnoj debljini lima.



Sl. 2. Šema procesa inkrementalnog deformisanja [2]

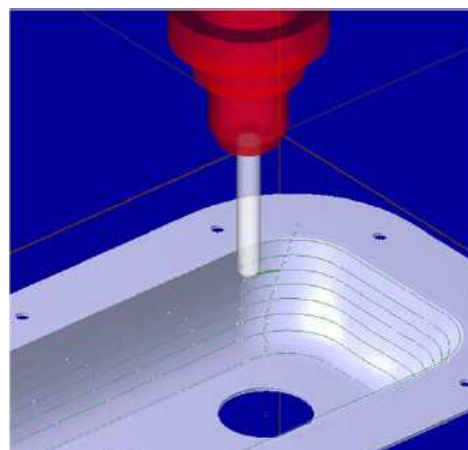
2.2 Alati i mašine

Alati koji se koriste za inkrementalno deformisanje lima imaju relativno jednostavnu geometriju (slika 3). Najvažniji deo alata je glava koja može biti sferična, konusna ili ravna i čiji oblik zavisi od debljine lima, dimenzija i tačnosti obratka, vrste materijala koji se deformiše itd.

Mašine koje se koriste za inkrementalno deformisanje lima mogu biti specijalno konstruisane za ovu namenu, ali mogu se koristiti i CNC glodalice, što je i najčešći slučaj. Kada postoji CAD model dela, putanja alata se generiše korišćenjem CAD software-a (slika 4).



Sl. 3. Alati za inkrementalno deformisanje lima [4,5]



Sl.4. Putanja alata generisana u CAD software-u [6]

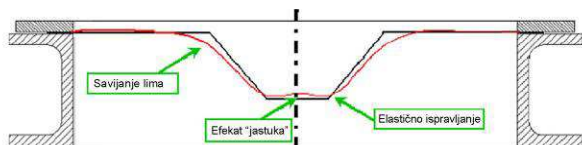
2.3 Tačnost delova

Poznato je da kod deformisanja lima elastične deformacije igraju veliku ulogu u tačnosti gotovog dela. Na slici 5 prikazane su tri najčešće vrste grešaka koje mogu da se pojave kao posledica inkrementalnog deformisanja lima [7]:

Na prelazu između nedeformisanog i deformisanog dela lima dolazi do savijanja, Nakon prestanka delovanja alata dolazi do elastičnog vraćanja materijala, tako da je ukupna dubina manja i "Jastuk efekat" se javlja na dnu dela - dolazi do krivljenja nedeformisanog materijala.

Dodatne deformacije se mogu pojaviti prilikom vađenja i opsecanja komada, ali da li će do toga doći zavisi od oblika dela i debljine materijala. Parametri procesa koji utiču na tačnost dela su: radijus zaobljenja vrha alata, pomak alata Δz ,

ugaona brzina alata ω i vrsta sredstva za podmazivanje koja utiče na veličinu koeficijenta trenja. Nekoliko načina pomoću kojih se može uticati na povećanje tačnosti dobijenog dela prikazani su u radu [7]. Kao jedna od mogućnosti je predloženo i definisanje putanje procesa koja je drugačija od one koju generišu postojeći CAD software-i, odnosno definisanje putanje koja bi bila prilagođena ovoj metodi, s obzirom da se najčešće za generisanje putanje koriste moduli koji se odnose na obradu skidanjem strugotine.

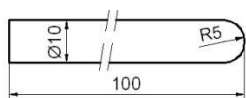


Sl.5. Greške na obratku napravljenom inkrementalnim deformisanjem lima [7]

3. IZRADA BAZE PROTEZE METODOM INKREMENTALNOG DEFORMISANJA LIMA

U opštem slučaju osnovu za razradu postupka inkrementalnog oblikovanja predstavlja crtež ili 3D CAD model finalnog dela na osnovu kog se definišu oblik i dimenzije priprema. U slučaju izrade baze proteze 3D model se može dobiti skeniranjem površine otiska koji je uzet od pacijenta. Primenom odgovarajućih software-a informacija o površini dela može se iskoristiti za kreiranje 3D modela baze proteze. Model za bazu proteze prikazan u ovom radu definisan je skeniranjem postojećeg odlivka baze proteze. Na osnovu izgleda gotovog dela definišu se oblik i dimenzije polaznog materijala. U konkretnom slučaju usvojen je kvadratni isečak lima dimenzija 155x155x0,5mm. Kada se baza proteze pravi livenjem koriste se Cr-Co legure. U praksi postoje primeri da je korišćen titanijum za izradu baze proteze inkrementalnim deformisanjem. U planiranom eksperimentu biće korišćen čelik Č.4174.

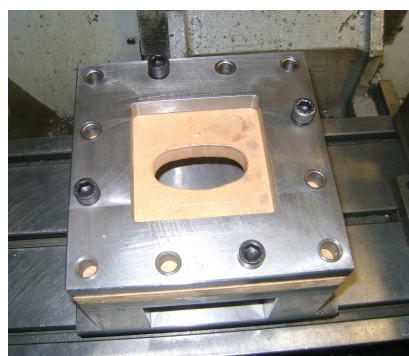
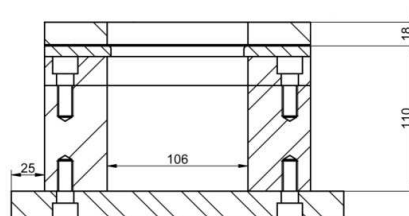
Na slici 6 prikazana je geometrija žiga koji će se koristiti za izradu metalne baze proteze. S obzirom da ovaj alat trpi znatna naprezanja i izložen je velikim kontaktnim pritiscima izrađen je od Č.4150 sa tvrdoćom posle kaljenja od 60-62HRC. U praksi se često vrši nanošenje CrN sloja radi povećanja postojanosti žiga.



Sl. 6. Izgled alata koji će se koristiti pri izradi baze proteze

Na osnovu CAD modela definiše se putanja alata i parametri potrebni za izradu dela. Vrednosti preporučenih parametara proveravaju se putem numeričkih simulacija.

Prilikom izrade dela koristiće se fiksni držač lima prikazan na slici 7. Proces inkrementalnog oblikovanja baze proteze biće realizovan na CNC glodalici HAAS TM1 (slika 8).



Sl. 7. Fiksni držač lima



Sl. 8. CNC glodalica HAAS TM1

S obzirom da je pripremak za inkrementalno deformisanje pločica lima, nakon deformisanja biće potrebna još naknadna obrada skidanjem strugotine kako bi se napravili otvori po obodu baze proteze.

Nakon eksperimenta planirano je da se uporede deo dobijen inkrementalnim deformisanjem i postojeći odlivak kako bi se ustanovilo da li je postignuta zadovoljavajuća tačnost. Podatak koji se zna i pre izvođenje eksperimenta je da će mehaničke karakteristike baze proteze biti bolje od mehaničkih karakteristika dela dobijenog

livenjem, zato što kod hladne obrade deformisanjem dolazi do deformacionog ojačavanja materijala.

4. ZAKLJUČAK

Metoda inkrementalnog deformisanja lima spada u metode tehnologije plastičnog deformisanja sa parcijalnim zahvatom alata. Prednost tih je metoda je da za njihovu primenu nisu potrebni specijalni skupi alati.

Alat koji se koristi kod inkrementalnog deformisanja lima je jednostavan, a krajnji oblik dela nije definisan matricom ili kalupom, već samim kretanjem alata. Zbog toga je primena ove metode pogodna kod izrade delova u pojedinačnoj ili maloserijskoj proizvodnji, na primer kod izrade prototipova, reparaciji delova ili kao što je u ovom radu prikazano u izradi baze proteze (kod "custom-made" proizvoda). Nedostatak ove metode je u relativno dugom trajanju procesa i u tačnosti gotovog dela koja zavisi od više faktora.

U Laboratoriji za tehnologiju plastičnog deformisanja na Departmanu za proizvodno mašinstvo u Novom Sadu planirano je da se izradi baza proteze od čelika Č.4174. Prilikom izrade dela na taj način potrebna je naknadna obrada skidanjem strugotine kako bi se dobio konačan izgled dela. Za izvođenje eksperimenta pripremljen je materijal i alat i obezbeđena je mašina. Nakon izvedenog eksperimenta proveriće se da li je postignuta zadovoljavajuća tačnost poređenjem sa bazom proteze izrađenom livenjem, koje predstavlja aktuelnu metodu u izradi zadatak delova.

5. REFERENCE

- [1] Mason, B.: *Sheet Metal Forming for Small Batches*, Bachelor Thesis, University of Nottingham, 1978.
- [2] Kršulja, M.: *Unapređenje procesa inkrementalnog preoblikovanja u jednoj točki*, Doktorska disertacija, Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet, 2013.
- [3] Ham, M., Jeswiet, J.: *Single Point Incremental Forming and the Forming Criteria for AA3003*, Annals of the CIRP, 55, p.p. 241-244, 2006.
- [4] Cawley, B., Adams, D., Jeswiet, J.: *Examining tool shapes in single point incremental forming*, Proceeding of the North American Manufacturing Research Intitution of Society of Manufacturing Engineers (AMRI/SME), 2012.
- [5] Hirt, G.: *Tools and equipment used in incremental forming*, 1st Incremental Forming

Workshop, University of Saarbrucken, 9. June 2004.

- [6] Adams, D.W.: *Improvements on Single Point Incremental Forming through Electrically Assisted Forming, Contact Area Prediction and Tool Development*, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada, 2013
- [7] Micari, F., Ambrogio, G., Filice, L.: *Shape and dimensional accuracy in Single Point Incremental Forming: State of art and future trends*, Journal of Materials Processing Technology, 191, p.p.390-395, 2007.

Autori: Asistent mr Plavka Skakun, doc. dr Mladimir Milutinović, prof. dr Dragiša Vilotić, M. Sc. Robert Lendel, Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Institut za Proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2306, Fax: +381 21 454-495.

E-mail: plavkas@uns.ac.rs
mladomil@uns.ac.rs
vilotic@uns.ac.rs
lengyelrobi@hotmail.com

Napomena: Ovaj rad predstavlja deo istraživanja ostvarenih u okviru projekta "Istraživanje i razvoj metoda modeliranja i postupka izrade dentalnih nadoknada primenom savremenih tehnologija i računarom podržanih sistema" TR 35020, finansiranog od strane Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

Ivanišević, A., Movrin, D., Kačmarčik, I

PRIKAZ METODOLOGIJE MODELIRANJA NEGATIVA BAZE PROTEZE

Rezime: Napredak stomatologije leži u napretku tehnologije. Savremenu proizvodnju stomatoloških pomagala kao i dijagnostiku u današnje vreme nije moguće zamisliti bez korišćenja savremenih alata kao što su računarski programi za 3D modeliranje (SolidEdge, SolidWorks, PTC Creo, simulaciju (SimufactForming, Abaqus, ANSYS), animaciju kao i uređaja za brzu izradu prototipova (3D štampa). U ovom radu prikazan je postupak modelovanja i kreiranja 3D modela baze proteze na osnovu skeniranog modela (oblaka tačaka). U tu svrhu, za digitalizaciju realnog modela baze proteze primenjena je Carl Zeiss CONTURA G2 RDS dok je modeliranje izvršeno u programskom paketu SolidEdge.

Ključne reči: baza proteze, modeliranje, 3D digitalizacija

1. UVOD

Značajan doprinos trenutnoj efikasnosti u stomatološkoj praksi je digitalizacija dentalnih pomagala. Primenom računara moguće je izvršiti kreiranje 3D CAD modela koji ima niz prednosti u odnosu na konvencionalni fizički model. Ovakav pristup je danas prisutan u stomatološkoj i maksiofacijalnoj hirurgiji [1, 2]. Jedna od prednosti 3D CAD modela je što ne zahteva fizički prostor za skladištenje u odnosu na fizičke modele koji se često koriste u ovim oblastima. Time se smanjuju troškovi jer se virtualni model skladišti elektronski [3]. Na ovaj način je transport samog modela značajno pojednostavljen i izbegnuta je mogućnost oštećenja istog u slučaju prenosa od tačke A do tačke B. Sama tačnost izrađenog 3D modela zuba primenom 3D digitalizacije je istraživana u radu [4]. Uzimajući u obzir vreme potrebno za izradu, lakšu upotrebu, cenu kao i tačnost, može se zaključiti da su argumenti za svakodnevnu upotrebu 3D CAD modela jaki [5].

Sa povećanjem primene računara u stomatološkim ordinacijama u proteklih 15 godina znatno je olakšana standardna procedura izrade dentalnih pomagala. Prema istraživanjima prikazanim u radovima [6 - 9] konačni cilj je potpuno digitalizovana stomatološka ordinacija.

Sam put do finalnog 3D CAD modela može biti raznolik. Jedan od načina je da se primenom CT uređaja skenira oralna regija samog pacijenta i da se na osnovu snimka vrši modeliranje. U ovom slučaju je pacijent izložen štetnom zračenju, što je negativna strana ove tehnike, iako je u novije vreme ova tehnologija sve manje „opasna“ [10 - 12]. Dodatni problem sa CT uređajem je njegova cena pa nisu sve stomatološke ordinacije u

mogućnosti da se snabdeju istim.

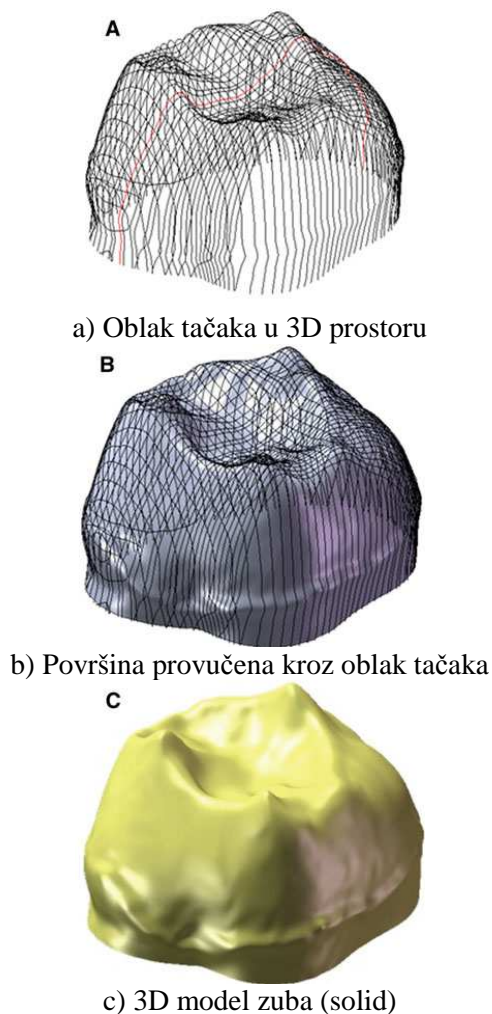
Početna faza modeliranja može biti i lasersko skeniranje ili izrada gipsanog modela [13, 14], ali je kod ova dva slučaja moguće napraviti samo površinski sken posmatrane oralne regije.

U radu [15] je dat prikaz metodologije koja omogućuje definisanje kompletnog 3D CAD modela jednog zuba sa dentinom, zubnom gleđi i pulpom koristeći samo podatke vezane za spoljnu površinu zuba.

U ovom radu prikazana je izrada 3D CAD model kalupa za izradu potpune bazne proteze. Za polazni model je uzeta izlivena bazna proteza koja je skenirana kontaktnom metodom na Carl Zeiss CONTURA G2 RDS koordinatnoj mašini.

2. 3D MODELIRANJE DENTALNIH POMAGALA

Modeliranje je proces kreiranja matematičke reprezentacije nekog trodimenzionalnog objekta. Dobijeni rezultat predstavlja 3D model. Kroz proces 3D CAD modeliranja, može se dobiti 2D slika 3D modela iz jedne perspektive, ili kao alternativa, 3D model se može iskoristiti kao resurs u *real-time* grafičkoj komunikaciji. 3D CAD model u osnovi predstavlja kolekciju podataka o tačkama u 3D prostoru i drugih informacija koje računar interpretira u virtuelni objekat koji je modeliran. Na slici 1 je dat prikaz modeliranja jednog zuba gde je po fazama prikazano dobijanje solid 3D modela iz ulaznog podatka koji predstavlja oblak tačaka.



Sl. 1. Primer modeliranja jednog zuba [15]

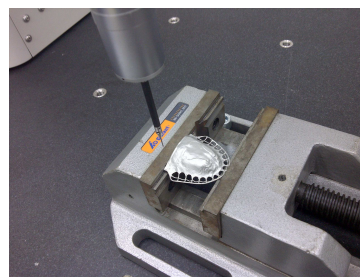
Za kreiranje određenog 3D CAD modela moguće je primeniti niz programskih CAD paketa (*SolidEdge, SolidWorks, PTC Creo, Catia...*). Osim stvaranja modela primenom specijalnih programskih paketa, moguće je kreirati model kroz razne algoritme ili skeniranjem već postojećeg objekta i interpolacijom istog u odgovarajući format prepoznatljiv računaru.

U ovom radu je izvršeno 3D CAD modeliranje negativa baze proteze u programskom paketu *SolidEdge* na osnovu oblaka tačaka dobijenog skeniranjem površine korišćenjem koordinatne merne mašine.

2.1 3D CAD modeliranje

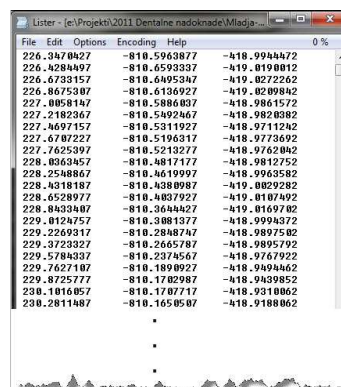
Primenom koordinatne merne mašine *Carl Zeiss CONTURA G2 RDS* izvršeno je skeniranje izlivena baze proteze (slika 2).

Baza proteze je skenirana primenom kontaktne metode, koja se zasniva na prelaženju mernog pipka mašine po površini predmeta i beleženja njegovog položaja u prostoru određenom frekvencijom.



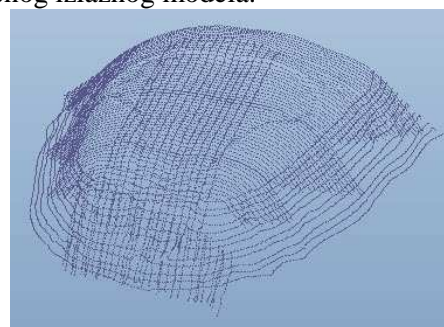
Sl. 2. Izlivena baza proteze

Ovakvim vidom skeniranja se beleže informacije o položaju određenih tačaka u prostoru i stvara se oblak tačaka. Izlazni fajl skeniranja, kao što je napomenuto, sastoji se od niza koordinata koje predstavljaju položaj mernog pipka u odnosu na nultu tačku mašine (slika 3).



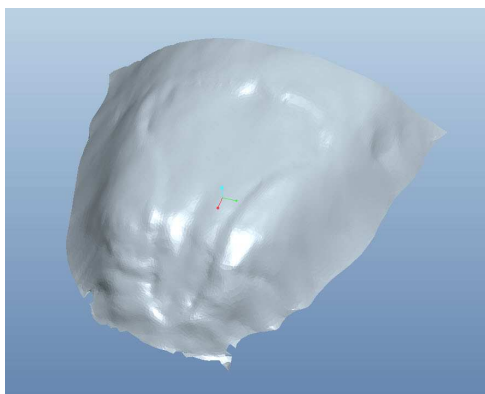
Sl. 3. Prikaz dela izlaznog fajla nakon skeniranja

Oblak tačaka, prikazan na slici 4, dobijen na osnovu koordinata, predstavlja ulazni podatak pomoću kog se vrši dalje modeliranje do konačnog izlaznog modela.



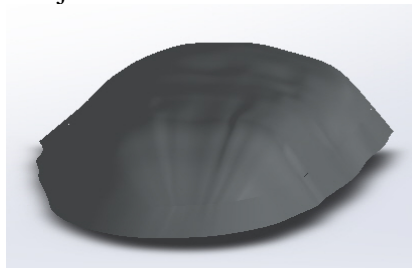
Sl. 4. Oblak tačaka nakon skeniranja

Primenom odgovarajućih modula u programskom paketu *SolidEdge* oblak tačaka je interpoliran površinom (*surface*), slika 5.



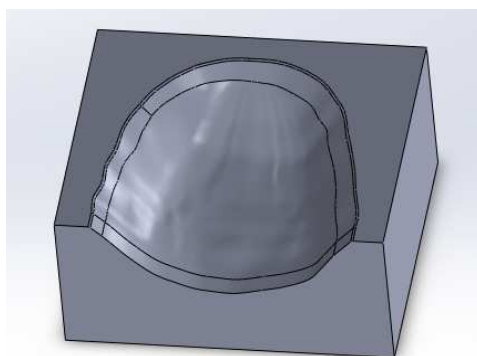
Sl. 5. Površina interpolirana kroz oblak tačaka

Površina koja je dobijena ovom metodom nije finalna, već je potrebno izvršiti korekcije na pojedinim mestima. Pošto je izlivena baza složene konfiguracije nije predviđeno skeniranje donjeg (žičanog) dela, pa je površina odsečena do visine baze koja ne uključuje taj deo. Na slici 6 je prikazana finalna površina na osnovu koje se u daljim operacijama kreira 3D CAD solid model.



Sl. 6. Finalna površina

Nakon finale korekcije površine izvršeno je modeliranje negativa (kalupa) prikazanog na slici 7. Ovako dobijen negativ može se koristiti za dalju izradu fizičkog modela primenom različitih tehnologija kao što su: inkrementalno deformisanje lima, *rapid prototyping*, CNC rezanje.



Sl. 7. 3D model negativa baze proteze

Za proveru tačnosti izrađenog, virtuelnog 3D modela, iskorišćen je fizički model dobijen rapid prototyping tehnologijom. Negativ baze proteze je odštampan na uređaju Z310 plus i prikazan je na slici 8.



Sl. 8. Negativ baze proteze izrađen na 3D štampaču

Slika 9 predstavlja prikaz vizuelne provere tačnosti izrađenog negativa baze proteze.



Sl. 9. Provera tačnosti izrađenog negativa

3. ZAKLJUČAK

Za potrebe dobijanja digitalnog 3D modela, u radu je kao ulazni, fizički, model korišćena izlivena baza proteze. Primenom koordinatne merne mašine se uspešno mogu skenirati i drugi fizički modeli, od akrilnih negativa do samih gotovih modela implanata i dentalnih nadoknada, kako u svrhu izrade novih tako i u svrhu kontrole tačnosti postojećih modela.

Od fizičkog modela do digitalnog 3D modela, potrebno je proći niz koraka korišćenjem specijalizovanih modula u okviru standardnih CAD softvera. U radu je korišćen programski paket *Solid Edge*, koji se pokazao kao veoma primenjiv u oblasti digitalizacije. Takođe, pokazana je i mogućnost skeniranja veoma složenih površina primenom standardne merne koordinatne mašine *Carl Zeiss CONTURA G2 RDS*.

4. REFERENCE

- [1] Ausiello, P., Franciosa, P., Martorelli, M., Watts, D.C.: Mechanical behaviour of post-restored upper canine teeth: A 3D FE analysis. *Dental Mater.* **27**(12), p.p. 1285–1294, 2011.
- [2] Hirogaki, Y., Sohmura, T., Satoh, H., Takahashi, J., Takada, K.: Complete 3-D reconstruction of dental cast shape using perceptual grouping. *IEEE Trans. Med. Imag.* **20**(10), p.p. 1093–1101, 2001.
- [3] Bell, A., Ayoub, A.F., Siebert, P.: Assessment of the accuracy of a three-dimensional imaging system for archiving dental study models. *J. Orthod.* **30**, p.p. 219–223, 2003.
- [4] Quimby, M.L., Vig, K.W.L., Rashid, R.G., Firestone, A.R.: The accuracy and reliability of measurements made on computer-based digital models. *Angle Orthod.* **74**, p.p. 298–303, 2004.
- [5] Garino, F., Garino, G.B.: Comparison of dental arch measurements between stone and digital dental casts. *World J. Orthod.* **3**, p.p. 250–254, 2002.
- [6] Redmond, W.R.: The digital orthodontic office: 2001. *Semin. Orthod.* **7**(4), p.p. 266–273, 2001.
- [7] Ogodescu, A.S., Sinescu, C., Ogodescu, E.A., Negrutiu, M., Rominu, R., Bratu, E.: Computer science in the orthodontic treatment of adult patients. In: *Proceedings of the Advances in Communications, Computers, Systems, Circuits and Devices*, 2010.
- [8] Ogodescu, A.S., Zetu, I., Martha, K., Sinescu, C., Petrescu, E., Negrutiu, M., Talpos, S., Ogodescu, E.A.: The use of biomedical imaging for computer-aided diagnosis and treatment planning in orthodontics and dentofacial orthopedics. In: *Proceedings of Recent Advances in Applied & Biomedical Informatics and Computational Engineering in Systems Applications*, pp. 418–423, 2011.
- [9] Ogodescu, A., Sinescu, C., Ogodescu, E., Negrutiu, M.: The Digital Decade in Interdisciplinary Orthodontics, Selected Topics in Applied Computing. p.p. 115–118, 2010.
- [10] Ogawa, T., Enciso, R., Memon, A., Mah, J.K., Clark, G.T.: Evaluation of 3D airway imaging of obstructive sleep apnea with cone-beam computed tomography. *Stud. Health Technol. Inform.* **111**, p.p. 365–368, 2005.
- [11] Moore, W.S.: Cone beam CT: a new tool for aesthetic implant planning. *Tex. Dent. J.* **122**, p.p. 334–340, 2005.
- [12] Kau, C.H., Palomo, J.M., Richmond, S., Hans, M.G.: Threedimensional cone beam computerized tomography in orthodontics. *J Orthod* **32**, p.p. 281–292, 2005.
- [13] Motohashi, N., Kuroda, T.: A 3D computer-aided design system applied to diagnosis and treatment planning in orthodontics and orthognathic surgery. *Eur. J. Orthod.* **21**, p.p. 263–274, 1999.
- [14] Commer, P., Bourauel, C., Maier, K., Jager, A.: Construction and testing of a computer-based intraoral laser scanner for determining tooth positions. *Med. Eng. Phys.* **22**, p.p. 625–635, 2000.
- [15] Martorelli, M., Ausilleo, P.: A novel approach for a complete 3D tooth reconstruction using only 3D crown data. *Int. J. Interact Des. Manuf.* **7**, p.p. 125 – 133, 2013.

Autori: M.Sc. Aljoša Ivanišević, Mr. Dejan Movrin, M.Sc. Igor Kačmarčik, Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Institut za Proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2334, E-mail: aljosa@uns.ac.rs
movrin@uns.ac.rs
igorkac@uns.ac.rs

ZAHVALNICA

Ovaj rad predstavlja deo istraživanja ostvarenih u okviru projekta “ Istraživanje i razvoj metoda modeliranja i postupka izrade dentalnih nadoknada primenom savremenih tehnologija i računarom podržanih sistema” TR 035020, finansiranog od strane Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

Movrin, D., Kačmarčik, I., Ivanišević, A., Plančak, M., Spasić, A.

PRIMENA SLS/DMLS TEHNOLOGIJA U IZRADI DENTALNIH NADOKNADA

Rezime: SLS/DMLS tehnologije danas zauzimaju veoma bitno mesto u proizvodnji dentalnih nadoknada. U radu je dat kratak princip rada i karakteristike SLS/DMLS tehnologija kao i nekoliko primera izrade dentalnih nadoknada putem ovih tehnologija. Primenom SLS/DMLS tehnologija moguće je vršiti izradu veštačkih zuba, implanata, potpora, zubnih mostova. Takođe je prikazana i mogućnost izrade čitave donje vilice od legure titanijuma Ti6Al4V.

Ključne reči: SLS, DMLS, dentalne nadoknade, rapid prototyping, stomatologija

1. UVOD

Brza proizvodnja (*Rapid manufacturing* - RM) i brza izrada prototipova (*Rapid prototyping* - RP) su tehnologije koje su veoma pogodne za maloserijsku i pojedinačnu proizvodnju i kao takve su našle veoma veliku primenu u stomatologiji, jer su implantati i protetika veoma individualizirane komponente sa veoma visokom cenom izrade. CT i MRI snimci omogućavaju dobijanje geometrijskih informacija potrebnih za generisanje zahtevanih komponenti. Glavna prednost ovih tehnologija je veoma kratko vreme izrade dela, kao i mogućnost prilagođavanja potrebnog dela svakom individualnom pacijentu. Kao glavni problem kod ovih tehnologija navodi se u pojedinim slučajevima nedovoljna čvrstoća, tačnost i kvalitet spoljne površine.

2. PRINCIP RADA SLS/DMLS
TEHNOLOGIJA

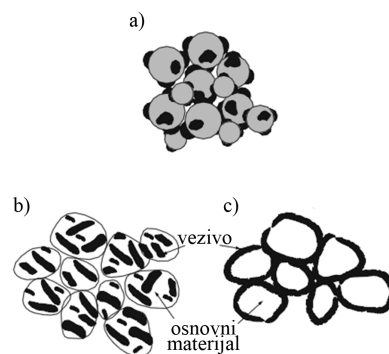
SLS (*Selective laser sintering*) i DMLS (*Direct metal laser sintering*) su *rapid prototyping* postupci koje omogućavaju brzu izradu različitih delova direktno iz CAD modela koristeći praškasti materijal.

Postupak SLS se može ugrubo podeliti u tri faze: predprocesiranje, procesiranje i postprocesiranje. Kako je SLS relativno nova tehnologija, postoji veoma veliki broj njenih varijacija, naročito u domenu samog procesiranja, odnosno izrade gotovog dela.

Predprocesiranje obuhvata izradu 3D modela u nekom od programskih paketa za modeliranje, kao što su *ProEngineer*, *SolidEdge*, *SolidWorks*, *Catia* itd. Zatim se CAD model konvertuje najčešće u STL format koji predstavlja „de facto“ standard u RP tehnologijama.

Procesiranje se obavlja u zatvorenoj komori na povišenoj temperaturi, koja je nešto niža od željene temperature obrade praha, kako bi što

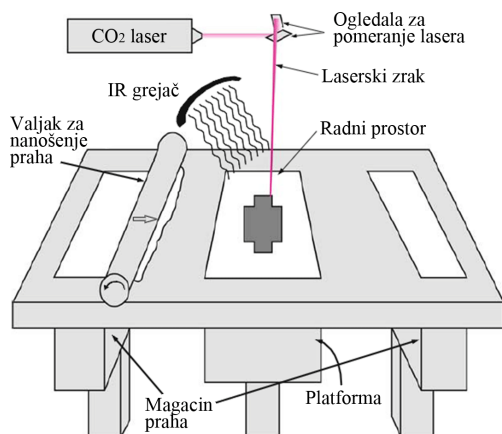
manja energija bila dodata od strane lasera. Povišena temperatura u komori takođe, smanjuje deformacije očvrnutog dela usled hlađenja nakon procesa. U najvećem broju SLS postupaka u komori je inertna atmosfera sa azotnim gasom da bi se smanjila oksidacija i degradacija radnog materijala.



Sl. 1. Odnos komponenti praha kod SLS [1]
a – komponente su odvojene čestice,
b – granule praha su kompoziti,
c – jedna komponenta je obložena drugom

Radni materijal u SLS postupcima je praškastog oblika i može biti od različitih materijala kao što su polimeri, metal, pesak, vosak, itd. Iako je moguća i upotreba jedno-komponentnog praha, kao radni materijal najčešće se koriste dvokomponentni prahovi. Pri tome jedna komponenta služi kao osnova (daje čvrstoću radnom komadu) dok druga komponenta predstavlja vezivno sredstvo. Ukoliko se koristi jednokomponentni prah, radna temperatura lasera je nešto niža od temperature topljenja praha. Pri takvim temperaturama ostvaruju se fizičke i hemijske reakcije koje dovode do pojave difuzije materijala i spajanja susednih čestica praha. Prilikom upotrebe dvokomponentnog praha, koji se koristi u najvećem broju SLS postupaka, dolazi do topljenja vezivnog materijala, dok osnovni materijal ostaje u čvrstom stanju. Odnos vezivne i

osnovne komponente može biti različit, kao što je prikazano na slici 1. Pre same izrade, vrši se podela virtuelnog 3D modela na veliki broj horizontalnih preseka (obično 0,1 mm debljine). Valjak, prikazan na slici 2, nanosi tanak sloj praha u radni deo mašine, a laser se zatim kreće putanjom u obliku konture odgovarajućeg horizontalnog preseka. Delovanjem lasera, materijal se spaja, radni deo mašine se spušta za debljinu sloja, valjak ponovo nanosi sloj praha i proces se nastavlja dok se ne izradi čitav deo. Nakon toga potreban je period hlađenja izrađenog dela u komori do temperature na kojoj se može bezbedno i bez oštećenja izvaditi iz komore. U slučaju da se deo izvadi pre nego što je ohlađen na odgovarajuću temperaturu, može doći do oštećenja dela usled oksidacije ili do krivljenja zbog nejednake temperature hlađenja. [2,3].



Sl. 2. Princip rada SLS uređaja [1]



Sl. 3. SLS mašina sPro (3D Systems)[2]

Za razliku od mnogih *rapid prototyping* tehnologija, SLS, kao i DMLS, nema potrebu za izradom potpora, jer sam neočvrstli prah predstavlja oslonac delu koji se izrađuje. Klasična mašina za SLS proizvođača 3D systems prikazana je na slici 3.

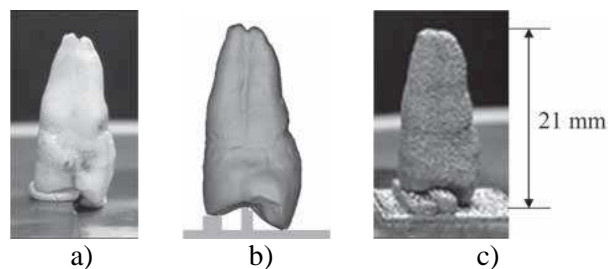
Postprocesiranje kod SLS postupaka može obuhvatati naknadno zagrevanje u peći kao i dodatnu infiltraciju.

DMLS postupak bi se mogao svrstati u jednu

od podvrsta SLS postupaka, specifičnom po tome što je kod DMLS fokus na metalnim materijalima. Ovaj postupak je ekskluzivno razvijen od strane kompanije EOS iz Nemačke. Specifičnost ovog postupka je veoma mala prodornost lasera od 20 mikrona, što omogućava tačniju izradu delova sa većim kvalitetom spoljašnje površine. Takođe, umesto laserskog praha moguće je koristiti i elektronski snop.

3. IZRADA DENTALNIH NADOKNADA PRIMENOM SLS/DMLS TEHNOLOGIJA

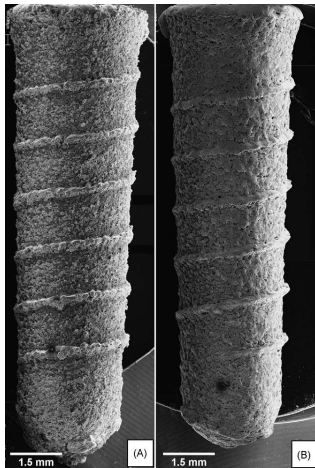
Zahvaljujući nizu prednosti u odnosu na konvencionalne tehnologije, kao i sve većoj dostupnosti, *rapid prototyping* tehnologije se sve više koriste u industrijski razvijenim zemljama za potrebe stomatologije. RP tehnologije se mogu primenjivati u raznim područjima stomatologije kao što su: izrada dentalnih nadoknada, vizuelizacija, dijagnostikovanje i obrazovanje, planiranje hirurških zahvata, modeliranje i izrada posebno prilagođenih implantata, izrada ortodontskih proteza itd. U ovom radu se poseban osvrt stavlja na primenu SLS/DMLS tehnologija za izradu dentalnih nadoknada.



Sl. 4. Primer jednog zuba izrađenog primenom SLS postupka [4]

Primer jednog izrađenog zuba primenom SLS tehnologije je dat na slici 4. Slika 4a predstavlja primer realnog zuba koji je digitalizovan primenom 3D skenera, a potom je odgovarajućim CAD softverom izvršeno modeliranje zuba (model je prikazan na slici 4b). Na osnovu dobijenog modela je izvršeno štampanje zuba primenom SLS tehnologije, slika 4c. Materijal za izradu je bio titanijum.

Traini i ostali su u radu [5] prikazali izradu jedne dentalne nadoknade primenom DMLS tehnologije. Na slici 5a prikazana je dentalna nadoknada nakon procesa štampanja. S obzirom da se ova dentalna nadoknada koristi za ugradnju u kost neophodno je da ona ima odgovarajuće mehaničke i fizičko-hemijske karakteristike kako bi se postigao visok stepen bio kompatibilnosti i funkcionalnosti u oralnoj regiji. Da bi se to postiglo, štampani model naknadno doraden.

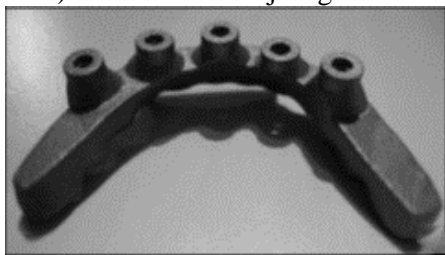


Sl. 5. Primer zubnog implanta izrađenog primenom DMLS postupka [5]

U ovom slučaju izvršena je smanjenje hrapavosti uzorka, kao i nagrizanje kiselinom, kako bi se poboljšale biološke osobine, slika 5. Uzorci su napravljeni od legure titanijuma Ti-6Al-4V, a veličina čestica titanijuma je bila od 1 do 10 μm . U ovom slučaju procenat titanijuma je bio 90%, aluminijuma 6% i 4% vanadijuma.



a) Vođica od nerđajućeg čelika



b) Vođica od legure titanijuma Ti6Al4V

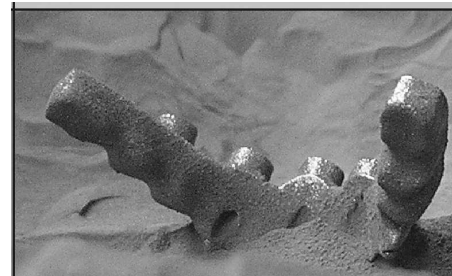
Sl. 6. Vođice za ugradnju implanata izrađene SLS postupkom [6]

Primenom SLS tehnologije moguća je i izrada vođica za ugradnju implantata, slika 6. Sam SLS postupak omogućava primenu različitih materijala za izradu, pa je u radu [6] prikazana izrada vođica od nerđajućeg čelika (slika 6a) i legure titanijuma Ti6Al4V (slika 6b).

Modeli vođica koji su predstavljali ulazni podatak za štampu su pozicionirani kao na slici 6b. Razlog tome je preciznost uređaja. U slučaju štampanja na SLS uređaju gornja površina uzorka ima relativno malu hrapavost i veliku tačnost. Sa donje strane je hrapavost veća, a tačnost smanjena

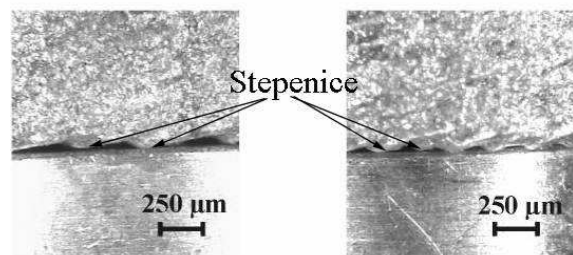
jer laserski zraci prodiru dublje u prah, pa dolazi i do sjedinjavanja čestica koje se nalaze ispod donjeg (prvog) sloja. S obzirom da je potrebna veća tačnost dela proteze koji se koristi za spajanje sa implantom, modeli vođica su pozicionirani tako da im je pomenuta kontaktna površina okrenuta na gore. Prikaz vođice pri čišćenju i vađenju iz komore za štampu je dat na slici 7.

Ovako izrađene vođice, sa procentom popunjenosti od 99% imaju zadovoljavajuće geometrijske i mehaničke osobine.



Sl. 7. Vođica za ugradnju implanata neposredno nakon završetka procesa štampanja [6]

Zbog tehnike „sloj po sloj“ dolazi do pojave stepenica na površini izrađenih uzoraka. Te stepenice predstavljaju netačnost procesa i u ovom slučaju mogu izazvati razne probleme na mestu kontakta sa implantom, slika 8. Ovaj problem se može donekle rešiti drugačijim pozicioniranjem u komori mašine. Problem bi mogao biti rešen i smanjenjem debljinu sloja, ali je to teško izvodljivo jer ona zavisi od veličine zrna praha.

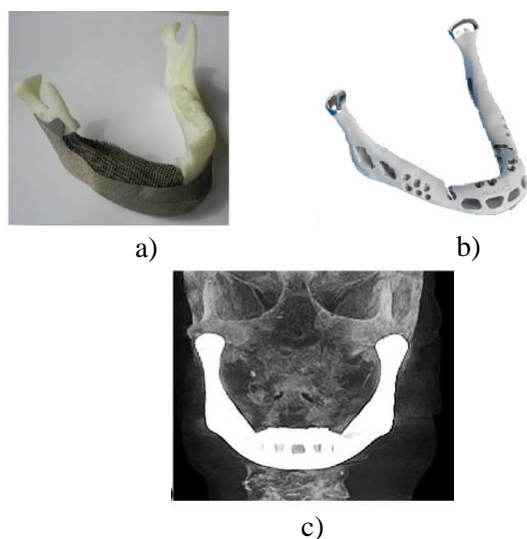


Sl. 8. Stepenice koje se javljaju nakon završetka procesa štampanja [6]

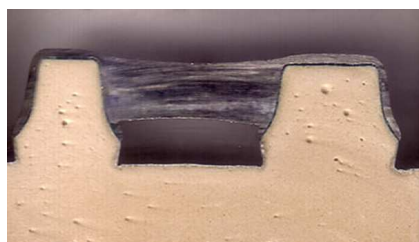
Na slici 9a je dat prikaz titanijumske pločice koja je proizvedena primenom SLS tehnologije. Ploča je ugrađena na veštačku vilicu napravljenu SLA tehnologijom (stereolitografija). Kompletna donja vilica izrađena od titanijuma je prikazana na slici 9b, dok je na slici 9c prikazan rendgenski snimak ugrađene donje vilice.

U radu [8] dat je primer izrade zubnog mosta primenom DMLS tehnologije, slika 10. Cilj rada je bio da se zubni most izradi primenom četiri različite tehnologije i da se potom ispita za koju od primenjenih tehnologija je moguće ostvariti

najbolje naleganje mosta na model zuba napravljen od gipsa.



Sl. 9. Primer izradene vilice [7]



Sl. 10. Poprečni presek zubnog mosta izrađenog DMLS tehnologijom [8]

4. ZAKLJUČAK

SLS/DMLS tehnologije nalaze veoma veliku primenu u izradi dentalnih nadoknada. Njihova najveća prednost je mogućnost izrade komponenata u stomatologiji koje su u potpunosti prilagođene individualnom pacijentu. Takođe, ovim tehnologijama moguća je izrada komponenti od različitih biokompatibilnih materijala. U ovom radu dat je prikaz samo nekih od mogućih oblasti prime ovih tehnologija, kao što su izrada veštačkih zuba, implanata, potpora i zubnih mostova.

5. REFERENCE

- [1] Gibson I., Rosen D. W., Stucker B.: *Additive Manufacturing Technologies – Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing*, Springer, ISBN: 978-1-4419-1119-3.
- [2] Chua C. K., Leong K. F., Lim C. S.: *Rapid Prototyping – Principles and Applications*, Nanyang Technological University, Singapore, ISBN: 981-238-117-1.
- [3] Kruth J. P., Mercelis P., Froyen L., Rombouts M.: *Binding Mechanisms in Selective Laser Sintering and Selective Laser Melting*, Rapid

Prototyping Journal, Vol 11, p.p. 26-36, 2005.

[4] Laoui, T., Santos, E., Osakada, K., Shiomi, M., Morita, M., Shaik, S., Tolochko, N., Abe, F., Takahashi, M.: *Properties of Titanium Dental Implants Made by Laser processing*, Proceedings of the Institut of Mechanical Engineering, Part C: Journal for Mechanical Engineering Science, Vol. 220, p.p. 857 – 863, 2006.

[5] Traini, T., Mangano, C., Samons, R. L., Mangano, F., Macchi, A., Piattelli, A.: *Direct laser metal sintering as a new approach to fabrication of an isoelastic functionally graded material for manufacture of porous titanium dental implants*, Dental Materials 24, p.p.1525 – 1533, 2008.

[6] Kruth, J. P., Vanderbroucke, B., Van Vaerenbergh, J., Naert, I.: *Manufacturing of ental prostheses by means of Selective Laser Sintering/Melting*, 2nd International Conference on Advanced Researc in Virtual and Rapid Prototyping, Leirias, portugal, 2005.

[7] Bartolo, P., Kruth, J. P., Silvia, J., Levy G., Malshe A., Rajurka, K., Mitsuishi, M., Ciurana, J., Leu, M.: *Biomedical Production of implants by aditive electro – chemical and physical processes*, CIRP Annals – Manufacturing Technology, Vol. 61, p.p. 635 – 655, 2012.

[8] Örtörpe, A., Jönsson, D., Mauhsen, A., Steyern, P. V.: *The fit of cobalt-chromium three-unit fixed dental prostheses fabricated with four different techniques: A comparative in vitro study*, Dental materials, Vol. 27, p.p. 356 – 363, 2011.

Autori: Mr. Movrin D., MSc. Kačmarčik I., MSc. Ivanišević A., Prof. dr Vilotić D., Prof. dr Plančak M., Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Institut za Proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2334
E-mail: movrin@uns.ac.rs
igorkac@uns.ac.rs
aljosa@uns.ac.rs
plancak@uns.ac.rs

dr.med. Aleksandar Spasić, Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet, Hajduk Veljkova 3, Novi Sad, Tel.: +381 21 420 677.
E-mail: a_spasic@yahoo.com

Zahvalnica: Ovaj rad predstavlja deo istraživanja ostvarenih u okviru projekta “Istraživanje i razvoj metoda modeliranja i postupka izrade dentalnih nadoknada primenom savremenih tehnologija i računarom podržanih sistema” TR 035020, finansiranog od strane Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
ETIKUM 2014

PROCEEDINGS

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

Novi Sad, 19 – 20 June 2014.

Klos, Z.**A SIMPLE TOOL FOR QUALITY IMPROVEMENT OF TECHNICAL OBJECTS
AND PROCESSES**

Abstract: *The companies are forced to improve the quality of their products and services. Large organizations usually have their own R&D departments, but SMEs have problems with developing new solutions. Since 2000, at Faculty of Machines and Transport, Poznan University of Technology, the »International Summer School of Solving Technical Problems in Mechanics, Material Engineering and Transport« is organized. One of the aims of this event is to deliver the proposals of solutions for technological, design or organizational problems that industrial companies face every day. Experiences coming from the performance of this university-industry event are presented in the paper.*

Key words: *quality improvement, technical objects, processes, summer school, teaching tool*

1. INTRODUCTION

Institutions of higher education play a significant role in contribution to the growth of places where they act. This is the plain truth and nobody needs to be convinced. On one hand, a close relationship between the economic and on the other, business life of the city and a connection between academic and cultural spheres. However, the benefits derived from the latter are not always as immediately felt by the city as the tangible ones stemming e.g. from an expressway or a modern airport. Similar situation, but on the smaller scale in another range, can be observed when new initiatives of improvement are introduced to the education process. The attempts in this direction, with the special emphasis on project organized problem oriented activities are made at the Faculty of Machines and Transport (FMT), Poznan University of Technology (PUT). So called the POPBL aims at learning by solving problems using practical experience linked with theoretical knowledge. The teaching is based there on the project organization where the participants analyze the problems and solve them by integrating theory and practice, which are usually interdisciplinary. About one of these activities is this paper.

2. FEW WORDS ABOUT PUT AND FMT

Predecessor of Poznan University of Technology – The State Higher School of Mechanical Engineering – was founded in the year 1919. From this time the education lasted three years and since 1927 – seven semesters. The Higher School was given the status of a university in 1945. Finally, during a number of transformations, the university received the present

name in 1955. Actually about 21 000 students are studying at PUT, locating this university in second place in Poznan. Poznan, fourth academic center in Poland, with population of some 560 000 inhabitants (agglomeration – 950 000 inhabitants) attracts actually nearly 140 000 young people, who are studying in 17 university level institutions.

At the beginning Poznan University of Technology had 3 faculties: Electrical, Civil Engineering and Mechanical. Those faculties were transformed and the last one was split in 1953 and one of faculties which arisen was the Faculty of Agricultural Mechanization. The research there was dedicated to agricultural machinery. Since 1957 the education lasted five years. Within the years this faculty was changing its profile and considerably the name. In the year 1967 it was renamed as the Faculty of Machines and Vehicles and its present name – the Faculty of Machines and Transportation – was given in 2000.

Today within the faculty one can distinguish Institute of Machines and Motor Vehicles, Institute of Internal Combustion Engines and Transportation, Chair of Thermal Engineering and Chair of Basics of Machine Design. The fields of study which students can study are mechanics and mechanical engineering, and transportation. The education lasts seven semesters to reach Bachelor of Science in Engineering, next three semesters to obtain Master of Science in Engineering and four years during doctor's studies.

There is observed a growing number of students interested in studying at the FMT. At the beginning of 90's the number of them was about 600 and today there are studying around 2200 persons, despite population decline tendency in region and in Poland.

3. INTERNATIONAL SUMMER SCHOOL

3.1 Basis – quality and innovation

In societies, where basic needs are met the quality started to be most wanted category, when we consider produced products, i. e. goods and services. This rule is valid, if we analyze different economy branches and of course if we speak about other areas, e.g. education. Quality is often used to signify “excellence” of a good or service. People talk about “top quality” or using the name of one brand – “Rolls Royce quality”. In manufacturing companies the word “quality” may be used to show that a piece of material, part of machines or element of appliance, conforms to certain physical dimensional characteristics set down in the form of tight specification. If we are to define quality in the way it is useful, we have to recognize the need to include in the evaluation of quality the requirements of central figure in this issues – the customer, his/hers needs and expectations. Now, in the whole process leading to achieve top quality, the generation, exploitation and diffusion of knowledge are fundamental activities to economic growth, development and the well being of nations. Central to this is the necessity of creating and implementing the innovations. Over time, the nature and landscape of innovation has changed but the need of innovation is constantly increasing.

“The knowledge-based economy” is an expression coined to describe trends in advanced economies towards greater dependence on knowledge, information and high skill levels, and the increasing need for ready access to all of these by the business and public sectors. Knowledge and technology have become increasingly complex, raising the importance of links between companies and other organizations as a way to acquire specialized knowledge.

Innovation is central to the growth of output and productivity. However, while the understanding of innovation activities has greatly increased lately, the role of their economic impact is still deficient. For example, as the world economy evolves, so does the process of innovation. Globalization has led to dramatic increases in access to information and new markets for enterprises. It has also resulted in greater international competition and new organizational forms in order to manage global supply chains. Owing to advances in technologies and greater flows of information, knowledge and innovation is more and more viewed as a central driver of economic growth. Yet, we do not fully understand how these factors affect innovation [1]. Moreover, it is still not obvious that from

innovation is the straight way to achieve the excellence in business. To meet these needs halfway the *International Summer School (ISS)* idea was risen and elaborated then into the educational project.

3.2. Organization of ISS

The project called the *International Summer School of Solving Technical Problems in Mechanics, Material Sciences and Transportation* was initiated in 2000 [2]. From that time, this annual 5-days workshop is organized usually in September. It focuses each year an attention on 30-40 students from different countries, first of from Poland, but also from Czech Republic, Slovakia, Germany, Portugal, Hungary and Slovenia.

The idea of the *International Summer School* is concentrated on cooperation between students and different companies from Poland, especially from Wielkopolska Region (Poznan is the capital of this Polands mid-west region). There are two main objectives of the project. The first one is dedicated to companies and it is concentrated on introduction of innovative solutions and in this way improving the quality in different areas of company, e.g. production line, transportation process, organizational rules. The second one puts a stress on development of students’ knowledge and creativity. As future engineers, students play there a role of complex problems’ solvers [3].

The companies, which take part in ISS, represent different branches of industry. Some of them such as a producer of household equipment or a producer of precise measurement devices take a part in this innovation initiative since the very beginning. The problems they present are always vivid. The most important features of those subjects are as follows:

- precisely defined problem situations,
- interdisciplinary character; most of them link different aspects, i.e. technical, economical, organizational,
- a uniqueness, which is a result of a very specific problem formulation.

Students’ potential can be seen in their solutions, which are expected to be creative, innovative, including all the goals, assumptions and thresholds.

An organization of the workshop starts at the beginning of the calendar year. It is a time when an organizing committee is formed. Usually it consists of some 5 persons, mainly Ph.D. students. The inviting letters are prepared and send to companies, potentially interested in participation in this event.

Next step is highly connected with marketing.

Information about a workshop is distributed to students, specially the best ones, working among others in the frame of Academic Working Group in Mechanics. The most fruitful for gaining the ISS participants are meetings with students. There are also prepared posters and leaflets, distributed in the area of PUT campus. Potential participants can visit web site with detailed information about the *International Summer School*. There is also available a registration form which can be sent to the workshop secretariat.

3.3 The International Summer School schedule

The ISS always starts on Monday by a students' registration. The participants receive a work package including a detailed schedule of the *International Summer School*, technical drawings, companies' prospects, description of the problem to solve and other information materials. After a registration the opening ceremony begins. During this time there is delivered an invited lecture. Main subjects of these lectures focus on the different aspects of the methodology of the creative solving of engineering problems or other dilemmas. There are here invited lecturers, who deliver the most advanced and actual knowledge on these issues. Then an organizational information is also introduced. The representatives of the companies present problems to be solved. The list of selected topics is presented in Table 1.

Students are divided into the groups of around 3-4 persons. It is badly seen establishing "national teams" and the ISS organizers' make an effort to integrate participants. As the result, it is a principle that the foreign students join the different groups. Each problem is solved by two competing teams. Groups of students can cooperate, but the proposed solutions must be different and unique. It is also possible and often met that one group is working on more than one solution of a problem, indicating on their advantages and disadvantages. Monday is also a day when in the evening a social integration trip is organized.

During this workshop students visit companies (usually on Tuesday), especially those located in Poznan or nearby, learning more about them and the problem there are to solve. Students can also consult their ideas of solutions with employees of these companies.

A very important roles have university employees, usually professors and doctors, often with industrial experience, who may play the role of advisers, very helpful in providing a methodological background to students' work.

Year	No.	Problem formulation
2002	1.	Dust elimination during fertilizer's transferring process
	2.	Optimization of internal transport system using Just-in-Time method
2003	1.	Methods of rapid bonding between glass, ceramics and metal elements
	2.	Project of transportation process of products from three packaging machines to one collection point
2004	1.	Aesthetic finish of fixing a specific element of the refrigerator
	2.	Hermetic seal of plastic packaging project using foil
2006	1.	Washing powder dose system leading to the energy and washing powder reduction
	2.	Identification of transportation development strategies on Baltic Sea Regions, including strengths and weaknesses analysis
2007	1.	A construction of universal pliers for ring installment in water meter for better access and ergonomics
	2.	An algorithm for determination of separator size based on processing data
2009	1.	Activities aimed at raising accuracy and culture of work on the production line in factory
	2.	Optimisation of bus floor service hatches construction in means of thermal and acoustic insulation
2011	1.	Protection against accidental activation of the kitchen by children
	2.	Analysis of the plywood flooring installation system, including their physical characteristics and development of a method of connecting joints in places
2012	1.	Alternative drive concept of the packaging machine dispensing the butter and margarine into cubes
	2.	Optimization of the oven burner assembly operations
2013	1.	The process of assembling and checking COAX connector for a thermocouple in a gas stove
	2.	Three concepts for pipeline and electrical assembly inside the vehicle with a selection of market assembly elements including technical and economical criteria

Table 1. List of selected problems on ISS

Participants can consult their ideas from Tuesday until Thursday. Thursday is also the last

day of students' creative work. Until 8 p.m. they are obliged to prepare and deliver the report to the Organizing Committee. This is a formal document, which finally goes to the companies. It is constructed on the basis of the following points:

- title of the project,
- the name of the participants (with an indication of the group's leader),
- abstract,
- introduction,
- problem presentation (with short description of the company and problem classification),
- problem solution or solutions (the method or methods of solving the problem and problem presentation),
- conclusions,
- references,
- enclosures.

Finally, in the last day of ISS, at Friday, students present the results of their work on the project. The time for each presentation is limited to 15 - 20 minutes, with 5 - 10 minutes for discussion with the jury members and other ISS participants. The number of presenters per group is not defined. Students can use supporting equipment.

Each project is judged by a jury (commission), i.e. the representatives of the university and companies, in the number of some 10 persons. One of the most important features is its objectiveness. The members of the jury are the persons not directly engaged in projects. The jury meets after all presentations and notes for each group are given. The marking scheme goes beyond simply marking a presentation. Similarly as in the case presented by [4] the factors, that are taken into account are as follows:

- creativity (initiative and ideas),
- uniqueness,
- level of problem understanding,
- advancement of the project realization.

The maximum note the group can receive equals 10 points. The quality of the presentation is also marked and the notes are as follows: -1, 0 and 1. It forces students to show also their entrepreneurial skills. All those marks are collected in the form and an overall note and opinion are delivered.

The final notes are presented during the closing ceremony, which is at Friday afternoon. It is done during the nice event – the standing party. It gives the frames to direct meetings between students from the one side and representatives of companies and university from the other side. The more advanced and more interested solutions are rewarded. All students also receive a certificate of

participation in ISS. This document includes information about the note they get.

One of the advantages of this workshop is a self-learning. It comes through the learning by doing and interacting with experts. This kind of experimentation is defined by El-Raghy (1999) as one of three of the most important quality engineering education skills. This is the time when learning, according to New Learning Paradigm presented by Hills and Tedford [3], is seen as an active process in which concepts are acquired, incorporated into appropriate schemes and tested in action.

Next very important feature of the workshop is a communication. The language, which is meant as the carrier of ideas during conversation or in writing, students operate is English. El-Raghy [5] indicates that it is essential for practicing engineer to know at least one foreign language and Riemer [6] emphasizes the role the English language plays for today "global" engineer.

During the workshop students can also improve their communication skills by working in groups. It is an input for a multicultural engineering workforce. Students have an opportunity to learn more about cultural differences, different points of view and to accept them.

Learning by experience, strongly recommended by McDermott, Göl and Nafalski [7], reveals among the group of students abilities of leaders, managers as well as effective team members. The effectiveness of the group strongly depends on the cooperation between its members. Trzcieniecki [8] adds to this another two aspects, i.e. communication and motivation. The last one factor is also mentioned as the most powerful in goal achieving by Hills and Tedford [3]. Motivation can have different forms. It can be considered with a perspective of a personal benefit, as a group success.

3.4. Environmental orientation of ISS solutions

In XXI century, according to the ideas of sustainable development, is a growing need for identifying economically and technically feasible and environmentally compatible solutions, which enable to manage this challenge, with the strong accent on the last one. From an earlier focus on substances and technology, modern thinking has to move towards greater attention to technical objects themselves, including different dimensions of them. This aspect is sought-after and highly appreciated in analysis and opinion of solutions to be delivered by students to the jury.

Generally, the challenge is to combine environmental improvements and better object

performance to go hand in hand and to create environmental improvements, supporting long-term industrial competitiveness. In consequence, environmental analyses should not be focused on large point sources of pollution, such industrial emissions or waste management issues. They need to be complemented by a policy that looks at the whole of an object's life cycle. To be successful, the analysis also has to take into account several characteristics of objects and:

- 1) has to use creativity for the benefit of the environment as well as the economy,
- 2) should aim to reduce the environmental impacts of increased quantities of objects,
- 3) should ensure that well object design incorporates proper use and disposal, which minimize environmental impacts,
- 4) should contribute to improving information flows along supply-chain.

Presented factors underline the need to introduce an object dimension to consideration. It is necessary to look at the technical object in a holistic way, involving as many actors as possible and leaving to them the responsibility for the choices they make.

The frame to be applied in evaluation of proposed solutions is among others Life Cycle Management (LCM) approach, with a Life Cycle Assessment (LCA) method. The students have recommendations to use them both.

LCM concentrates on decision processes that influence system cost and usefulness. These decisions must be based particularly on full consideration of business functional requirements, economic and technical feasibility and environmental sensitivity in order to produce an effective system. The main objectives of the LCM practice comprise:

- 1) delivering quality systems which meet customer expectations, including cost estimation,
- 2) delivering systems that work effectively and efficiently within the current and planned technology infrastructure,
- 3) delivering systems that are cost-effective to enhance and maintain,
- 4) establishing a management structure with appropriate levels of authority.

LCA method is generally represented by ecobalance designation. Although the scope of the problems considered in the whole LCA is broader than in case of typical ecobalance, both methods are very often treated as equivalent to each other.

The LCA of the object (good, process or activity) is a process aimed at identifying the negative effects of it, quantifying the use of raw materials, energy consumption and emissions,

evaluating the impact of these uses made of energy and materials as well as emissions into the environment, and evaluating the relevant improvements in an environmental context. LCA is used to support decision making processes particularly in area of environmental aspects, but the true is, that LCA is also supplemented by other assessments which make it possible to take into account other factors, not usually incorporated into the LCA, for example, the economic and organizational aspects.

As we mentioned the life cycle thinking was introduced as an idea in solving the problems during our innovation project. It has to characterize all of actors who come into contact with an object. There are two areas of activities particularly important: educational, which causes raising of environmental awareness, and promotion of carefulness of environment on national and regional level. Three sets of actions are indicated as required to develop life cycle thinking:

- 1) making available information and tools (collecting and disseminating life cycle data for design and labeling purposes, promotion of methods such as LCA, which provide the best framework for assessing the potential environmental impacts of objects),
- 2) implementation and re-orientation of Environmental Management Systems (the approach which provide good framework for integrating life cycle thinking and which is re-oriented from the process dimension towards products),
- 3) technical objects design obligations (application of rules oriented on environmental requirements, which stimulate to develop greener products in form of legal base, internal market considerations, international treaty obligations).

4. CONCLUSIONS

The FMT has developed an environment for both education and training, and the ISS became a successful innovation project in this frame.

This workshop became popular within companies because of:

- the opportunity for closer contact with university,
- the chance for finding the interesting personalities among the students, participating in solving their problems,
- the opportunity to recruit fresh staff members,
- and last but not least
- finding very often many rational solutions of their problems and taking advantage of the

proposals of solutions, presented by the students,
what makes many companies participate year by year in the ISS.

It is very popular within the students' community, especially the best ones. A lot of them participate at least twice in this event. There are some reasons for that:

- students find ISS as a good opportunity to familiarize with practical problems, use their knowledge and start to use their creativity by solving real problems,
- this is a competence training for them, leading to even patented solutions,
- the solved project can be an inspiration and motivation for students to their master or even doctoral thesis,
- this is a good experience for them in finding a job, usually offered by the participating in ISS companies.

And finally, there are also the benefits for the university:

- the attractiveness of this innovation means that there is a need of such initiatives,
- such popularity within students indicates that the delivering theoretical knowledge is not enough in their education process,
- students are looking for the cooperation with companies, where both theoretical and practical aspects are highly related,
- the problems presented by the companies are characterized by the complexity, linking technical, economical, and organizational aspects, giving the university audience an opportunity to see the current real problems occurring in economy,
- quality of education improves at the FMT, by introducing such a initiative as *International Summer School*.

5. REFERENCES

- [1] Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data. Oslo Manual. 3rd edition. OECD, Eurostat, Paris 2005.
- [2] from the "Głos Politechniki" (Voice of PUT) periodic magazine
- [3] Hills G., Tedford D. (2003), "*The education of engineers: the uneasy relationship between engineering, science and technology*". Global Journal of Engineering Education, Vol. 7, No. 1, pp. 17–28.
- [4] McDermott K. J., Göl Ö., Nafalski A. (2002), "*Considerations on experience-based learning*". Global Journal of Engineering Education, Vol. 6, No. 1, pp. 71–78.
- [5] Short T. D., Garside J. A., Appleton E. (2003),

"Industry and the engineering student: a marriage made in heaven". Global Journal of Engineering Education, Vol. 7, No. 1, pp. 77–86.

- [6] El-Raghy, S. (1999), "*Quality engineering education: student skills and experiences*". Global Journal of Engineering Education, Vol. 3, No. 1, pp. 25–30.
- [7] Riemer M. J. (2002), "*English and communication skills for the global engineer*". Global Journal of Engineering Education, Vol. 6, No. 1, pp. 91–100.
- [8] McDermott K. J., Göl Ö., Nafalski A. (2002), "*Considerations on experience-based learning*". Global Journal of Engineering Education, Vol. 6, No. 1, pp. 71–78.
- [9] Trzcieniecki J. (1996), "*Project management – the flexible form of organization*" (in Polish). Organizacja i Kierowanie, Vol. 83, No. 1, pp. 31–37.

Author: Prof. Dr. Zbigniew Klos, Poznan University of Technology, Faculty of Machines and Transport, Institute of Machines and Vehicles, Piotrowo 3, 60-965 Poznan, Poland, Phone.: +48 61 665 2231, Fax: +48 61 665 2736
E-mail: zbigniew.klos@put.poznan.pl

Kosec, B., Mitić, S., Babić, I., Soković, M.

INTERDISCIPLINARY DOCTORAL STUDY PROGRAM ‘ENVIRONMENTAL PROTECTION’

Abstract: *In the year 2009 started at the University of Ljubljana interdisciplinary doctoral study program "Environmental Protection". The program links together experts from various faculties and departments with the common interest of protecting the environment. As to the content, the program has been harmonized with similar programs of other universities in particular in the EU and in the USA. The program consists of methodological course, basic (core) and elective courses. In the frame of the program content is between the study topics presented and discussed in detail life cycle assessment (LCA) method, especially its advantages and disadvantages, and through the seminar works and individual student work application of LCA.*

Key words: *environmental protection, doctoral study, interdisciplinary program, LCA*

1. INTRODUCTION

The growing crisis of the environment has changed social values and human behaviour worldwide, thus encouraging research of environmental hazards and development of new technologies for protecting the environment. In Slovenia, the development of environmental protection should keep up with the rest of the world.

The problems of environmental protection are integrated and interdisciplinary, combining the knowledge from natural sciences, social sciences and humanities, technical sciences, medicine and others. Ecological problems that are often induced by poorly thought out economic measures, are defined by knowledge from natural sciences, solved with technical measures, having economic and legal bases and loaded with social consequences. Hence, the integration of different disciplines provides the basis for successful problem solving in the field of environmental protection. As a rule, new knowledge and technical solutions typically emerge in border areas of different disciplines.

The main emphasis of the doctoral study is research work on its interdisciplinary character and cooperation with internationally established local and foreign experts.

The Interdisciplinary doctoral program in Environmental protection at the University of Ljubljana links together experts from various faculties and departments with the common interest of protecting the environment. As to the content, the programme has been harmonised with similar programmes of other universities in particular in the EU and in the USA. Numerous

elective courses offer a wide selection of knowledge in the area of environmental protection.

The goal of the program is to equip doctoral candidates with scientific thinking and solving the demanding environmental problems with an interdisciplinary approach.

2. THE PROGRAM

The duration of the Interdisciplinary doctoral program in Environmental protection is three years (180 ECTS credits), and according to the Bologna educational scheme this represents the third cycle of education. The program consists of organised classes (60 credits) and individual research work for the doctoral thesis (120 credits) (Table 1).

Interdisciplinary doctoral program in Environmental protection is evaluated according to the European Credit Transfer System (ECTS), thus allowing students and lecturers to participate in international exchange schemes in the countries where ECTS or some other comparable system is implemented.

The doctoral program results in the degree of ‘Doctor of Science’ including five different study orientations:

- Natural sciences,
- Technical sciences,
- Biotechnical sciences,
- Medicine, and
- Social sciences and humanities.

The program is comparable with other similar programmes of foreign universities.

The program is organised by the University of Ljubljana through its 13 faculties (Biotechnical

Faculty, Faculty of Economics, Faculty of Social Sciences, Faculty of Civil Engineering and Geodesy, Faculty of Chemistry and Chemical Technology, Faculty of Mathematics and Physics, Faculty of Maritime Studies and Transport,

Faculty of Mechanical Engineering, Faculty of Arts, Faculty of Medicine, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Faculty of Law, and Veterinary Faculty).

Year 1	Credits	Year 2	Credits	Year 3	Credits
Obligatory methodological Course	10	Elective Course	10	IRW	55
Core Courses	20	Doctoral seminar with presentation of the doctoral dissertation topic	5	Doctoral seminar with presentation of the doctoral dissertation prior to the public defence and the public defence	5
Elective Course	10	IRW	45		
IRW	20				

*IRW = Individual Research Work

Table 1. Content and structure of the program (by year)

In the first year of study, doctoral candidates, within the framework of obligatory and elective courses, obtain fundamental theoretical knowledge and expertise of scientific work.

In the second year of study, students fulfil their obligations arising from the elective course, within the framework of which they complement their knowledge obtained in the first year of study while, at the same time, mastering the knowledge necessary to produce a doctoral dissertation.

The focus of the third year is research work, and preparation and defence of the doctoral thesis.

2.1 Courses

The program consists of methodological course, basic (core) and elective courses.

The (obligatory) Methodological Course: The Interdisciplinary Scientific Research Work - methodological course is compulsory for all students. In this course candidates acquire the core principles and the basic methods and techniques for scientific and research work. Students learn how to write good quality research articles, project proposals and reports.

Core Courses: The primary goal of the core courses is for candidates to acquire and master the knowledge needed to produce a doctoral dissertation that has not yet been mastered at previous studies. From the list of seven core

courses candidates select two of them and must be approved by the mentor and co-mentor.

Elective Courses: The candidates are free to choose two elective courses from the list of 56 elective courses (in year 2014/15). One of the electives can be replaced by courses from other doctoral programmes at the University of Ljubljana and comparable programs of foreign universities. The selected courses must be approved by the mentor and co-mentor. Elective credits can be selected also from the university pool of the generic skills courses, listed at the web site of the University of Ljubljana.

The candidates can find the base knowledge about Life Cycle Assessment in the elective course Designing Environmentally-Friendly Products and Technologies. Case studies and applications of LCA give them four elective courses: Information Approaches in Science and Technology, Recycling of Metal Materials, Renewable Energy Sources, and Designing Environmentally-Friendly Products and Technologies.

2.2 Basic program goals and competences

The main goal of the program is the interdisciplinary education of highly-qualified experts in the scientific fields covered by the programme. The programme has an interdisciplinary character and is intended for

offering in-depth knowledge in different aspects of environmental issues ranging from technical and biotechnical to medical, social and humanistic.

The goal of the program is to qualify doctoral candidates in scientific thinking and in solving the demanding scientific problems in the area of the environmental protection with an interdisciplinary approach.

After the completion of the program, doctoral graduates will be qualified for creative and independent research work and for solving scientific problems. They will be able to critically assess research results and capable of transferring new knowledge into practice.

2.3 Career prospects

The possibilities for employment of graduates from the Interdisciplinary doctoral program in Environmental protection are very diverse.

They are suitable for employment as experts or as important new personnel at universities and other educational and research institutions. The employment in public administration, health establishments, government offices, and in other institutions and companies dealing with research of environment, employing experts and researchers with the highest educational level is also possible.

2.4 Links to other study programs

The Interdisciplinary doctoral program in Environmental protection is both horizontally and vertically linked to other study programs at the University of Ljubljana. Horizontal exchange enables students to fulfil their elective course requirements from other doctoral programmes at the University of Ljubljana in agreement with their mentors and course lecturers. The vertical link is inherent in the very design of the study programme through its syllabus and the possibilities of choosing different courses. Furthermore, it is possible to exchange study courses with comparable programs from other universities. The quality and comparability of courses must be evaluated by the Program Council. International exchange takes place on the basis of international contracts and bilateral agreements. International exchange is also possible through collaboration in mobility programmes for students and professors. The programme is also open to foreign students.

3. LCA

The most used and established method for detecting the effects of the product on the

environment is a method of life cycle assessment (LCA), which analyzes the effects of the product on the environment in all its life stages (design, materials selection, manufacture, use, and ultimately its removal), and is an important tool when we deciding on choosing and optimizing the technology and raw materials.

In the frame of the interdisciplinary doctoral program content is in the elective course Designing Environmentally-Friendly Products and Technologies presented and discussed in detail life cycle assessment (LCA) method, especially its advantages and disadvantages, and through the seminar works and individual student work its application.

• 3.1 Case Study 1: LCA in banking

• Banks play a fundamental role in the development of world economy and as such have a profound impact on the environment with their operations and by guiding the economic development with their business policies. In the study was used the LCA method to identify the sources of the environmental impact of a part of one of the biggest Central and Eastern European banks.

• The base suppose of the study was that the biggest environmental impact of a bank is not in its operations but in its portfolio. In the frame of study have been done: sector analyses of investment industries, environmental impact of industrial sectors, environmental impact of banking products, and total environmental impact of banking. The questions for which the answers we were been looking for:

- How environmentally problematic is a bank?
- Is the banking portfolio more problematic then its operations?
- How is the banking investment portfolio structured?
- What are the reasons for investing in environmentally invasive sectors?
- Could the banks invest money in „good“ sectors and still make money and not grow their risk?
- Can banks prevent future risk of sustainable regulation?
- How can bank regulators support the environment?

• 3.2 Case Study 2: LCA in steelwork

Environmental-energetic and material flow analysis of the process which is the base for Life cycle assessment (LCA) is the same for the bank and steelwork (Figure 2).

We analysed potential application of LCA for the Slovenian steel producers, especially the case

of ACRONI d.o.o., the biggest steel producer in Slovenia. Heavy plates of two typical stainless steel grades 304 and 316. from ACRONI production program were analysed during the pilot project.



Fig. 1. Environmental-energetic and material flow analysis of the process

For the project has been used the standard software for LCA analysis GaBi 5. The aim of the project was to show that steel producing industry knows how important is the synergy between steel producer, economy, environment, and society.

4. CONCLUSIONS

In the year 2009 started at the University of Ljubljana interdisciplinary doctoral study program "Environmental Protection". The program links together experts from various faculties and departments with the common interest of protecting the environment.

In the frame of the program content is in the elective course Designing Environmentally-Friendly Products and Technologies presented and discussed in detail life cycle assessment (LCA) method, especially its advantages and disadvantages. Through the individual student work, seminar works and case studies is confirmed its applicability.

•

• 5. REFERENCES

- [1] Interdisciplinary Doctoral Program "Environmental Protection", University of Ljubljana, Ljubljana, 2014.
- [2] University of Ljubljana (www.uni-lj.si)
- [3] Milanković, D., Milanović, B., Agarski, B., Crnobrnja, B., Ilić, M., Kosec, B., Budak, I.: *Life cycle assessment of an intermodal steel building unit in Serbia*, Journal of Production Engineering, 15 (2012) 2, 99-102.
- [4] Vidic, E.: *Life Cycle Assessment*, SIJ, 4 (2013) 4, 31 – 32.
- [5] Kosec, B., Kosec, G., Budak, I., Karpe, B.,

Soković, M.: *Slovenian Steel Producers and Environment*, Proceedings of "Ecology of Urban Areas 2013", Zrenjanin, 319-324, 2013.

- [6] Seliger, G.: *Sustainability in Manufacturing Recovery of Resources in Product and Material Cycles*, Springer Verlag, Berlin / Heidelberg, 2007.
- [7] Burchart-Korol, D.: *Significance of Environmental Life Cycle Assessment (LCA) Method in the Iron Industry*, Metallurgy, 50 (2011) 3, 205-208.
- [8] 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.

Authors: Prof. Dr. Borut Kosec, University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenia, Phone: +386 1 2000410, Fax: +386 1 4704560.

Sergeja Mitič, Ivana Babič, University of Ljubljana, Office of Doctoral Studies, Kongresni trg 12, 1001 Ljubljana, Slovenia, Phone: +386 1 241 85 36 Fax: +386 1 241 85 436.

Prof. Dr. Mirko Soković, University of Ljubljana, Faculty of Mechanical Engineering, Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana, Slovenia, Phone: +386 1 4771214, Fax: +386 1 4771218.

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

sergeja.mitic@uni-lj.si

ivana.babic@uni-lj.si

mirko.sokovic@fs.uni-lj.si

Muránsky, J.

ENVIRONMENTAL EVALUATION OF MECHANICAL ENGINEERING WORKS

Abstract: This paper describes mathematical-economic procedures for environmental evaluation of mechanical engineering works. The original procedures are based on the corresponding rules and acts valid in the EU and Slovakia. A practical example from the automotive industry closes the paper. **Key words:** Environmental evaluation, mechanical engineering works, mathematical-economic procedures, automotive industry

1. INTRODUCTION

At the present time, a lot of Slovakian acts and European documents enable the environmental evaluation of mechanical engineering works, including their products. The European Commission developed a „new style“ industrial policy. This policy is based on three pillars: better regulation – in connection to environment too, sector specific approach and an integrated approach at EU level.

2. MECHANICAL ENGINEERING WORKS (MEW)- AS A MULTILATERAL SYSTEM

MEW characterized as a multilateral system (illustrated in **Fig.1**), is oriented to the manufacturing of mechanical engineering products, and has its inputs and outputs. They can be specified as follows:

- Inputs
 - There are basic materials obtained from the non-renewable resources, auxiliary materials (their application is unavoidable to the realization of some technological processes), and the basic and auxiliary materials after recycling and other processes according to the special criteria.
 - Electric and thermal energy are the another inputs. They can be obtained from the renewable and non-renewable resources, too.
- Outputs
 - First of all, they are the main products of the MEW, and in some cases, MEW can make the so-called by-products. Their production, depending from some manufacturing processes character, is advantageous.
 - The wastes are very important output of

MEW-s, from the environmental point of view. They can be solid, liquid and gaseous. The non-material expressions of the energy resources can be put to the wastes. They are noise, radiation and heat.

The scheme of a MEW, as a multilateral system, has been put together according to these contemplations and corresponding environmental acts (see **Fig.1**).

The most important part in this scheme is the part in connection to **wastes**.

3. WASTE MANAGEMENT IN A MEW

Waste management as a general problem is written up in the lot of publications – for example [6 - 8], and another documents.

The waste management in a MEW has a specific attribute: there is no municipal or mixed municipal waste in the management process, composting technologies, etc.

The waste management hierarchy, as a symbolic representative illustration, is in **Fig.2**.

4. STRUCTURE OF THE MEW AND QUANTIFICATION OF THE INDIVIDUAL ITEMS

Each of block in the scheme, illustrated in **Fig.1**, represents an item. If the MEW is economically consolidated, the individual items are being financially expressed. For example – **in €/year**.

Let the next symbols are validated :

- Kinds of energies E
 - Electric energy E_i
- i – index of the energy kind
 $i = 1$ (water), 2 (sun), 3 (wind), 4 (another),

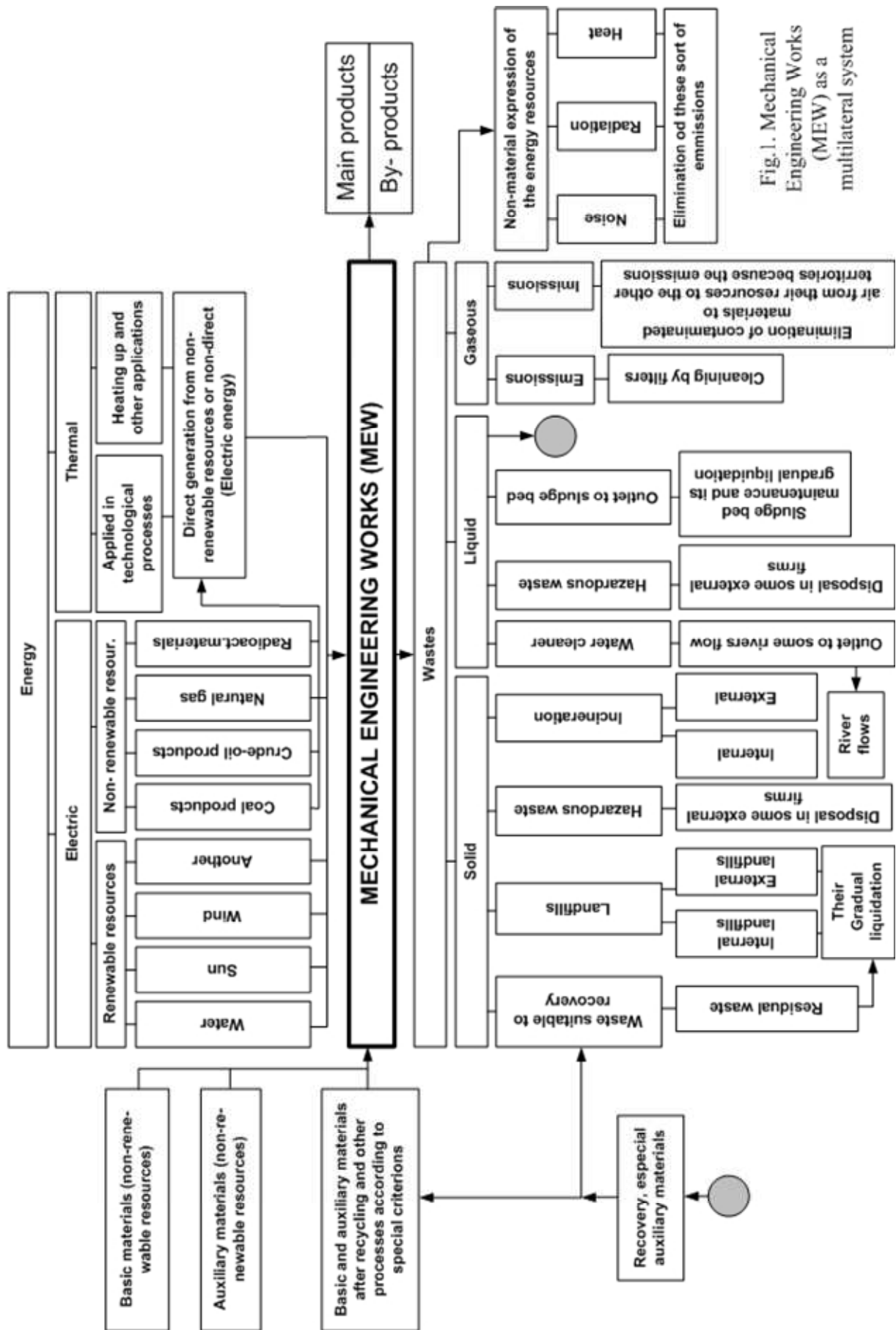


Fig.1. Mechanical Engineering Works (MEW) as a multilateral system

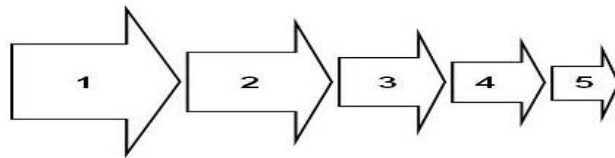


Fig. 2 The waste management hierarchy. Abbreviations : 1 – Reduce, 2 – Reuse, 3 – Recycle, 4 - Energy Recovery, 5 – Dispose

- 5(coal product), 6(crude oil products),
7(natural gas), 8(radioactive materials)
- Thermal energy Q_j
- j – application index
 j =: 1(application in some technological processes), 2(application for heating or some other application), 3(direct generation from the non-renewable sources)
- Kinds of materials (basic and auxiliary ones)
 M_k
- k – material index
 k =: 1(basic material – non-renewable resources), 2(auxiliary material – non renewable resources), 3(basic and auxiliary materials after recycling, and other processes, according to special criterions), 4(recovery, especial auxiliary materials)
- Kinds of products P_v
- v – product index
 v =: 1(main products), 2(by – products)
- Kinds of wastes W
- Solid wastes WS_x
- x – solid waste index
 x =: 1(waste suitable to recovery), 2(residual waste recovery), 3(landfill operation), 4(waste transport to an external landfill), 5(hazardous solid waste transport to an external firm), 6(solid waste incineration), 7(solid wastetransport and incineration in an external firm)
- Liquid wastes WL_y
- y – liquid waste index
 y =: 1(cleaning in water cleaner), 2(hazardous liquid waste transport to an external firm), 3(outlet to sludge bed), 4(sludge bed maintenance and its gradual liquidation), 5(liquid waste transport to an external firm)
- Gaseous wastes WG_z
- z – gaseous waste index
 z =: 1(emissions filters cleaning), 2(elimination of contaminated materials to air from their resources to the other territories because the emissions)
- Non-material wastes as the expression of energy sources WE_q
- q – non-material wastes index
 q =: 1(noise elimination), 2(radiation elimination), 3(heat elimination).

The next formula can be written for the financial **balance equation** :

$$\sum_{i=1}^8 E_i + \sum_{j=1}^4 Q_j + \sum_{k=1}^3 M_k + \sum_{x=1}^7 WS_x + \sum_{y=1}^5 WL_y + \sum_{z=1}^2 WG_z + \sum_{q=1}^2 WE_q = \sum_{v=1}^2 P_v + \text{MAR}, \quad (1)$$

where **MAR** is the margin (bed clearance). The left side of the equation (1) represents in principle the wholesale price **WP**. This part of the equation (1) consists of two parts. The first one represents the production costs, expressed and signed as

$$CP = \sum_{i=1}^8 E_i + \sum_{j=1}^4 Q_j + \sum_{k=1}^3 M_k. \quad (2)$$

The second one represents the costs in connection to wastes. They are expressed and signed as

$$CW = \sum_{x=1}^7 WS_x + \sum_{y=1}^5 WL_y + \sum_{z=1}^2 WG_z + \sum_{q=1}^2 WE_q \quad (3)$$

According to the given signification

$$WP = CP + CW, \quad (4)$$

and retail price

$$RP = WP + \text{MAR}. \quad (5)$$

The final financial balance equation can be express as

$$RP = CP + CW + \text{MAR}. \quad (6)$$

Environmental level of a MEW can be characterized by its summarized waste costs CW . It is necessary to warn again, that all parameters in these formulas given above, are expressed in **€/year!**

Theoretically the best situation, during some MEW environmental evaluation can occur, if

CW₀, because the formula (6) can have also the form

$$RP - CW = CP + MAR ! \quad (7)$$

The final result depends completely in this case, what a value has the margin MAR. It is well-known, that the margin value is directed by the market situation. If the situation is being according to scheme : CW ↑ and MAR ↓, the formula (7) can be transformed to an inequality (8), and the MEW environmental level is adverse!

$$RP - CW < CP + MAR . \quad (8)$$

5. AN APPLICATION IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

In a MEW some components for the automotive industry are produced. Values of the individual items, in €/year are following:

- basic materials (non-renewable resources) = 4 800 000,
- auxiliary materials (non-renewable resources) = 24 000,
- basic and auxiliary materials after recycling and other processes according to special
- criterions = 9000,
- electric energy from renewable resources – not ascertained,
- summarized energy from non-renewable resources = 280 000.

Some items, in connection to wastes, were not ascertained. They were estimated only by a specialist in MEW, and the individual items, given above, are summarized in the sum of money 9000 €/year.

- The MEW have not internal landfills. The transporting costs of the solid and liquid wastes to an external landfills = 4 500.
- The similar situation is in connection to the hazardous wastes. Their transport and manipulation costs to an external firm = 11 000.
- Hazardous solid wastes, in the evaluated MEW, are not generated.
- In the evaluated MEW, no wastes are generated.
- The maintenance costs and the run costs of the water cleaner are 3 800.
- Hazardous emissions and imissions in the MEW are not generated.
- The similar situations is in connection to the non-material expressions of the energy resources.

Starting from the given statements, for the individual items, and after summarization, there

are the next amounts : CP = 5 113 000 €/year, CW = 19 300 €/year, WP = 5 132 300 €/year.

Margin, in the evaluated MEW, MAR = 12 %, and according to these amounts of money, the retail price of the whole MEW production will be RP = 5 747 840 €/year.

The closing question is, respecting the formula (7), what a value must have the margin MAR, so as to the environmental evaluation of the MEW will be negative?

6. CONCLUSION

At the present time, the continuous development of automobile industry has already been the focus of the world. The manufacture stage of automobiles and other mechanical engineering products need lotsof raw and processed materials, how to evaluate the environment lets from the substances, energy.

How to design a healthy and order MEW ecosystem? The given analysis perhaps can help a way in it.

7. REFERENCES

- [1] Hronec, O. a kol.: *Natural resources* (in Slovak). Royal Unicorn, Košice, 2000, p. 235,
- [2] Muránsky, J.: *Determination of the Optimal Production Volume Respecting the Environmental and Economic Criterions*. In: Proc. of the 11th Int. Scientific Conf. MMA 2012, NoviSad, September 20 – 21, 2012, pp. 373 – 376,
- [3] Muránsky, J.: *CoDe-09– A System of Environmental Assessment of Mechanical Engineering Products in their Conceptual Phase*. In : Transactions of the Universities Košice, No. 2/2010, pp.23-29,
- [4] Muránsky, J. : *Creation of Environmentally Oriented Software in Mechanical Engineering* (in Slovak). SD(VLK), Košice, 2013, p.220,
- [5] Reg. no.. 137/2010 Z.z. – Coll. on Air, 3.3.2010, actualized in 1.6.2010.
- [6] Reg. no. 223/2001 Z.z., - Coll. on Waste
- [7] Working Paper 9 : *Review of Waste, Classification Procedures and Identification of Alternative Approaches*. ENPI, March, 2011.
- [8] Slovakian Act no.543/2002 Z.z., actualized in 6.10.2012.
- [9] Reg. no. 364/2004 Z.z. – Coll. on Waters, actualized in 1.12.2011

Author: Prof. Ing. Juraj Muránsky, PhD.,

Expert of the Slovak Ministry of Environment, office: Rožňavská 15, 04011 Košice, Slovakia, e-mail: jurmur@netkosice.sk

Goletić, Š., Imamović, M., Imamović, N.

THE IMPACT OF SINTER TECHNOLOGY PRODUCTION ON THE ENVIRONMENT

Abstract: Sintering is a consolidation of fine grained ore in solid and porous mass, heating to the melting temperature of the surface grains. It is used in the preparation of iron ore before smelting in blast furnace, as the need for further production unitary cartridge. In the process of sintering and sintered products of combustion. This manufacturing process is significantly burden the environment, particularly air and water.

In this paper, it have given the data of the occurrence of the process of production of sinter, an examination was conducted characteristics of emission sources and the results of the reduction of dust and loading the environment by substituting water-technical systems with a new bag filters and modification of the existing electrostatic precipitators.

Key words: sintering, sinter machines, sources of emissions, dust emissions, environment.

1. INTRODUCTION

The process of sintering is the coarsening of fine iron ore, which is used as a basic raw material for the production of iron in blast furnace. The essence of the sintering process is that after firing the mixture (gas fuel), the method is performed by forcing air combustion of coke, where the resulting high temperatures that allow the process of sintering of metal ores. The sintering process is a thermal process and is carried out at the beginning of the melting temperatures of ore 1200 - 1400 °C, which allows the connection of tiny mineral grains and supplements flux into a solid unitary agglomerate. It comes to high-temperature chemical, structural and mineralogical changes and improvements metallurgical properties of sinter obtained. Technological process of sintering is performed within the frame next technological operations:

- Unloading and storage of raw materials, additives and coke,
- Crushing limestone and coke,
- Dosing mineral raw materials, additives and coke,
- Primary and secondary mixing of raw materials,
- Sintering,
- Cooling, crushing, sorting and transport of sinter.

Product sintering process is sinter, which is used as a basic raw material for the production of iron in blast furnace.

In all mentioned technological operations are emitted large amounts of particulate matter and various gaseous pollutants that influence to the air quality and environment if not controlled exceeds

the technical and technological measures to reduce and control emissions [1]. Solid particles contain different heavy metals (Pb, Cd, Cr, Ni, Zn, Cu, etc.), PAH, PCB and many other toxic and harmful substances, which can cause multiple effects in the environment, risk to human health and ecosystem stability, if their emissions do not control by the application of efficient technical systems and procedures [2]. Therefore, it is very important that the sources of air emissions in the process of sintering controlled in order to minimize the same in order to preserve the quality of the environment, human health and ecosystem stability. Today, there are very efficient technical systems and procedures to control and minimize emissions of particulate matter in the process of sintering of metal ores [3,4].

2. SOURCES AND CONTROL DUST EMISSION IN SINTERING PROCESS**2.1 The sources of dust emissions**

In the process of sintering resulting emissions of harmful substances in all phases of technology and operations [5]:

- Unloading and storage of raw materials, additives and coke,
- Crushing limestone and coke,
- Transport and dosing of ore raw materials, additives and coke,
- Primary and secondary mixing of raw materials, additives and coke,
- Sintering raw materials,
- Cooling, crushing, sorting and transportation of sinter.

In all technological phases and operations generated a large amount of dust.

2.2 Control dust emissions with technical water purification systems

During the preparation and transportation of ore raw materials, additives and agglomerates formed large amounts of dust that has collected, controlled and allocated in technical water treatment systems (scrubbers) passing exhaust air with a high concentration of dust through a curtain of water in the scrubber. The purified air is emitted through the chimney and fan in the ambient atmospheric air and dirty process water is drained into devices that are treated at and re-used in the scrubber (closed system). Formed sludge is drying out after returning to the sintering process. These technically systems due to lower efficiency dedusting, higher consumption of water and of waste water have been replaced with a much more efficient, convenient and cost-effective technological bag filters.

In Table 1 presents data on the installed capacity and the results of measurements of water efficiency aspirational technical unit (ATU), or scrubbers. The efficiency of these technical devices to control dust emissions was checked periodically by measuring the concentration of dust behind each scrubber, in the stack using a measuring device for determining the concentration of solid particles in a stream of waste gas (gravimeters) "SICK GRAVIMAT" type SHC501, who works at the reference measurement method prescribed ISO 9096 (Stationary source emissions - Manual determination of mass concentration of particulate matter). For this method, after extraction, respectively the field of measurement by said instrument, direct weighed to determine the particulate mass of the sample taken from the mixture streaming.

De-dusting systems:	Power EM (kW)	Capacity (m ³ /h)	Dust emission mg/m ³			
			2009	2010	2011	2012
Department of crushing, cooling and grading agglomerates:						
ATU-1/7	160	79 000	-	263	142.65	164.53
ATU-5/7	100	40 000	325.26	-	-	253.12
ATU-6/7	100	40 000	430.63	55.66	298.85	-
ATU-7/7	15	11 000	159.2	-	103.35	198.6
ATU-10/7	30	22 000	-	70.27	89.66	-
VA-8/7	10	10 000	399	501	596.2	329.22
VA-9/7	10	10 000	358	257.6	184.25	130.85
Department of water system circular (PČ-3)						
ATU-1/PČ-3	10	10 000	-	387.23	-	365.3
ATU-2/PČ-3	10	10 000		298.25	-	196.42
ATU-1/8	15	11 000	254	114.41	107.05	187.35
ATU-2/8	7.5	7 300	510	-	243.48	267.83
Total	467.5	250 300				

Table 1. View information about the installed capacity and efficiency measurement results ATU system in preparation classes and transportation of mineral raw materials, additives and agglomerates.

Limit value for dust emission from the sintering plant for iron ore is 50 mg/m³.

The comparative analysis of the measured values of dust emission from these systems and ATU allowable limit values clearly show that the dust emission is significantly higher than the limit value (emission standards), which is 50 mg/m³. Dust emissions at individual ATU systems was about 12 times higher than the limit value, respectively emission standards for dust.

In Table 2 gives an overview of the average values of dust emission from the analyzed water ATU system in order to analysis and evaluation in

relation to permissible values dust emissions into the atmosphere.

The data in Table 2 shows that the total dust emissions from the 11 analyzed ATU system was 12.51 kg / h and 109.63 t / year. Thus, the total dust emissions from these 11 ATU system is higher than the limit value of approximately 4.6 times. This means that for the amount of polluted air respectively loaded by Zenica valley due to poor efficiency above technical systems for dedusting the waste flue gases. Emission date of dust would be considerably higher if it take into consideration the ATU and other aquatic systems.

De-dusting systems:	Average values of dust emissions	
	kg/h	t/g
Department of crushing, cooling and grading agglomerates:		
ATU-1/7	15.01	131.42
ATU-5/7	11.57	101.33
ATU-6/7	10.47	91.70
ATU-7/7	1.31	11.49
ATU-10/7	1.76	15.41
VA-8/7	4.56	39.98
VA-9/7	2.33	20.38
Department of water system circular (PČ-3)		
ATU-1/PČ-3	3.76	32.96
ATU-2/PČ-3	2.47	21.67
ATU-1/8	1.82	15.97
ATU-2/8	2.48	21.77
Total	57.54	504.08
Total permissible emission	12.51	109.63

Table 2. Overview of average values of dust emissions from the ATU system.

Label	Power EM (kW)	Capacity (m ³ /h)	Dust Emission (mg/m ³ N)	Dust Emission (kg/h)	Dust Emission (t/god)
Filter 1	180	60 000	3.741	0.224	1.97
Filter 2	180	60 000	4.591	0.275	2.41
Filter 3	180	60 000	4.547	0.273	2.39
Filter 4	180	60 000	2.864	0.172	1.50
Total	720	240 000		0.944	8.27

Table 3. Overview of information about the installed capacity and the results of measurements of the efficiency of fabric filters in classes preparing and transporting ore raw materials, additives and agglomerates.

Results of measurements of dust emissions behind each bag filter (the chimney), presented in the previous table. This shows that the dust emission multiple lower than the limit value (emission standard), which is 50 mg/m³. Dust emission is within the limits of BAT EU recommendations.

Replacing 11 water technical systems to efficient bag filter technology in the preparation and transportation of mineral raw materials, additives and agglomerate dust emission is reduced by 13.25 times, respectively, decreased from 12.53 to 0.944 kg / ha or 109.63 at 8, 27 t / year. In addition, reduced water consumption and discharge of industrial waste water, and are achieved and other positive effects (cleaner working environment, easier and simpler maintenance of technical systems, etc.).

All 11 analyzed technical systems to control dust emissions are due to the significantly lower efficiency of non-emission standards and overloading of other environmental media (water) in 2013 were replaced with four highly efficient bag filters.

2.3 Control dust emissions by filters

Table 3 presents data of installed capacity and the results of measurements of efficiency fabric filters installed. Capacity of fabric filters is the approximate capacity of the replaced water ATU system. The efficiency of these technical devices to control dust emissions was checked by measuring the concentration of dust behind each filter (the chimney) using a measuring device for determining the concentration of solid particles in a stream of waste gas (gravimeters) "SICK GRAVIMAT" type SHC501, that works at the reference measurement method prescribed ISO 9096.

2.4 Control of dust emissions from the electrostatic precipitators (ESP)

During the sintering, cooling and crushing the formed sinter extremely high amount of dust and waste of flue gas, which is controlled collecting hood system and transported by pipeline system fan in eight electrostatic precipitate which separates dust from waste flue gases. Purification of waste gases from the sintering process is carried out in four ESP total capacity of 306 680 m³/h of flue gases. Likewise, treatment of waste gas from sinter cooling process, with crushing and cooling sinter (Department of flue fan) is carried out in four electrostatic precipitators total capacity of 226 650 m³/h of flue gases. In order to increase the efficiency have been made some improvements (technical modifications) of the electrostatic precipitators, which has reached a high degree of efficiency separation of dust from

waste flue gases. Results continuous measurements show that the emission of dust behind electrostatic precipitators varies in the range between 26.73 and 99.00 mg/m_N³, with an average value of 60.82 mg/m_N³. Comparing the results of measurements of emissions with emission standards, it is evident that dust emissions from the electrostatic precipitators analyzed after their rehabilitation and technical improvements are still slightly higher than the specified emission standards for plants sintered metal ore (dust emission is greater than the emission standards about 20%). However, dust emissions from ESP is far lower than the emission of dust before the technical renovation and improvement of ESP for approximately 2.1 times when it was on average 130 mg/m_N³.

During the operation of sintering metal ores are most often applied combined technical systems (eg. ESP which are installed behind the bag filters), with in order to reduce dust emissions below listed (strict) limits [6]. It is estimated that the efficiency of analyzed ESP very high level and the projected values (> 99.5%).

The amount of flue gas per machine for sintering is an average of 253 175 m_N³/h, and the emission of dust behind the filter is 15.40 kg/h or 134.90 tons/year.

The separated dust is continuously returned to the sintering process, while purified exhaust gases discharged through the chimney into the atmosphere.

3. CONCLUSION

Proper selection and control of the operation of technical systems to control dust emissions with a high degree of efficiency is achieved very high reduction of dust emissions and minimize air pollution, which is very important for industrial and urban areas in order to safeguard ambient air quality and protect the health of the population.

4. REFERENCES

- [1] Lwamba, E., Garbers-Craig, A. M.: *Control of the Grain Size Distribution of the Raw Material Mixture in the Production of Iron Sinter*, The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 108 (6) 293-299, 2005.
- [2] Sofilić, T., Rastovčan-Mioč, A., Šmit, Z.: *Poliklorirani spojevi u proizvodnji željeza i čelika*, Kem. Ind. 55 (12) 511–522, 2006.
- [3] Goletic, Š., Imamovic, N., Schwarczová H.: *The Dust Emission Control in Production of Ferroalloys by Application of Best Available Technics*, Acta Technica Corviniensis – Bulletin of Engineering, Tome VI (3), 21-24, 2013.
- [4] Imamovic, M., Goletic, S.: *Efficiency Wet Gas Cleaning on the Metallurgy's Facilities*, Anals of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering, XI (4) 93-98, 2013.
- [5] Goletic, S., Muhamedagic, S.: *Plan aktivnosti za postupno smanjivanje emisija i usklađivanje sa najboljom raspoloživom tehnikom za pogone i postrojenja aglomeracije kompanije ArcelorMittal Zenica*, Univerzitet u Zenici, 2008.
- [6] Goletic, S., Imamovic, N.: *Uticaj konstrukcionih elemenata elektro-odvajača na efikasnost izdvajanja čvrstih čestica*, 5. Naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem "Kvalitet 2005", Neum, 5 (1): 349-554, 2007.

Authors: Prof. Dr. Šefket Goletić, Prof. Dr. Mustafa Imamović, M.Sc. Nusret Imamović, University of Zenica, Faculty for Mechanical Engineering in Zenica, Fakultetska 1, 72000 Zenica, B&H, Phone: +387 32 449 130, Fax: +387 32 246 612

E-mail: goletic@mf.unze.ba

Mustafa.Imamovic@mittalsteel.com

nimamovic@mf.unze.ba

Krčmar, D., Baloš, S., Dalmacija, B., Prica, M., Tričković, J., Rončević, S., Maletić, S.

MECHANICAL PROPERTIES OF THERMALLY STABILIZED SEDIMENT-CLAY MIXTURES

Abstract: *At present, dredged sediment (contaminated or not) in Serbia is deposited in landfills. However, landfill capacity is limited, and can cause a serious threat if it is contaminated. The advantage of immobilization by thermal treatment with silicate materials like clay lies in the possibility of utilizing the final product as a construction material. Clay-based ceramic products are potentially good incorporation materials for wastes thanks to their typically heterogeneous mineralogical composition, involving silicate phases which can dissolve considerable amounts of metals in their structures. Paper presents the mechanical properties of the sediment – clay mixtures in the view of using this mixture as a construction material.*

Key words: *metals, clay, waste, thermal treatment, bricks*

1. INTRODUCTION

Large uncontrolled metal inputs from industrial sources contribute to increased pollution in water systems. Depending on the hydrodynamics and environmental conditions, metals tend to accumulate in sediments at the bottom of the water column; if toxic levels are reached, metals can affect benthic organisms and the food chain, raising the possibility of a threat to human health for the local population. To obtain a realistic estimate of the actual environmental impact of metals in an aquatic medium, their chemical nature or potential mobility/availability must be addressed. The identification of the geochemical phases of metals in sediments, as well as their quantification by chemical speciation, is crucial to evaluate the ecological risks of these contaminants in a study area [1,2].

In some cases, due to different factors, sediments may need dredging and remediation treatments, if the dredged material is too contaminated and cannot be used directly. These sediments may contain inorganic contaminants which can end up polluting the environment. Contaminated sediments may have to be treated as a waste material. Therefore, their management has become an environmental and economical concern for a large number of countries [3]. Conventional disposal solutions for dredged sediments, such as disposal and dumping into landfills, are gradually becoming restricted in many countries to preserve the environment. Storage in confined disposal facilities requires large spaces and long term monitoring. However, landfilling is less accepted by public opinion. Treatment processes permit a reduction in toxicity and volume of dredged

material, but in comparison with open-water and upland disposal, the treatment costs are not yet competitive. This underlines the necessity to find ecological valorisation paths for the processed sediments to make these alternatives economically competitive. Thus, researchers have started to study alternative ways to incorporate large amounts of processed sediments into different aspects of construction and building materials [3,4].

At present, dredged sediment (contaminated or not) in Serbia is deposited in landfills. Clay-based ceramic products are potentially good incorporation materials for wastes thanks to their typically heterogeneous mineralogical composition, involving silicate phases which can dissolve considerable amounts of metals in their structures, and also because of the high firing temperature conditions normally used. Such heterogeneous materials can tolerate the presence of different types of wastes in considerable quantities, and hence their processing represents an interesting possibility for waste encapsulation. Thermal treatment determines the degree of final immobilization, since the major combining reactions between clay and waste particles occur upon heating, whereby sintering promotes the physical consolidation of the material by reaching a suitable microstructure. Moreover, highly (thermodynamically) stable phases tend to be formed at high temperatures. The chemical nature of the phases involved and final microstructure of the material have a strong impact on its behaviour [3,4].

The advantage of immobilization by thermal treatment with silicate materials like clay lies in the possibility of utilizing the final product – as bricks, tiles or some other construction material. The beneficial uses of dredged sediments are becoming

increasingly interesting in terms of environmental protection and sustainable development. The use of conventional bricks produced from clay has been partially restricted, for example in China due to the limitation of the clay resource [5-10]. Considering the composition of the sediments and its continuous availability, the use of dredged sediments in brick production is promising.

In view of the above, the objectives of this study were: 1) to evaluate sediment quality based on the pseudo-total metal content 2) to define metal distributions in dredged sediments and evaluate their environmental risk; 3) to assess the effectiveness of immobilization treatments with clay in order to obtain commercially applicable bricks with appropriate flexural strength and fracture toughness.

2. MATERIALS AND METHODS

Fresh sediment was sampled from the Danube-Tisa-Danube Vrbas-Bezdan canal in Vojvodina (the northern province of the Republic of Serbia). This canal is one of the most polluted sites in the country. Most of the pollution derives from industry (two sugar refineries, a tannery, a metal works, an edible oil refinery, slaughterhouses, etc.) which discharges untreated or partially treated wastewater into the canal. The total organic pollution from industry is 36.6 tCOD/day or 17.9 tBOD5/day, along with 1329 kg COD/day or 619 kg BOD5/day from municipal wastewaters. The sediment sample was taken at a point (N45°34,212' E19°39,314') on the most vulnerable section, a 6 km stretch which contains about 400 000 m³ of sediment. Sediment was taken from the middle of the riverbed at depths of 0 to 160 cm by Eijkelpamp core sampler, homogenized and placed in a sealed acid-rinsed box (15x15 cm and 20 cm deep) immediately after sampling. The organic matter content was determined as ignition loss, and was 5.31±0.1. The granular distribution was: 20.3% sand fraction, 46.1% silt and 23.9% clay.

Pseudo-total metal contents were assessed in triplicate after aqua regia digestion (ISO 11466:1995) and mean values reported. The standard deviations (% R.S.D.) obtained (n=3) were below 10%. The results of the sediment pseudo-total metal concentrations are discussed in reference to Serbian quality guidelines [11] and Canadian guidelines [12].

The microwave assisted sequential extraction procedure (MWSE) was performed as described by Jamali et al. [13], using identical operating conditions for in each individual BCR fraction. The extracting solutions were prepared from analytical grade reagents. Standard solutions of metals were prepared by diluting 1000 ppm certified standard solutions, Fluka Kamica (Buchs, Switzerland), of the

corresponding metal ions. The sediment pseudo-total metal contents and the metal contents in the sequential extraction procedure steps after aqua regia digestion were analyzed by AAS (Perkin Elmer AAnalyst™ 700) or ICP-MS (Perkin Elmer Sciex Elan 5000) according to the standard procedures.

All results are expressed with respect to sediment dry matter. Domestic clay was used as the basic immobilization agent for the S/S treatment. Clay composition was: SiO₂ (55.3%), Al₂O₃ (18.9%), Fe₂O₃ (6.12%), MgO (1.67%), CaO (1.7%), Na₂O (0.67%), K₂O (0.35%), P₂O₅ (2.31%), SO₃ (2.49%) and ignition loss 10.5 %. The CEC (meq/100 g) was 85, while the respective surface area (m² g⁻¹) was 190. The total metal concentrations (mg kg⁻¹) in clay was: Zn (13.3±1.2), Pb (38±1.1), Cr (6.5±0.5), Cu (1.9±0.1), Ni (16±0.8) and Cd (0.4 ± 0.01).

Sediment possessing an average initial moisture content of 73% was dried at 105°C to a constant mass. The raw clay was mixed with the sediment in proportion of 5:95 wt. (D5) and 10:90 wt. (D10) at optimum water content [14]. The mixtures were then homogenized on a milling machine using sieves with 3 mm pores. After homogenization, samples were shaped in vacuum. The obtained samples were dried for 24 h in air, and then at 105 °C to constant mass. The thermal treatment was carried out in an electrical furnace at a constant temperature of 1050±5°C with variations in heating rate (4.6 °C/min from 25°C to 300°C, 1.7 °C/min from 300°C to maximum T, 5h hold at max T) on the samples: D5 and D10.

Mechanical properties, that is flexural strength and fracture toughness were obtained by three point bend test at tensile machine Toyoseiki AT-L-118B, with measuring range from 0 to 1000 N. For each sample group, five specimens were tested. Flexural strength was tested with a 3-point bending device and 40 mm distance between the supports and specimen dimensions 50x10x10 mm. Fracture toughness was tested by using a SEVNB method, with specimens having the following dimensions: 50x10x10 mm. The test was performed with a 4-point test device, with 20/40 mm distance between the supports.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The pseudo-total metal concentrations in the sediment followed this order: Zn > Pb > Cr > Cu > Ni > Cd, the corresponding values (mg kg⁻¹) being: Zn (1782±90), Pb (920±65), Cr (559±40), Cu (478±18), Ni (365±35) and Cd (25.5 ± 1.4). According to Serbian guidelines [11] the sediment samples are severely polluted with metals and belong to class 4 – they are of unacceptable quality

and need highest urgency cleaning, dredging, disposal in special storage reservoirs and if possible, sediment clean-up measures. Compared with the Canadian Sediment Quality Guidelines [12] for aquatic life protection, the metal contents are above the probable effect level (PEL). Sediment concentrations above PEL values are expected to be frequently associated with adverse biological effects. Although the PEL is considered to be applicable to a variety of sediment types, it cannot define uniform values of sediment pollution as the bioavailability (and hence toxicity) of contaminants may be different [12]. However, it is now widely accepted that the role of aquatic sediments as a sink or a source of pollutants cannot be fully assessed by measuring pseudo-total metal concentrations, as they do not give an accurate estimation of the likely environmental impact, as shown in our work. This is because the mobility of trace metals, as well as their bioavailability and related ecotoxicity to plants, critically depends upon the chemical form in which a metal is present in the sediment [15]. The distribution pattern of different metals in the sediments of the Danube-Tisa-Danube Canal Vrbas-Bezdan Metal mobilities decreased in the following order: Ni > Zn > Cr > Cd > Cu > Pb according to the results of the first phase of the sequential extraction procedure. Percentages of extracted metals in this most available, mobile, step were in the range from 28% (Cr) to 39 % (Ni), while for Cu, Cd and Pb they were much lower: 11 % (Pb) - 18% (Cd). The ranking of metals in the fractions according to their relative contents is as follows: Ni > Cd > Zn > Cr > Cu > Pb in reducible fraction, Cu > Pb > Cd > Cr > Zn > Ni in oxidizable form, and Pb > Cr > Cd > Ni > Zn > Cu in residual fraction.

The distribution of metals in the different fractions obtained by the sequential extraction procedure offers an indication of their availability, which in turn allows the assessment of the risk of their presence in the aquatic environment. Risk Assessment Code (RAC) gives an idea of the possible risk by applying a scale to the percentage of metals present in exchangeable and carbonate (i.e. labile) fractions. According to RAC, if this fraction is <1% there is no risk for the aquatic system, 1–10% exhibits low risk, 11–30% medium risk, 31–50% high risk and >75% very high risk [16].

Although the metal distributions and availability in the sediment were different, we applied the same remediation treatment because there are not enough data about the behaviour of metals differently distributed in mixtures in sediment during immobilization treatment, or about the treatment efficiency in general. The main objective of every remediation dealing with several contaminants is to

carry out the treatment with the same agents, and thus achieve economic and environmental benefits.

In Table 1, flexural strength and fracture toughness results are shown, as well as corresponding standard deviations (SD). It can be seen that flexural strength and fracture toughness of the sample group designated as D5 are higher than those of sample group D10. However, in terms of flexural strength, standard deviation of specimens D10 are lower than that of D5. On the other hand, the opposite standard deviation trend is obtained when fracture strength was tested.

Sample	Savojna čvrstoća [MPa]	SD	Žilavost loma [kPam1/2]	SD
D10	5,76	0,56	236,67	33,65
D5	5,94	0,80	258,85	26,91

Table 1.

This results are preliminary and a long way is ahead and further studies should include broad range of mechanical properties that will validate usage of sediments in commercial brick production.

4. CONCLUSION

Several hundred millions of tons of dredged sediments are annually generated around the world. Dredged sediments cannot be used as a geomaterial directly in the construction and building sector. Thus, management of dredged sediments is a critical issue of increasing concern. Conventional disposal solutions for dredged sediments, such as disposal and dumping into landfills, are gradually becoming restricted in many countries to preserve the environment. The beneficial uses of dredged sediments are becoming increasingly interesting in terms of environmental protection and sustainable development. As a major construction and building material, bricks are in great demand. The use of conventional bricks produced from clay has been partially restricted in some countries. Therefore, finding alternative raw materials in brick production is of urgent need. Considering the composition of the sediments and its continuous availability, the use of dredged sediments in brick production is promising as it was presented in the paper.

Acknowledgement: the authors acknowledge the financial support of the Ministry of Education and Science of the Republic of Serbia (project No. III43005).

5. REFERENCES

- [1] Lourião-Cabana, B., Lesven, L., Charriau, A., Billon, G., Ouddane, B., Boughriet, A.: *Potential risks of metal toxicity in contaminated sediments of Deûle river in Northern France*. Journal of Hazardous Materials 186, 2129–2137, 2011.
- [2] Ciszewski, D., Kubsik, U., Kwaterezak, U.A.: *Long-term dispersal of heavy metals in a catchment affected by historic lead and zinc mining*. Journal of Soils and Sediments, 12, 1445-1462, 2012.
- [3] Lafhaj, Z., Samara, M., Agostini, F., Boucard, L., Skoczylas, F., Depelsenaire, G.: *Polluted river sediments from the North region of France: Treatment with Novosol process and valorization in clay bricks*. Construction and Building Materials, 22, 755–762, 2008.
- [4] Chiang, K.Y., Chien, K.L., Hwang, S.W.: *Study on the characteristics of building bricks produced from reservoir sediment*. Journal of Hazardous Materials, 159(2-3):499-504, 2007.
- [5] Moon, D.H., Dermatas, D.: *An evaluation of lead leachability from stabilized/solidified soils under modified semi-dynamic leaching conditions*. Engineering Geology, 85, 67-74, 2006
- [6] Moon, D.H., Dermatas, D.: *Arsenic and lead release from fly ash stabilized/solidified soils under modified semi-dynamic leaching conditions*. Journal of Hazardous Materials 141, 388–394, 2007
- [7] Dubois, V., Abriak, N.E., Zentar, R., Ballivy, G.: *The use of marine sediments as a pavement base material*. Waste Management 29(2), 774-782, 2009.
- [8] Huang, Y., Zhu, W., Qian, X., Zhang, N., Zhou, X.: *Change of mechanical behavior between solidified and rem olded solidified dredged materials*. Engineering Geology, 119(3-4), 112-119, 2011.
- [9] Baruzzo, D., Minichelli, D., Bruckner, S., Fedrizzi, L., Bachiorrini, A., Maschio, S.: *Possible production of ceramic tiles from marine dredging spoils alone and mixed with other waste materials*. Journal of Hazardous Materials, 134 (1-3), 202-210, 2006.
- [10] China Economic Trade Committee. *Tenth five-year program of building materials industry*. China Building Materials 7, 7-10, 2001.
- [11] Ministry of Natural Resources, Mining and Spatial Planning. *Regulation on limit values for pollutants in surface, ground water and sediment and deadlines for their achievement*. The Official, Gazette 35/2011. (in Serbian).
- [12] CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). *Protocol for the derivation of Canadian Sediment quality guidelines for the protection of aquatic life*. CCME EPC-98E. Prepared by Environment Canada, Guideline Division, Technical Secretariat of the CCME Task Group on Water Quality Guidelines, Ottawa, 1995.
- [13] Jamali, M.K., Kazi, T.G., Arain, M.B., Afridi, H.I., Jalbani, N., Kandhro, G.A.: *Speciation of heavy metals in untreated sewage sudge by using microwave assisted sequential extraction procedure*. Journal of Hazardous Materials 163:1157-1164, 2009.
- [14] ASTM (American Society for Testing and Materials) *Annual Book of ASTM Standards*. Soil and Rock; Building Stones vol. 4.08. Philadelphia, PA, 1993.
- [15] Arain, M.B., Kazi, T.G., Jamali, M.K., Afridi, H.I., Jalbani, N., Sarfraz, R.A.: *Time saving modified BCR sequential extraction procedure for the fraction of Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in sediment samples of polluted lake*. Journal of Hazardous Materials, 160, 235-239, 2008.
- [16] Jain, C. K.: *Metal fractionation study on bed sediments of River Yamuna, India*. Water Research, 38, 569–578, 2004.

Authors: **Assist. Prof. Dr. Dejan Krčmar**, **Prof. Božo Dalmacija**, **Assist. Prof. Dr. Jelena Tričković**, **Assist. Prof. Dr. Srđan Rončević**, **Assist. Prof. Dr. Snežana Miletić**, University of Novi Sad, Faculty of Sciences and Mathematics, Department of Chemistry, Biochemistry and Environmental Protection, Trg Dositeja Obradovica 3, 21000 Novi Sad, Serbia
Assist. Prof. Dr. Sebastian Baloš, **Assist. Prof. Dr. Miljana Prica**, University of Novi Sad, Faculty of Technical Science, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2620.
E-mail: dejan.krckmar@dh.uns.ac.rs

SOCIAL RESPONSIBILITY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SYSTEM

Abstract: This paper analyzes correlation between social responsibility and environmental management system in organizations. For a number of reasons, awareness about the social responsibility of organizations is increasing. According that, international Standard ISO 26000 is published with the aim to assist organizations in contributing to sustainable development. Sustainable development has three dimensions – economic, social and environmental. According that the paper will give a focus on environmental management system based on standard ISO 14001 and their relation to social responsibility and sustainable development defined in standard ISO 26000.

Key words: Social responsibility, ISO 14001, Environmental management system

1. INTRODUCTION

The term social responsibility entered a wider application in the 1970’s and aspects of social responsibility are applied since the beginning of trade exchange.

First definition of social responsibility referred to giving to charity (philanthropic activities), which led to the term of so-called merciful capitalism. After it, just business practice was included in the field of social responsibility, and today the following fields are inevitable: human rights, life environment, consumer’s protection and prevention of frauds and corruption.

Figure 1 point to the fields that social responsibility involves today and they are recognized in the standard MEST ISO 26000. [1]

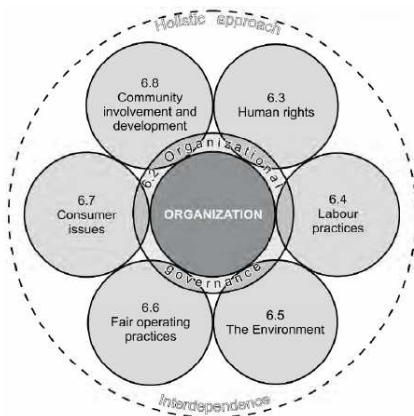


Fig. 1. The seven core subjects of social responsibilities

One field of the standard ISO 26000 explicitly refers to environmental protection so, in this paper, we must pay a special attention to correlation of standard ISO 26000 and standards for environmental protection management systems - ISO 14001.

2. SOCIAL RESPONSIBILITY AND STANDARD ISO 26000

Social responsibility is a relationship of management towards the environment that is measured by written and non-written moral rules, based on which the behavior of management is evaluated, i.e. enterprise in relation to society. It actually implies the obligation of management to perform selections and take actions that will contribute to the welfare and interests of society and enterprise. In literature, there are different definitions of social responsibility but the most complete definition is given in standard ISO 26000: „Social responsibility is the responsibility of an organization for the effects that its decisions and activities have on society and living environment through a transparent and ethical behavior so that:

Ten rules of socially responsible approach
1. Achieve profit on a reliable basis
2. Accept public standards on social issues
3. Establish and respect rules of behavior in enterprises
4. Follow changes in social environment
5. Aids in solving the issues of environment
6. Include in acceptable social programs
7. Publicly recognize own mistakes
8. Work on establishment of industrial standards and regulations
9. Work with citizens and social groups on solving common problems
10. Undertake corrective actions prior than it is requested from the authorities

Table 1. Ten rules of socially responsible approach

- Contributions to sustainable development including health and welfare of society,

- The expectations of interested parties are taken into consideration,
- Be in accordance with particular laws on international norms of behavior and
- Be integrated in entire business of an organization and to be carried out in relations with other subjects” [2].

Evaluation of social responsibility of enterprise can be determined by comparing with ten rules of socially responsible approach given in Table 1[3,4].

Standard ISO 26000 gives guidelines and recommendations for enterprise how to do business in a socially responsible manner, i.e. to initiate activities towards raising the awareness and adoption of the principles of socially responsible business in case of all interested parties in this field. Although official certification is not requested, positive recognition of community and society will be a confirmation of value that particular enterprise represents and promotes. Structure of the standard ISO 26000 is different than other existing standards and represents a turn in standard development. ISO 26000 is not meant for social responsibility system certification. Standard is not mandatory and it does not contain requirements (points) that must be met, which an entirely new approach in development of ISO standards.

The aim of the standard ISO 26000 is helping the organizations in solving the issues that refer to social responsibility. Standard offers a practical guide for execution of required activities, identification and relation with interested parties and increase of the credibility of reports and requirements that refer to social responsibility. Three basic aspects of socially responsible business are economic or financial, environmental protection aspect and social aspect [5]. In standard ISO 26000 point 6.5 there are explicit guidelines and recommendations for environmental protection management with a direct reference to other ISO standards that process this topic from various aspects. As the standard ISO 14001 environmental protection management system is meant for all the organizations independently from their activity and, as it is already present in great number of organizations throughout the world, it important to point out to similarities and differences with the standard ISO 26000. Although there are opinions that these two standards cannot be compared because of their different structure and purpose, still it is important to do it for the following reason:

- Observing the possibility for integration of these standards
- Establishment of a more efficient

environmental protection management system, respecting the recommendations of the standard ISO 26000 and requirements ISO 14001

- Popularization of the standard ISO 26000 in organizations that already have implemented ISO 14001 standard.

Therefore, in this paper, we will firstly point to the significance, advantages and disadvantages of the standard ISO 14001 and then the possibilities of integration with the standard ISO 26000 pointing to their similarities and differences.

3. ENVIRONMENTAL PROTECTION MANAGEMENT BY THE STANDARD ISO 14001

Standards of ISO 14000 series as standards are meant for all organizations in the world, regardless of the field of activity they give basic guidelines in systematic improvement of organization's behavior towards environment. They do not prescribe border values for activities or define goals of organizations; it is left to technical protection, legal legislation and the very organizations. They define the system of ecological management by whose application ecological goals are achieved, which are set through regulations and laws. Standard ISO 14001:2004 [6] consists of 6 mutually depending units (Figure 2).

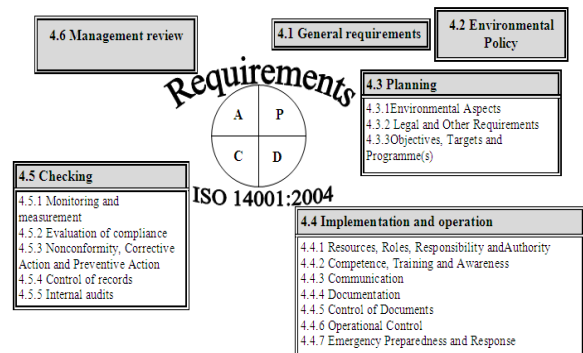


Fig. 2. Structure of the requirements of ISO 14001:2004

Standard ISO 14001 is devised to represent a basis for strategic management of environmental protection in a manner that it prepares the organization for all future events, creates basis for the improvement of business from the aspect of EMS and accordingly creates the model that does not depend from an individual. Standard ISO 14001 does not determine direct requirements for improvement of ecologic performances, it creates conditions for the achievement of those improvements and the determination of organization decides whether and to what extent

the desired state in the aspect of environmental protection will be achieved. Organizations are certified by this standard and currently in the world there are about 300 000 ISO 14001 certificates. There are divided opinions regarding whether ISO 14001 certification is only a "greenwash" or it essentially leads to better ecological performances [7]. Analysis are rather uneven. In the analyses [8, 9, 10] it is pointed out that organizations that have a certified EMS and include ISO standards into their daily activities have a great improvement of ecological performances. Empirical analysis [11, 12, 13] provide evidence that certified EMS does not result in efficiency in using materials or waste minimization... In the study [14] in which the impact of the implementation of ISO 14001 standard is analyzed on improvement of ecological performances, a trend of improvement was observed of 59% of measuring performances, while in case of 41% of performances there was a trend of deterioration. Explanation for different attitudes and results that previous analyses have given can be found in the fact that efficiency of ISO certification in improvement of ecological performances depends on how the organizations design and develop their EMS and how they use it in the end. Because of that organizations have very different experiences with ISO 14000 certification in the aspect of improving ecological performances [15]. The essence is that it is not always expected from an organization that owns ISO 14001 certificate to improve ecological performances, but only to provide evidence on

determination for improvement of the protection of the environment. Therefore, the determination of an organization and dedication to problems of environmental protection depends on improvement of ecological performances and generally the relationship of organization towards the environment.

4. CORRELATION OF THE STANDARDS ISO 14001 AND ISO 26000

Both ISO 26000 and ISO 14001 can be used by organizations from any sector and of any size. However, the two instruments differ fundamentally in their basic approaches: ISO 26000 is a set of recommendations intended to sensitize organizations to their social responsibilities. ISO 14001 on the other hand lays down concrete requirements for the implementation of an Environmental Management System which is verified by external environmental verifiers.

Comparison between ISO 26000 and ISO 14001 is represented in the table 2. Comparison in Table 2 is given for selected points (5-7) of the standard ISO 26000 that are in correlation with the standard ISO 14001 because in points 1 – 4 after defining the fields of application and abbreviations and definitions, important factors and conditions that affected social responsibility development are described and they still affect their nature and practice, as well as the principles of social responsibility, which is not in correlation with ISO 14001.

ISO 26000		ISO 14001
Chapter	Topic	Related provision
5. Recognising social responsibility and engaging stakeholders		
5.2	Recognition of social responsibility (regarding society and stakeholders)	1.2 Environmental policy 4.3.1 Environmental aspects and impacts 4.6 Management review
5.3	Stakeholder identification and engagement	4.6 Management review 4.4.1 Resources, tasks, responsibilities and authorizations 4.4.2 education, training and awareness 4.4.3 Communication
6.2	Organisational governance (establishing a decisionmaking system which enables organisations to take action on other core topics)	Most ISO 26000 recommendations are covered by ISO 14001 certified organisations since they have implemented an Environmental Management System
6.5 Core subject: The environment		
6.5.2.1	Principles: • Environmental responsibility • Precautionary principle • Environmental risk management • Polluter pays	4.1 General requirements 4.3.1 Aspects of life environment 4.3.2 Legal and other requirements 4.3.3 General and special goals and program(s) 4.4.2 Education, training and awareness 4.4.6 Control over the operations 4.4.7 Readiness to react in extraordinary situations response to them 4.5.2 Evaluation of compliance 4.6 Management review

6.5.2.2	Considerations in environmental management activities: <ul style="list-style-type: none"> • Life cycle thinking • Environmental impact assessment • Use of environmentally sound technologies and practices • cleaner production and eco efficiency • learning and awareness raising • Sustainable procurement 	4.6 Environmental review 4.3.1 Aspects of life environment 4.4.2 Education, training and awareness 4.4.6 Control of the operation
6.5.3	Issue 1: Prevention of pollution (incl. emissions, water, waste, chemicals, etc.)	Virtually all recommendations are covered by ISO 14001 certified organisations <ul style="list-style-type: none"> • Identification and qualification of environmental aspects, implementation of policy & program, targets and objectives, setting up of procedures and structures covered by Environmental Management System requirements • Stakeholder engagement (see 5.3 in this table) • Commitment to continual improvement (tipicaly for all ISO management system standards) • Topics “climate adaptation”, „Sustainable resource use“ and „protection of biodiversity“ are not explicitly addressed by ISO 14001. However, the topic can be integrated into the management approach when a few additional steps are taken
6.5.4	Issue 2: Sustainable resource use	
6.5.5	Issue 3: Climate change mitigation and adaptation	
6.5.6	Issue 4: Protection of the environment, biodiversity and restoration of natural habitats	
Integration of social responsibility throughout an organisation		Many ISO 26000-recommendations are covered by ISO 14001 certified organisations:
7.2	The relationship of an organization's characteristics to social responsibility	4.2 Environmental protection policy 4.3.1 Life environment aspects 4.3.2 Legal and other requirements
7.3	Understanding the social responsibility of an organization	4.2 Environmental protection policy 4.3.1 Life environment aspects 4.4.1 Resurces, tasks, responsibilities and authorizations 4.4.2 Education, training and awareness 4.4.3 Communication 4.4.6 Control of the operations 4.5.1 Monitoring and measurement 4.5.2 Evaluation of compliance
7.4	Practices for integrating social responsibility throughout an organization	4.2 Environmental protection policy 4.4.2 Education, training and awareness 4.4.3 Communication 4.6 Management review
7.5	Communication on social responsibility	4.4.3 Communication
7.6	Enhancing credibility regarding social responsibility	4.4.3 Communication
7.7	Reviewing and improving an organization's actions and practices related to social responsibility	4.5.2 Evaluation of compliance 4.5.5 Internal verifications 4.5.3 Non-compliance, corrective and preventive measures 4.6 Re-examination by the management

Table 2. Comparison of ISO 26000 and ISO 14001

ISO 26000 is designed to be compatible with existing ISO standards including ISO 9001 and ISO 14001 (although ISO 26000 is not itself a management system standard capable of certification). In accordance with that, organizations that are currently using ISO 14001 standards may be well positioned to apply ISO 26000, since the approach of ISO 26000 is aligned with ISO 14001. The incorporation in ISO 26000 of the basic “plan do check act” approach found in the ISO 14000 series of standards is an example of how ISO has transposed in a bottom up fashion

key concepts from private standards of narrow application (quality management and environmental management) to apply to the broad SR subject matter that is the focus of ISO 26000 [16]. In terms of their content, both instruments (ISO 26000 and ISO 14001) ask organisations to consider the direct as well as indirect environmental impacts of their business activities.

Organisations can implement nearly all of ISO 26000’s environmental recommendations by using ISO 14001 standard. Crucial steps in implementation of all environmental management

systems are the same and refer to [7,17] :

- Identification of direct and indirect aspects and impacts on life environment
- Evaluation of aspects and impacts on life environment
- Definition of goals and programs for improvement of life environment.

ISO 14001 certified organizations in order to improve environmental performances can use detailed ISO 26000 recommendations on climate adaptation, biodiversity and sustainable resource use. Having in mind that ISO 14001 does not only covers key environmental aspects but also requires the setting in place of management structures and continuous improvement processes, organisations can use this standard as a framework to implement many other ISO 26000 recommendations. Significant advantage of standard ISO 14001 in relation to standard ISO 2600 is that it clearly defines the required documentation that confirms and establishes environmental protection management system. In the other hand, the ISO 26000 standard addresses the topic of climate adaptation and biodiversity more explicitly than ISO 14001. Apart from the core subject ‘environment’ ISO 14001 also covers some of the other ISO 26000 recommendations, such as stakeholder involvement, external reporting and third-party verification and validation. Even all of these differences organizations with a well-established ISO 14001 Environmental Management System (EMS) are discovering a new advantage as the issue of “social responsibility” becomes more widespread throughout business communities. EMS managers are finding that techniques and methodology from their EMS can be used to identify and prioritize social responsibility issues and efficiently integrate them into their organization. Furthermore, managers building an EMS system are able to develop it in concert with social responsibility initiatives [18]. Today, many organizations communicate their performance with respect to the “triple bottom line” of finance, environmental issues and social issues. The phrase sustainable development is often used interchangeably with corporate responsibility or social responsibility and EMS managers are able to integrate those concepts into a developing or existing ISO 14001 EMS [18]. Standards such as ISO 26000 bear important similarities to ISO 14001: they are based on processes not outcomes [19]. In implementation of environmental protection management system ISO 14001, other standards of the series ISO 14000 are on disposal and they are presented in Figure 3.2 through 4 phases of Deming circle [20]. To the same standards, the standard ISO 26000 also points to in

the point 6.5 Life environment pointing to them as to important technical instruments for solving the issues of environmental protection in a systematic manner.

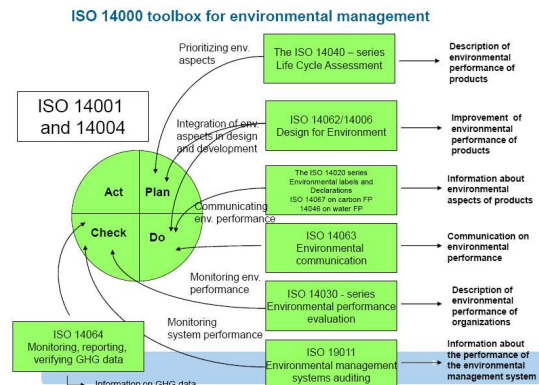


Fig. 3. ISO 14000 through 4 phases of PDCA cycle

Because of the similarity between ISO 14001 and ISO 26000, we can expect countries with high levels of ISO 14001 adoption to also be countries with higher levels of ISO 26000 adoption [19].

5. CONCLUSION

Social responsibility becomes more and more frequent requirement in creation of a more just relationship of an organization and interested parties. Significant aspect of social responsibility is the relationship of an organization towards life environment. Therefore, in the work with comparing requirements of ISO 26000 standards that refer to environmental protection and requirements of ISO 14001 standard that is widely present in the world, it is pointed to differences between these standards, as well as common elements that provide their integration and establishment of a more efficient environmental protection management system that leads to improvement of performances of life environment. Significant advantage of ISO 26000 standard is that it stresses achieved performances and their improvements which will according to what is announced be altered in new edition of ISO 14001 standard. Namely, valid edition of ISO 14001 did not explicitly stress the obligation of measuring and improving performances, which resulted in that some organizations by application of this standard are improving and some are not, which is presented in chapter 3 of this paper. ISO 14001:2004 is being revised very soon. There were recommended that ISO 14001 should take the environmental principals in the social responsibility standard ISO 26000 into consideration. The revised text of ISO 14001 standard will incorporate the three ISO 26000

topics, with some modifications [21]: (1) Sustainable resource use, (2), Climate change mitigation and adaptation, (3) Protection of biodiversity and ecosystems. It was announced that new editions of all management system standards and thus standard ISO 14001 will include requirements that refer to risk management looking up to the standard ISO 31000. Having in mind the above mentioned facts that point out that in the future it will come to significant approaching of requirements of standards ISO 14001 and ISO 26000 as well as already obvious correlation of these standards presented in chapter 4, it is likely to expect that for organizations that already implemented standard ISO 14001 it is much simpler to adopt the recommendations of standard ISO 26000. Observed differences of these standards point to the fact that by respecting recommendations of standard ISO 26000 and respecting requirements of standard ISO 14001, organization can establish more efficient environmental management system that has significantly greater possibilities for the improvement of ecological performances.

6. REFERENCES

- [1] Janičić R., Poslovna etika i društvena odgovornost, FON, Beograd, 2012
- [2] MEST ISO 26000, ISME, Podgorica, 2012
- [3] Carroll B.A., "The Pyramid of Corporate Social Responsibility: Toward the Moral Management of Organizational Stakeholders", Business Horizons, July/August 1991
- [4] Čeha M., Uloga korporativne društvene odgovornosti u savremenom poslovanju u Srbiji, Univerzitet Singidunum, Doktorska disertacija, Beograd, 2011
- [5] Z. Kivokapić, Društvena odgovornost - Standard MEST ISO 26000
- [6] MEST EN ISO 14001:2004, Environmental Management System)
- [7] J. Jovanović, "Model unapredjenja sistema upravljanja zaštitom životne sredine primjenom multisoftvera", doktorski rad, Podgorica, 2009).
- [8] Andrew A. King, Michael J. Lenox, Ann Terlaak, "The Strategic Use of Decentralized Institutions: Exploring Certification with the ISO 14001 Management Standard", Academy of Management Journal, 2005 ,
- [9] Naveh E., A. A. Marcus, "When Does the ISO 9000 Quality Assurance Standard Lead to Performance Improvement? Assimilation and Going Beyond", IEEE Transactions on Engineering Management 51(3):352-363, 2004
- [10] O'Dwyer B, Owen D, "Assurance statement practice in environmental, social and sustainability reporting: a critical evaluation", British Accounting Review, 2005
- [11] Rowland-Jones R, Pryde M. and Cresser M, "An evaluation of current environmental management systems as indicators of environmental performance", Management of Environmental Quality, 2005
- [12] Prakash A, Potoski M, "Covenants with Weak Swords: ISO 14001 and Facilities Environmental Performance", Journal of Policy Analysis and Management 24, 2005
- [13] Reinhardt F, "Market Failure and the Environmental Policies of Firms", Journal of Industrial Ecology, 3(1): 9-21, 1997
- [14] J. Hertin, F. Berkhout, M. Wagner, D. Tyteca, "Are soft policy instruments effective? The link between environmental management systems and environmental performance of companies" Universite Catholique de Louvain, September 2004
- [15] Kausek Joe, "Environmental management , Quick and easy", ASQ Quality press, Wisconsin, 2006/.
- [16] K. Webb, ISO 26000: Bridging the Public/Private Divide in Transnational Business Governance Interactions, Research Report No. 21/2012).
- [17] European commission, »EMAS and ISO 26000 - EMAS performance-credibility-transparency«, 2013 , First edition
- [18] <http://blog.stpub.com/bid/179379/ISO-14001-and-the-ISO-26000-Guidance-on-Social-Responsibility>)
- [19] M. A. Delmas and M. Montes-Sancho, „An institutional perspective on the diffusion of international management system standards: the case of the environmental management standard iso 14001 “Forthcoming Business Ethics Quarterly, 2012
- [20] D. Hortensius, „ISO 14001: current status and future challenges“, NEN Management systems
- [21] Nigel Leehane, „Key Changes Proposed in the March 2013 Draft „, CRA Europe)

Authors: Prof. Dr. Zdravko Krivokapić, Assist. Prof. dr. Aleksandar Vujović, Assist. Prof. Dr. Jelena Jovanović, University of Montenegro, Faculty of Mechanical engineering, Podgorica, Cetinjska 2, 81000 Podgorica, Montenegro, Phone: +382 20 242 907, Fax: +382 20 242 907, E-mail: zdravkok@ac.me
sjelena@t-com.me
aleksv@ac.me

Štupar, B., Kosec, B., Soković, M.

**THE SYSTEM FOR THE PREVENTION OF WASTEWATER FLOW
FROM THE PLANT INTO THE ENVIRONMENT**

Abstract: *The company that is the leading manufacturer of calcium carbonate fillers, granulates and sands which are an essential component in many industries and construction is located in a very fragile environment. Dusting during transport has effectively been addressed by wetting the transport routes in the courtyard of the factory. All the water is discharged into the nearby river through a lamellar settling tank in which the solids settle. Appropriate measures are needed to achieve the sedimentation of particles and reduce the turbidity of effluent water to a level that will satisfy intrusive locals, fishermen and other people who monitor the neighbourhood of the plant.*

Key words: *Wastewater flow, prevention system, sedimentation of particles, lamellar settling tank*

1. INTRODUCTION

The quality of water is an important topic of the European Union environmental policy. It has improved in the last 30 years, but we need to remain vigilant, especially regarding excessive water consumption and the still present problem of pollution. A joint aim of the EU is to reach a good ecological state of all European waters by 2015, which will benefit the people, the wildlife and the environment in general.

As most other European countries, Slovenia is introducing an integrated approach to water resources management in accordance with *The Water Framework Directive*. Its priority goals are the elimination of adverse effects on waters, the provision of water of appropriate quality for humans and natural ecosystems, and the conservation of biodiversity. [1].

2. PRESENTATION OF PROBLEM**2.1 Defining the problem**

The company that produces calcium carbonate granulates and sands are located in an environmentally very sensitive area; on the edge of a village, before the entrance to the nearby Kamniška Bistrica river valley. All transport routes from the quarry to the company on the right riverbank (Fig. 1) lead through villages. In such an environment the dusting and transport involved in the production of calcite fillers and granulates are particularly troublesome. The problem of dusting has successfully been solved by wetting the transport routes in the factory courtyard. In dry weather conditions the wetting is carried out by a system of pipelines installed along the driveways. Water is pumped from the company's catchment

at the river and returns back into the river at the far end of the factory. All discharge water flows into a shaft from where it is pumped through a lamellar settling tank (Fig. 2) and cleansed of solid particles. Regular measurements by the Institute of Public Health do not suggest that permissible levels of solids are being exceeded, but the effluent water is opaque due to very fine particles that do not settle in the settling tank.



Fig. 1. Company quarry

2.2 Aims and objectives

Reducing the turbidity of the factory's wastewater to a level that will not be optically disturbing to local residents, fishermen and other people that monitor the vicinity of the plant. Appropriate measures need to be taken to achieve:

- the settling of all particles that increase the turbidity of the water;
- the proper and safe functioning of the system in all weather conditions. In case of a system failure, timely alerting and an immediate blockage of water returning back into the river must be ensured.

3. PILOT TEST OF WATER TREATMENT

A pilot test was carried out to try to reduce the turbidity of the industrial wastewater. It revealed

whether the addition of a coagulant and flocculant improves the sedimentation of suspended particles in the rinse water. The technological scheme of the pilot test is shown in Fig. 3 [2].

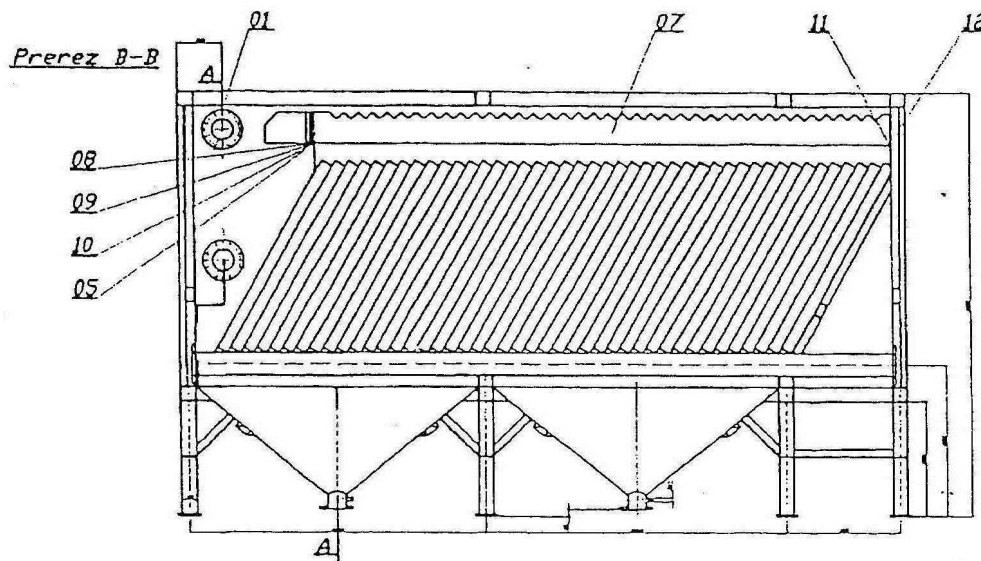


Fig. 2. Lamellar settling tank

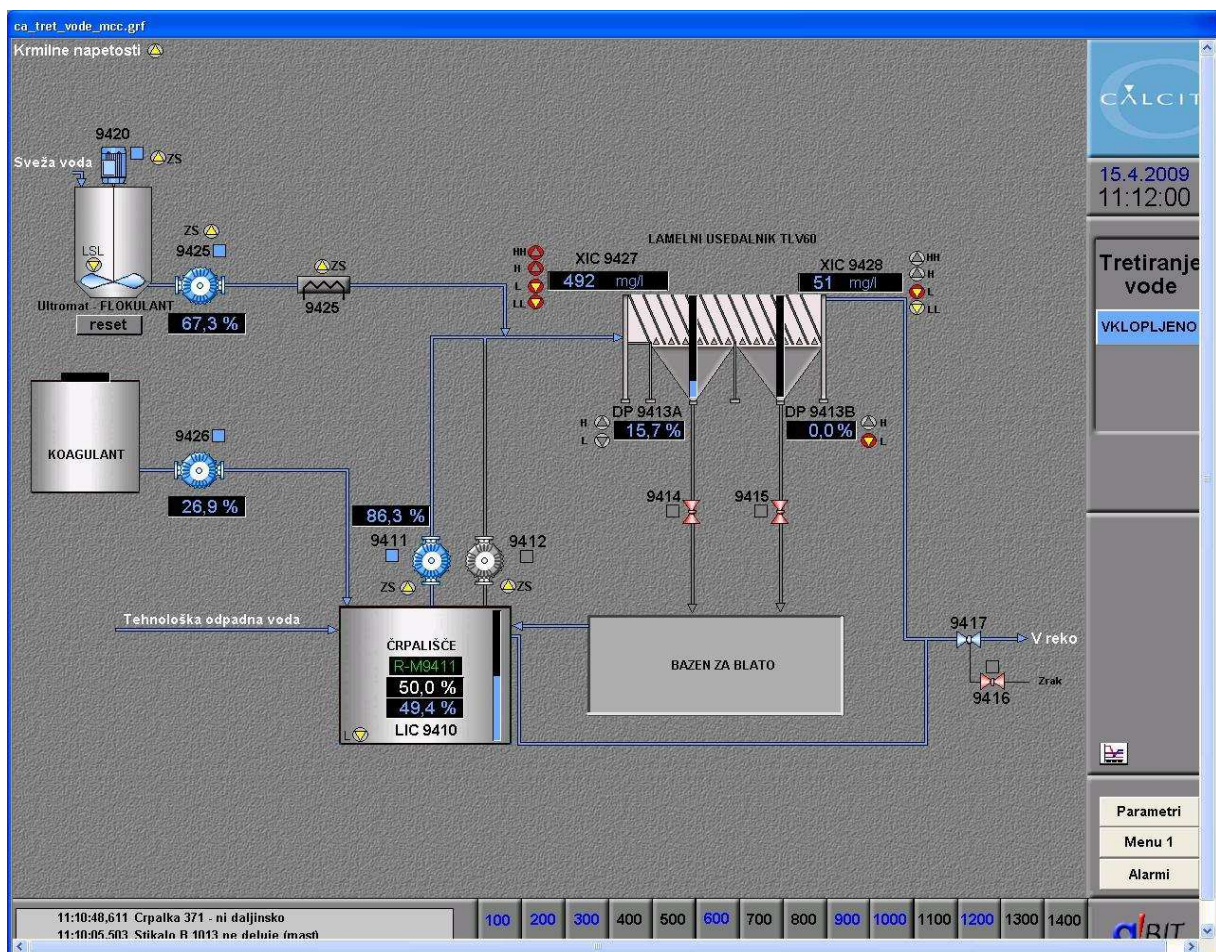


Fig. 3. Technological scheme of wastewater treatment

The pilot test was carried out by dosing the coagulant and flocculant and measuring water turbidity at the entry and exit point:

The coagulant was dosed into the pipe through which water flows into the underground reservoir.

The flocculant was dosed at the suction port of the submersible pump.

Turbidity at the entry point was measured with an immersion probe suitable for high concentrations of suspended particles (Hach Solitax).

Turbidity at the exit point was measured with a probe for low concentrations of suspended particles (Hach Ultraturb).

The water and chemicals were first dosed in accordance with the recommendations of the coagulants manufacturer, as shown in Table 1 (Test 1). After initial testing the water still contained a certain amount of hydrophobized particles. According to recommendations found in literature [3] the decision was made to include a wetting agent and use a different coagulant – iron sulphate (FeSO_4). The testing parameters are shown in Table 1 (Test 2).

The results of wastewater testing are presented in the form of a diagram revealing the entry and exit turbidity in relation to time, Fig. 4. It is clear that after a dosage of chemicals the maximum exit water turbidity greatly decreases:

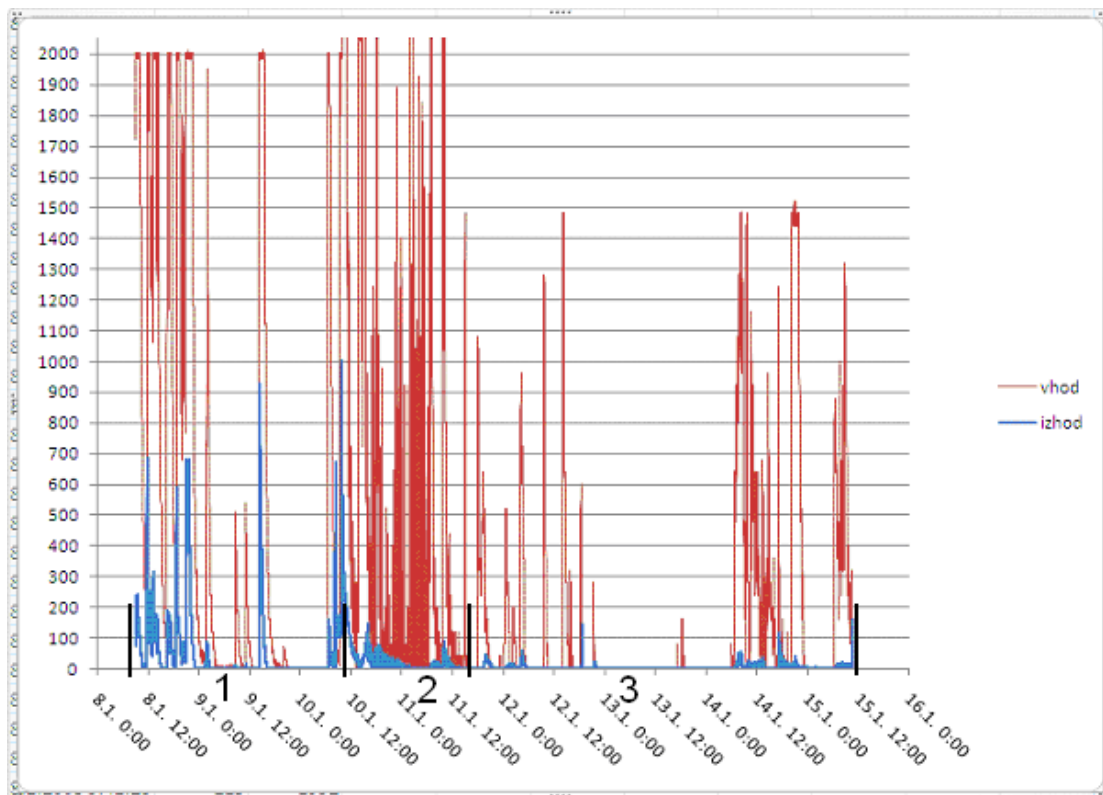
Without added chemicals the peaks reached to 700 NTU (nephelometric turbidity units). The two peaks reaching to 1000 NTU are a result of

the remixing during the discharge of mud from the settling tank.

- Peaks when dosing chemicals to 150 NTU.

	EM	average
Amount of water	m ³ /h	30
Settling tank volume	m ³	24
Retention time	min	48
Test 1		
Coagulant $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$		
Concentration	l/ m ³	0,15
Dosage flow rate	l/h	4,5
Flocculant A-120 0,1 %		
Concentration	l/ m ³	1,00
Dosage flow rate	l/h	30
Test 2		
Coagulant FeSO_4		
Concentration	l/ m ³	0,2
Dosage flow rate	l/h	6
Flocculant A-120 0,1 %		
Concentration	l/ m ³	2
Dosage flow rate	l/h	60

Table 1. Dosage amounts – pilot tests



- 1 - 8th January to 10th January (10 a.m.) – no chemical dosage
- 2 - 10th January (10 a.m.) to 11th January (3 p.m.) – dosage of FeSO_4 and A-120
- 3 - 11th January (3 p.m.) until the end of testing – dosage of $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ and A-120.

Fig. 4. Water turbidity in relation to time for observation periods

Table 2 shows the content of solid particles in wastewater, expressed in [%].

Sample	Residue (%)	Residue (ppm)
90 NTU	0,006	60
94 NTU	0,0055	55
3000 NTU	0,03	300

Table 2. Dependence of turbidity on content of suspended particles

The effect of wastewater treatment is illustrated in Fig. 5 by two samples taken at the outflow from the settling tank to the river:

the wider container (a) before the addition of a coagulant and flocculant,
the taller container (b) with added coagulant and flocculant.

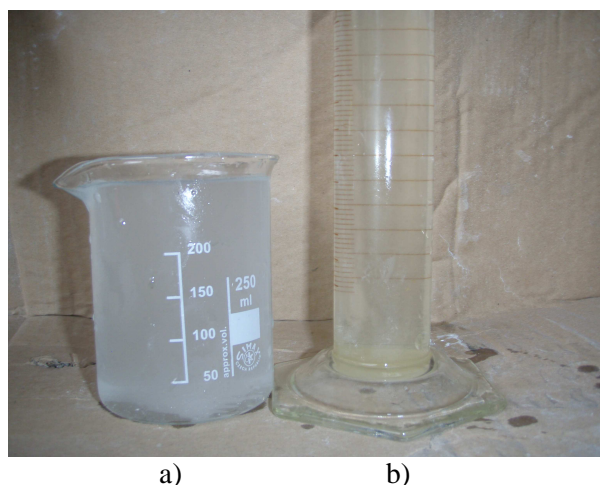


Fig. 5. Water samples taken at the outflow: (a) without added coagulant and flocculant, (b) with added coagulant and flocculant

When turbidity is up to 100 NTU the content of suspended particles is under 80 mg/L, which represents a permissible concentration according to *The General Regulation of Wastewater Discharges* (Ur. l. RS, No. 47-1902/2005) [4]. If we assume a linear dependence of turbidity and the concentration of suspended particles, the peak 150 NTU means approximately 100 mg/L, thus exceeding the still permissible content by 25 %. According to the results of the pilot test and the 14th article of the above mentioned *Regulation* (Indent 4), it can be concluded that these peaks do not present an excessive burden on the environment.

4. CONCLUSIONS

The remarkable rise of environmental awareness and an increasingly strict environmental legislation have caused the

company to integrate environmental protection into the structure of its management system.

Comprehensive environmental problem solving and the management of the working environment are easier to implement when a company establishes an organized way of addressing environmental aspects of operations in accordance with the standard ISO 14001:2004, with special emphasis on environmental performance.

This paper presents part of the effort to improve the sedimentation of solids in industrial wastewater, thereby reducing the turbidity of water that flows from the treatment plant back into the natural environment, the nearby river. The main focus of the investigation was to test whether the addition of a coagulant and flocculant improves the sedimentation of suspended particles, thus reducing the turbidity of wastewater.

The physicochemical mechanisms for wastewater treatment used in the automated system are capable of purifying water in all weather conditions. In the event of a system failure, timely alerting and an immediate blockage of “white water” outflow to the river provide sufficient guarantee for the trust of local residents. This enables the company further development in this part of Slovenia.

5. REFERENCES

- [1] Štupar, B., Sokovič, M.: *System of environmental water protection in the company*, Diploma thesis, No. S 1682, UL FME, 2009, (in Slovene).
- [2] N.N.: *Tehnična dokumentacija podjetja Calcit Ltd.*, March 2009.
- [3] Mekuč, L.: *Pilotni test doziranja koagulanta in flokulanta*, Strix inženiring, Ljubljana, 2008.
- [4] N.N.: Ministry of the Environment and Spacial Planning, Slovenian Environment Agency: <http://www.arso.gov.si/vode/> (17th October 2008).

Authors: Boštjan Štupar, dipl. inž., Calcit, Ltd., Stahovica, Slovenia, Prof. Dr. Borut Kosec, University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences,

Prof. Dr. Mirko Sokovič, University of Ljubljana, Faculty of Mechanical Engineering, Aškerčeva 6, SI-1000 Ljubljana, Slovenia, Phone.: +386 1 4771214, Fax: +386 1 2518 567.

E-mail: mirko.sokovic@fs.uni-lj.si

Nakomčić-Smaragdakis, B., Dragutinović, N., Čepić, Z. Šljivac, D.

**MOGUĆNOST PRIMENE MEHANIZMA ČISTOG RAZVOJA NA PROJEKTIMA
OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE MALIH KAPACITETA U VOJVODINI**

Rezime: U radu je analizirana mogućnosti primene Mehanizma čistog razvoja (CDM) na projektima malih kapaciteta koji primenjuju obnovljive izvore energije (biomasu) u Vojvodini. Biomasa, kao najznačajniji obnovljivi izvor energije u Vojvodini u velikoj meri je neiskorišćena, ukupan potencijal biomase koji se može iskoristiti za energetske potrebe je oko 0.69 Mtoe, dok se u budućnosti može očekivati porast, do 2020. godine od 1.1 Mtoe. Kao primer registrovanog projekta malog kapaciteta odabrano je postrojenje koje proizvodi tenhološku paru za potrebe industrije u Maleziji. Postrojenje koristi otpadnu biomasu iz mlinova palminog ulja koja bi inače bila odbačena i neiskorišćena. Prednost CDM projekata malih kapaciteta je mogućnost korišćenja pojednostavljenih procedura u odnosu na regularne projekte.

Ključne reči: Mehanizam čistog razvoja, obnovljivi izvori energije, biomasa, toplotna energija

1. UVOD

Osnovni cilj Kjoto protokola je smanjenje globalnih antropogenih emisija gasova sa efektom staklene bašte za najmanje 5% u odnosu na 1990. godinu, i to u prvom obavezujućem periodu od 2008 do 2012. godine. Mehanizmi Kjoto protokola koji omogućavaju državama potpisnicama da na ekonomičan i fleksibilan način dostignu propisane ciljeve su: Mehanizam međunarodne trgovine emisijama (Emission Trading – ET), Mehanizam zajedničke implementacije (Joint Implementatio – JI), Mehanizam čistog razvoja (Clean Development Mechanism – CDM) [1].

Mehanizam čistog razvoja omogućava državama koje imaju obaveze smanjenja emisija (zemlje iz Aneksa I) da investiraju u projekte u zemljama u razvoju, i da koriste kredite dobijene iz datog projekta kako bi ispunile svoje obaveze prema Kjoto protokolu. Krediti dobijeni iz projekata CDM se nazivaju Verifikovanim smanjenjima emisija (Certified Emission Reductions - CER) i jedno CER je ekvivalentno 1 toni ekvivalenta CO₂. CER-ove izdaje Izvršni odbor CDM na osnovu sertifikata za smanjenja emisija (dobijenog) od nezavisnog pravnog lica. Srbija, kao zemlja potpisnica Kjoto protokola koja nije u Aneksu I ima mogućnost da srpska pravna lica privlače investicije razvijajući projekte Mehanizma čistog razvoja [2,3].

Mehanizam čistog razvoja predstavlja potencijalni izvor finansiranja za projekte OIE u Vojvodini i Srbiji. Osim finansijske podrške koja se ostvaruje prodajom CER-a, najbitniji benefit koji država domaćin (ne-Aneks I) ostvaruje je

ulaganje u nove, čistije tehnologije koje koriste obnovljive i (skoro) neograničene izvore energije. Prilikom izgradnje novih, greenfield projekata često dolazi i do transfera tehnologije i znanja iz zemalja Aneksa I u zemlju domaćina CDM projekta, što takođe bitna prednost.

Izgradnja novog energetskog postrojenja je sama po sebi značajna, međutim postoje brojni dodatni benefiti za društvo i životnu sredinu, koji naglašavaju značaj ulaganja u nova OIE postrojenja:

- Benefiti za društvo: otvaranje novih radnih mesta, zapošljavanje lokalnog stanovništva, pouzdanost i sigurnost u snabdevanju energijom, poboljšanje kvaliteta života, doprinos održivom razvoju društva u celini itd.
- Benefiti za životnu sredinu: poboljšanje stanja svih medijuma životne sredine – vazduha, vode i zemljišta.
- Ekonomski benefiti: nezavisnost od uvoza energenata i električne energije, razvoj zelene ekonomije, doprinos razvoju distribuirane proizvodnje električne i toplotne energije, za razliku od centralizovanog sistema koji postoji kod nas.

Međutim, izgradnja postrojenja OIE zahteva visoka ulaganja, što je za većinu domaćih investitora neostvarivo bez kredita, grantova i dodatnih izvora finansiranja. CDM omogućava investitoru bržu otplatu duga i profitabilnost, prodajom CER-a nakon registracije projekta.

U radu je analizirana mogućnost primene Mehanizma čistog razvoja, kao potencijalnog izvora finansiranja projekata obnovljivih izvora energije, na projektima malih kapaciteta u Republici Srbiji. Vojvodina, kao poljoprivredni

region, ima značajne ali neiskorišćene potencijale biomase. Stoga je i kao primer registrovanog CDM projekta odabrano postrojenje koje sagoreva biomasu za potrebe proizvodnje toplotne energije u industriji.

2. POTENCIJAL OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE U VOJVODINI

2.1 Obnovljivi izvori energije u energetsom bilansu Republike Srbije i AP Vojvodine

U strukturi planirane domaće proizvodnje primarne energije u R. Srbiji za 2014. godinu, obnovljivi izvori energije učestvuju sa 1,819 Mtoe što je 17%, u domaćoj proizvodnji primarne energije. U ovoj strukturi najveće je učešće čvrste biomase 58%, hidropotencijala 41%, dok biogas, energija vetra, sunca i geotermalna energija učestvuju sa manje od 1% [4].

Proizvodnja i potrošnja čvrste biomase u R. Srbiji obuhvata proizvodnju i potrošnju ogrevnog drveta, peleta i briketa u energetske svrhe (za potrebe grejanja). Planirana proizvodnja čvrste biomase u 2014. godini je 1,050 Mtoe. Potrošnja čvrste biomase odvija se dominantno u okviru široke potrošnje i to u sektoru domaćinstva i delimično javnim i komercijalnim delatnostima za potrebe zagrevanja prostorija [4].

Obnovljivi izvori energije u AP Vojvodini, za sada nisu našli svoju punu primenu. Koriste se uglavnom za potrebe proizvodnje i korišćenja toplotne energije za zagrevanja prostora ili u druge svrhe (sušenje poljoprivrednih proizvoda, balneologija). Prevažno se koriste: čvrsta biomasa uglavnom poljoprivrednog porekla, ogrevno drvo, geotermalna energija, i manjim delom solarna termalna energija sa velikom perspektivom rasta u primeni.

U strukturi planirane domaće proizvodnje primarne energije u AP Vojvodini za 2013. godinu, obnovljivi izvori energije (OIE) učestvuju sa 4,4%. Učešće pojedinih vidova obnovljivih izvora energije u ukupnoj količini OIE je: 0,8% geotermalna energija, 79,2% ogrevno drvo i 19,9% čvrsta biomasa [5]. U ukupnom neto uvozu učešće obnovljivih izvora energije je 4% i odnosi se samo na ogrevno drvo. U ukupnoj finalnoj potrošnji energije učešće obnovljivih izvora energije je 6,89%. Učešće pojedinih vidova obnovljivih izvora energije u finalnoj potrošnji OIE je: 0,06% biogoriva, 0,68% geotermalna energija, 19,89% "čvrsta biomasa" i 78,81% ogrevno drvo. Obnovljivi izvori energije se pretežno koriste u sektoru Domaćinstva i Industrija [5].

Brojna istraživanja su pokazala da nekoliko obnovljivih izvora energije na teritoriji Srbije i

Vojvodine pokazuju značajan potencijal za iskorišćenje [6,7,8]. Do nedavno je proizvodnja energije u Srbiji bila socijalna kategorija, međutim prelazak na tržištu ekonomiju i potpisivanje Kjoto Protokola omogućuju prisustvo i kompetitivnost obnovljivih izvora energije [9,10,11].

2.2 Potencijal biomase u Vojvodini

U „Akcionom planu za biomasu 2010-2012“ procenjeno je da potencijali poljoprivredne biomase Srbije oko 1,7 Mtoe. Biomasa je najznačajniji obnovljivi izvor energije u Vojvodini, koja raspolaže relativno velikim potencijalima ovog energenta, nastalog kao "višak" u primarnoj poljoprivrednoj proizvodnji. Količina biomase koja može da se ubere u stvarnosti predstavlja oko 30% od raspoložive (1.773 prema 5.885 Mt). Količina biomase za energetske potrebe značajno je manja od prognozirane, i iznosi oko 1,7 Mt, odnosno oko 0,57 Mtoe [12]. Ukoliko se ovoj količini dodaju ostale količine: ostaci rezidbe u voćarstvu i vinogradarstvu, oko 0,325 Mt, ili oko 0,11 Mtoe, te ostaci primarne prerade, oko 0,01 Mtoe, zbir je oko 0,69 Mtoe. Uzimajući u obzir da poljoprivredne površine u Vojvodini predstavljaju oko trećine površina u celoj Srbiji, tada se, pretpostavljen potencijal od 1,7 Mtoe poljoprivredne biomase za energetske svrhe može smatrati realnim.

Takođe je procenjeno da bi potencijal biomase za energetske svrhe u Vojvodini, do 2020. godine, mogao da bude oko 1,1 Mtoe. Najviše bi doprinela proizvodnja brzorastućih šuma, ubiranje kukuruzovine i ostataka proizvodnje suncokreta.

Povećanje količine biomase koja bi mogla da se koristi za energetske svrhe može da se ostvari povećanjem prinosa, uz vođenje računa o energetsom bilansu proizvodnje. Takođe, značajno je da se unaprede tehnologija ubiranja, transporta, skladištenja i prerade biomase i razviju nove. Ocenjeno je da najveće rezerve biomase predstavlja kukuruzovina i ostaci proizvodnje suncokreta [12].

3. PRIMER REGISTROVANOG CDM PROJEKTA MALOG KAPACITETA (SMALL SCALE) ZA DOBIJANJE TOPLOTNE ENERGIJE SAGOREVANJEM BIOMASE

Kako bi investitori mogli da primenjuju pojednostavljene metodologije kreirane za "small scale" projekte, predložene projektne aktivnosti moraju da: i) Ispunjavaju uslove za "small scale" CDM projekte definisane u stavu 6(c) odluke 17/CP.7, ii) Odgovaraju jednoj od definisanih

projektnih kategorija, iii) Nisu izdvojena komponenta veće projektne aktivnosti [13].

Postoje tri vrste projekata definisanih u stavu 6 (c) odluke 17/CP.7. iz uslova 1. i to: I. Projekti obnovljivih izvora energije maksimalnog kapaciteta do 15 MW, II. Projekti energetske efikasnosti kapaciteta do 60 GWh/god. u uštedama, III. Ostale projektne aktivnosti koje istovremeno smanjuju antropogene emisije i čije direktne godišnje emisije ne prelaze 60000 tona CO_{2eq}. Svaki tip projekata ima nekoliko kategorija. Ukoliko neka projektna aktivnost spada u više kategorija projekata, mora se dokazati da zadovoljava navedene uslove za sve kategorije (uslovi u pogledu dozvoljenog kapaciteta). Projektna aktivnost iz primera zadovoljava uslove za dve projektne kategorije:

- Primena obnovljivih izvora energije, jer je ukupan kapacitet postrojenja 22t/h, što je manje od 14MWt.
- Smanjenje emisije metana. Direktne emisije iz projekta su procenjene na 1194 tCO₂/god, što je takođe manje od 60000 tCO₂/god.

Projekat takođe nije deo većeg projekta. Podaci iz primera su preuzeti iz glavnog projektnog dokumenta (PDD) registrovanog projekta 0503 Johor Bundled Biomass Steam Plant in Malaysia.

Naziv projektne aktivnosti: *Johor Bundled Biomass Steam Plant in Malaysia*. Učesnici projekta su kompanija WT Speciality Ingredients Sdn. Bhd iz Malezije i kompanija LFGC iz Kanade. Projektna aktivnost podrazumeva upotrebu jedne vrste otpadne biomase iz proizvodnje palminog ulja za proizvodnju pare. Otpadna biomasa će biti upotrebljavana za generisanje pare u 3 kotla za 3 industrijska pogona. Ukupan kapacitet sistema je 22t/h pare. Projekat smanjuje emisije GHG na dva načina:

- Zamenom lož ulja i prirodnog gasa obnovljivim izvorom energije – biomasom, za proizvodnju tehnološke pare,
- Smanjenjem emisije metana iz procesa biorazgradnje otpadne biomase.

Energane će otkupljivati otpadnu biomasu od susednih mlinova za palmino ulje. Velike količine biomase koje su odlagane u okviru mlina u procesu razgradnje emituju biogas koji sadrži metan i takođe emituje snažan, neprijatan miris. Pre implementacije projektne aktivnosti rafinerija palminog ulja je koristila lož ulje i prirodni gas za proizvodnju pare za potrebe procesa rafinacije. Dve fabrike kakaa takođe koriste lož ulje i prirodni gas.

Rezultat projektne aktivnosti je veća energetska nezavisnost i održivost energetskog sektora. Takođe će dovesti do ekonomske stabilnosti jer je gorivo održiv, domaći resurs, koji

doprinosi smanjenju uvoza goriva. Proizvodnja energije u fabrici kakaa će postati pouzdanija i efikasnija, eliminišaće se rizici povezani sa promenljivim cenama nafte. [14]. Projektat obuhvata dve manje aktivnosti koje pripadaju dvema različitim klasama CDM projekata:

- Tip I obnovljivi izvori energije: Kategorija I C, toplotna energija. Predložena tehnologija uključuje nove kotlove jer postojeći kotlovi ne mogu da koriste biomasu umesto fosilnih goriva usled nekompatibilnosti komore za sagorevanje. Smanjenja emisije GHG gasova će biti ostvareno zamenom proizvodnje pare i električne energije iz fosilnih goriva proizvodnjom pare iz biomase.
- Tip III ostale aktivnosti: Kategorija III E, eliminacija metana. Sagorevanjem otpadne biomase koja bi inače bila ostavljena da truli, projekat omogućava eliminaciju metana koji bi bio generisan da je biomasa ostavljena da se prirodno razgrađuje [14].

Za sagorevanje će biti korišćen kotao projektovan za biomasu, lokalnog proizvođača. Proizvođač kotla ima ugovor o transferu tehnologije sa danskom kompanijom. Efikasnost sistema je oko 75%, što je napredak u odnosu na oko 60%, koja je uobičajena za većinu postojećih postrojenja na biomasu. Karakteristike biomase (veliki sadržaj vlage, mala toplotna moć) čine upotrebu biomase za proizvodnju pare problematičnom. Stoga su potrebne dodatne mere i napredne tehnologije za predtretman biomase, kako bi se smanjio sadržaj vlage ispod 40%. U

Godina	Procenjena godišnja smanjenja emisije [tCO _{2e}]
2006	31 962
2007	89 495
2008	128 036
2009	134 883
2010	140 368
2011	144 704
2012	148 152
2013	95 938
Ukupno procenjeno smanjenje emisije [tCO _{2e}]	913 538
Trajanje perioda kreditiranja [godina]	7
Prosečno godišnje smanjenje emisije [tCO _{2e}]	5

Tabela 1. Procenjeno smanjenje emisije primenom projektne aktivnosti [14].

dosadašnjoj upotrebi biomase u industriji palminog ulja je preovlađivala primena vlakana i ljuski u kotlovima zbog više toplotne moći, dok se ova vrsta otpadne biomase nije uopšte ili vrlo malo koristila. Projekat će, dakle, takođe doprineti i transferu nove tehnologije [14]. U okviru projekta je smatrano da je sagorevanje biomase „carbon neutralno”. U Tabeli 1 su prikazana procenjena smanjenja emisije za obnovljivi kreditni period od 7 godina.

4. ZAKLJUČAK

Količina biomase za energetske potrebe u Vojvodini obuhvata ostatke iz poljoprivredne proizvodnje (oko 0,57 Mtoe), ostatke rezidbe u voćarstvu i vinogradarstvu (oko 0,11 Mtoe), ostatke primarne prerade (oko 0,01 Mtoe), što ukupno iznosi oko 0,69 Mtoe. Imajući u vidu da poljoprivredne površine u Vojvodini predstavljaju oko trećine površina u celoj Srbiji, procenjen potencijal Srbije iznosi oko 1,7 Mtoe poljoprivredne biomase za energetske svrhe.

Takođe je procenjeno da bi potencijal biomase za energetske svrhe u Vojvodini, do 2020. godine, mogao da bude oko 1,1 Mtoe. Najviše bi doprinela proizvodnja brzorastućih šuma, ubiranje kukuruzovine i ostataka proizvodnje suncokreta.

Projektna aktivnost iz primera podrazumeva upotrebu jedne vrste otpadne biomase iz proizvodnje palminog ulja za proizvodnju pare. Projekat smanjuje emisije GHG na dva načina:

zamenom lož ulja i prirodnog gasa obnovljivim izvorom energije – biomasom, za proizvodnju tehnološke pare, i smanjenjem emisije metana iz procesa biorazgradnje otpadne biomase. Ukupno procenjeno smanjenje emisije je 913 538 tCO₂e.

Na osnovu primera prikazanog u radu može se zaključiti da bi ovakav tip projekta koji razmatra primenu procesa sagorevanja poljoprivredne otpadne biomase svakako bio izvodljiv u Vojvodini.

5. REFERENCE

- [1] Nacionalno telo za sprovođenje projekata Mehanizma Čistog Razvoja Kjoto Protokola (DNA), www.ekoplan.gov.rs/DNA, 02.02.2014.
- [2] Priprema Projekata u okviru Mehanizma Čistog Razvoja-Uputstvo za podnosioc projekata u Srbiji. 2007. Norsk Energy
- [3] Nakomčić Branka i saradnici 2008. *Analiza potencijala regionalnih deponija u okviru Mehanizma čistog razvoja (CDM)*, Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka.
- [4] Energetski bilans Republike Srbije za 2014.

godinu, „Službeni glasnik RS”05 broj 312-11073/2013, Beograd, decembar 2013.

- [5] Informacija o godišnjim potrebama za energijom, odnosno energentima na području AP Vojvodine, Pokrajinski Sekretarijat za energetiku i mineralne sirovine, Novi Sad, 2013.
- [6] Strategija razvoja energetike Republike Srbije do 2015. godine, „Službeni glasnik RS” br. 44/2005-11
- [7] Nacionalni akcioni plan za obnovljive izvore energije Republike Srbije u skladu sa obrascem predviđenim direktivom 2008/29/EZ (odluka 2009/548/EZ), <http://www.merz.gov.rs>, 25.9.2013.
- [8] Dodić S. et al., *An overview of biomass energy utilization in Vojvodina*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 (2010) 550–553.
- [9] Golusin M. et al., *The analysis of the renewable energy production sector in Serbia*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 2010; 1477–1483.
- [10] Tešić M. et al., *Renewable energy policy in the Republic of Serbia*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 2011; 752–758.
- [11] Zakon o energetici, „Službeni glasnik RS” br. 57/2011.
- [12] Martinov M. i saradnici, *Biomasa u Vojvodini – RES 2020, Savremena poljoprivredna tehnika*, Cont. Agr. Engng. Vol. 37, No. 2, 119-224, September 2011.
- [13] CDM Rulebook, <http://cdmrulebook.org/152>
- [14] Glavni projekat (PDD) za Johor Bundled Biomass Steam Plant u Maleziji, www.unfccc.com, 20.02.2014.

ZAHVALNICA

Rad predstavlja deo istraživanja na Projektima III-46009, III-42006, III-42004, III-42011, koje finansira Ministarstvo prosvete i nauke i tehnološkog razvoja R. Srbije.

Autori: Prof. dr Branka Nakomčić-Smaragdakis¹, M.Sc. Nataša Dragutinović¹, M.Sc. Zoran Čepić¹, Prof. dr Damir Šljivac²,

¹Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Departman za Inženjerstvo zaštite životne sredine, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2395.

²J. J. Strossmayer Univerzitet u Osijeku, Elektrotehnički Fakultet, Kneza Trpimira 2b, Osijek, Hrvatska

E-mail: nakomcic@uns.ac.rs

n.dragutinovic@uns.ac.rs

zorancepic@uns.ac.rs

sljivac@etfos.hr

Tanasić, Z., Kosec, B., Janjić, G., Soković, M., Bobrek, M.

LEAN i LCA - sistemski pristup

Rezime: Poslovni sistemi ukoliko žele da opstanu dugoročno na domaćem i svjetskom ekonomskom tržištu moraju poslovati održivo i društveno odgovorno, odnosno neophodno je „Raditi prave stvari na pravi način“. Organizacije mogu ostvariti kontinuiranu efektivnost i uspjeh ulaganjem u projekte društvenog i ekonomskog razvoja. Međutim, za unapređenje efikasnosti organizacija neophodna je stabilnost i održivost životne sredine i društva iz kojih se crpe resursi i za koje organizacije proizvode, distribuiraju, koriste, recikliraju i konačno odlažu svoje proizvode.

Predmet istraživanja u ovom radu je integracija LEAN principa za smanjenje otpada i LCA metode za ocjenu uticaja na životnu sredinu. LEAN ima mogućnost da identifikuje otpad u procesima ali ne kvantifikuje ekološki uticaj procesa. Takođe, radom se želi ukazati na značaj sistemskog pristupa u istraživanju uticaja na životnu sredinu, društvo i ekonomiju i uspostavljanju društvene odgovornosti i održivog razvoja.

Ključne reči: održivi razvoj, LEAN, LCA, sistemski pristup

1. UVOD

Aktuelan proces globalizacije svjetskog tržišta i kompleksnost poslovnog okruženja su savremeni uslovi poslovanja kojima se organizacija teško prilagođava. Ovaj problem je prisutan kako u tržišno razvijenim ekonomijama, tako i u tranzicionim ekonomijama. Pred menadžere savremenih organizacija se postavlja zahtjev za ispravno razumijevanje procesa promjena i primjene adekvatnih znanja i tehnika sa ciljem stalnog povećanja efikasnosti i efektivnosti organizacije. Da bi opstala i unaprijedila svoje poslovanje, neophodna je primjena savremenih alata i tehnika kvaliteta, te koncepta i metodologija iz područja upravljanja poslovnim sistemima.

Savremene organizacije su svjesne važnosti ljudi koji rade u njima, jer zapravo ljudi predstavljaju konkurentsku prednost i zato se često ističe da su ljudi organizacija i obrnuto. Intenzivan i brz razvoj novih tehnologija zahtijeva nove forme organizacije koje su u skladu sa zahtjevima nove tehnologije i dinamičnih promjena u poslovnom okruženju. Jedan od načina prilagođavanja jeste prisutnost međunarodne standardizacije sa ciljem uspostavljanja prepoznatljivih metoda i tehnika za projektovanje, implementaciju i unapređenje organizacionih sistema.

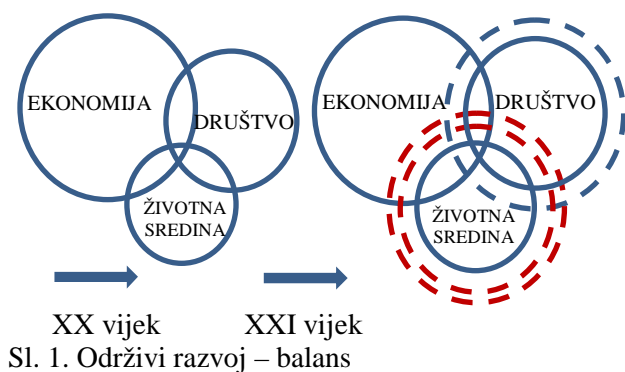
2. ODRŽIVI RAZVOJ

Postoji veliki broj definicija održivog razvoja, ali najčešća interpretacija ovog koncepta jeste

definicija Brundtland komisije gdje održivi razvoj predstavlja „razvoj koji zadovoljava potrebe sadašnje generacije bez ugrožavanja mogućnosti budućih generacija da zadovolje svoje potrebe“ (Our Common Future, 1987, str. 43).

Takođe, definiciju održivog razvoja ističe Međunarodni institut za održivi razvoj (International Institute for Sustainable Development), prema kome „suštinu koncepta održivog razvoja čini ideja kako se kroz generacijsku jednakost utiče na stvaranje i promjenu nacionalne ekonomije i globalnog razvoja“. Današnje društvo se suočava sa velikim promjenama kako na nacionalnom tako i na globalnom nivou. Iz ovih definicija ne proizlazi samo izazov za promjene, već i odgovornost pred budućim generacijama.

Održivi razvoj je multidimenzionalni koncept koji se oslanja na *tri stuba* ili poznat kao koncept *tri kruga* (Giddings, Hopwood, & O'Brien, 2002). Za potpuno ostvarivanje ciljeva koncepta održivog razvoja neophodna je međusobna povezanost i komplementarnost tri dimenzije (životna sredina, društvo i ekonomija). U praksi je veoma teško postići balans između dimenzija jer uvijek postoji *trade-off* pri čemu se jednoj dimenziji daje manji ili veći značaj (Slika 1). Osim toga Giddings (2002) ističe da ovaj model ukazuje na prisutan kompromis između dimenzija, a to je koncept „slabe održivosti“ koji dominira u današnjoj ekonomiji. Održivi razvoj je dinamičan i dug proces promjena u balansiraju između socijalne, ekološke i ekonomske stvarnosti i ograničenja koji se stalno mijenjaju.



Tokom XIX i XX vijeka ekonomski aspekt je dominirao i sve je bilo podređeno maksimalnom ostvarenju profita. U realnosti, ekonomski sistemi su pod uticajem društva i životne sredine i ako se *samo* na taj način posmatra održivost, nameću se novi principi održivog razvoja (Slika 2). Životna sredina je osnova jedne privrede i ekonomija ne može opstati bez dobrih prirodnih usluga.



Na osnovu prikazane slike i stanja u današnjem društvu, može se slobodno reći da je *kriza savremenih organizacija kriza svijesti*. Problem savremenog čovjeka je nedostatak sagledavanja cjeline, kako na području pojedinca tako i na području proizvodnje i dizajniranja poslovnih sistema. Nesposobnost sagledavanja cjeline i rješavanja nastalih problema dovodi do pojedinačnih ali i globalno katastrofalnih posljedica. Posljedica ljudske indiferentnosti i nesposobnosti sagledavanja cjeline je nastanak globalne ekonomske krize i zagađenja životne sredine, što je rezultat isključivo *trke* za profitom.

Kada bi se u poslovnom svijetu stručno znanje fokusiralo na pronalazanju načina kako tehničke sisteme i tehnologiju stvarati i razvijati prema realnim potrebama ljudi i društva izbjeglo bi se uništavanje prirodnih resursa i samog čovjeka. Ljudski resursi predstavljaju osnovni izvor održive konkurentne prednosti na tržištu a organizaciona kultura predstavlja snagu za postizanje efikasne organizacije koja se temelji na povjerenju i toleranciji. Rješenje današnje krize nije samo od ekonomske važnosti već i društveno-humane važnosti koja zahtijeva radikalnu promjenu svijesti.

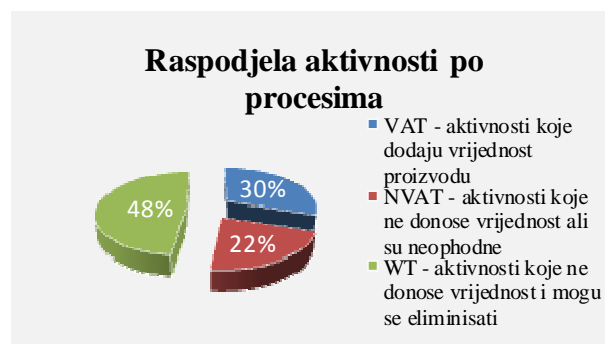
3. INTEGRACIJA LEAN I LCA

Osnovni cilj organizacionih promjena je postići što veću efikasnost, konkurentnost, fleksibilnost i održivost organizacije kao društvenog sistema.

Danas se u organizacijama širom svijeta primjenjuju međunarodni standardi i u praksi priznati koncepti. Potrebno je sagledati kompletnu sliku poslovnog sistema i uočiti ključne procese a zatim težiti ka efikasnosti kako ekonomskih tako i neekonomskih performansi.

3.1 LEAN – principi

LEAN mišljenje se može opisati kao sposobnost ljudi da postignu efikasna rješenja koja obezbjeđuju dobit organizaciji, kao i zadovoljstvo zaposlenih i potrošača. Ono pruža mogućnost da se definišu sve aktivnosti koje *dodaju* vrijednost proizvodu iz perspektive korisnika (Slika 3).



Sl. 3. Aktivnosti po procesima - vrijeme

LEAN koncept je razvijeni model upravljanja proizvodnjom u kontekstu unapređenja kvaliteta i inženjerskih procesa gdje se vrši proces reorganizacije kroz identifikaciju pet principa (Womack i Jones, 1996):

1. definisanje vrijednosti proizvoda za kupca,
2. utvrđivanje vrijednosti tokova,
3. kreiranje vrijednosti tokova ,
4. uvođenje principa „vučenje“ i
5. težnja ka savršenstvu.

LEAN proizvodnja je skup metoda i tehnika koje imaju za cilj da u najvećoj mogućoj mjeri smanje sve gubitke koji nastaju tokom procesa proizvodnje i svih procesa u preduzeću. Ovih pet principa vode ka razumjevanju LEAN filozofije u preduzećima. Njihova zajednička primjena u svim procesima proizvodnog sistema može značajno poboljšati efikasnost istog. Za implementaciju LEAN koncepta u proizvodnim sistemima treba da se posjeduje sposobnost i volja, te da se usvoji nov način ponašanja - *LEAN ponašanje* i nov način mišljenja - *LEAN mišljenje*. Time se razvija i osposobljava radna snaga za korišćenje LEAN alata i metoda neophodnih za ostvarivanje definisanih ciljeva poslovnog sistema [1].

3.2 LCA metoda

LCA (Life Cycle Assessment) je novi pristup u projektovanju proizvoda, koji respektuje zahtjeve svih stejkholdera izražene direktivama **RoHS**, **WEEE** i mnogim međunarodnim standardima [2].

Standardi ISO14040 i ISO14044 daju principe, okvire, zahtjeve i uputstva za sprovođenje postupka ocjenjivanja životnog ciklusa. LCA kvantifikuje moguće uticaje na životnu sredinu kroz cjelokupan životni ciklus proizvoda od ekstrakcije sirovina, proizvodnje, upotrebe i postupanja na kraju životnog ciklusa, recikliranja i konačnog odlaganja (eng. *Cradle to Grave*).

Studija LCA sastoji se iz četiri faze [3]:

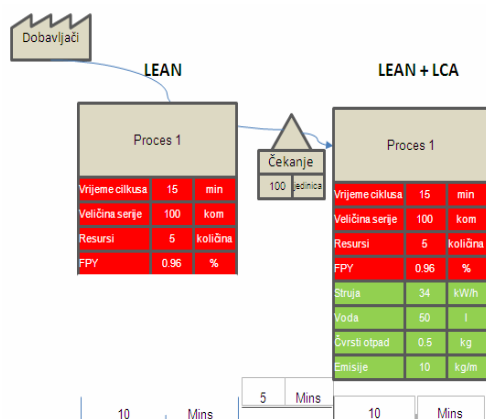
1. definisanje cilja, predmeta i područja primjene,
2. analiza inventara (LCI),
3. ocjenjivanje uticaja životnog ciklusa (LCIA) i
4. interpretacija rezultata studije.

3.3 LEAN koncept i LCA metoda

LEAN koncept u proizvodnim sistemima se bazira na projektovanju proizvodnih procesa koji su primjenljivi, fleksibilni, dosljedni i održivi u prostoru i vremenu. LEAN filozofija stvara proizvodni sistem zasnovan na stvarnim potrebama kupaca i kontinuiranom unapređenju svih procesa.

Ocjena životnog ciklusa (LCA) obuhvata skup procesa u kojima se identifikuju i analiziraju materijalni i energetske tokovi i moguć uticaj emisije otpadnih tokova na vazduh, vodu i zemlju.

Integracijom LEAN i LCA postiže se efikasnije donošenje strateških odluka u svim fazama procesa pružanjem relevantnih informacija o efikasnijim rješenjima sa operativnog i tehničkog aspekta. Pri ovome je potrebno dati poseban aspekt na evaluaciju izvodljivosti u lokalnoj sredini i na globalnom nivou, kroz optimizaciju inženjerskih procesa i evaluaciju uticaja na životnu sredinu (Slika 4) [4].



Sl. 4. Integracija LEAN i LCA

Poslovanje po LEAN principima, primjenom mnogih metoda i alata, teži smanjiti otpad/rasipanje u svim procesima stvaranja proizvoda/usluga. Jedan od značajnih alata u implementaciji LEAN koncepta je mapa toka vrijednosti (VSM - Value Stream Mapping), koja vizuelno prikazuje skup procesa u vremenu sa svim aktivnostima koje *dodaju* i *ne dodaju* vrijednosti proizvoda/usluga. Takođe, LEAN se zasniva na Kaizen (kai – promjena, zen – dobro) razmišljanju usmjerenom ka kontinuiranom unapređenju i filozofiji prema kojoj se svi aspekti života trebaju stalno poboljšavati. Sistemskim pristupom na eliminaciji definisanih sedam vrsta otpada (jap. *muda*, Taiicho Ohno 1990), LEAN proizvodnja bitno utiče na poboljšanje ekoloških performansi organizacije ali LEAN koncept ne uzima dvije vrste otpada, ekološki rizik od proizvodnih procesa i uticaj životnog ciklusa proizvoda/usluga na životnu sredinu. Koncept održivog razvoj zasniva se na smanjenju ekološkog otpada i otpada LEAN proizvodnje. Integracijom “Environmental Kaizen“ i „Time Kaizen“ pri mapiranju toka vrijednosti moguće je praćenje ekonomskih indikatora (kvalitet proizvoda, cijena i rok) i eko-indikatora (kvalitet ekosistema, kvalitet života i obnovljivi resursi) (Slika 5)[5].

Aktuelni koncepti upravljanja otpadom fokusiraju se na otpad ukupne proizvodnje preduzeća. Međutim, otpad se stvara u pojedinačnim procesima proizvodnje i upravljanje otpadom zahtijeva usmjeravanje i obuku inženjera da znaju u vezi stvaranja otpada štetnog za životnu sredinu odgovoriti na pitanja: ŠTA, GDJE, KADA i KOLIKO (količina i vremenski period)? [6].

4. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Sve veći broj preduzeća poklanja značajnu pažnju konceptu održivog razvoja. Osmišljena praksa smanjenja uticaja na životnu sredinu i minimiziranje potrošnje energije i sirovina doprinosi održivom razvoju ali i efikasnijem poslovanju. Glavni problem u poslovnom svijetu je minimiziranje troškova i štetnih uticaja na životnu sredinu što je moguće postići implementacijom LEAN principa i LCA metode. LEAN koncept ima mogućnost da identifikuje otpad u procesima ali ne kvantifikuje ekološki uticaj procesa i zbog toga su LCA i LEAN komplementarni, jer imaju mogućnost da međusobno umanje svoje nedostatke. U analizi ključnih procesa u preduzeću neophodno je primjeniti obe metodologije, tj. ako otpad nastaje u posmatranom procesu treba izvršiti



Sl. 5. Mapa toka vrijednosti (EVSM=LEAN+LCA)

5. REFERENCE

- [1] Womack JP, Jones DT: *Lean Thinking*, Simon & Schuster, New York, 1996
- [2] Arsovski, S., i dr.: *Postupak ocenjivanja životnog ciklusa proizvoda*, 38. Konferencija o kvalitetu, p.p 131-136, Kragujevac, 2011.
- [3] SRPS ISO 14040:2008 ., *Upravljanje zaštitom životne sredine - ocenjivanje životnog ciklusa*, Principi i okvir, II izdanje, 2008.
- [4] Castellani, V., Serenella S.: *Integration of LCA and C-Lean for sustainability assessment of short supply chain related to forest products*, <http://boa.unimib.it/bitstream/>, maj 2014.
- [5] Roosen, T. J., Pons D. J.: *Environmentally Lean Production: The Development and Incorporation of an Environmental Impact Index into VSM*, Journal of Industrial Engineerin, ArticleID298103, Hindawi, 2013.
- [6] Banawi, A., Bilec, M.: *A framework to improve construction processes: Integrating Lean, Green and Six Sigma*, International Journal of Construction Management, Vol. 0, No. 0, 1-14, Taylor & Frances, 2014.

Autori: Doc. dr Zorana Tanasić, Doc. dr Goran Janjić, Prof. dr Miroslav Bobrek, Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet, V. Stepe Stepanovića 71, 78 000 Banja Luka;

Prof. dr Borut Kosec, Univerza v Ljubljana, Naravoslovnotehniška fakulteta, Aškerčeva cesta 12, 1000 Ljubljana;

Prof. dr Mirko Soković, Univerza v Ljubljani,

Fakultet za strojništvo, Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana.

E-mail: zorana.tanasic@unibl.rs,

borut.kosec@omm.ntf.uni-lj.si,

goran.janjić@unibl.rs,

mirko.sokovic@fs.uni-lj.si,

bobrek.miroslav@gmail.com

Prica, M., Adamović, S., Radonić, J., Turk Sekulić, M., Pavlović, Ž., Adamović, D., Kašiković, N.

PROCENA UTICAJA CINKA IZ OTPADNIH POLIMERNIH FLEKSO ŠTAMPANIH GRAFIČKIH MATERIJALA NA ŽIVOTNU SREDINU NAKON NJIHOVE DISPOZICIJE

Rezime: Životna sredina se usled tehnološkog razvoja grafičke proizvodnje suočava sa velikom količinom štampanih grafičkih materijala, posebno ambalažnih materijala (papira, kartona, kesa, filmova, itd.), ali i sa problemom njihove dispozicije. Mnoge štamparske boje i prevlake, koje se koriste u proizvodnji štampanih grafičkih materijala, sadrže različite polutante potencijalno opasne po životnu sredinu i ljudsko zdravlje. Metali kao hazardni polutanti nakon dispozicije mogu migrirati u različite sisteme i negativno uticati na životnu sredinu. U tom cilju, neophodno je praćenje uticaja metala kroz njihovu migraciju iz otpadnih polimernih flekso štampanih grafičkih materijala na životnu sredinu.

Ključne reči: metali, otpad, grafički materijali

1. UVOD

Zadatak grafičke industrije je dizajn, priprema, štampanje (umnožavanje) i završna grafička obrada širokog spektra grafičkih proizvoda. Materijali koji se koriste u grafičkoj industriji su veoma različiti i složeni i u velikoj meri utiču na kvalitet grafičkog proizvoda. Poznavanje strukture i osobine materijala i njegovih eksploatacionih svojstava uslovljava izbor optimalnog tehnološkog postupka u grafičkoj industriji [1].

Razvojem grafičke tehnologije raste i potreba za raznovrsnijim materijalima kao podlogama za štampu. Jedni od često korišćenih materijala su polimerni materijali koji se uglavnom štampaju flekso tehnikom štampe [1].

Flekso štampa predstavlja jednu od najzastupljenijih tehnika štampe. Pripada kategoriji visoke štampe sa štamparskom formom na kojoj izdignuti delovi predstavljaju štampajuće elemente, dok su udubljeni delovi neštampajući elementi. To je tehnika štampe koja je doživela najveći porast na globalnom nivou. Iako se ovom tehnikom mogu štampati razni grafički proizvodi, ona prvenstveno služi kao ambalažna štampa. Štampa se vrši iz rolne u rolnu čime je olakšana kasnija obrada [1,6].

Izrada ambalaže je veoma brza (između 50 i 350 m/min), a štampaju se uglavnom veliki tiraži. Mašine su često šestobojne ili osmobjone zbog štampe na neupojnim površinama koje zahtevaju najpre nanos bele boje kao podloge, na koju se potom nanose ostale boje i lak. Kod flekso štampe se teško postiže određena boja upotrebom CMYK boja, zbog čega se većina spot boja štampa kao poseban prolaz.

Krajnji kvalitet otiska zavisi prvenstveno od štamparske forme i od kvaliteta materijala na koji

se prenosi boja. Boje koje će se koristiti tokom štampe uglavnom zavise od vrste materijala na kome se vrši štampa. U zavisnosti od toga mogu se koristiti boje na bazi alkohola, boje na vodenoj bazi ili UV boje.

Materijal podloge takođe određuje i odabir štamparske forme (deblje ili tanje; tvrde ili mekše). Pri procesu štampe fleksografkom štamparskom mašinom boja predstavlja jedan od osnovnih elemenata. Cilj štampe jeste da se boja prenese na podlogu i time dobije što kvalitetniji otisak.

Flekso štamparske boje su tečne, niskog viskoziteta i neophodno je da se brzo suše zbog njihove isparljivosti.

Boje koje se koriste u fleksografiji mogu se podeliti na [7]:

- boje na vodenoj bazi koje imaju dobru otpornost na trenje. Ukoliko se kao podloga koriste polietilen, polipropilen ili poliester, boje se moraju sušiti isparavanjem. Neškodljive su po okolini što je razlog sve veće primene u industriji;
- boje na bazi rastvarača koje su veoma kvalitetne i pouzdane, ali sadrže veliku koncentraciju sumpor-dioksida koji je veoma opasan za čoveka i njegovu okolinu.
- UV boje koje se ne suše, već se stvrdnjavaju pod uticajem ultraljubičaste radijacije visokog intenziteta. Sredstva za razređivanje i održavanje boja se u potpunosti razlikuju nego kod boja na bazi vode i rastvarača. Sama boja ne sadrži razređivače, pa samim tim nema ni štetnih isparenja. Korišćenjem UV boja postiže se bolji kvalitet i oština slike. One pokazuju odličnu otpornost na otiranje i hemijsku otpornost. Boja je dosledna, visokog sjaja, pruža zaštitu od izbleđivanja i neprozirnosti.

Prehrambeni proizvodi se pakuju u neki od ambalažnih materijala: papir premazan sa polietilenom (PE) ili polivinilen-hloridom (PVDC), lakiranim celofanom ili polimerom premazanim celofanom, orjentisana polipropilenska (OPP) folija [2,5], polietilenska (PE) folija, sedefna polipropilenska (SPP) folija, metalizirana polipropilenska (MPP) folija i razne druge mono-, dupleks- i višeslojne polimerne folije.

Ambalažni materijali, kao i samo pakovanje imaju dve glavne funkcije: očuvanje i zaštitu sadržaja proizvoda u pogledu roka trajanja i upotrebu čime se značajno doprinosi kvalitetu proizvoda [2-5,8]. Polietilen je termoplastični polimer koji se sastoji od hidrokarbonskih lanaca. Uglavnom nalazi primenu u proizvodnji ambalaže, kesa, torbi, folija, membrana, rezervoara, boca i dr. Upotrebom sedefastog efekta u velikoj meri je olakšano bojenje plastičnih proizvoda, pre svih polipropilena. Najveći efekat se postiže pri upotrebi na providnoj plastici. Ovi pigmenti poseduju sjaj i efekat prelamanja boja koji ih izdvaja u odnosu na druge pigmente. Pigmenti se sastoje od mikročestica premazanih jednim ili više slojeva metal oksida. Koncentracija premaza varira od 10% do 60%. Da li će efekat sedefastih pigmenta biti mat (čestice su veličine 500-2000 μm) ili sjajan (veličine od $\geq 6,4 \text{ mm}$; $\geq 0,25 \text{ in}$) prvenstveno zavisi od mikročestica. Odsjaj nastaje zbog oblika čestica i indeksa prelamanja.

Polipropilen se može istezati ili orijentisati po želji kako bi se postigao željeni rezultat, tj. forma proizvoda. U zavisnosti da li se polipropilen orijentiše po jednoj ili dve ose, on može biti biaksijalno orijentisan ili orientisani polipropilen. Osobine polipropilena (otpornost na vlagu, otpornost na pucanje, otpornost na niske temperature, opacitet, dimenzije itd) u velikoj meri zavise od orijentacije. Oriencijom osobine polipropilena se mogu u velikoj meri poboljšati, a što je bolji balans između mašine i orijentacije, to su bolja svojstva polimera.

Kako bi se estetski ulepšao proizvod, kao i da se poboljšaju neka svojstva proizvoda koriste se razni efekti. Jedan od njih je i metaliziranje proizvoda. Metalne čestice služe kako bi se proizveo srebrnkasti sjaj ili zlatno bronzani efekat. Kako bi se postigao metalni efekat uglavnom se koriste aluminijum, bakar i legure bakra i cinka (bronz). Debljina čestice iznosi $< 1 \mu\text{m}$, dok je dužina $< 50 \mu\text{m}$. Manje čestice proizvode bolji opacitet i metalni odsjaj, a veće čestice daju veću bistrinu i blistanje.

Generalno, ambalaža sa koloritno štampanim spoljnim slojem se koriste za pakovanja prehrambenih proizvoda kako bi se naveli

potrošače da ih kupite.

Životna sredina se usled razvoja grafičke proizvodnje suočava sa velikom količinom otpadnih štampanih grafičkih materijala (plastične kese, konzerve, staklene flaše, stari papir, celofan, plakati, kutije od kartona i lepenke, itd), a kasnije i sa problemom njihove dispozicije. Otpadni štampani grafički materijali mogu sadržati različite metale potencijalno opasne po životnu sredinu iz boja i pigmenta, punila, stabilizatora, lakova, lepila, itd. Metali kao hazardni polutanti nakon dispozicije mogu migrirati u različite medijume i negativno uticati na životnu sredinu, pre svega na zemljište divljih i komunalnih deponija, ali i u procedne vode [2-5]. Većina deponija u Srbiji ne ispunjava ni najosnovnije uslove za zaštitu okoline, a zauzima i sve veće prirodne površine. Problem divljih deponija se neće u skorije vreme rešiti, ali bi se moglo poraditi na smanjenju uticaja ovog problema. Građani Srbije svake godine bace oko 2,5 miliona tona smeća. Samo 60% se sakuplja organizovano i odlaže na neku od 164 zvanično registrovane opštinske deponije dok ostali otpad završava pored puteva, reka i naselja, na više od 3000 divljih deponija. Iako se poslednjih godina radilo na smanjenju broja divljih deponija, mnoga ilegalna smetlišta su ponovo nikla.

Većina pigmenta štamparskih boja su na bazi metalnih jedinjenja kao što su Zn, Cu, Pb i Cr. Međutim, većina pakovanja je loše osmišljena tako da unutrašnji i spoljašnji sloj ne održavaju strukturalni integritet, omogućavajući da komponente grafičke boje u spoljašnjem sloju paketa migriraju u prehrambeni proizvod [2-5]. Ne sme isključiti i važnost migracije komponenta grafičke boje i u spoljašnju sredinu. Migraciju metala, kao komponenta grafičkih boja, iz polimernih flekso štampanih ambalažnih materijala u spoljašnju sredinu (komunalne i divlje deponije i površinske akvatične sisteme) potrebno je sprovesti da bi se procenio uticaj otpadne ambalaže na spoljašnju sredinu.

U radu je prikazana procena uticaja cinka iz otpadnih polimernih flekso štampanih grafičkih ambalažnih materijala na životnu sredinu na osnovu korišćenja takozvanih testova migracije.

2. EKSPERIMENTALNI DEO

U radu je praćena migracija cinka iz ambalažnih polimernih materijala štampanih tehnikom flekso štampe na odgovarajućim podlogama: Perfex wc papir (P) - štampan na polietilenskoj (PE) foliji i Plazma (S) - štampan na sedefnoj polipropilenskoj (SPP) foliji, Cookies (O) - štampan na orjentisanoj polipropilenskoj (OPP) foliji i Kafa (M) - štampan na metaliziranoj

polipropilenskoj (MPP) foliji. Ispitivani uzorci su štampani flekso bojama koje su višekomponentne smeše tečnih pigmentnih koncentrata na bazi poliuretanskog veziva i organskih rastvarača (proizvođača TORDA-ZVEZDA, Srbija).

Test migracije sproveden je u cilju ispitivanja mogućnosti migracije cinka iz polimernih flekso štampanih ambalažnih materijala. Uzorci za test migracije, usitnjeni komadi polimernih flekso štampanih ambalažnih materijala istih dimenzija 7,0 cm x 8,0 cm (ukupne površine: 56,0 cm²), a sledećih masa: 0,20 g Perfeks wc papira, 0,22 g Plazma, 0,10 g Cookies keksa i 0,59 g Kafe. Mase ispitivanih uzoraka odmerene su na tehničkoj vagi PS 2100/C2 (RADWAG, Poljska) sa tačnošću ±0,01 g.

Svi usitnjeni uzorci su potapani u 50 ml neutralnog (pH 7,0). Ovo je 30-dnevno testiranje, a analize su urađene 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 15, 20, 25 i 30 dana na sobnoj temperaturi. Za svako merenje, 50 ml alikvota je zakiseljeno sa cc HNO₃ (Merck, Nemačka).

Koncentracije cinka u pripremljenim rastvorima određene su na atomskom absorpcionom spektrofotometru (Thermo Scientific - SOLAAR S serije AA spectrometer), plamenom tehnikom u skladu sa USEPA 7000b metodom. Za kalibracionu krivu upotrebljen je osnovni rastvor cinka koncentracije 1000 µg/ml (AccuStandard, Inc., SAD). Limiti detekcije metode za cink je 0,005 mg/l.

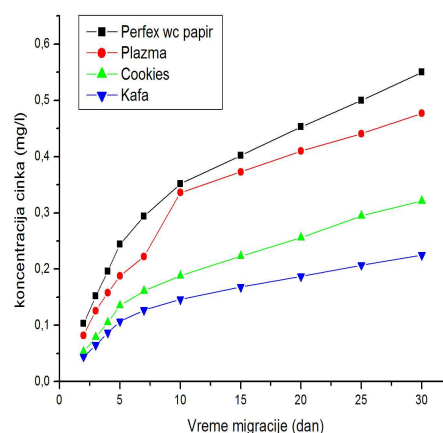
Za procenu uticaja cinka iz navedenih ambalažnih materila na zemljište korišćene su srednje vrednosti koeficijenta raspodele K_{sw} (K_s/K_w) preuzete iz literaturnih podataka [9].

3. REZULTAT I DISKUSIJA

Posmatranjem koncentracija cinka tokom 30-dnevnog izluživanja u neutralan rastvor iz ambalaže Perfex wc papira koncentracija cinka se povećavala u intervalu od 0,058 do 0,550 mg/l pri čemu je koncentracija cinka 30. dana u odnosu na 1. dan bila veća 9,5 puta.

Tokom 30-odnevnog praćenja migracije cinka iz ambalaže Plazme u neutralnu sredinu koncentracija cinka se menja u intervalu od 0,041 do 0,477 mg/l, pri čemu se koncentracija cinka povećala 11,63 puta tokom 30-odnevne migracije u neutralan rastvor. Analizom cinka u neutralnom rastvoru tokom 30-dnevnog kontakta istog i ambalaže Cookies cink migrira od prvog (0,027 mg/l) do poslednjeg (0,321 mg/l) dana sa porastom koncentracije od 11,9 puta. U neutralnoj sredini, tokom 30 dana kontakta rastvora sa ambalažom Kafe migrira cink u intervalu od 0,023 do 0,225 mg/l. Nakon 30 dana trajanja eksperimenta

koncentracija cinka se povećala 9,8 puta. Koncentracije cinka povećava se sa vremenom kontakta ambalažnog materijala i rastvora i raste u nizu: Kafa < Cookies keks < Plazma keks < Perfeks wc papir (slika 1).



Sl. 1. Koncentracije u cinka u neutralnom rastvoru tokom 30-dnevne migracije iz ambalaža Perfeks wc papira, Plazme, Cookies-a i Kafe

Procena uticaja migracije cinka iz ambalažnih materijala je urađena na osnovu srednjih vrednosti koeficijenata raspodele K_{sw}:

$$K_{sw} = \frac{c_s}{c_w} \quad (1)$$

gde su: K_{sw} - koeficijent raspodele u l/kg, c_s - koncentracija u zemljištu (mg/kg), c_w - koncentracija u vodi (mg/l).

Na osnovu ove zavisnosti izračunate su srednje vrednosti koncentracije cinka u zemljištu koje bi mogle da se dovedu u vezu sa migrirajućim cinkom iz ambalažnih materijala (tabeli 1).

VM (dan)	1	2	3	4	5
c _s (P),	0.52	0.92	1.35	1.74	2.17
c _s (S)	0.36	0.73	1.12	1.41	1.67
c _s (O)	0.24	0.47	0.70	0.93	1.20
c _s (M)	0.20	0.39	0.58	0.77	0.95
	10	15	20	25	30
c _s (P)	3.13	3.58	4.03	4.45	4.90
c _s (S)	2.99	3.32	3.65	3.92	4.25
c _s (O)	1.67	1.98	2.28	2.63	2.86
c _s (M)	1.30	1.50	1.66	1.84	2.00

Tabela 1. Procena koncentracije cinka (mg/kg) u zemljištu na osnovu određenog ambalažnog materijala.

Na osnovu rezultata prikazanih u Tabeli 1 možemo zaključiti da su koncentracije cinka ispod

ciljne vrednosti koje propisuje zvanična regulativa [10].

Koncentracije su se kretale u širokom opsegu od 0.20 mg/kg do 4.90 mg/kg i rasle su sa porastom vremenskog perioda kontakta ambalažnog materijala i vodenog rastvora, a samim tim i kontakta ambalažnog materijala i zemljišta.

Za realniju i detaljniju procenu uticaja metala iz ambalažnih materijala neophodna su dalja ex-situ i in-situ ispitivanja u dužem vremenskom periodu jer je i u realnim uslovima depozicija i boravak ambalažnih materijala dugoročniji.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata tokom 30-dnevnog praćenja migracije cinka iz ispitivanih uzoraka polimernih flekso štampanih ambalažnih materijala (Perfex wc papir, Plazma, Cookies i Kafa) mogu se izvesti sledeći zaključci: vrsta i sastav ambalažnog materijala određuju koncentracioni interval migrirajućeg cinka, priroda grafičke boje određuje koncentraciju migrirajućeg metala, i koncentracija migrirajućeg cinka povećava se eksponencijalno sa povećavanjem vremena kontakta ambalažnog materijala i rastvora. Urađena je i procena prisutne koncentracije cinka u zemljištu na osnovu koncentracije cinka koji je migrirao u vodeni rastvor.

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da se u polimernim ambalažnim materijalima nalazi cink koji potiče iz: aditiva ambalažnih polimera (koji im poboljšavaju fizičke i hemijske karakteristike) i grafičkih boja (nanešenim procesom štampe).

Metali vremenom migriraju, a migrirajuća koncentracija se povećava u zavisnosti od uslova kojima su ambalažni materijali izloženi. Prateći koncentraciju cinka u uzorcima ispitivanih polimernih flekso štampanih ambalažnih materijala, naš zaključak je da će proizvođači ambalažnih materijala kao i grafička industrija pomoći da se ispune standardi kvaliteta za bezbednost upotrebe ambalažnih materijala ukoliko ograniče zagađujuće materije u njihovim sirovinama i proizvodima.

Kako količina polimernog otpada zavisi od nekoliko faktora: broja stanovnika, tržišnih trendova vezanih za pakovanje i stepena efikasnosti sortiranja otpada neophodno je i potrebno dugoročno sprovesti studiju o uticaju otpadnog štampanog ambalažnog materijala na životnu sredinu.

ZAHVALNICA

Autori žele da se zahvale za finansijsku podršku Pokrajinskom sekretarijatu za nauku i tehnološki

razvoj AP Vojvodine, u okviru projekta 114-451-4133/2013-03.

5. LITERATURA

- [1] Novaković, D.: *Introduction in graphic technologies*, Faculty of Technical Science, Novi Sad, 2008.
- [2] Long, Y.Y., Shena, D.S., Wang, H.T., Lub, W.J., Zhaob, Y.: *Heavy metal source analysis in municipal solid waste: Case study on Cu and Zn*, J. of Haz. Mat., 1082-1087, 2011.
- [3] Erses, A.S., Fazal, M.A., Onay, T.T., Craig, W.H.: *Determination of solid waste sorption capacity for selected heavy metals in landfills*, Journal of Hazardous Materials, 223-32, 2005.
- [4] Huerta-Pujol, O., Soliva, M., Giro, F., Lopez, M.: *Heavy metal content in rubbish bags used for separate collection of biowaste*, Waste Management, 30, pp. 1450-1456, 2010.
- [5] Kim, K.C., Park, Y.B., Lee, M.J., Kim, J.B., Huh, J.W., Kim, D.H., Lee, J.B., Kim, J.C.: *Levels of heavy metals in candy packages and candies likely to be consumed by small children*, Food Resear. Intern., 411-18, 2008.
- [6] Filipović, N., Lazić, V., Filipović, J., Gvozdrenović, J., Novaković, D.: *Packaging material characteristics contributing to shelf-life of rusk*, Romanian Biotechnological Letters, 17, pp. 7125-7135, 2012.
- [7] Novak, G., *Grafični materiali*, Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo, Ljubljana, 2004.
- [8] Coles, R., McDowell, D., Kirwan, M.: *Food Packaging Technology*, Blackwell Publishing, CRS Press, USA, 2003.
- [9] Đukić, M., *Raspodela nekih opasnih materija u sistemima sediment-voda na lokalitetu Ratno ostrvo u Novom Sadu*, Magistrarska teza, PMF, Novi Sad, 2003.
- [10] Sl. Glasnik RS. Uredba o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sediment i rokovima za njihovo dostizanje, 50/2012.

Autori: Assist. Prof. Dr. Miljana Prica, Assist. M.Sc. Savka Adamović, Assist. Prof. Dr. Jelena Radonic, Assist. Prof. Dr. Maja Turk Sekulic, Assist. Prof. Dr. Živko Pavlović, Assist. M.Sc. Dragan Adamović, Assist. Prof. Dr. Nemanja Kašiković Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2620.
E-mail: miljana@uns.ac.rs

Al-Jidah, R., Agarski, B., Budak, I., Vilotić, D., Kosec, B., Hodolič, J.

MONITORING I UNAPREĐENJE ASPEKATA ŽIVOTNE SREDINE U TOPLANAMA

Rezime: Pored osnovog cilja proizvodnje i distribucije toplotne energije, posebna pažnja u toplanama posvećuje se zaštiti životne sredine koja uključuje kontinualni monitoring, kontrolu i unapređenje aspekata životne sredine, izradu studija o proceni uticaja na životnu sredinu i procenu potencijalnih rizika.. U radu je razmatran monitoring aspekata životne sredine u toplanama i prikazan je primer merenja i sanacije povišenog nivoa buke nastalog radom podstanice toplane. Sanacija povišenog nivoa buke u toplotnim podstanicama najčešće podrazumeva prepravku cevnih instalacija i zamenu cirkulacionih pumpi u podstancici.

Ključne reči: monitoring, aspekti životne sredine, merenje nivoa buke

1. UVOD

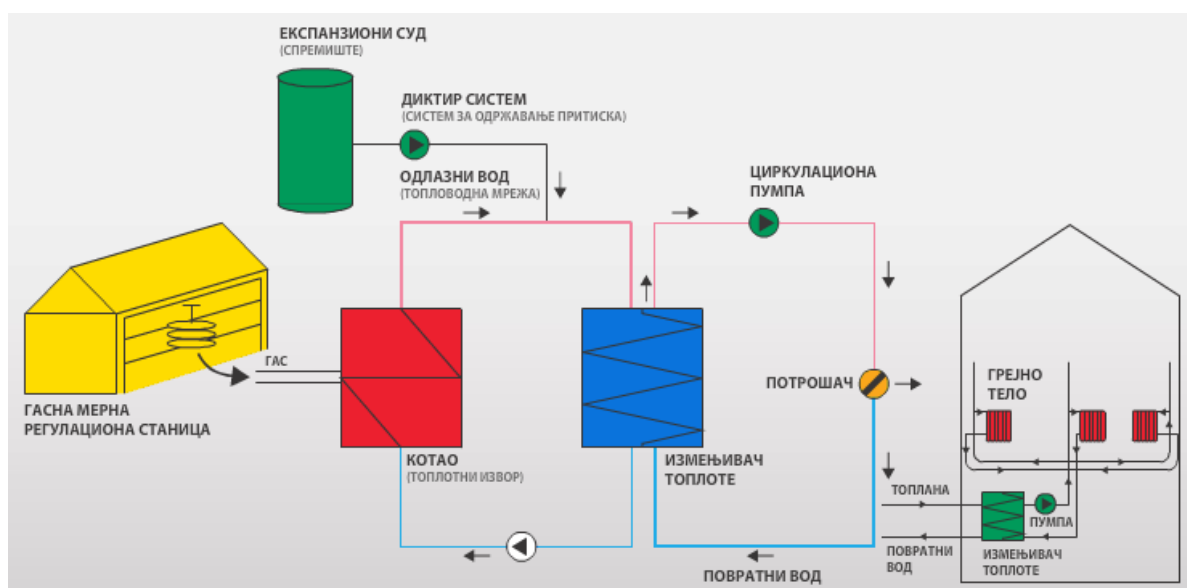
Sve ljudske delatnosti su povezane sa potrošnjom i proizvodnjom i u manjoj ili većoj meri utiču na životnu sredinu. Procesi sagorevanja predstavljaju glavne izvore zagađivanja vazduha gde se naročito mogu izdvojiti stacionarni procesi sagorevanja kao što su kotlovi za proizvodnju toplotne energije za zagrevanje stambenih i industrijskih objekata, tj. toplane [1, 2]. Pored osnovog cilja proizvodnje i distribucije toplotne energije, posebna pažnja u toplanama posvećuje se zaštiti životne sredine koja uključuje kontinualni monitoring, kontrolu i unapređenje aspekata životne sredine, izradu studija o proceni uticaja na životnu sredinu i procenu potencijalnih rizika.

Rad je strukturiran u dve osnovne celine ako se izuzmu uvod, zaključak i literatura. Prva celina vezana je za osnovne aspekte životne sredine,

monitoring istih u sistemu toplana. Druga celina prikazuje primer merenja i sanacije povišenog nivoa buke nastalog radom podstanice toplane.

2. MONITORING ASPEKATA ŽIVOTNE SREDINE U TOPLANAMA

Sistem daljinskog grejanja u toplanama (slika 1) sastoji se i toplotnog izvora (kotla) u kojim se zagreva prenosnik toplote (voda, para ili sl.). Prenosnik toplote se, zatim, razvodnom mrežom (cevovodima) dovodi do toplotne predajne stanice (podstanice) i do grejnih tela (radijatora, cevi podnog grejanja, zagrejača vazduha i sl.) koja se nalaze u prostorijama. Na taj način toplotna energija sa prenosnika toplote (voda, para ili sl.) neposredno se prenosi na vazduh u prostorijama koje se zagrevaju.



Sl. 1. Proizvodnja i distribucija toplotne energije sistemom daljinskog grejanja [3]

Monitoring i unapređenje aspekata životne sredine u sistemu toplana može se sagledati kroz sledeće faze:

- praćenje aspekata životne sredine: voda, vazduh, zemljište i otpad,
- procene potencijalnih rizika po životnu sredinu, ukoliko postoji,
- procena mogućnosti za upravljanjem životnom sredinom,
- utvrđivanje korektivnih akcija za poboljšanje stanja životne sredine, umanjnjem sadašnjeg rizika po životnu sredinu i preuzimanje odgovornosti.

Monitoring aspekata životne sredine u toplinama predviđen je zakonom o integrisanom sprečavanju i kontroli zagađivanja životne sredine [4] kojim se uređuju uslovi i postupak izdavanja integrisane dozvole za postrojenja i aktivnosti koje mogu imati negativne uticaje na zdravlje ljudi, životnu sredinu ili materijalna dobra. Integrisana dozvola je neophodna za rad postrojenja i obavljanje aktivnosti, a zahtev za njeno izdavanje mora sadržati i mere za smanjenje nastajanja i uklanjanja otpada koji nastaje prilikom funkcionisanja postrojenja, kao i plan upravljanja otpadom. Za postrojenja toplane sa instaliranom snagom većom od 50 MW neophodno podnošenje zahteva za integrisanu dozvolu.

Da bi se smanjilo zagađenje emisije produkata sagorevanja u vazduh, kao posledica neadekvatnog kvaliteta goriva (mazut, ugalj), gde tehničke mogućnosti to dozvoljavaju, zahteva se korišćenje alternativnih izvora energije kao što je biomase, u obliku peleta i briketa.

Gubici vode i utrošak hemijskih supstanci su pokazatelji stepena uspešnosti rada postrojenja. Unapređenja i poboljšanje rada postrojenja je i smanjenje gubitaka vode, a samim tim i ušteda primarnih resursa (vode, struje, energenata) i hemijskih supstanci.

Kontrolom kvaliteta otpadnih voda u toplinama i kotlarnicama vrši se ocena boniteta ispuštene vode, kao i trenda zagađivanja voda i tehničke ispravnosti uređaja za prečišćavanje voda. Posebna pažnja, fokusira se na izlive koji direktno i indirektno se ulivaju u reke koje služe za vodosnabdevanje naseljenih mesta, navodnjavanje i rekreaciju. U slučaju da ne može da se dostigne granična vrednost emisije, neophodno je postići odgovarajuću efikasnost prečišćavanja otpadnih voda, koja se može kroz akcioni plan preporučiti sa ciljem smanjenja zagađenja emisije zagađujućih materija u vodu.

Monitoring kvaliteta zemljišta i podzemnih voda kontroliše se pijezometrima, koje prate akreditovane i ovlašćene laboratorije treće strane.

3. MERENJE I SANACIJA POVIŠENOG NIVOA BUKE U PODSTANICI TOPLANE

Merenje nivoa buke u životnoj sredini zasniva se na sledećim sledećoj zakonskoj legislativi republike Srbije:

- Zakon o zaštiti od buke u životnoj sredini [5],
- Uredba o indikatorima buke, graničnim vrednostima, metodama za ocenjivanje indikatora buke, uznemiravanja i štetnih efekata buke u životnoj sredini [6],
- Pravilnik o metodama merenja buke, sadržini i obimu izveštaja o merenju buke [7],
- Akustika - opisivanje, merenje i ocenjivanje buke u životnoj sredini (SRPS ISO 1996) [8].

Najčešći izvori ispitivane buke u sistemu toplana su toplotne podstanice toplana, te su mesta ispitivanja uglavnom akustički najugroženiji stanovi koji se nalaze iznad ili u neposrednoj blizini toplotnih podstanica. Zahtevi za ispitivanje nivoa buke dobijaju se na osnovu žalbi stanara na povišeni nivo buke u njihovim stanovima.

Na osnovu žalbe stanara da u njihovom stanu postoji povećan nivo buke koja dolazi od rada agregata toplotno-predajne stanice, dobijen je zahtev za merenje buke u predmetnom stanu. Stan se nalazi na prvom spratu stambene zgrade iznad toplotno-predajne stanice locirane u prizemlju zgrade i može se smatrati referentnim, tj. akustički najopterećenijim bukom iz toplotno-predajne stanice.

U toplotnoj podstanici su kao izvori buke locirani:

- primarni deo podstanice opremljen merno regulacionom opremom i cirkulacionom pumpom (slika 2),
- sekundarni deo podstanice u kojem su locirane tri cirkulacione pumpe (slika 3) od kojih su dve namenjene za distribuciju toplotne energije ka potrošačima, a jedna je dopunska (recirkulaciona) za unutrašnju cirkulaciju fluida u sekundarnom delu podstanice,
- pumpe potrošne tople vode namenjene za snabdevanje potrošača toplotnom energijom za pripreme sanitarne potrošne tople vode.

Pumpa smeštena u delu sekundarnog cevnog razvoda nalazi se između izmenjivača toplote i kolektora potisnog cevovoda, a cirkulaciona pumpa primarnog dela u delu primarnog cevnog razvoda. Ostale pumpe su smeštene na potisnom cevovodu sekundarne grejne instalacije. Sve pumpe su radne i nemaju svoje rezervne pumpe.

Za razliku od pumpi primarnog i sekundarnog dela koje su radile u maksimalnim radnim režimima, recirkulaciona pumpa i obe pumpe potrošne tople vode nemaju mogućnost regulisanja režima rada (brzine obrtanja), i tokom ispitivanja

su radile u svojim uobičajenim radnim režimima. Sva ispitivanja su obavljena pri nepregrađenoj cirkulaciji fluida kroz primarni deo instalacije u podstanici i primarni deo podstanice nije identifikovan kao uticajan izvor buke.



Sl. 2. Primarni deo toplotno-predajne stanice



Sl. 3. Cirkulaciona pumpa

Merno mesto se nalazi u dnevnoj sobi referentnog stana u kojem je buka najizraženija. Soba je veličine oko 3x4 m, visine 2,6 m, opremljena je uobičajenim sobnim nameštajem i uređajima, sa parketnom podnom oblogom i tepihom na podu, i sa dva prozora ka uličnoj strani zgrade.

Merenja su vršena u sledećim pogonskim uslovima:

- pri istovremenom radu svih pumpi u toplotno-predajnoj stanici (radni uslovi kada toplotno predajna stanica distribuira toplotnu energiju samo toplotna energija za pripremu sanitarne potrošne tople vode);
- pri radu samo pumpi za pripremu sanitarne potrošne tople vode (za horizontalnu i vertikalnu cirkulaciju) čime su simulirani uslovi kada se van grejne sezone potrošačima distribuira samo toplotna energija za pripremu sanitarne potrošne tople vode.

Prvo merenje buke obavljeno 23.01.2013. god. i rezultati su bili sledeći:

- dnevna soba u uslovima distribucije toplotne energije i sanitarne potrošne tople vode: Merodavni nivo buke $L_{RAeqT} = 53$ [dB(A)],
- dnevna soba u uslovima distribucije sanitarne potrošne tople vode: Merodavni nivo buke $L_{RAeqT} = 42$ [dB(A)].

Iz rezultata prvog merenja može se zaključiti da merodavni nivoi buke prelaze graničnu vrednost buke u životnoj sredini. Ekvivalentni nivo buke u toplotno – predajnoj stanici iznosio je 73 dB(A) i budući da je veći od 70dB(A) toplotno – predajna stanica se može svrstati u bučne prostorije u smislu tačke 3 standarda SRPS U.J6.201:1990 [9].

Merenja su vršena pri pojedinačnom radu izvora buke kako bi bili identifikovani najuticajni izvori buke. Nakon merenja i dostavljenog izveštaja odgovornom licu sektora toplane, preduzeti su prvi koraci ka smanjenju povišenog nivoa buke: pumpa potrošnje tople vode za horizontalnu cirkulaciju je zamenjena remontovanom pumpom sličnih karakteristika, a dopunska recirkulaciona pumpa je kao najdominantniji izvor buke isključena i nije više bila u upotrebi.

Nakon preduzetih mera sanacije, dobijen je nov zahtev za merenje buke u predmetnom stanu te je sledeće ispitivanje obavljeno 12.02.2013. godine i rezultat merenja je bio sledeći:

- dnevna soba u uslovima distribucije toplotne energije i sanitarne potrošne tople vode: Merodavni nivo buke: $L_{RAeqT} = 34$ [dB(A)],
- dnevna soba u uslovima distribucije sanitarne potrošne tople vode: Merodavni nivo buke: $L_{RAeqT} = 29$ [dB(A)].

Ekvivalentni nivo buke u toplotno - predajnoj stanici je u drugom mernju iznosio 59 dB(A) i budući da nije veći od 70 dB(A) toplotno – predajna stanica se više ne može svrstati u bučne prostorije.

Obzirom da je u uslovima rada izvora kada se potrošačima distribuira toplotna energija i za grejanje i za pripremu sanitarne potrošne vode, nivo buke prelazio Uredbom [6] propisane nivoe

za noćni period, usledile su dalje mere sanacije. Izvršena je prepravka sekundarne cevne instalacije kako bi se smanjili otpori pri kretanju fluida, a granske cirkulacione pumpe sekundarnog dela podstanice zamenjene su drugim pumpama. Takođe i obe pumpe sanitarne potrošne tople vode (pumpe potrošne vode za horizontalnu i vertikalnu cirkulaciju) su zamenjene drugim pumpama, dok je cirkulaciona pumpa u primarnom delu podstanice isključena i fizički uklonjena iz toplotno – predajne stanice kao pumpa koja je bila pomoćna i nije neophodna za rad.

Nakon ovih mera dobijen je novi zahtev za merenje buke i treće ispitivanje je obavljeno 10.04.2013. god. Ovim merenjem dobijena je potvrda o uspešnosti preduzetih mera sanacije. Rezultati su bili sledeći:

- dnevna soba u uslovima distribucije toplotne energije i sanitarne potrošne tople vode: Merodavni nivo buke: $L_{RAeqT} = 26$ [dB(A)],
- dnevna soba u uslovima distribucije sanitarne potrošne tople vode: Merodavni nivo buke: $L_{RAeqT} = 24$ [dB(A)],

dok je ekvivalentni nivo buke u toplotno-predajnoj stanici sada bio još niži i iznosio je 54 dB(A).

Usledio je izveštaj sa sledećim zaključkom da dozvoljeni nivo buke za dnevni i večernji period iznosi 35 dB(A), a za noćni 30 dB(A). Buka u stanu u uslovima distribucije:

- toplotne energije i sanitarne potrošne tople vode: ne prelazi graničnu vrednost buke u životnoj sredini i
- samo sanitarne potrošne tople vode: ne prelazi graničnu vrednost buke u životnoj sredini.

Dobijeni rezultati potvrđuju da je uspešno završeno saniranje povišenog nivoa buke u predmetnom stanu.

4. ZAKLJUČAK

Kompleksan i veliki sistem toplane uključuje kontinualni monitoring, kontrolu i unapređenje aspekata životne sredine, izradu studija o proceni uticaja na životnu sredinu i procenu potencijalnih rizika.

Pored monitoringa emisija zagađujućih materija u vazduh, vodu i zemljište jedan od bitnih aspekata životne sredine je i merenje nivoa buke. Rezultati ispitivanja povišenog nivoa buke toplotnih podstanica su u većini slučajeva prelazili propisane dozvoljene nivoe, te su preduzimane su mere za sanaciju povišenog nivoa buke i dovođenja istog u dozvoljene granice. Sanacija povišenog nivoa buke u toplotnim podstanicama najčešće podrazumeva prepravku cevni instalacija i zamenu cirkulacionih pumpi u podstani.

6. REFERENCE

- [1] Hodolič, J.; Badida, M.; Majernik, M.; Šebo, D.; *Mašinstvo u inženjerstvu zaštite životne sredine*, Fakultet tehničkih nauka, ISBN 86-80249-75-0, Novi Sad, 2003.
- [2] Šooš, Lj., Hodolič, J.: *Upravljanje otpadom u Slovačkoj*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2008.
- [3] <http://www.beoelektrane.rs/?cat=20> (28.04.2014.)
- [4] Zakon o integrisanom sprečavanju i kontroli zagađivanja životne sredine (Službeni glasnik RS 135/04).
- [5] Zakon o zaštiti od buke u životnoj sredini (Sl. gl. RS br. 36/09).
- [6] Uredba o indikatorima buke, graničnim vrednostima, metodama za ocenjivanje indikatora buke, uznemiravanja i štetnih efekata buke u životnoj sredini (Sl. gl. RS br. 75/10).
- [7] Pravilnik o metodama merenja buke, sadržini i obimu izveštaja o merenju buke (Sl. gl. RS 72/10).
- [8] Akustika - opisivanje, merenje i ocenjivanje buke u životnoj sredini (SRPS ISO 1996-2:2010).
- [9] Akustika u građarstvu - Tehnički uslovi za projektovanje i gradnje zgrada (SRPS U.J6.201:1990)

Autori: Dipl. Ing. Ridha Al-Jidah¹), mr Boris Agarski²), Assist. Prof. dr. Igor Budak²), Prof. dr Dragiša Vilotić²), Prof. dr Borut Kosec³), Prof. dr. Janko Hodolič²).

¹) JKP "Beogradske elektrane", Savski nasip 11, Novi Beograd;

²) Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Institut za Proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Srbija;

³) University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Aškerčeva cesta 12, 1000 Ljubljana, Slovenia.

E-mail: aljidah@yahoo.com,

agarski@uns.ac.rs,

vilotic@uns.ac.rs,

budaki@uns.ac.rs,

borut.kosec@omm.ntf.uni-lj.si,

hodolic@uns.ac.rs.

Ilić, M., Budak, I., Borzan, M., Vukelić, Đ., Medić, V.

EMISIJA SUSPENDOVANIH ČVRSTIH ČESTICA U RADNOJ SREDINI ZUBNIH
TEHNIČARA – ZDRAVLJE I BEZBEDNOST NA RADU

Rezime: Suspendovane čvrste čestice u radnoj sredini zubnih tehničara nisu ni u fizičkom ni u hemijskom smislu homogene. Za uspešno upravljanje aerozagađenjem potrebna su znanja o ukupnom ciklusu vezanom za suspendovane čestice, uključujući izvore emisije čestica, procese njihovog formiranja, njihov sastav, rasprostiranje i sudbinu u radnoj atmosferi, kao i izloženost tehničara, što dalje ima uticaj na zdravlje.

U radu su prikazani rezultati merenja koncentracije čvrstih čestica, i njihova distribucija u miligramima po metru kubnom radne sredine zubnih tehničara i primena mera bezbednosti na radu. U okviru predstavljenih istraživanja uzorkovanja su vršena u zatvorenom prostoru u dentalnoj laboratoriji u Novom Sadu.

Ključne reči: čestice; radna sredina; zdravlje; stomatologija

1. UVOD

Čvrste čestice često predstavljaju zagađivač sa najvećim uticajem na životnu sredinu u urbanim područjima. Nivo kontaminacije česticama koji se može tolerisati u svim sistemima je izuzetno nizak i mora biti praćeni. Obim i veličina čestica predstavlja faktor koliko dobro i koliko će dugo, kako mehanički, tako i ljudski sistemi funkcionisati.

Pri određivanju emisije čestica u radnoj sredini od interesa je da se zna njihova priroda ili hemijski sasta, veličina i oblik čestica, njihova koncentracija, kao i dužina ekspozicije tim koncentracijama, kako bi se dala što realnija ocena o stepenu rizika po zdravlje eksponiranih radnika.

Zubni tehničari su izloženi česticama tokom čitavog radnog vremena [1]. U dentalnim laboratorijama koriste se različiti materijali za izradu različitih tipova zubnih nadoknada, kao što su krunice, zubni implantati, mostovi, hrom-kobalt skeleti, akril proteze i mnogi drugi stomatološki proizvodi. Iako je vazduh u stomatološkim laboratorijama veoma kontaminiran, veći deo udahnutih čestica je bezopasan, a sa druge strane mogu biti prisutni i materijali koji se povezuju sa hroničnim oboljenjima, poput bolesti sistema za disanje, dermatološkim problemima i alergijama [2].

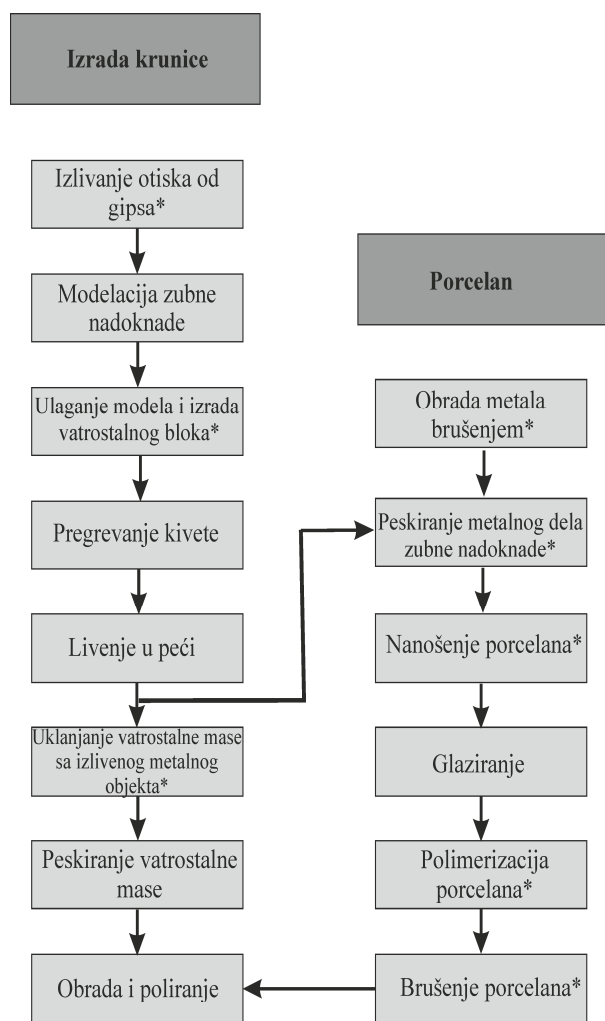
Treba koristiti adekvatnu i efikasnu zaštitu kako bi se sprečila profesionalna oboljenja. Ukoliko zubni tehničari ne koriste odgovarajuću zaštitu, delovi metalne strugotine, prašina od keramike i akrilata, kao i druge nečistoće, koje su prisutne u vazduhu laboratorija u toku izrade fiksnih i mobilnih proteza, mogu narušiti zdravlje.

Na prvom mestu, mogu izazvati oštećenja respiratornog Sistema. Tokom brušenja metalnih okvira fiksnih i parcijalnih zubnih proteza, prašina i čestice od plemenitih i ne plemenitih legura su rasute u vazduhu [3]. Čestice prašine keramike i karbida, takođe prisutne u procesu izrade proteza, mogu da dovedu do plućne silikoze. Na slici 1 su prikazane tehnološke faze procesa izrade krunice sa naglašenim (zvezdicom) osnovnim generatorima čestica u stomatološkim laboratorijama: peskarenje, poliranje i brušenje, mešanje i ulaganje.

S obzirom da je vazduha u dentalnim laboratorijama veoma zagađen česticama koju emituju različiti procesi, posebno je opasna izuzetno fina prašinu koja može da prodre duboko u pluća, uzrokujući ozbiljna oštećenja.

Čestice u radnoj sredini obuhvataju širokog opsega veličina. Ponašanje, taloženje i sudbina svake čestica nakon stupanja u ljudski respiratorni sistem, i odgovor koji izaziva, zavisi od prirode i veličine čestica. Za potrebe profesionalne higijene, važno je uzeti u obzir koncentracije čestica prisutne u različitim frakcijama veličine [4,5].

Jasno je onda da inhaktivni deo aerosola pruža polaznu tačku za razumevanje odnosa između izloženosti aerosolima i negativnih zdravstvenih rezultata. Poznavanje različitih veličina frakcija daje osnovu za razvoj kriterijuma na osnovu veličinom-selektivnih čestica. Sledi da je određivanje veličine i raspodele veličina čestica fundamentalna za karakterizaciju što je od vitalnog značaja za projektovanje i rukovanje uređajima i razvoj strategije bezbednosti na radu (prevencija, kontrola ili izolacija radne sredine).



*procesu koji emituju čestice

Sl. 1. Tehnološke faze procesa izrade krunice.

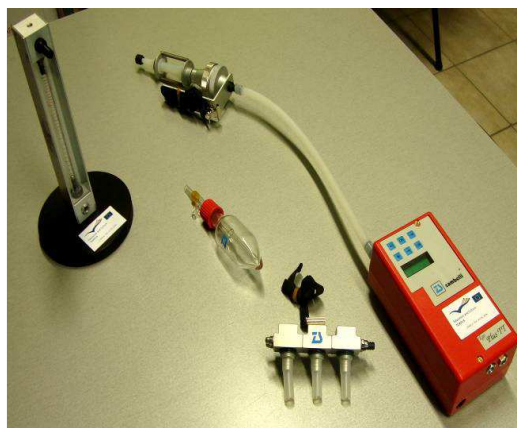
Karakterizacija čvrstih čestica u radnoj sredini obuhvata: a) analizu čestica u celini i b) analizu pojedinačnih čestica [6]. Naravno, svojstva prašine kao celine zavise od svojstava pojedinačnih čestica. U glavne karakteristike čestica spadaju koncentracija, veličina, oblik i homogenost sastava

2. UZORKOVANJE

Za određivanje zagađenosti radne atmosfere i određivanje čistoće vazduha na radnom mestu i životnoj sredini, razvijene su posebne analitičke metode. Radnu atmosferu treba stalno kontrolisati na koncentracije toksičnih gasova, para i čestica da li se nalaze u dozvoljenim granicama MDK. Zato metode moraju biti prikladne, dovoljno osjetljive, pouzdane i specifične. Pri tom jedna od najvažnijih faktora, radi dobijanja tačnih rezultata, pri određivanju zagađenosti radne atmosfere je način pravilnog uzimanja uzorka. U zavisnosti od cilja uzimanja uzoraka vazduha, postoje tri mesta gde ih treba uzeti [7,8]:

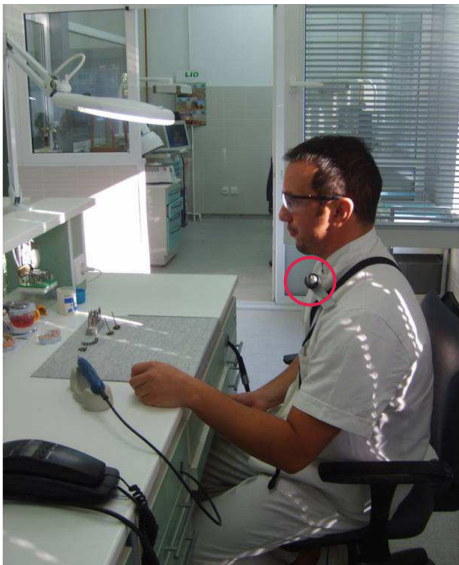
1. U neposrednoj blizini radnika u cilju ispitivanja nivoa ekspozicije zagađujućim supstancama. Ove uzorke treba uzeti u zoni disanja radnika, a ako on menja položaj za vreme rada, reprezentativne uzorke treba uzeti u svim njegovim položajima pri radu. Ovi uzorci su najvažniji u proceni štetnosti po zdravlje.
2. U neposrednoj blizini izvora aerozagađenja u cilju dobijanja informacija o količini zagađujućih supstanci ispuštenih u radnu sredinu. Ovi uzorci su važni za planiranje tehničkih mera za suzbijanje aerozagađenja.
3. Iz različitih delova radne prostorije u cilju dobijanja prostorne distribucije koncentracije aerozagađenja.

U okviru istraživanja predstavljenih u ovom radu, uzorkovanja su vršena u zatvorenom prostoru u dentalnoj laboratoriji Medicinskog fakulteta u Novom Sadu, na Katedri za stomatologiju u Laboratoriji za fiksnu i mobilnu protetiku. Korišćen je personalni uzorkivač EGO PLUS TT sa displejnim podešavanjem (slika 2), konusnim nastavkom i filterom od mešavine celuloznih estara, veličine pore 0.8 μm , prečnika 25 mm.



Sl. 2. Personalni uzorkivač za merenje praškastih materija, gasova i para u radnoj sredini.

Merenja su vršena u okviru prve zone, tj. personalni uzorkivač je pozicioniran na gornjem delu grudi, u neposrednoj blizini ključne kosti u disajnoj zoni tehničara (slika 3). Disajna zona obuhvata prostor oko lica radnika iz koga uzima vazduh, i generalna je preporuka da se ne proširuje na više od 30 cm od usta. Tokom dana, uzorkovanje je izvršeno od 09.00 do 11.00 časova.



Sl. 3. Tehničar sa personalnim uzorkivačem

Mikroklimatski parametri (brzina vazduha, temperatura i relativna vlažnost) su konstantno praćeni u toku eksperimenta, korišćenjem anemometra Lutron Elestronic za merenje brzine strujanja vazduha i uređaja za merenje vlažnosti vazduha Probus. Oba uređaja ujedno mere i temperature prostorije. Nije registrovano kretanje vazduha, tj. bilo je konstantno 0,0 m/s. Temperatura vazduha kretala se od 22 do 25 °C, a relativna vlažnost vazduha od 34% do 37%. Klima uređaj je bio isključen tokom testa.

Proba je izvršena pre uzorkovanja, radi procene stabilnosti mikroklimatskih parametara tokom dana.

3. ODREĐIVANJE KONCENTRACIJE ČESTICA

Uzorkovanje je izvršeno 8h radi procene koncentracije čestica u prostoriji gravimetrijskom metodom. Kod gravimetrijske analize korišćena je vaga Kern&Sohn ABJ 120-4M, tačnosti ± 0,0002 g (Slika 4)



Sl. 4. Vaga na kojoj se sprovodi gravimetrijska analiza filtera

Zapremina vazdušnog protoka kroz uzorkivač se izračunava množenjem srednjeg zapreminskog protoka u kubnim metrima u minuti sa vremenom uzorkovanja izraženim u minutima (napomena: protoka u litar / min = 1000 * protok u m³/min). Neto težina (mg) filtera se zatim podeli sa zapreminom uzorkovanog vazduha (m³) dajući prosečnu koncentracija čestica u miligramima po kubnom metru vazduha (mg/m³). [9,10]

$$x = \frac{m_2 * m_1}{V} * 1000 \quad (1)$$

gde je:

x - Koncentracija čestica [mg/m³],
 m₂ - masa filtera nakon uzorkovanja [mg],
 m₁ - masa filtera pre uzorkovanja [mg],
 V - zapremina uzorkovanog vazduha izračunata kao proizvod volumetrijskog intenziteta protoka vazduha [l/min] i vremena uzorkovanja [min], jedinica [l].

Vreme uzorkovanja je 8 h, protok vazduha 3,5 l/min , kada se protok i vreme uzorkovanja pomnože, dobijamo zapreminu od 1680 l. Ali personalni uzorkivač EGO plus TT obezbeđuje podatke pomoću softvera , normalizovane zapremine u "N- litara", pa zapremina uzorka vazduh , nakon normalizacije je 1618,8 l. Masa filtera pre uzorkovanja (m₁) je 0.0222 g , a nakon uzimanja uzorka je 0,2955 g (m₂) . Koncentracija čestica je:

$$x = \frac{29.55 \text{ mg} - 22.2 \text{ mg}}{1618.8 \text{ l}} * 1000 = 4.54 \text{ mg/m}^3$$

Iako je vrednost koncentracije čestica neznatno ispod maksimalne dozvoljene koncentracije, problem je takođe i u njihovom sastavu i nivou primene zaštitnih mera u svakodnevnom radu u stomatološkim laboratorijama [11].

4. ZAKLJUČAK

Postoji mnogo materijala koji se koriste na radnom mestu zubnih tehničara koji stvaraju zagađenje vazduha i mogu da oštete zdravlje tehničara. Zagađenje vazduha može biti u obliku prašine, vlakana, isparenja ili u tečnom stanju . Materijali u radnoj sredini najštetnija po ljudski organizam su ako se udišu i oštećenja zdravlja mogu biti neposredna i dugoročna . Zbog toga je važno znati kako da se zašтите ljude od respiratornih i drugih opasnosti na radnom mestu.

Obavezne zaštitne mere nisu uvek u potpunosti primenjene. Kao zaključak može se reći da je neophodno da se poboljšaju performanse

obaveznih zaštitnih ekoloških i zdravstvenih mera u stomatološkim laboratorijama, kao i edukacija zubnih tehničara o potrebama primene ovih zaštitnih mera i rizicima po životnu/radnu sredinu i zdravlje.

5. LITERATURA

- [1] Kim, T.S., Kim, H.A., Heo, Y., Park, Y., Park, C.Y., Roh, Y.M.: *Level of Silica in Respirable Dust Inhaled by Dental Technicians with Demonstration of Respirable Symptoms*, Industrial Health, 2002, Volume 40, pp.260–265
- [2] Standard SRPS EN 15051:2011: *Vazduh na radnom mestu - Merenje prašnjavosti rasutih materijala - Zahtevi i referentne metode ispitivanja*
- [3] Ireland, A.J., Wilson, A.A., Blythe, L., Johnston, N.J., Price, R., Sandy, J.R.: *Particulate production during orthodontic production laboratory procedures*, Journal of exposure science & environmental epidemiology, 2011, Volume 21, pp.536-540
- [4] Mazzoli, A., Favoni, O.: *Particle size, size distribution and morphological evaluation of airborne dust particles of diverse woods by Scanning Electron Microscopy and image processing program*, Powder Technology 225, 65–71, 2012
- [5] Standard SRPS EN 13284-1:2009: *Emisije iz stacionarnih izvora - Određivanje prašine u opsegu niskih masenih koncentracija - Deo 1: Manuelna gravimetrijska metoda*
- [6] Saad, M., Sadoudi, A., Rondet, E., Cuq, B.: *Morphological characterization of wheat powders, how to characterize the shape of particles?*, Journal of Food Engineering 102 293–301, 2011
- [7] Dutta, S., Barat, K., Das, A., Das, S.K., Shukla, A.K., Roy, H.: *Characterization of micrographs and fractographs of Cu-strengthened HSLA steel using image texture analysis*, Measurement, 2014, Volume 47, pp. 130–144
- [8] Fathie, K., Saied, M., Moftah, I., Abdelnaser, O.: *Evaluation of dental technicians awareness of health and safety rule in dental laboratories at some cities in Libya*, International journal of engineering, 125-128, 2010.
- [9] American Industrial Hygiene Association (AIHA), *Publishes manuals on the use of direct-reading instruments: Direct-Reading Instrumental Methods for Gases, Vapors, and Aerosols*, 2013.
- [10] Health and Safety Executive, *Methods for the Determination of Hazardous Substances MDHS14/3: General methods for sampling and gravimetric analysis of respirable and inhalable dust*, 2000.
- [11] Puskar, T., Ilic m., Budak I., Vukelic, Dj., Trifkovic B., Hodolic, J.: *Environmental and occupational health risks in dental laboratories*, 5. International Quality Conference, Kragujevac: Faculty of Mechanical Engineering, 20 Maj, 2011, pp. 595-602

Autori: M.Sc. Milana Ilić, Doc. dr. Igor Budak, Doc. dr. Đorđe Vukelić, M.Sc. Vestna Medić, Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Institut za Proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2306, Fax: +381 21 454-495.

Prof. Dr Marian Borzan, Technical University of Cluj-Napoca, Faculty of Machine Building, Department of Manufacturing Engineering, B-dul Muncii 103-105, 3400 Cluj-Napoca, Romania, Tel: 0264 401647; Fax: 0264 415479

E-mail: milanai@uns.ac.rs

budaki@uns.ac.rs

Marian.Borzan@tcm.utcluj.ro

vukelic@uns.ac.rs

medicv@uns.ac.rs

Crnobrnja, B., Hodolič, J., Tichá, M., Petru, J., Budak, I.

**ANALIZA AKTUELNOG STANJA U OBLASTI OZNAČAVANJA O ZAŠTITI
ŽIVOTNE SREDINE TIP I PREMA STANDARDU ISO 14024**

Rezime: Standard ISO 14024 definiše Tip I oznaka o zaštiti životne sredine. Eko-označavanje Tipa I je na globalnoj sceni prisutno nešto više od tri decenije. Razvoj programa za eko-označavanje tipa I povezan je s pojavljivanjem i prevazilaženjem niza prepreka, što je otežavalo i njihovo funkcionisanje. U radu je predstavljena analiza aktuelnog stanja u programima za eko-označavanje Evropske unije i Republike Srbije. Evropski program za eko-označavanje je tokom perioda postojanja doživeo dve značajne revizije. Rad prezentuje rezultate poslednje revizije EU programa. Prikazana je šema funkcionisanja kao i trenutno stanje u ovoj oblasti u programu Republike Srbije za eko-označavanje tipa I.

Ključne reči: Eko-znak, Eko-označavanje, Tip I

1. UVOD

Standard ISO 14024¹ definiše Tip I oznaka o zaštiti životne sredine i prvi put je objavljen 1999. godine. Ovaj međunarodni standard se odnosi na programe označavanja o zaštiti životne sredine u kojima se oznaka vezana za zaštitu životne sredine dodeljuje onim proizvodima koji zadovoljavaju skup prethodno određenih uslova [1,2]. Tip I oznaka se daje samo proizvodima koji su u svojoj kategoriji svrstani u rasponu od 15 – 20 % ekološki najprihvatljivijih. Ona ukazuje da je proizvod, ekološki gledano, povoljniji od ostalih proizvoda u okviru iste kategorije, a svrha je podsticanje kupovine proizvoda koji su ekološki prihvatljiviji [3,4].

**2. OZNAČAVANJE O ZAŠTITI ŽIVOTNE
SREDINE TIP I - PREDNOSTI I
NEDOSTACI**

Eko-označavanje Tipa I ima niz prednosti, što dokazuje i sve veći broj programa globalnom nivou. Prema tome, postoji velika zainteresovanost u ovoj oblasti, od proizvođača, preko potrošača do samih državnih institucija u čijoj su nadležnosti ovi programi.

Osnovne prednosti programa za eko-označavanje Tipa I su [5,6]:

- Visok stepen kredibiliteta;
- Visok stepen validnosti zbog prisustva treće strane koja odobrava pravo na licencu;

- Zasniva se na uvažavanju životnog ciklusa;
- Podizanje nivoa svesti potrošača;
- Transparentnost programa.

Eko-označavanje Tipa I je na globalnoj sceni prisutno nešto više od tri decenije. Veliko interesovanje i potreba prouzrokovali su osnivanje velikog broja programa širom sveta. Razvoj ovih programa povezan je s pojavljivanjem i prevazilaženjem niza prepreka, što je otežavalo i njihovo funkcionisanje. Poteškoće su se javljale i pri apliciranju proizvođača za dodelu eko-znaka.

Između ostalih, nedostaci programa za eko-označavanje Tipa I su [5,6,7]:

- Isplativost (sa aspekta proizvođača);
- Kompleksnost (u smislu potrebe da proizvod ispuni veliki broj kriterijuma);
- Kriterijumi mogu biti pod političkim uticajem pre nego naučnim i/ili stručnim;
- Niska dostupnost proizvoda u nekim slučajevima (na primer kod evropske eko-oznake, u okviru nekih grupa proizvoda postoji mali broj dodeljenih licenci);
- Ograničena primena (primena samo na definisane grupe proizvoda za koje postoje kriterijumi);
- Dug period definisanja kriterijuma i proizvodnih grupa
- Nedostatak fleksibilnosti u izmenama ekoloških kriterijuma;
- LCA rezultati mogu da se zasnivaju na značajnom broju pretpostavki, odnosno da sadrže veliki broj ograničenja, što umanjuje kredibilitet (verodostojnost) rezultata;

Ovi nedostaci utiču na spor razvoj programa, što je pogotovu slučaj u ekonomski manje razvijenim zemljama.

¹ Međunarodni standard ISO 14024 pripremio je Tehnički komitet ISO/TC 207, Upravljanje zaštitom životne sredine, Potkomitet SC 3, Označavanje o zaštiti životne sredine.

3. PROGRAM ZA OZNAČAVANJE O ZAŠTITI ŽIVOTNE SREDINE EVROPSKE UNIJE

Program za eko-označavanje EU definisan dokumentom *Council Regulation No.880/92* u martu 1992. god., a postao pravosnažan oktobra 1992. godine [8,9,10,11].

Kompanijama je dozvoljeno da stave logo EU eko-oznake na svoje proizvode samo kada nezavisno telo prepoznaje da proizvod pokazuje usaglašenost sa strogim ekološkim kriterijumima i performansama [12,13]. Trenutno evropski program za eko-označavanje pokriva trideset tri različite grupa proizvoda.

Evropska Komisija je odgovorna za uspostavljanje i reviziju kriterijuma za svaku grupu proizvoda tako što daje mandat *Bordu sačinjenom od Kompetentnih tela i Konsultantskog foruma* u koji ulaze sve relevantne zainteresovane strane – nevladine organizacije kao što je Evropski biro za zaštitu životne sredine, trgovačke asocijacije i udruženja potrošača itd

Program za eko-označavanje Evropske unije revidiran je dva puta.

3.1 Prva revizija programa za označavanje o zaštiti životne sredine Evropske unije

U septembru 2000. god. na osnovu dokumenta *Council Regulation No.1980/2000*, procedura je revidirana, 21. septembra je objavljeno u *Službenom listu EU* (Official Journal), a odluka je postala pravosnažna 24. septembra 2000. godine [13,14].

Revidiranjem procedure, obezbeđeno je [13,14]:

- Proširenje delovanja pokrivanjem usluga pored robe,
- Omogućeno je da i trgovci konkurišu za eko-oznaku EU,
- Jasnije informisanje potrošača,
- Postojanje otvorenih veza sa nacionalnim oznakama,
- Aktivnija struktura plaćanja sa popustima za male i srednje firme i
- Čvršće učešće nosioca kapitala u procesu uspostavljanja tehničkih kriterijuma za proizvode.

3.2 Druga revizija programa za označavanje o zaštiti životne sredine Evropske unije

Druga revizija Evropskog programa za eko-označavanje predložena je u julu 2008. godine, kao deo akcionog plana održive industrijske politike i održive potrošnje i proizvodnje predstavljenog od strane Evropske Komisije (EK). Cilj ove poslednje revizije je da se racionalizuje

postupak koji omogućava brži rast broja grupa proizvoda/usluga i kako bi sistem bio manje skup i manje birokratski za mala i srednja preduzeća (MSP), kao i za velika preduzeća. Između ostalog druga revizija treba da učini da procedure apliciranja i dodele eko-znaka budu lakše, jasnije i transparentnije, i da odgovara na potrebe malih i srednjih preduzeća.

U januaru 2010. godine objavljena je regulativa *Council Regulation No.66/2010* koja je stupila na snagu 20. februara 2010. godine. Jedna od ideja regulative jeste korigovanje birokratije i brži razvoj kriterijuma. Cilj je povećanje broja grupa proizvoda u okviru šeme, između 40 i 50 do 2015. godine. Danas, više od 24000 usluga i proizvoda nosi logo EU eko-oznake. Bitne promene u poređenju sa prethodnom regulativom uključuju niže takse i pojednostavljene kriterijume kao i veze za javne nabavke uz to da EU eko-oznaka ostaje pouzdana i stroga [14].

Nedostaci koji predstavljaju razloge zbog kojih je program Evropske unije za eko-označavanje revidiran i drugi put su [6,12,13]:

- Nedovoljan broj kategorija i grupa proizvoda za koje se dodeljuje licenca za upotrebu eko-znaka
- Procedure EU programa su komplikovane i glomazne, kao i sama organizaciona struktura – prisutnost birokratije koja ograničava sposobnost šeme da raste i odgovori na prilike i da se razvija većom brzinom
- Takse i troškovi dobijanja oznake doživljavaju se kao prepreka
- Uredba 1980/2000 je previše restriktivna, nema fleksibilnosti, nije u stanju da odgovori na nove ekološke izazove
- Nedovoljno angažovanje zainteresovanih strana u razvoju kriterijuma za grupe proizvoda.

Kako bi javnost prihvatila Evropsku šemu za eko-označavanje, od suštinskog je značaja da nevladine organizacije za životnu sredinu i potrošačke organizacije igraju važnu ulogu i da aktivno učestvuju u razvoju i definisanju kriterijuma za EU eko-oznaku [13].

4. REZULTATI POSLEDNJE REVIZIJE PROGRAMA ZA OZNAČAVANJE O ZAŠTITI ŽIVOTNE SREDINE EVROPSKE UNIJE

Nova regulativa je odgovorila na ustanovljene nedostatke programa za eko-označavanje Evropske unije [7].

Nedostatak: Uredba 1980/2000 je previše restriktivna, nema fleksibilnosti, nije u stanju da odgovori na nove ekološke izazove [7].

Ovaj nedostatak je eliminisan na sledeći način:

- Nova regulativa 66/2010 je napisana na manje restriktivan način
- Procedure su pojednostavljene
- Uklapa se bolje sa drugim održivim proizvodnjama i akcijama potrošnje – npr. javnim nabavkama osigurava preporuke koje se izrađuju po kriterijumima eko-oznake

Nedostatak: Preterana birokratija i nedovoljan broj proizvodnih kategorija[7].

Ovi nedostaci su eliminisani na sledeći način:

- Unapređen proces razvoja kriterijuma, sa više fleksibilnog upravljanja
- Nova regulativa ima opciju za brzo usvajanje drugih kriterijuma iz drugih nacionalnih programa.
- Nova Uredba ima opciju da Komisija razvija kriterijume
- Brze procedure revizije kriterijuma
- Fokusira se samo na glavnim ekološkim uticajima proizvoda.

Nedostatak: Takse i troškovi dobijanja eko-oznake[7].

Ovaj nedostatak je eliminisan na sledeći način:

- Niže godišnje takse (maksimalno 1500€, umesto procenta od maksimalne prodaje od 25000€)
- Sistematski se razmatraju troškovi testova još u procesu razvoja kriterijuma.
- Dodatno usklađivanje mera moglo bi da ponudi popust kandidatima koji žele da se prijave za obe, za EU i za nacionalnu eko-oznaku. Ovo bi se moglo razmotriti ukoliko se sistem naknada za eko-oznaku revidira.

Nedostatak: Nedovoljno angažovanje zainteresovanih strana u razvoju kriterijuma za grupe proizvoda.

Ovaj nedostatak je eliminisan na sledeći način:

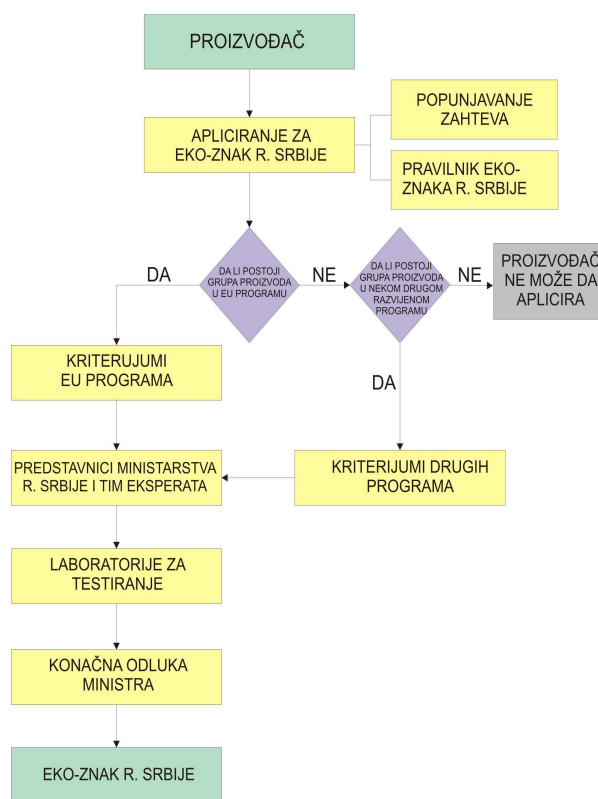
- U procesu razvoja kriterijuma uzima se u razmatranje mišljenja svih zainteresovanih strana.
- Nova regulativa dozvoljava opciju da zainteresovane vode procese razvoja kriterijuma.

5. PROGRAM ZA OZNAČAVANJE O ZAŠTITI ŽIVOTNE SREDINE REPUBLIKE SRBIJE

Eko-znak Republike Srbije se utvrđuje za proizvode namenjene opštoj potrošnji, procese i usluge, izuzev proizvoda za ishranu, pića i farmaceutskih proizvoda, a dodelu prava na korišćenje znaka donosi Ministarstvo rudarstva i energetike [15,16,17].

Grupe proizvoda za koje se dodeljuje Eko-znak

Republike Srbije, kao i kriterijumi na osnovu kojih se znak dodeljuje istovetni su kao za Eko znak Evropske Unije. Ova podudarnost je učinjena iz razloga što je Srbija u obavezi da prilikom pridruživanja EU, bude u stanju da kompanijama dodeljuje Ekoznak EU na bazi kriterijuma koji su definisani za „Cvet“ EU. Dakle, Republika Srbija je, iz tog razloga promovisala svoj Eko-znak, koji će do momenta pridruživanja Srbije EU biti razvijan kao da je Evropski Eko Znak, što će obezbediti da u momentu pridruživanja izvršimo laku tranziciju na „CVET“ EU. Od tog momenta, nacionalni Eko-znak, mogao bi se razvijati nezavisno od Evropskog, sa strožijim ili manje strogim kriterijuma uz mogućnost dodavanja novih grupa proizvoda i usluga, zavisno od interesovanja srpske privrede[17,18]. Šema funkcionisanja programa R. Srbije za eko-označavanje tipa I prikazana je na slici 1.



Sl. 1. Blok šema funkcionisanja programa R. Srbije za eko-označavanje tipa I

Na Međunarodnom sajmu građevinarstva "South-East Europe Belgrade Building Expo" dodeljen je prvi eko-znak Republike Srbije Akcionarskom društvu za proizvodnju građevinskog materijala „POTISJE KANJIŽA“ iz Kanjiže, za proizvode: „Vučeni crepovi, „Presovani crepovi“ i „Proizvodi za međuspratne konstrukcije“. Nakon ovog događaja pet proizvoda kompanije „Tarkett“ je ispunilo kriterijume i dobilo eko-znak R. Srbije[17,18].

6. ZAKLJUČAK

Rezultati poslenje revizije programa za eko-označavanje Evropske unije pokazuju da ovaj program uspostavlja održiv sistem funkcionisanja i kontinualnog unapređenja. Dokaz tome jeste značajno povećanje grupa proizvoda od 2010. godine, kao i smanjenje troškova i niz olakšica pri apliciranju za EU „CVET“.

Za dalji razvoj eko-znaka Republike Srbije, uz stalno informisanje kompanija i šire javnosti, neophodno je izgraditi mrežu eksperata i unaprediti i razviti laboratorije u Srbiji, kako bi se mogli ispitati svi parametri prema zahtevanim kriterijumima, čime bi Ministarstvo rudarstva i energetike, kao institucija u čijoj je nadležnosti upravljanje nacionalnim eko-znakom imalo, jasan, kvantifikovan dokaz o ispunjenosti zahteva [17,18].

7. BUDUĆA ISTRAŽIVANJA

Buduća istraživanja usmerena su na analizu mogućnosti za unapređenje primene označavanja o zaštiti životne sredine u R. Srbiji. Na osnovu rezultata analize razviće se model za unapređenu primenu označavanja o zaštiti životne sredine, kao manje formalnog alata za upravljanje zaštitom životne sredine, koji će pre svega biti prilagođen R. Srbiji, ali će imajući u vidu tržišnu povezanost, kao i tehno-ekonomske i socijalne sličnosti, biti primenljiv i u širem regionu.

8. REFERENCE

- [1] Hodolič J. i dr.: *Mašinstvo u inženjerstvu zaštite životne sredine*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2003
- [2] Crnobrnja B.: *Analiza oznaka i deklaracija o zaštiti životne sredine tipa I prema SRPS ISO 14024:2003*, Diplomski – master rad, Novi Sad, 2008. godine.
- [3] Budak, I., Hodolič, J., Stević, M., Vukelić, Đ., Kosec, B., Karpe, B.: *Označavanje proizvoda o zaštiti životne sredine*, Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, 2009, 160str., ISBN 978-86-7892-190-2.
- [4] Crnobrnja, B., Budak, I., Ilić, M., Hodolič, J.: *Environmental labelling of products with type I labels*, Materials and Geoenvironment, 2009, Vol. 56, No. 3, str. 346- 355, ISSN 1408-7073.
- [5] Monti Report: *A NEW STRATEGY FOR THE SINGLE MARKET AT THE SERVICE OF EUROPE'S ECONOMY AND SOCIETY*, 2011
- [6] Report on the Public Consultation: Revision of

the EU Ecolabel Regulation (EC) No 1980/2000, 2007

- [7] Rugile Balzekaite: *The New EU Ecolabel Regulation*, Kobe, Japan, 2009
- [8] EC – DG Environment EU Ecolabel Month 2010 – Press Pack
- [9] EU Ecolabel Work Plan for 2011 - 2015
- [10] EEB position on the revision of the Ecolabel Scheme: Re-defining the EU flower as a label of environmental excellence and improving synergies between EU product policy instruments, 2008.
- [11] <http://ec.europa.eu/environment/ecolabel>, jun 2010.
- [12] <http://www.eco-label.com>
- [13] Regulation 66/2010 of the European Parliament and the Council of 25 November 2009 on the EU Ecolabel
- [14] REGULATION (EC) No 1980/2000 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 17 July 2000 on a revised Community eco-label award scheme
- [15] Crnobrnja B., Budak I., Ilić M., Hodolič J., Kosec B.: *Analysis of environmental labels and declarations type I - according to SRPS ISO 14024:2003*, Proceedings of the Festival of Quality 2009, 4th National Conference on Life Quality, pp. 1 -7, Kragujevac, 2009 (in Serbian).
- [16] Kutz M.: *Environmentally Conscious Mechanical Design*, John Wiley & Sons, New Jersey, 2007.
- [17] Pravilnik o bližim uslovima i postupku za dobijanje prava na korišćenje ekološkog znaka, elementima, izgledu i načinu upotrebe ekološkog znaka za proizvode, procese i usluge, "Sl. glasnik RS", br. 3/2009
- [18] <http://www.merz.gov.rs>

Autori: M.Sc. Branislava Crnobrnja, Prof. Dr. Janko Hodolič, Doc. Dr. Igor Budak, Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Institut za Proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2306, Fax: +381 21 454-495.

Ing. Marie Tichá, University of J. E. Purkyně, Ústí nad Labem, Češka Republika

Ing. et Ing. Mgr. Jana Petru, Ph.D., Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojni 17 Listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava, Češka Republika

E-mail: brankacr@uns.ac.rs
hodolic@uns.ac.rs
budaki@uns.ac.rs
marie.ticha@iol.cz
jana.petru@vsb.cz

Miroslavljević, Z., Mihajlović, V., Štrbac, D.

**TREKUTNO STANJE I PERSPEKTIVE KORIŠĆENJA OTPADNE STAKLENE
AMBALAŽE U SRBIJI**

Rezime: Tema rada usmerena je na analizu trenutnog stanja upravljanja staklenom ambalažom u Republici Srbiji. Godišnja količina staklenog otpada u komunalnom čvrstom otpadu u Srbiji je procenjena na oko 129 000 tona godišnje, od čega približno 90 000 tona godišnje čini otpadna staklena ambalaža. Nivo iskorišćenja staklene ambalaže je na niskom nivou (oko 15,8%), što ukazuje na činjenicu da većina otpadne staklene ambalaže završi na deponijama. Ako se tome doda podatak da se staklo, praktično ne raspada tokom vremena, očigledno je da pronalaženje rešenja u vidu primene odgovarajućeg tretmana i upravljanja staklenom ambalažom je od ogromnog značaja sa aspekta zaštite i očuvanja životne sredine.

Ključne reči: upravljanje otpadom, staklena ambalaža.

1. UVOD

Staklo je veoma važan materijal, koji je trajno uključen u svakodnevni život, kulturu i tehnologiju ljudi širom sveta. Kratko - staklo je idealan materijal za pakovanje. Sačinjeno je od rasprostranjenih, prirodnih materijala. Pesak je osnovni element, soda omogućava topljenje i fluidnost, a krečnjak staklu daje postojanost. Ekonomski je isplativo i ekološki pouzdano [1].

Otpadno staklo ne predstavlja samo otpad, nego novi resurs. Uglavnom, tegle, pivske i vinske flaše su uobičajene staklene ambalaže koje se nalaze u domaćinstvima i koje se svakodnevno odlažu na deponije. Otpadno staklo je jedan od materijala, koji se selektivno odlaže, skuplja, sortira i delimično reciklira. Treba međutim odmah naglasiti, da kada je reč o reciklaži, to se odnosi samo na staklenu ambalažu (boce i tegle), odgovarajućih boja i pod uslovom da se ispune odgovarajući kriterijumi čistoće staklenog loma [2]. Dakle, ne i na prozore i ostala ravna stakla, monitore, televizijske ekrane, tanjire, čaše, šoljice, porcelan, kristalno i stono staklo, ogledala, sijalice itd.

U cilju smanjenja količine otpadnog stakla koji se odlaže na deponije i koji je već na deponiji, potrebno je preduzeti određene aktivnosti radi separacije i tretmana otpadne staklene ambalaže, u skladu sa specifičnim nacionalnim ciljevima upravljanja ambalažom i ambalažnim otpadom.

Staklo utiče negativno na životnu sredinu, jer se ono nikada ne može prirodno razgraditi. U cilju smanjenja negativnog uticaja otpadne staklene ambalaže na životnu sredinu, potrebno je razviti strategiju za upravljanje staklenom ambalažom u Srbiji. Strategija bi trebalo da ima pozitivan uticaj

na očuvanje životne sredine, u smislu, primene reciklaže staklene ambalaže, čime bi se u znatnoj meri smanjila količina staklenog otpada na deponijama a samim tim i produžio vek deponije, zatim u smislu uštede energije. Jednostavno rečeno, jeftinije je topiti staklo nego kvarc, i samim tim reciklažom se ostvaruje ušteda energije i smanjuju troškovi proizvodnje. Energija je najveći trošak u proizvodnji stakla; za svakih 10% recikliranog stakla, ostvaruje se ušteda energije za 3% [5].

**2. TREKUTNO STANJE UPRAVLJANJA
OTPADNOM STAKLENOM AMBALAŽOM
U SRBIJI**

U Srbiji, u ukupnoj količini komunalnog otpada, 5,4% čini stakleni otpad, od čega 3,8% predstavlja otpadnu staklenu ambalažu [3].

Komunalni otpad (tona/godišnje)	Stakleni otpad (t/god.)	Otpadna staklena ambalaža (t/god.)
2 374 374	129 166	90 416
Procenat u ukupnom komunalnom otpadu (%):	5,4	3,8

Tabela 1. Količine staklenog otpada u Srbiji [4]

Godišnja potražnja za staklom u Srbiji je između 130 000 – 150 000 tona/godišnje, od čega se u Srpskoj Fabrici Stakla proizvede otprilike 30%, a ostatak se uvozi [5].

Sistem sakupljanja staklene ambalaže na teritoriji Srbije je veoma slabo razvijen. Prema

zvaničnim podacima, staklo sakupljaju tri registrovana operatera, koja pored staklene sakupljaju i plastičnu ambalažu [6]. Veoma mali procenat stakla sakupljenog od strane registrovanih operatera, šalje se dalje na tretman zajedno sa staklenom ambalažom iz primarne selekcije, dok se ostali znatno veći deo staklene ambalaže odlaže na deponije.

Primarna separacija je slabo razvijena, samo 14 200t staklene ambalaže se sakupi i reciklira.

Postoje dva lanca snabdevanja za reciklažno staklo u Srbiji, uključujući jedinu Srpsku fabriku ambalažnog stakla (SFS) u Paraćinu. Prvi lanac snabdevanja se bavi nerazbijenim staklenim flašama i teglama i on se sastoji od mreže malih sakupljača, često pjeđinaca koji rade neformalno. Drugi lanac snabdevanja je upravljani od strane Srpske fabrike za reciklažu (SFR) (Aleksinac), koja je jedini kupac sekundarnog ambalažnog stakla u Srbiji. U ovom lancu staklo je razbijeno, sortirano i izveženo. SFR ima kapacitet od 30,000 tona/godišnje i svo lomljeno staklo se izvozi [5].

SFS uglavnom reciklira samo slomljeno staklo iz svoje fabrike (odbačeno), i takođe prihvata povraćaj stakla iz nekih kompanija (npr. Knjaz Miloš). Svo staklo koje trenutno preuzima je čisto i ne predstavlja opasnost za peći. SFS je imala kontakata sa sakupljačima, ali takva saradnja bi zahtevala period asistencije i pomoć u razvijanju mreže sakupljanja. SFS je zainteresovana za reciklažu stakla u većem obimu i za sakupljanje ambalažnog stakla po bojama (zeleno, braon i providno), ali još uvek nemaju razvijenu strategiju za sakupljanje staklene ambalaže za reciklažu.

U Srbiji, skoro 70% staklene ambalaže se uvozi a samo 30% staklene ambalaže je domaće proizvodnje. Kao što je ranije rečeno, većina staklene ambalaže završi na deponijama, što predstavlja gubitak potencijalnog resursa za ponovnu proizvodnju staklene ambalaže. Iz tog razloga, sistem i startegiju sakupljanja staklene ambalaže treba poboljšati.

3. METODOLOGIJA

U okviru rada korišćena je metoda analize tokova materijala (MFA). Ovom analizom biće indentifikovani/utvrđeni tokovi staklene ambalaže u okviru definisanih granica sistema. Istovremeno, analizom će biti utvrđeni tokovi i zalihe staklenog ambalažnog otpada, kao i količine proizvedenog, uveženog, sakupljenog, recikliranog deponovanog staklenog ambalažnog otpada. Tokovi i zalihe staklene ambalaže su prikazani na slici 1.

Za procenu tokova materijala korišćen je programski softver STAN. Softver STAN koristi tri tipa matematičkih jednačina, kojima se u

potpunosti opisuje sistem tokova materijala: jednačina održanja mase, jednačina linearnog toka materije i jednačina koncentracije materije [7].

U radu korišćena je jednačina održanja mase:

$$\Sigma \text{ulazi} = \Sigma \text{izlazi} + \text{promena u zalihama} \quad (1)$$

MFA analizom identifikovani su i kvantifikovani glavni izvori i tokovi staklene ambalaže za period od godinu dana. Podaci korišćeni u ovoj analizi su za 2011 godinu.

Cilj ovog rada je da se identifikuju tokovi i količine ambalažnog stakla u okviru definisanog sistema za određeni vremenski period.

4. REZULTATI I DISKUSIJA

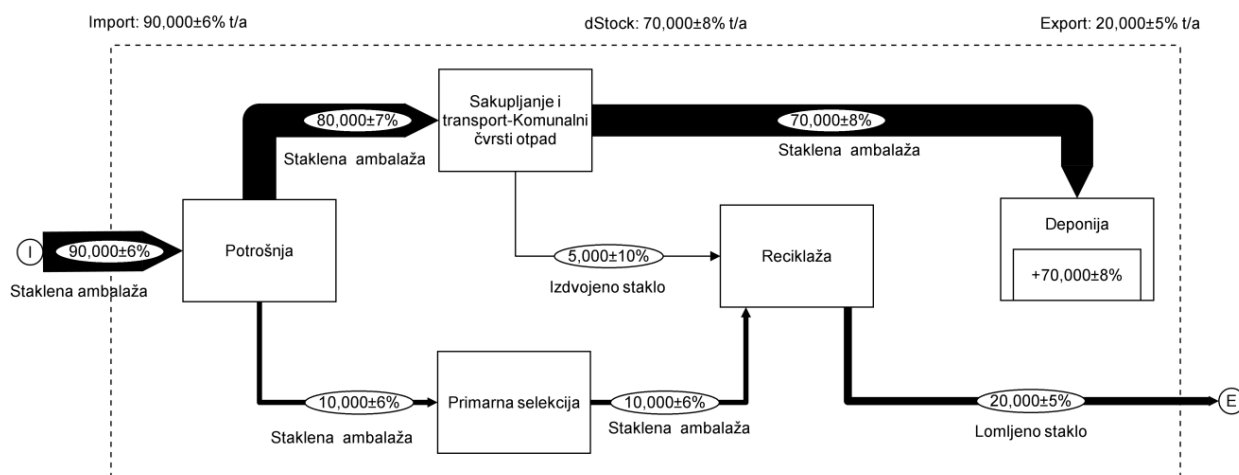
Slika 1. prikazuje da je godišnji uvoz ambalažnog stakla oko 90 000 tona. Najveći deo ambalažnog stakla, 80 000 tona, sakuplja se zajedno sa čvrstim komunalnim otpadom, dok se 14 200 tona izdvaja procesom primarne selekcije. U okviru primarne selekcije, 2 200 tona sakupljeno je od strane zvaničnih operatera ambalažnim otpadom i 12 000 tona je sakupljeno od strane trećih lica za potrebe Srpske Fabrike Reciklaže iz Aleksinca.

Ambalažno staklo iz primarne selekcije, zajedno sa 5 000 tona koje je odvojeno od komunalnog čvrstog otpada, se reciklira. Dobijeno drobljeno staklo se u celosti izvozi. Preostali deo ambalažnog stakla koji potiče iz čvrstog komunalnog otpada, se odlaže na deponije.

Problem prilikom ovog istraživanja, predstavljalo je sakupljanje podataka, naročito podataka koji se tiču proizvedenih količina ambalažnog otpada u Srbiji, kao i količina ambalažnog stakla koje se izveze. Stoga, podaci koji su korišćeni u ovom radu su uzeti sa verovatnoćom greške od 10%.

Analiza tokova staklene ambalaže u Srbiji ukazala je na nekoliko značajnih (problema) činjenica koje se tiču ambalažnog stakla u Srbiji i njenim upravljanjem.

Pre svega, najveći deo staklene ambalaže se odlaže na nekontrolisane deponije (približno 80%). Ukoliko se trend nekontrolisanog odlaganja staklene ambalaže nastavi, za 10 godina 800 000 tona ambalažnog stakla će biti odloženo na divljim deponijama. Ovakva praksa upravljanja staklenim ambalažnim otpadom, imala bi negativan efekat po životnu sredinu, jer staklo se ne razlaže prirodnim putem, nego ostaje u vidu otpada.



Sl. 1. MFA analiza tokova staklene ambalaže u Srbiji

Primarna selekcija ambalažnog stakla je jako slabo razvijena. U cilju poboljšanja primarne selekcije, neophodno je razviti adekvatnu strategiju sakupljanja ambalažnog stakla. Prema najnovijim podacima vezano za reciklažu ambalažnog stakla, koji su dostupni, čak 67% staklenih flaša i tegli je sakupljeno i reciklirano u Evropskoj uniji. To je jednako 11 miliona tona stakla, odnosno 25 milijardi flaša i tegli sakupljenih za reciklažu u Evropskoj uniji. Preko 80% navedenih količina se reciklira od strane proizvođača stakla, da bi se napravile nove flaše i tegle. Staklo se u potpunosti može reciklirati, bezbroj puta, čime je krug od samog procesa proizvodnje stakla do finalnog proizvoda zatvoren [8]. Sprovedena istraživanja ukazuju na činjenicu, da izdvajanje staklenog ambalažnog otpada od ostalog otpada, kao pojedinačni tok otpada, rezultuje visoko kvalitetnom sirovinom za dalji proces reciklaže, kao i većim količinama samog stakla [8].

Veoma mali procenat 15,7% staklene ambalaže se reciklira u Srbiji, odnosno drobi. Dobijeno lomljeno staklo se u celosti izvozi, i ne koristi se kao sirovina u proizvodnji stakla. Utvrđeno je da povećanje stope reciklaže stakla za 10%, može dovesti do smanjenja uvoza staklene ambalaže i izvoza staklene otpadne ambalaže za oko 60% [7].

5. ZAKLJUČAK

MFA model, predstavljen u ovom radu, daje prikaz trenutnog stanja u oblasti upravljanja staklenim ambalažnim otpadom u Srbiji. Istovremeno, daje prikaz tokova staklene ambalaže u Srbiji, na osnovu dostupnih podataka. Prikazani model ukazuje da je sistem upravljanja ambalažnim staklom nedovoljno razvijen. Veći deo ambalažnog stakla se odlaze na deponije, koje nisu kontrolisane. Obzirom na činjenicu da staklo nije razgrađivo, deponovana staklena ambalaža

predstavlja ozbiljan problem za životnu sredinu. Ukoliko se staklena ambalaža posmatra kao sirovina, kao takva predstavlja veliki potencijal kada se govori o upravljanju otpadom, iz toga se mora uzeti u obzir prilikom donošenja budućih strategija iz oblasti upravljanja otpadom.

Dobro napravljen sistem upravljanja otpadom, može smanjiti uvoz staklene ambalaže, i poboljšati ekonomiju države. Prema podacima EUROSTAT-a, produkcija staklenog ambalažnog otpada po stanovniku je u blagom porastu od 1998. Cena drobljenog stakla, takođe je u porastu, kao i količina stavljena na tržište, što zajedno može doprineti ekonomskom razvoju Srbije.

Dalja istraživanja u oblasti upravljanja staklenim ambalažnim otpadom u Srbiji, trebalo bi da budu orijentisana na razvoju sistema za sakupljanje staklene ambalaže, a sve na osnovu postojećih iskustava u Evropi.

Takođe, neophodno je uraditi detaljnu ekonomsku analizu mogućih sistema sakupljanja ambalažnog stakla, kao i troškovi reciklaže sakupljene staklene ambalaže.

Poslednje, ali ne i najmanje važno, je svakako razvoj programa za edukaciju ljudi i podizanja svesti o značaju stakla i potrebe za njihovom reciklažom. Prilikom uvođenja, promene ili promocije usluge sakupljanja staklene ambalaže, jasna, pravovremena i relevantna komunikacija sa korisnicima usluga je od velikog značaja za postizanje uspeha ovakve jedne akcije. Dobro planirana, dobro prezentovana kampanja, omogućava stanovništvu da znaju kako, kada i gde da koriste usluge koje se tiču staklene ambalaže.

MFA model doprinosi razvoju i definisanju adekvatne strategije za sakupljanje staklene ambalaže, koja je u skladu sa Nacionalnom strategijom upravljanja otpadom. Prema utvrđenim količinama staklenog ambalažnog otpada u Srbiji, adekvatan tretman/reciklaža istog, će umanjiti negativan uticaj na životnu sredinu

koji trenutno postoji.

6. REFERENCE

- [1] Christensen, T.: *Solid Waste Technology & Management Volume 1*, WILEY, A John Wiley and Sons, Ltd., Publication, Department of Environmental Engineering, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark, 2011.
- [2] Shayan, A., Xu, A.: *Value-added utilisation of waste glass in concrete*, Cement and Concrete Research, Vol. 34, No.1, pp. 81–89., 2004.
- [3] Project Report: *Determining Waste Composition and Assessment of the Amount with the Aim of Defining Strategies in the Secondary Raw Materials Resources in the Frame of Sustainable Development of the Republic of Serbia*, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, pp. 69-70, 2009.
- [4] *Strategija upravljanja otpadom za period 2010-2019. godine*, Vlada Republike Srbije, Ministarstvo energetike, razvoja i zaštite životne sredine, Republika Srbija.
- [5] *Secondary Materials and Waste Recycling Commercialization in Serbia 2009-2010*, First Part- Assessment, USAID and NGO Treehouse, 2010.
- [6] Agencija za zaštitu životne sredine: *Izveštaj o upravljanju ambalažom i ambalažnim otpadom u 2011. godini*
- [7] Baccini, P., Brunner, P.H.: *Metabolism of the Anthroposphere – Analysis, Evaluation, Design*, The MIT Press Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, pp. 141, 2012.
- [8] Report prepared by the Association of Cities and Regions for Recycling and sustainable Resource management (ACR+) in partnership with the European Container Glass Federation (FEVE): *Good Practices in collection and closed-loop glass recycling in Europe*, Brussels, Belgium, 2012.

Autori: Zorica Miroslavljević, M.Sc., mr Višnja Mihajlović, Doc. dr Dragana Štrbac, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel: +381 21 485 2386.

E-mail: zoricavojnovic@uns.ac.rs
visnjamihajlovic@uns.ac.rs
draganastrbac@uns.ac.rs

Karać, M., Draškić, R., Štrbac, Z., Dejanović, M.

**UNAPREĐENJE KVALITETA PROIZVODA PRIMENOM DFX ALATA SA ASPEKTA
ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE U PLM OKRUŽENJU**

Rezime: U radu je prezentovano unapređenje kvaliteta proizvoda kroz aplikaciju alata za konstruisanje za izvrsnost (DfX) za montažu, proizvodnju i zaštitu životne sredine, koji su ugrađeni u softver za menadžment životnog ciklusa proizvoda (PLM). Rezultat uključivanja DfE analize u proces razvoja proizvoda može dovesti do visokokvalitetnog proizvoda, koji uzima u obzir uticajne faktore vezane za zaštitu životne sredine, te na taj način proizvod postaje konkurentniji na tržištu. Implementacija "Metodologije za podršku DfX procesa upotrebom PLM okvira" izvršena je na modelu mehaničke vage kroz nekoliko iteracija u konceptualnoj fazi razvoja.

Ključne reči: Dizajn za izvrsnost, Dizajn za Okolinu, Integralni razvoj proizvoda, Siemens Teamcenter PLM softver

1. UVOD

Istraživanja su pokazala da se u prvih 10% vremena koje je potrebno za razvoj, proizvodnju i distribuciju proizvoda, donose određene odluke koje će odrediti oko 85% ukupnih sredstava potrebnih za realizaciju zadatog projekta, dok će stvarno u toku tog vremena da se utroši samo oko 15% ukupnih sredstava, što dovodi do zaključka da se najznačajnije odluke vezane za proizvod donose u početnoj fazi razvoja proizvoda [1].

Prilikom analize troškova nastalih usled neke promene koja je izvršena na proizvodu u raznim fazama razvoja (projektovanje, planiranje, proizvodnja), može se zaključiti da ako u procesu projektovanja trošak izmene iznosi jednu jedinicu, tada će u svakoj sledećoj fazi ovaj trošak biti desetostruk.

Radi skraćanja vremena razvoja i proizvodnje proizvoda te blagovremenog uočavanja grešaka, potrebno je omogućiti odgovarajući vid komunikacije između svih relevantnih činilaca, te obezbediti adekvatan postupak donošenja odgovarajućih odluka [1].

**2. PROJEKTOVANJE ZA IZVRSNOST - DFX
(Design For eXcellence)**

Da bi se u procesu razvoja proizvoda predložena rešenja od strane učesnika u razvojnom procesu mogla upoređivati, potrebno je definisati relevantne parametre vezane za proces integralnog razvoja proizvoda, na osnovu kojih se mogu odrediti kriterijumi odlučivanja prilikom procesa prihvatanja predloženih rešenja [2].

2.1 Dizajn za montažu - DFA (Design For Assembly)

U poređnom analizom postojećih DfA alata može se zaključiti da sve metode imaju isti osnovni cilj prema [2]:

- Smanjenje broja delova;
- Pojednostavljenje montažnih operacija;
- Redukovanje vremena montaže;
- Redukovanje troškova montaže.

2.2 Dizajn za proizvodnju - DFM (Design For Manufacturing)

U poređnom analizom postojećih DfM alata može se zaključiti da sve metode imaju isti osnovni cilj prema [2]:

- Smanjenje broja delova;
- Povišenje stepena standardizacije;
- Pojednostavljenje operacije izrade;
- Redukovanje vremena izrade;
- Redukovanje troškova izrade.

2.3 Dizajn za okolinu - DfE (Design For Environment)

Projektovanje pogodno za zaštitu životne sredine DfE je postupak za sistematsko uključivanje faktora koji utiču na životnu sredinu u procesu razvoja proizvoda [2].

2.4 Podrška DFX procesu

U cilju optimizacije podrške DfX procesa, razvijen je model prenosa podataka koji ima za cilj da pruži informacije o celom životnom ciklusu proizvoda, uspostavljanjem mehanizama za generisanje DfX znanja i njihovog sistematskog raspoređivanja. Za opisivanje modela podataka koristi se jedinstveni jezik za modeliranje UML.

On se fokusira na građenje manjih grupa

modela, kao i atributa koji opisuju osnovne osobine modela i asocijacije koje ilustruju njihove veze. Potreban je određeni stepen apstrakcije kako bi model podataka bio u stanju da zastupa potrebe različitih industrijskih sektora [3].

3. ZNAČAJ I PRIMENA DfE

Alati za ocenjivanje pogodnosti proizvoda u odnosu na uticaj na životnu sredinu omogućuju, da se u ranoj fazi razvoja proizvoda u njega uključe uticajni faktori vezani za zaštitu životne sredine. Uključivanje faktora vezanih za zaštitu životne sredine može smanjiti nepotrebnu upotrebu materijala, količinu otpada, može poboljšati proizvod, umanjiti odgovornost kompanije za proizvod u budućnosti, itd. [2].

Upotreba DfE kod potrošača ukazuje na svest proizvođača o potrebi za zaštitom životne sredine te na taj način može da dovede do poboljšane pozicije preduzeća na tržištu. Period razvoja proizvoda je tačka na kojoj se na najbolji način može uticati na zaštitu životne sredine. To je period kada se donose odluke o tipu upotrebljenih resursa, te o proizvodnom procesu koji će biti upotrebljen. Ove odluke u velikoj meri određuju kasnije tokove otpada, odnosno uticaja na životnu sredinu. Kada je razvoj proizvoda završen, uticaj proizvoda na životnu sredinu je u velikoj meri određen i nepromenljiv. Rezultat uključivanja DfE analize u proces razvoja proizvoda može dovesti do visokokvalitetnog proizvoda, koji uzima u obzir uticajne faktore vezane za zaštitu životne sredine, te na taj način proizvod postaje konkurentniji na tržištu [2].

Uparednom analizom postojećih DfE alata, može se zaključiti da uključivanje DfE analize u proces razvoja proizvoda ima isti osnovni cilj prema [2]:

- Skraćene vremenske cikluse;
- Umanjene troškove;
- Poboljšane proizvode;
- Umanjene probleme vezane za zakonsku regulativu;
- Umanjenu odgovornost preduzeća u budućnosti;
- Poboljšanu poziciju na tržištu;
- Poboljšane karakteristike vezane za zaštitu životne sredine,

DfE ima tri jedinstvene karakteristike:

- Celokupan životni ciklus proizvoda je uključen u analizu;
- Trenutak primene DfE analize je u početnoj fazi razvoja proizvoda;
- Odluke se donose koristeći vrednosti koje su usklađene sa industrijskim ekološkim

standardima, ili drugim propisima.

3.1 DfE tehnike

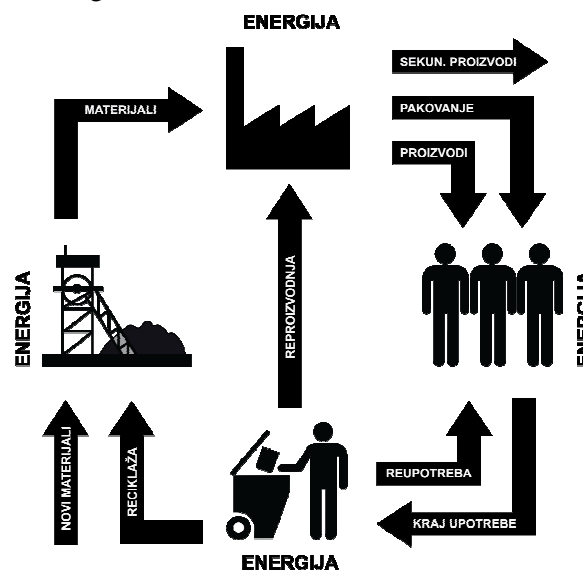
DfE obuhvata širok spektar tehnika, i one se mogu svrstati u dve kategorije:

1. Tehnike koje se koriste za identifikaciju uticaja na okolinu proizvoda kroz njegov životni ciklus kao što su procene životnog ciklusa(LCA);
2. Tehnike koje pomažu dizajnerima u smanjenju negativanih uticaja svojih proizvoda na životnu okolinu.

Najčešće korišćene strategije u DfE metodi su:

- Dizajn za reciklažu (DfR)
- Dizajn za demontažu (DfD)
- Dizajn za energetska efikasnost (DfEE)
- Dizajn za deponovanje
- Dizajn za minimizaciju opasnih materijala
- Dizajn za upotrebu recikliranih materijala (DfRM)

DfE nastoji da unese inovacije u proizvod koje će istovremeno zadovoljiti trošak i ciljeve, a pri tom smanjiti zagađenja i otpad tokom njegovog životnog ciklusa.



Sl. 1. Uticaj proizvoda na okolinu

4. UPRAVLJANJE ŽIVOTNIM CIKLUSOM PROIZVODA - PLM (Product Lifecycle Management)

Upravljanje životnim ciklusom proizvoda (u daljem tekstu PLM) je proces upravljanja celim životnim vekom proizvoda, od njegovog koncepta, preko razvoja i proizvodnje, sve do korišćenja i uklanjanja. PLM predstavlja skup aktivnosti koje omogućavaju kompanijama efikasnu i efektivnu inovativnost, i upravljanje čitavim nizom usluga koje su vezane za pojedine faze životnog ciklusa proizvoda. PLM je uobičajeno jedan od temelja

informacione infrastrukture kompanije, uz CRM , SCM , i ERP [4].

4.1 Funkcionalnost PLM-a

Suština PLM-a je zapravo stvaranje centralnog sistema upravljanja svim podacima vezanim uz proizvode i tehnologije, koji se koriste za pristup informacijama i znanju. PLM je disciplina nastala iz alata kao što su CAD /CAM i PDM , ali se može posmatrati kao integracija ovih alata sa metodama, ljudima i procesima kroz sve etape životnog veka proizvoda. Treba naglasiti i da kod PLM-a nije bitna samo tehnologija softvera, nego i poslovna strategija [4].

U slučaju razvoja proizvoda, primenom PLM-a se želi: Smanjiti vreme isporuke i plasiranja proizvoda na tržište; Povećati kvalitet proizvoda; Smanjiti troškove izrade prototipova i testiranja proizvoda; Stvoriti uštede služeći se podacima iz prethodnih faza razvoja proizvoda, ali i originalnih podataka; Optimizovati proces izrade i razvoja proizvoda; Smanjiti otpad u proizvodnji; Uštedeti na materijalu, vremenu i toku informacija.

4.2 Unapređenje PLM sistema

Prema modelu za upravljanje znanjem i podacima "*Product Data and Knowledge Management*" (PDKM) razvijen je sistem za unapređenje komercijalnog PLM sistema. PDKM sistem ima za cilj integraciju i sistematsko upravljanje podacima iz svih faza životnog ciklusa proizvoda. Osnovni cilj jeste integracija podataka čitavog životnog ciklusa proizvoda iz svih njegovih faza i mogućnost analize na osnovu integrisanih podataka, kao i mogućnost poboljšanja operativnog poslovanja uz kompletan uvid u podatke o proizvodu [3].

PDKM sistem omogućava projektantima proces donošenja odluka kako bi se znanja iz potrebne oblasti transformisala u DfX znanja. Zbog jednostavnog pristupa informacijama i njenog jasnog opisa, proces odlučivanja je ubrzan. Rezultati procesa generisanja znanja čuvaju se u skladu sa unapred definisanom strukturom čuvanja podataka. Tako PDKM omogućava dizajn nove generacije proizvoda i zatvaranje kruga između faze upotrebe i dizajna. PDKM omogućava integraciju *data mining* alata kao bi se olakšala analiza velike količine podataka. Ovim pristupom se omogućava ograničen fokus ispitivanja i olakšava identifikacija informativnih skupova podataka. Pored svega, PDKM sistem proširuje oblast konfigurisanja izvan zadatih granica u fazi razvoja i proizvodnje. Inženjeri razvoja imaju mogućnost da preuzimaju poslednju varijantu svih delova proizvoda u određenom trenutku u toku životnog ciklusa proizvoda. Svi podaci koji se

nalaze u sistemu mogu da se integrišu u *Workflow Process*, npr. izmena nekih komponenti [3].

5. PRIMENA PLM SISTEMA

Unapređenje proizvoda primenom DfX alata u PLM okruženju izvršena je na modelu mehaničke vage koja se sastoji od 26 različitih delova, koji su izrađeni od 10 vrsta materijala².

Komercijalni softver koji je korišćen za upravljanje informacija o proizvodu, tokom celokupnog životnog ciklusa vage je "*Siemens Teamcenter*" (*Rich Client interfejs*).

U ovom radu biće prikazan tok informacija kroz prve dve faze u kojima učesnici mogu biti klasifikovani u tri grupe:

1. Menadžer projekta koji predstavlja glavu razvojnog tima - on je takođe i administrator procesa razvoja proizvoda. On je zadužen za administraciju baze podataka učesnika, projekata i delova, kao i za definisanje novih projekata i učesnika na projektima. On definiše nivo prioriteta svakog člana projektnog tima, i aktivno učestvuje u razvoju proizvoda.

2. Glavni inženjer-konstruktor koji izrađuje početni 3D model proizvoda i jedan je od članova za donošenje odluke o prihvatanju nove predložene izmene na proizvodu.

3. Ostali članovi tima za razvoj proizvoda, u ovom slučaju DfA, DfM i DfE analitičari koji predlazu izmene za poboljšanje proizvoda, i vrše potrebne analize i proračune za svaku varijantu proizvoda. Oni aktivno učestvuju i u donošenju odluke o prihvatanju nove predložene izmene na proizvodu.

Menadžer projekta prikuplja potrebne podatke vezane za proizvod i aktivira fazu izrade idejnog projekta «Vaga za kupatilo», tako što pravi folder "VAGA" u kome se nalazi *Item* "Osnovne informacije" koji sadrži *Item revision-e* u kojima su prikazane potrebne informacije vezane za projekat. Menadžer projekta glavnom inženjeru-konstruktoru šalje informacije putem e-mail-a sa potrebnim zahtevima na osnovu kojih treba napraviti početni 3D model proizvoda.

5.1 Faza izmene

Inženjer-konstruktor šalje gotov 3D model menadžeru projekta, nakon čega menadžer projekta inicira aktiviranje faze izmene projekta tako što učesnicima šalje informacije putem e-mail-a. On definiše prioritet učesnika i svakome

² Područje studije slučaja je razvoj proizvodnog programa mehaničke vage, preuzetog iz magistarskog rada Fürstner Igora, pod nazivom "Razvoj metodologije za povezivanje činilaca u procesu integralnog razvoja proizvoda u umreženom okruženju".

šalje pripadajuće zadatke.

DfA analitičar ima prioritet, tako da on prvi predlaže izmene. Nakon što je DfA analitičar predložio poslednju izmenu, DfM analitičar dobija prioritet i predlaže izmene sa aspekta proizvodnje. DfE analitičar poslednji predlaže izmene, ali aktivno učestvuje u ocenjivanju i odobravanju izmena koje su predložene od strane DfA i DfE analitičara.

Vrlo bitno je da se svi podaci čuvaju na centralnom serveru, dok učesnici koriste samo prečice fajlova i nemaju mogućnost brisanja fajlova, u ovom slučaju 3D modela.

DfE analitičar poslednji predlaže izmenu i obrazlaže je putem svojih analiza i proračuna koje šalje projekt menadžeru. Izmena uključuje izmenu na delu «Osovinica» kao primarnom delu, usled čega dolazi do izmena na delovima «Kućište» i «Klackalica». Kod dela «Osovinica» dolazi do izmene materijala i do izmene konstrukcije, dok kod ostalih delova dolazi do izmene konstrukcije. DfE analitičar šalje skicu potrebne izmene uz komentar obrazloženja izmene.

Projekt menadžer inicira početak *Workflow* procesa. On šalje predloženu izmenu od strane DfE analitičara ostalim učesnicima na odobrenje, i određuje vreme za koje je potrebno doneti odluku.

U *Workflow* procesu može se videti status svih aktivnosti u procesu razvoja proizvoda. Dostupni su sledeći statusi:

- završena i odobrena aktivnost,
- aktivnost koja je trenutno aktivna,
- aktivnosti koje tek treba da se urade,
- aktivnosti koje su odbijene i šalju se na ponovnu analizu

DfA analitičar prvi analizira izmenu i odobrava je. Takođe DfM analitičar nakon analize izmene, odobrava prvu izmenu i svi članovi sada mogu videti status izmene i vreme kada je izmena prihvaćena, odnosno donesena odluka.

Razvoj proizvoda izvršen je kroz sedam iteracija na delovima proizvoda.

Na bazi predloženih izmena projekt menadžer pravi konačni izveštaj i šalje inženjeru-konstruktoru instrukcije za izmenu 3D modela vage. Konačni rezultat procesa je novi dizajn proizvoda putem kojeg je došlo do poboljšanja proizvoda u smislu sniženja troškova i skraćenja vremena proizvodnje proizvoda, kao i do poboljšanja parametara proizvoda vezanih za uticaj na životnu sredinu.

6. ZAKLJUČAK

Na osnovu prethodno navedenog može se zaključiti da se uvođenjem PLM platforme u proces razvoja proizvoda, omogućava integracija

projektnog tima na zajedničku platformu gde svi mogu da rade zajedno u realnom vremenu na digitalnim modelima. Dakle, svaka izmena koja se vrši na modelu, automatski se šalje celom projektnom timu i svi su obavešteni o izmeni, a samim tim zna se šta ko radi u svakom momentu, i na kom modelu se radi, tako da je mogućnost pravljenja duplikata, tj nepotrebnog posla, svedena na minimum.

Uključivanja DfE analize u proces razvoja proizvoda dovodi do visokokvalitetnog proizvoda, koji uzima u obzir uticajne faktore vezane za zaštitu životne sredine, te na taj način proizvod postaje konkurentniji na tržištu.

Obzirom na vrlo značajno mesto u procesu razvoja proizvoda, primena DfX alata u PLM okruženju, takođe ima i nedostataka. U skladu sa tim nedostacima, zahteva se ozbiljan istraživački rad u sledećim pravcima:

- Istraživanja bi trebalo nastaviti u pravcu utvrđivanja novih taksonomija koja će omogućiti dostizanje boljeg razumevanja i integracije različitih faza koje podrazumevaju integralni razvoj proizvoda i različitih alata koji se koriste.
- Istraživanja bi trebalo nastaviti u pravcu razrade alata za *Workflow Management* koji treba da se posmatra kao mogućnost za poboljšavanje kako osnovnog poslovnog procesa tako i postojeće organizacione strukture.

7. REFERENCE

- [1] Fürstner I.: "Razvoj metodologije za povezivanje činilaca u procesu integralnog razvoja proizvoda u umreženom okruženju", Magistarski rad, Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, 2005.
- [2] Anišić Z.: „Razvoj i menadžment proizvoda u toku životnog ciklusa“, Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, 2011.
- [3] Bufardi A., Edler A., Frey M., Kiritsis D., Metin A., Smith B.: *The Future of Product Development*, Springer Berlin Heidelberg, 2007.
- [4] http://en.wikipedia.org/wiki/Product_lifecycle_management

Autori: M.Sc. Marija Karać, Mag.ing. Radomir Draškić, M.Sc. Zoran Štrbac, M.Sc. Miloš Dejanović, Hitard Engineering, Bulevar Oslobođenja 60A, Novi Sad, Tel.: +381 21452917
E-mail: marija@hitard.com
info@hitard.com
zoran@hitard.com
milos@hitard.com

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
ETIKUM 2014

PROCEEDINGS

Session 4:
**BIOMASS PROCESSING IN ENVIRONMENTAL
PROTECTION ENGINEERING**

Novi Sad, 19 – 20 June 2014.

Igić, S., Dedović, N., Brkić, M.

**ENERGETSKA EFIKASNOST I UTICAJ NA ŽIVOTNU SREDINU
RUČNO LOŽENIH KOTLOVA NA BALIRANU PŠENIČNU SLAMU**

Rezime: U radu su prikazani rezultati ispitivanja toplovodnog kotla za sagorevanje balirane pšenične slama na PD "Mitrosrem", radna jedinica Kuzmin. Deklarisana snaga kotla je 120 kW. Kontinuirano je praćen uticaj protoka vazduha koji se dovodi u ložište kotlovskog postrojenja na sagorevanje slame. Navedeni su parametri koji su mereni prilikom procesa sagorevanja. Prikazani su matematički modeli zavisnosti toplotne snage kotla i stepena iskorišćenja u funkciji od vremena. U radu su date promene količine ugljendioksida (CO_2), kiseonika (O_2), ugljenmonoksida (CO), sumpordiosida (SO_2), azotoksida (NO_x) i vodonika (H_2) u produktima sagorevanja tokom vremena sagorevanja bala pšenične slame.

Ključne reči: pšenična slama, energetska efikasnost, kotao, sagorevanje, emisija gasova

1. UVOD

U Srbiji postoji sve veća potreba za korišćenjem alternativnih, tj. obnovljivih izvora energije, kao što su biomasa, biogas, energija vetra, sunca, hidroenergija i geotermalna energija. Razlog za ovo leži u činjenici da cena fosilnih goriva raste istim tempom kojim se rezerve ovih goriva smanjuju, ako ne i brže od toga. Kako je Srbija relativno siromašna rezervama fosilnih goriva, naročito onih kvalitetnijih, ovaj problem samim tim postaje izraženiji. Neophodno je i smanjiti uvozu zavisnost Srbije energentima. Preko 90% prirodnog gasa se uvozi iz Rusije kao i najveći deo sirove nafte. Smanjenjem uvozne zavisnosti Srbija bi imala stabilnije tržište, jeftinije proizvode a otvorila bi se i nova, kvalitetna radna mesta. Po nekim istraživanjima samo većim korišćenjem biomase u Vojvodini moglo bi se otvoriti novih 10 hiljada radnih mesta. Sa druge strane, neophodno je usklađivanje zakonske regulative Srbije sa smernicama Evropske Unije, u smislu intenziviranja korišćenja obnovljivih izvora energije radi smanjenja zagađenja životne sredine i stvaranja efekta staklene bašte (Brkić i Janić, 1998, Janić 2000).

U radu je opisano kotlovsko postrojenje za sagorevanje pšenične slame. Kotlovsko postrojenje je locirano u poljoprivrednom kombinatu "Mitrosrem" iz Sremske Mitrovice, radna jedinica Kuzmin. Osnovu postrojenja čini toplovodni kotao proizvođača "Eko produkt" iz Novog Sada. Toplovodni kotao ima deklarisanu snagu od 120 kW. Loženje kotla je ručno (Igić, 2009).

Posmatrano kotlovsko postrojenje služi za zagrevanje poslovne zgrade poljoprivrednog kombinata "Mitrosrem" iz Sremske Mitrovice, radne jedinice Kuzmin. Poslovna zgrada je ukupne

površine 630 m². Sistem za grejanje sastoji se od 38 grejnih tela sa ukupno 595 članaka. Grejna tela su člankasti liveni aluminijumski radiatorji.

Kotlovsko postrojenje sastoji se od nekoliko zasebnih, ali nerazdvojenih funkcionalnih celina, koje u sebi sadrže neophodnu mernu i regulacionu opremu. Funkcionalne celine od kojih se sastoji ispitivano postrojenje su sledeće:

- dovod, merenje i regulisanje količine svežeg vazduha koji se dovodi u ložište kotlovskog postrojenja,
- sagorevanje biogoriva i odvođenje proizvedene količine toplote,
- odvođenje produkata sagorevanja,
- merno-regulaciona oprema.

2. MATERIJAL I METOD RADA

Za materijal u radu su odabrane prizmatične bale pšenične slame. Izbor pšenične slame kao biogoriva je urađen iz razloga što se ona najčešće koristi u procesu sagorevanja balirane biomase. Pored toga, pšenica je zastupljena u setvenim strukturama ravničarskih regiona naše zemlje sa oko 25 procenata. Donja toplotna moć pšenične slame je 14,9 MJ/kg (Igić et al, 2006). Raspoloživi termoenergetski potencijali pšenične slame u Srbiji su oko 190 000 tona ekvivalentnog ekstralakog (EL) ulja za loženje. Potencijal pšenične slame je oko petine ukupnog potencijala biomase u ratarstvu u Srbiji. Pšenična slama koja je korišćena u eksperimentalnom delu ovog rada prikupljena je na zemljištu poljoprivrednog kombinata "Mitrosrem" iz Sremske Mitrovice, radna jedinica Kuzmin. Prikupljanje bala slame obavilo se neposredno posle žetve. Slama je balirana presom za baliranje dok je skladištenje balirane slame izvršeno u kamare u okviru ekonomskih dvorišta

navedene radne jedinice.

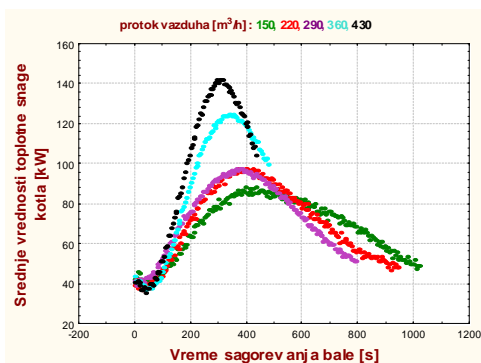
Izvršen je izbor bala ujednačenih dimenzija i masa. Nakon njihovog odabira izvršeno je njihovo skladištenje u prostorijama radne jedinice Kuzmin. Odabrano je ukupno 350 bala pšenične slame. Bale su bile smeštene u skladišnoj prostoriji koja se nalazi u sastavu kotlarnice tako da nisu bile izložene daljim klimatskim uticajima, što im je očuvalo kvalitet i sprečilo veće narušavanje njihovog sastava, izgleda i sabijenosti. Poprečni presek bala pšenične slame bio je u proseku 0,35m x 0,5 m, dok je dužina bala iznosila oko 0,75 m. Sabijenost bala pšenične slame je bila ujednačena.

U radu su prikazani različiti režimi rada kotla (varirana je količina vazduha koji je dovođen u kotao). Ukupno je posmatran uticaj pet režima (150, 220, 290, 360 i 430 m³/h) rada kotla na sam proces sagorevanja. Količina vazduha koja se dovodi u ložište kotla u procesu sagorevanja utiče na efikasnost rada kotlovskih postrojenja koja kao gorivo koriste biomasu.

Metode merenja su u skladu sa standardom SRS M.E2.203 i DIN 4702 kod definisanja termičke snage kotla. Toplotna snaga kotla određena je direktnom metodom (Brkić, et. al, 1997), to jest, merenjem zapreminskog protoka vode i merenjem temperature vode na ulazu i izlazu iz kotla. Stepen korisnosti kotla određen je odnosom između dobijene i uložene toplotne snage kotla (Pešenjanski i Stepanov, 2005).

3. REZULTATI ISPITIVANJA

Merene veličine prilikom ispitivanja su automatski beležene u kontroleru svakih 5 sekundi, tako da je obezbeđeno kontinuirano praćenje procesa sagorevanja. U svakom režimu je izvršeno po pet merenja. U radu su prikazane srednje vrednosti izmerenih parametara sagorevanja (toplotna snaga i stepen korisnosti kotla) pri svakom režimu rada.



Slika 1. Zavisnost srednje vrednosti snage kotla i vremena sagorevanja bale za različite režime rada

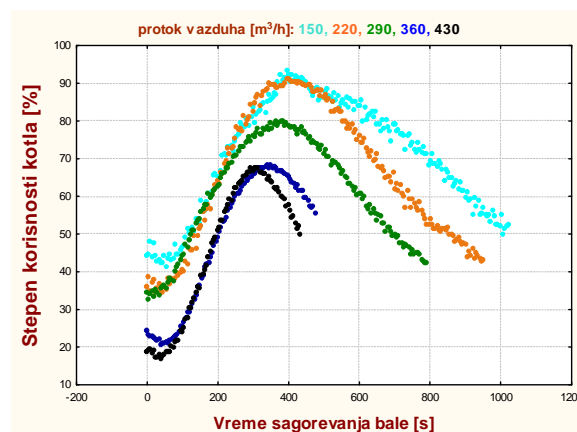
Na osnovu slike 1, može se zaključiti da grafik snage kotla ima oblik sinusne funkcije koji sadrži jedan minimum i jedan maksimum i konkavnog je oblika. Matematički model zavisnosti srednje vrednosti toplotne snage kotla i vremenasaagorevanja baleza različite režime rada dat je jednačinom:

$$v_2 = 56,5549 + 0,1614 \cdot v_3 \cdot \sin(3,7985 \cdot (v_1 - 110,4727) / v_4)$$

gde je:

- v1 - vreme sagoravanja bale,
- v2 - toplotna snaga kotla,
- v3 - protok vazduha,
- v4 - ukupno vreme sagorevanja bale,

Važan parametar pri ispitavanju kotla je i stepen efikasnosti (korisnosti) kotla. Koristeći već prikazani matematički model, može se izraziti stepen korisnosti kotla u zavisnosti od vremena sagorevanja bale. Slika 2 predstavlja zavisnost stepena korisnosti kotla i vremena sagorevanja bale za različite režime rada



Slika 2: Zavisnost stepena korisnosti kotla i vremena sagorevanja bale za različite režime rada

Matematički model zavisnosti stepena korisnosti kotla od vremena sagorevanja bale za različite režime rada dat je jednačinom

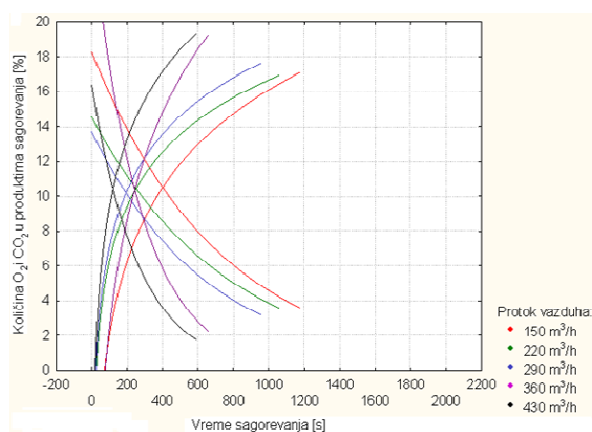
$$v_2 = 121,0110 \cdot v_4 \cdot (49,6581 + 0,1614 \cdot v_3 \cdot \sin(3,7985 \cdot (v_1 - 110,4727) / v_4)) / v_5$$

gde je:

- v1 - vreme sagoravanja bale,
- v2 –stepen korisnosti kotla,
- v3 - protok vazduha,
- v4 - ukupno vreme sagorevanja bale,
- v5 – srednja vrednost mase bala za svaki režim rada kotla,

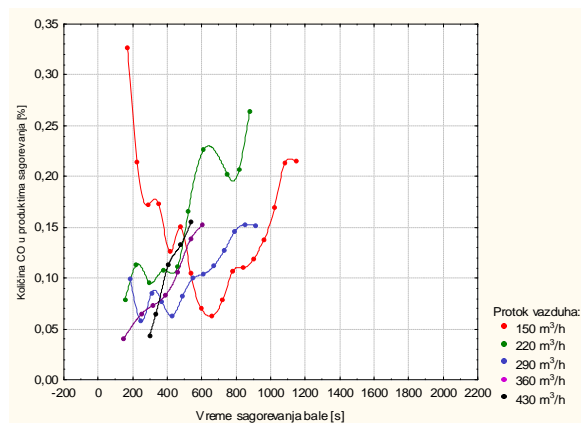
Na slici 3 prikazana je promena količine

kiseonika (O_2) i ugljendioksida (CO_2) u produktima sagorevanja tokom vremena sagorevanja bala pšenične slame bez recirkulacije produkata sagorevanja. Raspored krivih je uglavnom pravilan, sem kod krive protoka vazduha od 360 i 430 m^3/h koja seku krive protoka vazduha od 150, 220 i 290 m^3/h . Vreme sagorevanja bala sojine slame je malo produženo. U toku vremena sagorevanja bala pšenične slame raste količina kiseonika, a opada količina ugljendioksida u produktima sagorevanja, izražena u procentima. Porast količine kiseonika ide od 0% do 17,1 – 19,2%, a pad količine ugljendioksida ide od 13,6 – 20,9%, pa do 1,8 – 3,8%. Raspored krivih na dijagramu uglavnom je pravilan, sem krivih protoka vazduha 360 i 430 m^3/h , koje presecaju ostale krive.



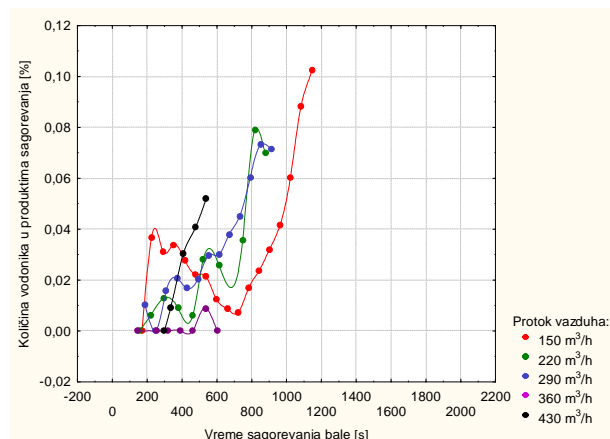
Slika 3. Promena količine ugljendioksida (CO_2) i kiseonika (O_2) u produktima sagorevanja tokom vremena sagorevanja bala pšenične slame

Na slici 4 prikazana je promena količine ugljenmonoksida (CO) u produktima sagorevanja tokom vremena sagorevanja bala pšenične slame bez recirkulacije produkata sagorevanja. Prikazane krive dobijene su na osnovu obrade rezultata ispitivanja (Igić, 2009). Krive protoka vazduha 220, 290, 360 i 430 m^3/h imaju tendenciju porasta količine CO u toku vremena sagorevanja bala, dok kriva protoka od 150 m^3/h ima oblik konkavnosti u toku vremena sagorevanja bala. Količina CO u produktima sagorevanja za sve režime iznosi od 0,04 do 0,33%. Režimi sa nižim protokom vazduha proizvode veću količinu CO .



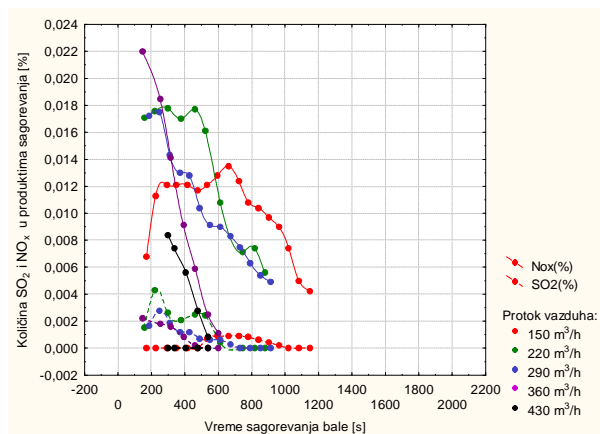
Slika 4. Promena količine ugljenmonoksida (CO) tokom vremena sagorevanja bala pšenične slame u zavisnosti od protoka vazduha

Promena količine vodonika (H_2) u produktima sagorevanja ima istu tendenciju kao i ugljenmonoksid (CO). Količina H_2 u produktima sagorevanja za sve režime iznosi od 0,00 do 0,105%. Režimi sa nižim protokom vazduha proizvode veću količinu H_2 .



Slika 5. Promena količine vodonika (H_2) tokom vremena sagorevanja bala pšenične slame u zavisnosti od protoka vazduha

Promena količine sumpordiosida (SO_2) i azotoksida (NO_x) u produktima sagorevanja (H_2) ima suprotnu tendenciju u odnosu na ugljenmonoksid (CO) i vodonik (H_2). Naime, navedene krive zavisnosti imaju tendenciju opadanja u toku vremena. Jedino kriva najmanjeg protoka vazduha 150 m^3/h ima tendenciju konkavnosti. Količine SO_2 i NO_x opadaju u produktima sagorevanja za sve režime i iznosi od 0,004 do 0,00% za SO_2 , a 0,022 do 0,00% za NO_x . Režimi sa većim protokom vazduha proizvode manje količine SO_2 i NO_x .



Slika 6. Promena količine sumpordiosida (SO_2) i azotoksida (NO_x) u produktima sagorevanja tokom vremena sagorevanja bala pšenične slame

5. ZAKLJUČAK

Dobijeni rezultati ukazuju da je optimalni režim rada kotla pri protoku vazduha kroz ložište u intervalu od $290 \text{ m}^3/\text{h}$ do $360 \text{ m}^3/\text{h}$. Prikazani matematički modeli mogu se smatrati verodostojnim za dato postrojenje i uslove pod kojima su sprovedeni eksperimenti. Primena matematičkih modela u praksi može biti višestruka. Pored pružanja osnovnih informacija u svrhu povećanja energetske efikasnosti kotlovske postrojenja, ovi matematički modeli mogu da se primene pri projektovanju novih postrojenja kao i kod rekonstrukcije i automatizacije postojećeg postrojenja.

U toku vremena sagorevanja bala pšenične slame raste količina kiseonika (O_2), a opada količina ugljendioksida (CO_2) u produktima sagorevanja, izražena u procentima. Porast količine kiseonika kreće se od 0% do 17,1 – 19,2%, a pad količine ugljendioksida kreće se od 13,6 – 20,9%, pa do 1,8 – 3,8%. Krive protoka vazduha 220, 290, 360 i $430 \text{ m}^3/\text{h}$ imaju tendenciju porasta količine ugljenmonoksida (CO) u toku vremena sagorevanja bala, dok kriva protoka vazduha od $150 \text{ m}^3/\text{h}$ ima oblik konkavnosti u toku vremena sagorevanja bala. Količina ugljenmonoksida u produktima sagorevanja za sve režime iznosi od 0,04 do 0,33%. Režimi sa nižim protokom vazduha proizvode veću količinu ugljenmonoksida. Promena količine vodonika (H_2) u produktima sagorevanja ima istu tendenciju kao i ugljenmonoksid (CO). Količina H_2 u produktima sagorevanja za sve režime iznosi od 0,00 do 0,105%. Režimi sa nižim protokom vazduha proizvode veću količinu H_2 . Količine sumpordiosida (SO_2) i azotnih oksida (NO_x) opadaju u produktima sagorevanja za sve režime i iznosi od 0,004 do 0,00% za SO_2 , a 0,022 do 0,00% za NO_x . Režimi sa većim protokom

vazduha proizvode manje količine SO_2 i NO_x .

6. REFERENCE

- [1] Brkić, M, Janić, T, Igić, S. Assessment of species and quantity of biomass in Serbia and guidelines of usage, Thermal Science, 16(Suppl.)1, pp.16
- [2] Brkić, Lj, Živanović, T, Tucaković, D. Termički proračun parnih kotlova, Mašinski fakultet, Bеоград, 1997, s. 183.
- [3] Hellwig, M.: Basic of the combustion of wood and straw, Proceedings of the 3rd E. C. Conference on Biomass "Energy from Biomass", Venice, Italy, 25-29 March 1985, pp. 793-798.
- [4] Igić, S., Pekez, Z., Brkić, M., Janić, T.: Određivanje toplotne moći, sadržaja vlage i pepela pšenične i sojine slame, časopis: Revija agronomska saznanja, Vojvodansko društvo za poljoprivrednu tehniku, Novi Sad, XV (2006)5, s. 38-43.
- [5] Igić, S, Dedović N, Janić T. Modelovanje energetske efikanosti kotla za sagorevanje slame, Revija agronomska saznanja, Novi Sad, XVII (2007)5, s. 15-21.
- [6] Igić, S. Uticaj vrste balirane biomase, količine i sastava vazduha za sagorevanje na efikasnost rada kotlovske postrojenja, doktorska disertacija, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 2009, s. 215.
- [7] Janić, T.: Kinetika sagorevanja balirane pšenične slame, Doktorska disertacija, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 2000, s. 57-65
- [8] Pešenjanski, I, Stepanov, B.: Rezultati ispitivanja kotla za sagorevanje biomase 250 kW i predlog tehničko-organizacionih mera za povećanje energetske efikasnosti postojećih kotlovske postrojenja, časopis: "Savremena poljoprivredna tehnika", JNDPT, Novi Sad, 31(2005)4, s. 197-203,
- [9] Institut za standardizaciju, SRS M.E2 2003 / 1980, Beograd.
- [10] Nemački standard DIN4702, Bon.

Autori: Dr Saša Igić¹, doc, prof. dr Nebojša Dedović², doc, prof. dr Miladin Brkić²
 FIMEK¹, Cvećarska 2 Novi Sad,
 Poljoprivredni fakultet², Trg D. Obradovića 8,
 Novi Sad,
 E-mail: sasaigic65@gmail.com
dedovicn@polj.uns.ac.rs
mbrkic@uns.ac.rs

Gluvakov Zorica, Brkić, M.

FORMA I DIMENZIJE OTVORA NA MATRICAMA PELETIRKI U ZAVISNOSTI OD VRSTE SIROVINE ZA PRESOVANJE BIOMASE

Rezime: U radu su opisani tehnološki postupci presovanja usitnjene biomase i analizirane su različite forme i dimenzije otvora na matricama peletirki u zavisnosti od vrste sirovine za presovanje. Matrice mogu biti prstenaste i ravne, a oblici otvora na njima konusni, kvadratni, cilindrični i ovalni. Dimenzije otvora na matricama po dužini kanala mogu biti konstantne i promenjive. Oblici i veličine kanala na površini valjaka zavise od vrste i stanja sirovine za presovanje. Konstatovano je da se pojedine vrste biljnog materijala različito presuju i da samim tim zahtevaju različite konstrukcione karakteristike za presovanje. Vlakanasti celulozni materijali koji se dobro termički samozalepljuju kao što je piljevina od drveta lakše se presuju od kabastih manje vlaknastih materijala, neujednačene strukture i usitnjenosti kao što je poljoprivredna biomasa. U radu će se prikazati uticaj proizvodnje matrica peletirki na kvalitet zaštite životne sredine. U zaključku rada se navode konstatacije kako treba da se navedeni problemi prevaziđu.

Ključne reči: biomasa, energetski pelet, prese za peletiranje, konstrukcione karakteristike

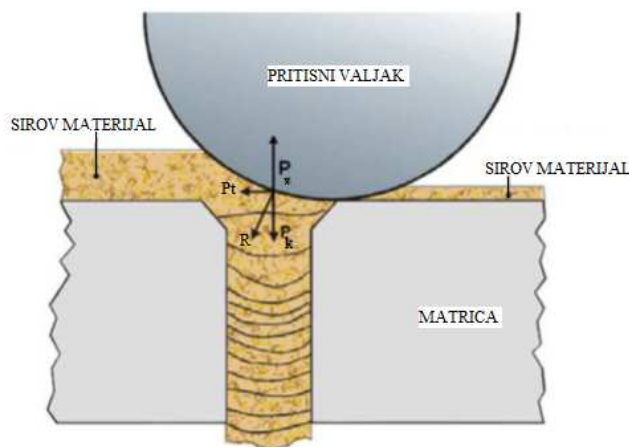
1. UVOD

Posle eventualnog sušenja, usitnjavanja i kondicioniranja sirovine, obavlja se proces peletiranja na pelet presi (Brkić i sar, 2012). Tehnologija proizvodnje peleta izvorno proizilazi iz industrijske proizvodnje stočne hrane. Prilagođavanjem tehnologije peletiranja usitnjene sirovine, radi proizvodnje energetskih peleta u obliku odgovarajuće forme, veličine otpreska i sadržaja vlage, moguće je proizvesti homogeno biogorivo od otpadaka drveta ili poljoprivredne biomase. Oprema za proizvodnju energetskih peleta, takođe, potiče od opreme za industrijsku proizvodnju stočne hrane, tj. od presa za stočnu hranu, čiji su parametri optimalizovani i koje su napravljene od odgovarajuće čvrstoće materijala.

Najvažniji radni element pelet prese je matrica. Postoje dva tipa matrica: u obliku prstena i ravna matrica. Kod prstenaste matrice sirovina se dovodi odozgo, ubacuje se u središnji deo prstenaste matrice, pada preko valjaka na matricu, koji sirovinu potiskuju radialno (bočno) kroz otvore matrice. Sirovina izlazi sabijena iz otvora matrice ekstruzijom (istiskivanjem). Matrica može da bude postavljena vertikalno ili horizontalno (Obenberger I, Thek, G. 2009). Kod ravne matrice sirovina pada odozgo, preko valjaka, na matricu i biva potisnuta valjcima kroz otvore u matrici izlazeći iz otvora istiskivanjem. Matrica je u oba slučaja postavljena horizontalno.

Dakle, za proces presovanje sirovine najvažniji elementi prese su matrica, valjci i nož za otsecanje peleta. Sirovina ulazi u prostor za napajanje (presovanje) i podjednako treba da bude

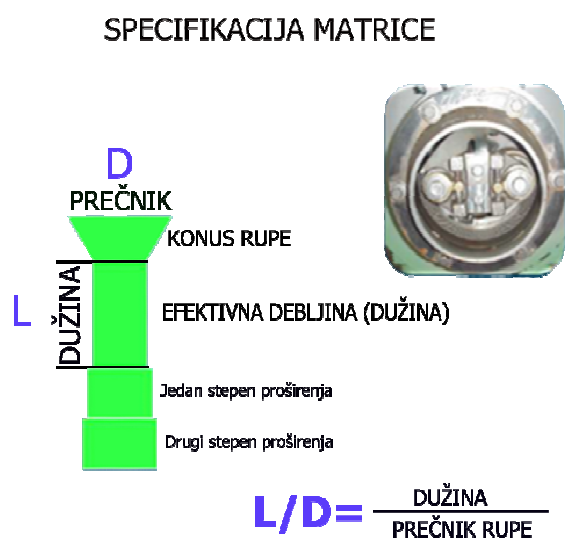
razdeljena po otvorima matrice (sl. 1). Na matrici se stvara “tepih” (tanak sloj) od sirovine okretanjem valjaka ili matrice. Preko “tepiha” okreću se valjci pritiskivači i stvaraju sabijen, zgusnut sloj sirovine. Kod prekomernog kotrljanja valjaka stvara se snažan pritisak i dolazi do začepjenja otvora u matrici. Zbog toga, valjci moraju imati odgovarajuću perifernu brzinu okretanja. Iz matrice izlazi beskonačna nit sirovine, koja se preseca nožem na željenu dužinu. Noževi mogu biti stacionarni ili pokretni u zavisnosti od toga da li se ili ne okreće matrica. Tako nastaju pelete.



Slika 1. Grafički prikaz potiskivanja sirovine kroz kanal matrice peletirke (Alakangas i sar, 2002)

Važne karakteristične veličine u proizvodnji peleta su odnos presovanja, broj rupa u matrici i otuda upotreba otvorene unutrašnje površine matrice (bez obzira na prilike, tj. mogućnost

pristupa). Kod odnosa presovanja podrazumeva se odnos između dužine kanala (otvora matrice) za presovanje materijala i preseka izbušene rupe, tj. prečnika otvora matrice, kao karakteristične veličine, sl. 2 ($Op = l/d$). Odnos presovanja određen je i u zavisnosti od vrste sirovine za presovanje, da bi se u kanalu za presovanje stvorilo odgovarajuće trenje (Brkić i sar., 2012). Dakle, odnos presovanja zavisi od karakterističnih dimenzija otvora matrice i vrste sirovine, da bi se na taj način proizveo kvalitetan (čvrst) pelet i postigao željeni učinak (produktivnost) prese.



Slika 2. Uzdužni presek reljefnog oblika otvora u matrici

D-prečnik, L-dužina, kompresioni odnos $L/D = \text{dužina/prečnik rupe}$

Po pravilu matrice su koncipirane tačno za određenu vrstu sirovine i ne može da se koristi za drugu vrstu. Dakle, parametri presovanja za jednu određenu vrstu sirovine su: debljina matrice; dužina kanala za presovanje; broj, forma i presek otvora; širina puta za kretanje valjaka za presovanje; broj valjaka za presovanje, presek, širina i spoljna površina valjaka; forma (oblik) valjaka za presovanje (cilindrični ili konusni) kod prese sa ravnom matricom, tip kanala na površini valjaka (rupičasti, linearni i dr.).

Broj valjaka može da bude dva, tri ili četiri. Broj otvora u matrici, a time upotreba, raspolaganje sa stalnim otvorenim površinama otvora utiče na učinak (produktivnost) prese. Preduslov za dobro i kvalitetno peletiranje jeste kontinuirano (stalno) hranjenje prese sa homogenom sirovinom, dovoljno usitnjenom, sa konstantnim sadržajem vlage, koja za određenu vrstu prese i konkretnu drvenastu sirovinu iznosi između 8 i 13 %. Kod presovanja poljoprivredne

biomase sadržaj vlage u sirovini može da bude nešto veći od 10 do 15 %.

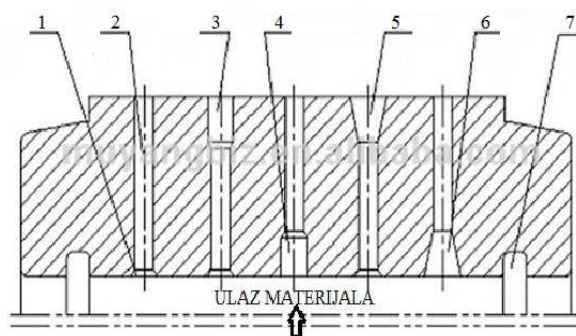
Cilj ovog rada jeste da analizira oblike alata za presovanje biomase u zavisnosti od vrste, strukture, usitnjenosti i sadržaja vlage biomase, radi definisanja potrebnih konstantnih parametara za efikasnu proizvodnju energetskih peleta.

2. VRSTE ALATA ZA PRESOVANJE BIOMASE

2.1 Prese sa prstenastom matricom

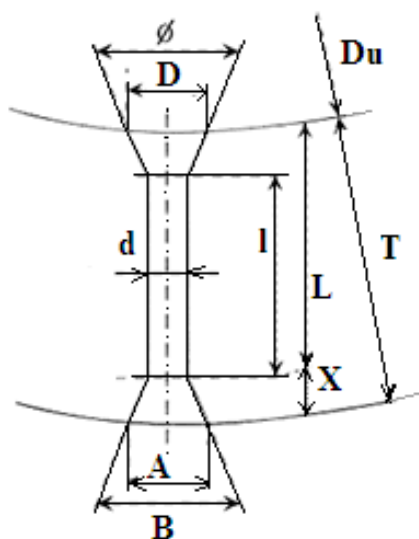
Danas su najviše zastupljene prese za peletiranje sa prstenastim matricama, mada je izrada tih matrica izuzetno teška, posebno obezbeđenje kvalitetnog čelika i termičke obrade, jer nastaju dodatne deformacije prstena, usled unutrašnjih naprezanja materijala. Stoga se radije koriste diskosne (ravne) matrice sa čeličnim valjcima na njoj, posebno kada su u pitanju pelete prečnika do 20 mm i dužine 30 do 50 mm (Tešić, 1977).

Na sl. 3 prikazani su u preseku uzdužni preseki otvora na prstenastim matricama, pri peletiranju biomase (cilindrični, konusni, kvadratni, ovalni i zaobljeni ulazni ili izlazni deo otvora), Mayang, 2012. Ulazni ili izlazni deo otvora se uglavnom proširuje da bi se smanjio otpor izlasku materijala iz kanala matrice. Da bi se postojanost peleta očuvala, materijal treba da ima sadržaj vlage do 14%. Na primer, pri presovanju pojedinih vrsta hraniva, kao vezivno sredstvo dodaje se melasa. Osim peletiranja repinih rezanaca prešlo se i na peletiranje sena, slame i lucerkinog brašna. Pored stacionarnih uređaja urađeni su i pokretni uređaji. Danas se peletiranje biomase obavlja bez vezivnih sredstava.



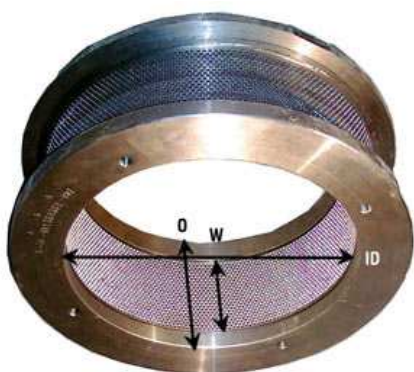
Slika 3: Različiti oblici i dimenzije otvora na prstenastoj matrici (1-konusni ulaz, 2-ravna rupa, 3-prošireni izlaz iz rupe, 4-kompresioni tip proširene rupe, 5-konusni izlaz iz rupe, 6-konusni ulaz u rupu, 7-brušeni žleb)

Na sl. 4 prikazane su konstrukcioni parametri otvora prstenaste matrice prema Litvanskoj kompaniji JSC "Radviliskis machine factory" iz Radviliskisa, u kooperaciji sa italijanskom firmom Factori S.A.S., iz Merate (www.factory.it).



Slika 4. Konstrukcioni parametri otvora matrice (d-prčnik pelete, L-efektivna dužina, Du – unutrašnji prečnik prstenaste matrice, D-prečnik otvora na ulazu, \emptyset -ugao otvora na ulazu, T- ukupna debljina matrice, l – dužina trenja, X- dubina proširenja otvora na ulazu (protivzagušenje), B-ugao otvora za protivzagušenje, A-prečnik otvora za protivzagušenje, kompresioni odnos $-D^2/d^2$, odnos trenja $-l/d^2$)

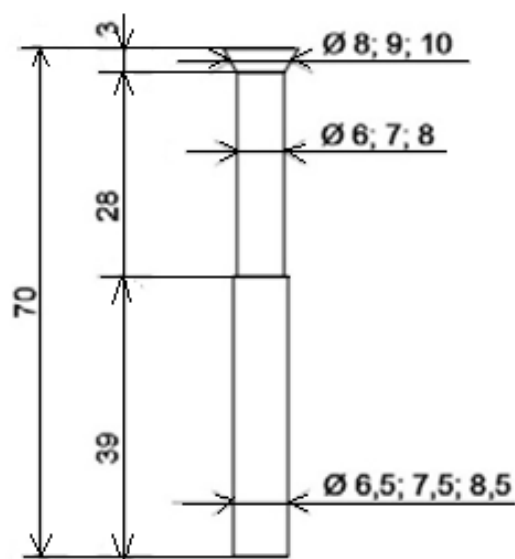
Na sl. 5 prikazani su konstrukcioni parametri otvora u prstenastoj matrici firme "General Dies" iz Italije" (www.generaldies.com).



Slika 5. Prstenasta matrica
ID – unutrašnji prečnik, W- radni opseg,
O – debljina

Presu za peletiranje biomase CPM u pogonu "Eko pelet" u Bačkom Petrovcu (Brkić i sar., 2011) je stabilne konstrukcije, koju čine koš, pužni transporter-izuzimač, kondicioner, dozator i radni alat matrice. Masa prese je oko 3 t, a matrice oko 150 kg. Nakon ulaska usitnjenog materijala u koš peletirke, neophodno je isti pomoću kondicionera zaparivati (vlažiti) da bi se ostvarilo kompaktnije peletiranje. Matrica je prstenasta sa dva potisna valjka. Dimenzije matrice su 500 x 100 x 70 mm. Prstenasta matrica se okreće, a valjci za potiskivanje mase kroz otvore na matrici stoje. Na matrici ima 9 redova otvora prečnika 6, 7 ili 8 mm. Ukupan broj otvora iznosi 1200. Radna temperatura prstenaste matrice je oko 130 °C. Učinak prese je 400 kg/h rada energetskih peleta od slame. Oblik otvora (rupe) na matrici je sledeći: unutrašnji konusni otvor \emptyset 8, 9, 10 mm i dubine 3 mm, središnji cilindrični deo za formiranje peleta: \emptyset 6, 7 ili 8 mm i dužine 28 mm, spoljni cilindrični deo za rasterećenje pritiska na peletu (ekspanzija) \emptyset 6,5; 7,5 i 8,5 mm i dužine 39 mm. Ukupna dužina otvora je 70 mm.

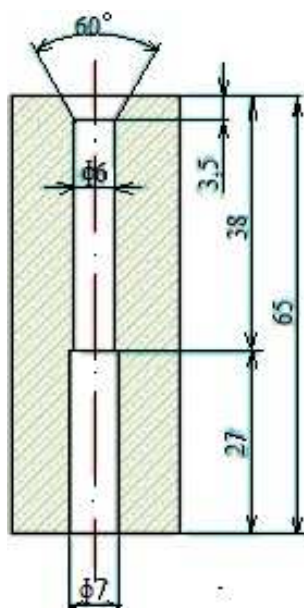
Na sl. 6 je prikazan uzdužni presek otvora matrice.



Slika 6. Uzdužni presek otvora prstenaste matrice

Kroz konusni otvor (sl. 6) ulazi usitnjena masa potiskivana sa valjcima. U konusu se sabija masa. Dalje sabijanje (kompresija) obavlja se u suženom otvoru matrice (\emptyset 6, 7, 8 mm), zavisno od potrebnog prečnika otvora. Posle ovog otvora, masa dolazi do proširenog preseka otvora (\emptyset 6,5; 7,5; 8,5 mm), gde ona ekspanduje, rasterećuje se pritiskom u masi i pelet lakše izlazi iz otvora. Ovaj oblik otvora odgovara za proizvodnju peleta od slame (Brkić et. al, 2009a).

Na sl. 7 dat je uporedni prikaz preseka otvora matrice nemačke firme “Magel Maschinenhandel GmbH” iz Neussa. http://www.pelletprocess.de/?page_id=20



Slika 7. Uporedni prikaz preseka otvora matrice nemačke firme “Magel Maschinenhandel GmbH” iz Neussa

Na slici 7 dužina kanala za sabijanje materijala je veća za 10 mm, što odgovara sabijanju lakših materijala.

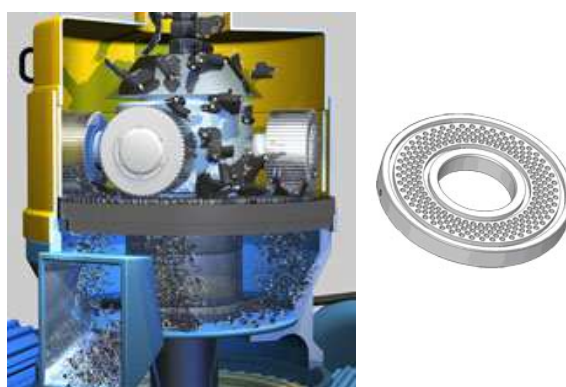
2.2 Prese sa ravnom matricom

Kod peletiranja lakših sirovina postiže se izvesni stepen prednosti, ukoliko se koristi ravna matrica (Amandus Kahl, 2009). Sve sirovine, kod kojih je nasipna masa niska (trava, slama, suvi repini rezanci, gradski otpad, drveni ostaci, itd.), sa nasipnom masom manjom od $0,3 \text{ t/m}^3$, pretežno se peletiraju ravnom matricom. Glavni razlozi za ovu konstataciju su: veliki prostor u delu prese za peletiranje omogućava da svaki valjak odmah može da peletira sirovinu; veliki prenos snage (sirovinu sa $0,14 \text{ t/m}^3$ treba „stisnuti“ sa nekoliko puta većom silom, faktor $\times 4$ ili 5 , da bi se dobio pelet od $0,65 \text{ t/m}^3$); sirovine koje imaju veliku nasipnu masu, veću od $0,5 \text{ t/m}^3$ pretežno se peletiraju prstenastom matricom (stočna hrana, otpadni materijal prehrambene industrije i dr.) iz razloga što materijal treba staviti samo u tzv. „formu“, tj. oblik, koji zahteva malu upotrebu snage; kod peletiranja prstenastom matricom prvi valjak radi pred zbijanje sirovine za drugi valjak, a to znači da prvi valjak nije u punom opterećenju. Drugi valjak peletira sirovinu (ako toga ne bi bilo,

onda bi drugi valjak stalno radio na prazno). Zbog toga na presama za stočnu hranu ima tri valjka.

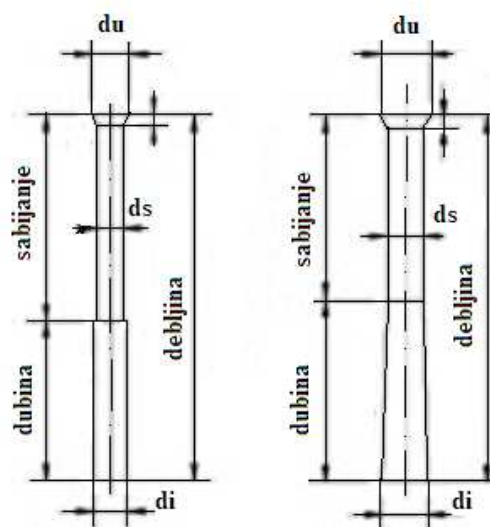
Drvo je vlaknasti materijal sa niskom nasipnom masom, a to znači da je to pogodna sirovina za peletiranje na ravnoj matrici. Kod presa sa ravnom matricom sirovina se dovodi gravitacijom. Mala brzina valjaka od $2,5 \text{ m/s}$ osigurava dobar kvalitet gotovog proizvoda. Tanak sloj sirovine u prostoru za peletiranje omogućava veću propusnu moć. Zazor između valjaka i matrice se podešava (to se radi sa hidrauličnom glavom koja nosi valjke), pa se na taj način može da kontroliše kvalitet istisnutih peleta. Vek trajanja ove matrice je duži.

Na sl. 8 prikazana je presa sa ravnom matricom i valjcima firme Amandus Kahl iz Nemačke (www.akahl.de).



Slika 8. Presa sa ravnom matricom i valjcima, (www.akahl.de)

Na sl. 9. prikazani su oblici otvora na ravnoj matrici, cilindrični i konusni (www.generaldies.com)

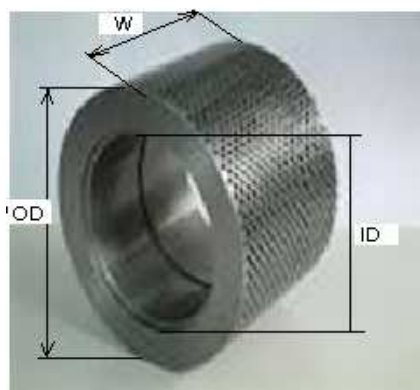


Slika 9. Oblici otvora na ravnoj matrici, cilindrični i konusni (www.generaldies.com), (du – prečnik otvora na ulazu, ds – prečnik otvora za sabijanje, di – prečnik otvora na izlazu)

Da bi se rasteretila vrednost sile otpora na izlazu iz kanala matrice, obično se povećava prečnik otvora ili se izrađuje konusni otvor kod kojeg se postepeno povećava prečnik i smanjuje sila otpora.

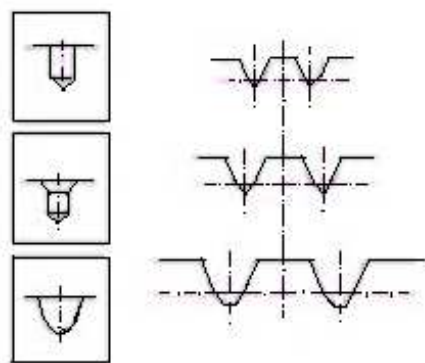
2.3 Valjci (točkovi) za presovanje

Na sl. 10 prikazani su valjci za presovanje različitih oblika kanala na površini valjka firme General Dies iz Italije (www.generaldies.com).



Slika 10. Valjci za presovanje (W-širina, OD-spoljni prečnik, ID-Unutrašnji prečnik)

Na sl. 11. Prikazani su oblici i veličine kanala na valjcima.



Slika 11. Oblici i veličine kanala na valjcima

Oblici i veličine kanala na površini valjaka zavise od vrste i stanja sirovine za presovanje. Krupnije usitnjena sirovina zahteva izraženiju reljefnu površinu valjka, da bi došlo do delimičnog usitnjavanja sirovine, kao nus pozitivne pojave.

2.4 Proizvodnja matrica

Izrada komponenti za mašine, uređaje i opremu za proizvodnju energetskih peleta od biomase, s obzirom da se radi o poznatim konvencionalnim tehnologijama, imaju neznatni uticaj na životnu sredinu: sečenje lima i noseće konstrukcije, kovanje, zavarivanje, struganje, bušenje, glodanje, rendisanje, itd. (Hodolič i sar, 2013). U proizvodnom procesu ne radi se sa isparljivim hemijskim jedinjenjima, organskog ili mineralnog porekla, štetnim za životnu sredinu. Eventualni problemi koji se mogu pojaviti za životnu sredinu od strane strugotine, opiljaka, delova vara, otpadaka od sečenja lima i noseće konstrukcije, uspešno se rešavaju tako što se ovaj otpad se sakuplja u kontejnere, odvozi i odlaže na za to zakonom propisano mesto. Istrošeno ulje, voda za hlađenje radnih organa mašina (strugova, glodala, itd.), sredstva za kaljenje komponenti, itd., takođe se sakuplja u rezervoare kontejnerskog tipa, i odvozi na zakonom propisno mesto. Količina ispuštenih zagađujućih materija u okolinu kontroliše se u skladu sa Uredbom o graničnim vrednostima emisija zagađujućih materija u vazduhu i Uredbom o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode i rokovima za njihovo dostizanje, kao i Pravilnikom o dozvoljenim količinama opasnih i štetnih materija u zemljištu i vodi za navodnjavanje i metodama njihovog ispitivanja

3. ZAKLJUČCI

Na osnovu analize konstrukcionih karakteristika opreme za peletiranje biomase (alata za presovanje), tj. oblika i dimenzija otvora na matricama i tehnoloških postupaka presovanja usitnjene biomase na prstenastim i ravnim matricama, ustanovljeno je sledeće:

- oblici otvora na matricama mogu biti cilindrični, kvadratni, konusni i ovalni,
- dimenzije otvora po dužini kanala mogu biti konstantne i promenjive,
- otvor na ulazu u kanal može biti proširen da bi se izbeglo nagomilavanje materijala na ulazu u kanal, tj. da bi se smanjio otpor materijala pri presovanju,
- dužina kanala određuje stepen sabijenosti materijala,

-proširenje izlaznog dela kanala ima za cilj da smanji otpor presovanja materijala.
 -valjci za presovanje imaju različitu konfiguraciju površine u zavisnosti od vrste materijala za presovanje, krupniji material zahteva izraženiju konfiguraciju,
 -ustanovljeno je da pojedine vrste biljnog materijala različito se presuje i zbog toga zahtevaju odgovarajuće konstrukcione parametre za presovanje.
 -lakše se presuje piljevina od drveta, vlaknast material, koji se dobro samozalepljuje, a teže se presuje poljoprivredna biomasa, kabasta, neujednačene strukture i usitnjenosti, sa manje vlakana i sa povećanim sadržajem vlage.
 -presuva biomasa se, takođe, teško presuje, pa je potrebno sirovinu prethodno kondicionirati (vlažiti).

4. ZAHVALNOST

Rezultati prezentovani u ovom radu su deo istraživanja na projektu MNTR br. III-42011 koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

5. LITERATURA

- [1] Alakangas, E.; Paju, P. (2002). In: Wood pellets in Finland, technology, economy and market. OPET 5 report. VTT Technical Research Centre of Finland: Espoo,
- [2] Amandus Kahl (2009). Prospektni materijal, Amandus Kahl GmbH, Hamburg, Nemačka, (www.akahl.de).
- [3] Brkić M, Janić T. (2009a). Briketiranje i peletiranje biomase, monografoija, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, s. 277.
- [4] Brkić, M, Gluvakov Zorica, Janić, T (2011): Analiza procesa proizvodnje energetskih peleta od biomase, časopis: »Savremena poljoprivredna tehnika«, Novi Sad, 37, 2, s. 203-212,
- [5] Brkić M, Janić T, Gluvakov Zorica (2012): Oblici i veličine otvora na matricama peletirki u zavisnosti od vrste sirovine za presovanje, Zbornik radova sa: i međunarodne naučno-stručne konferencije: „Obnovljivi i raspoloživi izvori energije“, MMA, Novi Sad – Andrevlje, oktobar 2012, s. 122-129.
- [6] Hodolić J., Komad R., Lalić N., Agarski B., Brkić M. (2013). Uticaj postrojenja za proizvodnju biogoriva na kvalitet zaštite životne sredine. Etikum 2013 - Metrologija i kvalitet u proizvodnji

- inženjerstva i zaštite životne sredine, s. 111-114, Novi Sad,
- [7] »JSC “Radviliskis machine factory” Vytauto str. 3, LT-82151 Radviliskis, Kaunas, Lithuania(www.factory.lt)
 - [8] General Dies (2012), Prospektni material, Via Stra 182 – 37030 Colognola ai Colli – VR, Italija, (www.generaldies.com)
 - [9] MUYANG, Kina (2013): http://muyangbiz.en.alibaba.com/product/580762795215414491/Ring_Die_Pellet_Die_Mill_Die_For_Sale_MUYANG.html
 - [10] Magel Maschinenhandel GmbH, Olympiasiegerstr. 1, 41472 Neuss, DE, http://www.pelletprocess.de/?page_id=20
 - [11] Obenberger I, Thek, G. 2009. Herstellung und enegetische Nutzung von pellets, Institut für Prozesstechnik, Technische Unirversität Graz, s.360,
 - [12] Tešić M. (1977). Das Verdichten unter Nahrstoffaufschluss von Futterplanzen in Matrizenpressen, Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Landwirtschaftlichen Fakultat der Georg-August.Universitat zu Gottingen, Gottingen, s.181.

Autori: MSc Zorica Gluvakov¹, dr Miladin Brkić¹

¹Unirvezitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Trg Dositeja Obradovića 8, 21000 Novi Sad, Srbija.

E-mail: zorica.gluvakov@live.com
mbrkic@uns.ac.rs

Gluvakov Zorica, Prvulović Slavica, Košut Z.

ANALIZA TERMIČKO-HEMIJSKIH POKAZATELJA KVALITETA ENERGETSKIH PELETA OD BIOMASE

Rezime: U savremenim uslovima življenja, kada se akcenat stavlja na očuvanje životne sredine i održivi razvoj, goriva proizvedena iz biomase sve više dobijaju na značaju, te je neophodno razmatrati kvalitet krajnjeg proizvoda dobijenog od biomase. U ovom radu su na osnovu postojećih evropskih standarda, prikupljene literature i postojećih laboratorijskih metoda prikazani rezultati ispitivanja pojedinih termičko - hemijskih pokazatelja kvaliteta energetskih peleta od biomase nakon presovanja i hlađenja sabijenog materijala. Ispitivanjem uzoraka na osnovu standardnih metoda dobijeni su podaci na osnovu kojih su procenjene pojedine termičko - hemijske karakteristike peleta. Poređenjem dobijenih rezultata sa standardima i literaturnim izvorima može se reći da su sadržaj vlage, sadržaj pepela i toplotne vrednosti najznačajniji parametri za analizu kvaliteta, koji odlučuju o primenljivosti i upotrebnoj vrednosti energetskih peleta od biomase, kao biogoriva. U radu je dat prikaz uticaja biogoriva na kvalitet zaštite životne sredine. U zaključku rada date su jasne konstatacije kvaliteta proizvedenih energetskih peleta od biomase.

Ključne reči: biomasa, pelet, sadržaj vlage, sadržaj pepela i toplotna vrednost

1. UVOD

Pelet je manje telo u obliku kugle ili valjka, najčešće se spominje u množini, jer se pelet ne koristi kao jedan komad već grupno. Pravi se od najrazličitijih proizvoda i materijala, u zavisnosti od vrste materijala ili termičke obrade. Peleti kao energenti mogu biti od drveta, biljnih biomasa ili otpada (Obenberger i Thek, 2009).

Pokazatelji kvaliteta energetskih peleta od biomase mogu da se podele na hemijsko - termičke i fizičko - mehaničke osobine. Najbitniji hemijsko - termički pokazatelji određeni su sadržajem pojedinih hemijskih komponenata u peletama, sadržajem vlažnosti, sadržajem pepela i energetske vrednosti. Fizičko-mehanički pokazuju geometrijske parametre peleta, gustinu peleta, abraziju i otpornost na pritisak (Urbanovičević i sar, 2011).

Proizvođačima, snabdevačima i potrošačima čvrstih biogoriva u koje se svrstavaju i energetske pelete od biomase neophodno je omogućiti sistem sigurnosti kvaliteta biogoriva da bi došlo do sigurnijeg poslovanja. Dakle, pokazatelji kvaliteta energetskih peleta od biomase prikazana su standardima za energetske pelete i literaturnim izvorima.

Cilj ovog rada jeste da se na osnovu evropskih standarda, literaturnih izvora i laboratorijskih metoda ispita kvalitethemijsko-termičkih osobina, tj. sadržaj vlage, sadržaj pepela i toplotne vrednosti energetskih peleta od biomase i samim tim prikaže zavisnost istih.

2. MATERIJAL I METOD RADA

Pri izradi ovog rada kao materijal za rad korišćene su energetske pelete od različitih vrsta sirovina. Sirovine korišćene u procesu proizvodnje za dobijanje finalnog proizvoda (peleta) bile su pšenična slama, sojina slama, piljevina od bukve i piljevina od topole. Na osnovu navedenih sirovina proizvedeno je dvanaest različitih vrsta energetskih peleta, dobijene od po tri različite vrste energetskih peleta: pšenične slame, sojine slame, piljevine od bukve i piljevine od topole. Uzimanje uzoraka energetskih peleta za ispitivanje termičko - hemijskih pokazatelja obavljeno je u proizvodnim pogonima firmi za proizvodnju peleta. Način uzimanja uzoraka utvrđen je uputstvom za uzimanje uzoraka žitarica, UP.05.3.002 (Gluvakov Zorica i sar, 2012). Metode rada zasnovane su na prikupljanju postupaka za ispitivanje energetskih peleta od biomase iz literatura, evropskih standarda, postojećih metoda i laboratorijskog ispitivanja, analize dobijenih rezultata i donošenja zaključaka.

Metoda određivanja sadržaja vlage u energetskim peletama - Sadržaj vlage u energetskim peletama od biomase podrazumeva "gubitak" mase koji usitnjena masa peleta izgubi pri sušenju u trajanju od 2 h na temperaturi vazduha 105 °C. Sadržaj vlage određen je prema standardu SRS E. B8. 012. Ispitivanje se vrši tako što se od prosečnog uzorka uzetog za određivanje sadržaja vlage energetskih peleta od biomase odmeri 20 g i samelje. Samlevena masa se izmeri, a zatim se suši u laboratorijskoj sušnici, u trajanju

od 2 h. Po završetku sušenja, se hlade na okolnu temperaturu, nakon čega se vrši merenje osušenog i ohlađenog uzorka. Sadržaj vlage enegetskih peleta izračunava se na osnovu odnosa masa, da bi se dobili maseni procenti prema obrascu: $w = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} \times 100$, gde je: w – sadržaj vlage (%), m_1 – masa pre sušenja (g), m_2 – masa posle sušenja (g).

Metoda određivanja sadržaja pepela u energetske peletama - Sadržaj pepela energetske peleta od biomase u uzorku predstavlja masu ostatka posle potpunog sagorevanja uzorka na temperaturi od 575 ± 25 °C, izražena u procentima, prema standardu SRS H.N8.136. Od uzetog prosečnog uzorka za određivanje pepela odmeri se 20 g i usitni. Usitnjeni komadići odgovarajuće veličine se stave u posudu da sagore oprezno na otvorenom plamenu do potpune karbonizacije. Nakon sagorevanja uzorka, dobija se mešavina pepela i koks. Iz posude se odmeri 1 g sagorelog uzorka i stavlja u šoljicu, a potom u peć za žarenje, koja se zagreva postepeno. Žarenje se obavlja na 575 ± 25 °C naredna 3 h. Tokom žarenja potpuno sagori koks. Po završetku žarenja ostaje čist pepeo koji se nakon hladjenja meri na analitičkoj vagi (Gluvakov Zorica i sar, 2012). Sadržaj pepela enegetskih peleta od biomase izračunat je na sledeći način: najpre se izmeri masa uzorka usitnjenih energetske peleta pre sagorevanja, zatim se izmeri ohlađena masa mešavine koks i pepela, da bi se našao procenat učešća mešavine koks i pepela u ukupnom uzorku peleta. Od ukupne mase mešavine koks i pepela odmeri se 1 g uzorka za žarenje. Nakon žarenja izmeri se masa ohlađenog pepela i izračuna procenat učešća pepela u 1 g uzorka mešavine koks i pepela. Nakon toga, odredi se masa pepela u ukupnoj masi mešavine koks i pepela. Na kraju, na osnovu mase pepela u ukupnoj masi mešavine koks i pepela odredi se procenat učešća pepela u ukupnoj masi uzorka peleta od 20 g.

Metoda određivanja toplotne vrednosti energetske peleta - Gornja toplotna moć (vrednost) energetske peleta određuje se kalorimetrijski EN ISO 1716. Na analitičkoj vagi izmeri se masa suvog samlevenog ili celog uzorka od 1 g i stavlja se u malu posudicu. Mala posudica sa uzorkom se postavlja u gornji deo (poklopac) "bombe", gde se žicom spajaju elektrode. Nakon toga se zatvara "bomba" i puni kiseonikom do pritiska 30 bara. Pre spuštanja "bombe" u kalorimetar neophodno je proveriti da li u njemu ima vode, ukoliko nema neophodno ga je napuniti vodom i nakon toga spustiti "bombu" u kućište kalorimetra. "Bomba" se zatim dovodi struja preko elektroda. U aparatu dolazi do procesa potpunog

sagorevanja uzorka. Sagorevanjem uzorka oslobađa se određena količina toplotne energije koju aparat beleži i dalje prenosi na računar. Nakon završenog postupka neophodno je rastaviti "bombu" i četkicom očistiti posudicu (Gluvakov Zorica i sar, 2012). Za svako određivanje toplotne vrednosti energetske peleta od biomase potrebno je uraditi najmanje tri merenja i nakon toga izračunati prosečnu toplotnu vrednost uzorka zaokruženu na dve decimale. Donja toplotna vrednost energetske peleta od biomase dobija se iz obrasca: $h_g = h_d + 2500(9h + w)$, gde je: h_g – gornja toplotna vrednost (kJ/kg), h_d – donja toplotna vrednost (kJ/kg), h – količina vode nastala sagorevanjem vodonika (kg), w – sadržaj vlage u relativnim jedinicama.

3. REZULTATI RADA I DISKUSIJA

Laboratorijskim ispitivanjem sadržaja vlage, sadržaja pepela i toplotnih vrednosti energetske peleta od biomase dobijeni su osnovni rezultati navedenih ispitivanja.

U tabeli 1, 2, 3 i 4. su prikazani rezultati dobijeni prilikom ispitivanja na osnovu tri različita uzorka energetske peleta od pšenične slame, sojine slame, piljevine od bukve i piljevine od topole.

Tabela 1. Rezultati ispitivanja energetske peleta od pšenične slame

Br.	Uzorci	Sadržaj vlage (%)	Toplotna moć (MJ/kg)	Sadržaj pepela (%)
1.	Pšenična slama	7,73	15,51	6,76
2.	Pšenična slama	7,746	15,25	7,81
3.	Pšenična slama	7,81	15,02	8,53
4.	Prosek	7,762	15,26	7,70

Tabela 2. Rezultati ispitivanja energetske peleta od sojine slame

Br.	Uzorci	Sadržaj vlage (%)	Toplotna moć (MJ/kg)	Sadržaj pepela (%)
1.	Sojina slama	7,71	15,41	7,43
2.	Sojina slama	8,01	14,72	8,24
3.	Sojina slama	9,12	14,38	8,63
4.	Prosek	8,28	14,84	8,10

Tabela 3. Rezultati ispitivanja energetske peleta od bukve

Br.	Uzorci	Sadržaj vlage (%)	Toplotna moć (MJ/kg)	Sadržaj pepela (%)
1.	Bukva	6,45	16,92	0,67
2.	Bukva	6,82	16,80	0,64
3.	Bukva	7,44	16,68	0,70
4.	Prosek	6,90	16,80	0,67

Tabela 4. Rezultati ispitivanja energetske peleta od topole

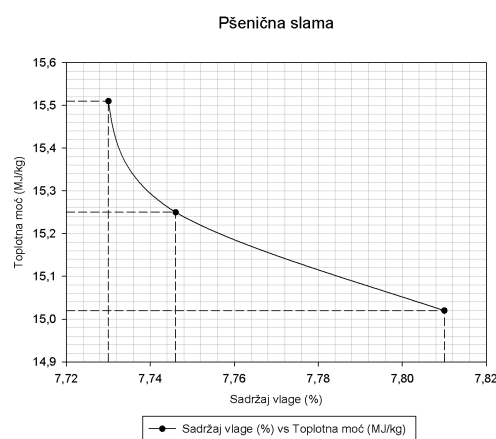
Br.	Uzorci	Sadržaj vlage (%)	Toplotna moć (MJ/kg)	Sadržaj pepela (%)
1.	Topola	6,17	17,07	0,63
2.	Topola	6,29	16,85	0,69
3.	Topola	7,01	16,34	0,71
4.	Prosek	6,49	16,77	0,68

Sadržaj vlage ispitivanih energetske peleta iz tabele 1. i 2. je u dozvoljenim graničnim vrednostima ($\leq 12\%$) DIN standard, EN 14961-1 standarda ($\leq 10\%$ i $\leq 15\%$), ENplus standarda ($\leq 10\%$) i u literaturnom intervalu (7-12%) prosečnih karakteristika peleta. Toplotne vrednosti ispitivanih uzoraka iz tabele 1. i 2. nisu u dozvoljenom intervalu DIN standarda (17,5–19,5 MJ/kg), niti ENplus standarda ($\geq 16,0$ MJ/kg), a ni literaturnih izvora (16,92–17,64 MJ/kg). Toplotne vrednosti u standardu EN 14961-1 nisu definisane, ali predstavljaju minimalnu vrednost koju je neophodno navesti, kao neto kalorijsku vrednost prema EN 14918 standardu. Treba imati u vidu da standardi zemalja EU odnose se uglavnom na energetske pelete od drvene biomase. Sadržaj pepela ispitivanih peleta od biomase iz tabele 1. i 2. nije u dozvoljenim graničnim vrednostima DIN standarda ($< 1,5\%$), ni ENplus standarda ($\leq 0,7\%$, $\leq 1,5\%$, $\leq 3\%$), a ni literaturnih izvora (0,4-1,5%). Sadržaj pepela svih ispitivanih uzoraka jeste u propisanim vrednostima EN 14691-1 standarda (od $\leq 0,5$ do ≤ 10 i $> 10\%$).

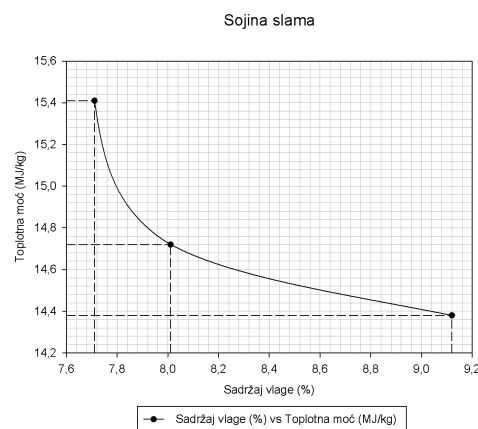
Sadržaj vlage svih ispitivanih energetske peleta iz tabele 3. i 4. je u dozvoljenim graničnim vrednostima ($\leq 12\%$) DIN standard, EN 14961-1 standarda ($\leq 10\%$ i $\leq 15\%$) i ENplus standarda ($\leq 10\%$) prosečnih karakteristika peleta. U literaturnom izvorima sadržaj vlage je u intervalu (7-12%), što nije slučaj kod svih ispitivanih peleta. U tabeli 3 dolazi do odstupanja u vidu nešto manjeg sadržaja vlage od 7% kod uzorka pod rednim brojem 1 i 2, a u tabeli 4, takođe kod uzorka pod rednim brojem 1 i 2. Toplotne vrednosti ispitivanih uzoraka iz tabele 3. i 4. nisu u dozvoljenom intervalu DIN standarda (17,5–

19,5 MJ/kg), ali jesu u propisanom intervalu ENplus standarda ($\geq 16,0$ MJ/kg). Prema literaturnim izvorima (16,92–17,64 MJ/kg), jedino su u dozvoljenim granicama uzorak iz tabele 3 pod rednim brojem 1, kao i uzorak iz tabele 4 pod rednim brojem 1. Toplotne vrednosti u standardu EN 14961-1 nisu definisane, ali predstavljaju minimalnu vrednost koju je neophodno navesti, kao neto kalorijsku vrednost prema EN 14918. Sadržaj pepela ispitivanih peleta od biomase iz tabele 3. i 4. je u propisanim vrednostima DIN standarda ($< 1,5\%$), ENplus standarda ($\leq 0,7\%$, $\leq 1,5\%$, $\leq 3\%$), a i literaturnih izvora (0,4-1,5%). Sadržaj pepela svih ispitivanih uzoraka jeste u propisanim vrednostima i EN 14691-1 standarda (od $\leq 0,5$ do ≤ 10 i $> 10\%$).

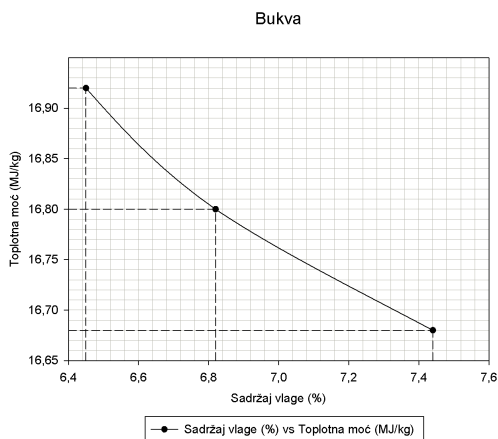
Na slikama 1, 2, 3 i 4 je prikazana zavisnost toplotne vrednosti i sadržaja vlage u biogorivu, jer sa povećanjem sadržaja vlage energetske peleta od biomase dolazi do smanjenja toplotne vrednosti istih i obrnuto.



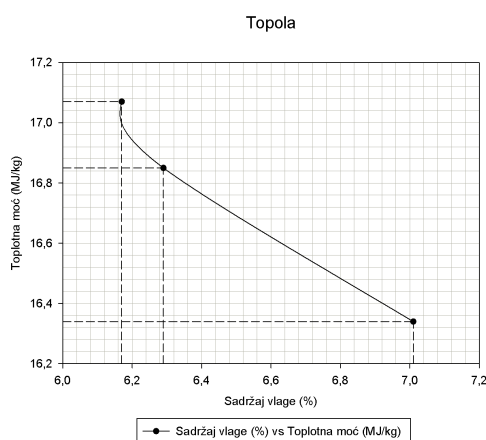
Slika 1. Zavisnost toplotne vrednosti od sadržaja vlage kod energetske peleta od pšenične slame



Slika 2. Zavisnost toplotne vrednosti od sadržaja vlage kod energetske peleta od sojine slame



Slika 3. Zavisnost toplotne vrednosti od sadržaja vlage kod energetskih peleta od bukve



Slika 4. Zavisnost toplotne vrednosti od sadržaja vlage kod energetskih peleta od topole

Ispitivanje hemijskih elemenata tj. sadržaja sumpora, azota, hlora, arsenika, kadmijuma, hroma, bakra, žive olova, cinka i ekstrahovanih organskih čestica nisu bila predmet ovih istraživanja. Međutim, neophodno je pomenuti da i oni spadaju u hemijsko-termičke pokazatelje kvaliteta.

Zamenom klasičnih vrsta energenata sa biomasom, značajno se smanjuje emisija štetnih gasova u atmosferu (Hodolić i sar., 2013). Dakle, korišćenjem biogoriva ne povećava se sadržaj ugljendioksida u atmosferi, ne povećava se zagrevanje atmosfere i ne utiče se na globalne klimatske promene.

4. ZAKLJUČAK

U savremenim uslovima življenja, kada se akcenat stavlja na očuvanje životne sredine i održivi razvoj, goriva proizvedena iz biomase sve više dobijaju na značaju, te se pelete smatraju jednim od vodećih energenata. Dakle, glavni razlog primene ovog energenta jeste potreba za

povećanjem sigurnosti u snabdevanju energijom uz očuvanje životne sredine.

Poređenjem dobijenih rezultata sa postojećim standardima i literaturnim izvorima dolazi se do zaključka da je sadržaj vlage i sadržaj pepela značajno utiče na toplotnu vrednost energetskih peleta od biomase i da sa smanjenjem sadržaja vlage i pepela u energetskim peletama dolazi do povećanja toplotne vrednosti istih, i obrnuto. Sadržaj pepela energetskih peleta od ratarske biomase zavisi od niza faktora: lokacije, agrotehničkih mera, građe materijala i sl. Neophodno je da se vodi računa pri samom prikupljanju biomase da se ne prikupljala zemlja, prašina i druge primese, što dovodi do povećanja pepela u energetskim peletama.

ZAHVALNOST

Rezultati prezentovani u ovom radu su deo istraživanja na projektu MNTR br. III-42011 koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

5. LITERATURA

1. Evropski komitet za standardizaciju, standard EN ISO 1716, Brisel 2010.
2. Gluvakov Zorica, Brkić M., Janić T., (2012). Metode za određivanje kvaliteta energetskih peleta od biomase. Savremena poljoprivredna tehnika, 38:2, 121-130,
3. Hodolić J., Komad R., Lalić N., Agarski B., Brkić M. (2013). Uticaj postrojenja za proizvodnju biogoriva na kvalitet zaštite životne sredine. Etikum 2013 - Metrologija i kvalitet u proizvodnji inženjerstva i zaštite životne sredine, s. 111-114, Novi Sad,
4. Institut za standardizaciju, standard SRS E. B8.012, SRS H.N8.136, Beograd
5. Obenberger I., Thek G. (2009). Herstellung und energetische Nutzung von pellets, Institut für Prozesstechnik technische Unirversität Graz, es. 360,
6. Urbanovičová Olga (2011). Hodnoteniest technologických parametrov výroby tuhých biopaliv na báze biomasy, Dizertačná práca, Nitra,

Autori: MSc Zorica Gluvakov¹, dr Slavica Prvulović², MSc Zlatko Košut³

¹Unirvezitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, 21000 Novi Sad, Srbija, ²Unirvezitet u Novom Sadu, Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", 23000 Zrenjanin, Srbija, ³Victoria Starch, 23000 Zrenjanin

E-mail: zorica.gluvakov@live.com
prvulovicislavica@yahoo.com
Zlatko.Kosut@victoriagroup.rs

Комад Р, Лалић Н, Шокчић М

ПРОИЗВОДЊА ПРОЦЕСНЕ ОПРЕМЕ ЗА ПРЕРАДУ И УПОТРЕБУ БИОМАСЕ

Резиме: Реномирана Фабрика пољопривредне опреме и алатних машина “Мајевица” из Бачке Паланке у свом производном програму има производњу: пољопривредних машина (тањираче, сетвоспремачи, ваљци, сејалице, бране, шпартачи, приколице, расипачи ђубрива, пумпе, берачи, ровокопачи и др.), процесну опрему (резервоари, цистерне, котлови, дробилице, ситници и др.), ливење одливака, алатне машине (оштрилице, кућишта и др.) и тракторе („Урсус“). Фабрика у наредном периоду планира проширење производног програма у области прераде биомасе. Она има све потребне услове и опремљена је за производњу процесне опреме за прераду биомасе, тј. она већ производи: ситницице биљних остатака, дробилице за дрво, цистерне, резервоаре и котлове). Фабрика планира да освоји квалитетну инострану производњу процесне опреме за прераду биомасе за опремање домаћих погона за прераду биомасе.

Проширење производног погона обухватало би производњу: машина за сакупљање биомасе (балирке), млинове за биомасу (чекићаре), транспортна средства (пужеве, транспортере и елеваторе), силосе, сушаре, мешалице, опрему за отпашивање, кондиционере, пелетирке, хладњаке и др. У раду се разматрају аспекти утицаја планиране производње процесне опреме на квалитет заштите животне средине. Наиме, рад анализира планирану производњу опреме са аспекта животног циклуса процесне опреме, њене експлоатације до могућности рециклаже на крају животног века целог постројења. У закључку рада констатују се позитивни ефекти производње процесне опреме за прераду биомасе и изграђеног постројења на квалитет заштите животне средине.

Кључне речи: производња процесне опреме, прерада биомасе, квалитет заштите животне средине

1. УВОД

Традиција предузећа „Мајевица“ из Бачке Паланке сеже до далеке 1905. године (<http://www.majevica.co.rs/index.php/sr/>). Наиме, развоју „Мајевице“ претходило је предузеће за производњу куделарских машина и отварање ливнице. После Другог светског рата предузеће „Мајевица“ је основано 1951. године, као предузеће за производњу машина, пумпних аутомата и котрљајућих лежачева. Од 1988. године „Мајевица“ је конституисана као самостална радна организација без ООУР-а, а 1989. оформљена је као друштвено предузеће. Као Холдинг предузеће организована је од 1991. године тако што је имовина подељена на 5 зависних предузећа. „Мајевица Холдинг“ је 2000. године прешла у акционарско друштво. 2004. године једно зависно предузеће је иступило из а.д. 2009. године Агенција за приватизацију је донела одлуку за покретању поступка реструктурирања сва четири зависна друштва “Мајевице Холдинг“ а.д. Динамичан развој се остварује захваљујући дугогодишњој сарадњи са познатим европским произвођачима сличне опреме, сарадњи са

научно-истраживачким институцијама и сопственим развојним службама. Интезивним развојем освојена је производња савремених алатних машина, пољопривредних машина, пумпних аутомата, стабилних цистерни и одливака од сивог и нодуларног лива и силумина. Данас је Мајевица Холдинг а.д. познати произвођач алатних машина, једна од најпознатијих и највећих домаћих произвођача савремених пнеуматских сејалица, приколица, берача, тракторских цистерни и реномирани произвођач резервоара за течна горива. Отварањем спољног тржишта поново постаје значајни извозник својих производа.

2. ПРОИЗВОДНИ ПРОГРАМИ ФАБРИКЕ

Мајевица Холдинг“ а.д., је произвођач: одливака, машина алатки, пумпи, цистерни и пољопривредних машина. „Мајевица Холдинг“ се првенствено бави заједничким пословима за сва четири зависна друштва, који подразумевају услуге у погледу економско-финансијских послова, општих и правних послова, послова обраде података и управљања производњом, комерцијале,

транспорта, увоза и извоза, централног одржавања, итд. Делатност и производни програм четири зависна друштва су у 100% власништву Холдинга.

2.1 „Мајевица-Машине алатке“ а.д. Бачка Паланка – у реструктурирању

Ово друштво обавља делатност производње машина за обраду метала, шифра делатности 2841. Производни програм чине: универзалне оштрилице алата, специјалне оштрилице за тракасте тестере, оштрилице за оштрење алата за машине које се користе за обраду дрвета и метала, дубилице, кућишта за котрљајуће лежајеве и приборе за целокупан програм производње. Поред тога израђују се и делови по наруџбини и ремонтују се алатне машине других произвођача. Такође се израђују делови за производе осталих зависних друштава „Мајевица Холдинга“.

Пример: универзална оштрилица алата ОМ 600

Поред оштрења стандардног резног алата ова машина омогућује успешно оштрење по спирали, брушење ожљебљених вратила, брушење по радијусу, профилно брушење, округло спољашње и унутрашње брушење, брушење ластиног репа. Уз машину се нуди основни и допунски прибор, прибор за специјална оштрења, за округло унутрашње и спољашње брушење, за равно и тангенцијално брушење. На слици 1 приказан је универзална оштрилица алата ОМ 600.

Мах. пречник оштрења између шилака	mm	300
Мах. растојање између шилака	mm	710
Мах. дужина оштрења између	mm	610
Димензије стола (дужина x ширина)	mm	1110/220
Закретање горњег дела стола	°	360
Брзина уздужног кретања	m/min	0.1 – 10
Мах. уздужни ход	mm	600
Попречни ход брусне главе	mm	200
Вертикални ход брусне главе	mm	250
Закретање главе за оштрење	°	360
Нагиб главе за оштрење	°	± 20
Димензије тоцила	mm	200
Снага мотора главног вретена	kW	1.3 – 1.7
Нето маса машине	kg	1400

Табела 1. Техничке карактеристике универзалне оштрилице алата



Сл. 1. Универзална оштрилица алата

2.2 „Мајевица-Ливница“ а.д. – у реструктурирању

Наведено друштво обавља делатност ливења осталих обојених метала, шифра делатности 2454. Бави се производњом одливака од сивог лива, силумина и нодуларног лива различитих тежина и облика од 0,2 до 2.000 кг. Има годишњи капацитет 3.000 т одливака. Одливци се лију од сивог лива, квалитета SL 180 – SL 300, нодуларног лива NL 380 – NL 700 и легура обојених метала алуминијума и бакра (AlSi12, бронза и месинг). Производи одливке за алатне и пољопривредне машине, канализациони и трговачки лив. Од сивог лива се израђују масивна постоља као што су постоља алатних машина и то су одливци највеће масе, кућишта редуктора као одливци средње величине и кућишта лежајева као пример одливака мање масе.

Пример: трактор “УРСУС” 11024

Многи делови трактора могу да се излију у радионици наведеног друштва (ливници). На слици 2 приказан је трактор „Урсус“ 11024.

- Мотор "PERKINS EURO IIIА" дизел, турбо са интеркулером
- "Ursus -Нема" трансмисија синхронизована, 12x4
- "Carraro" предња осовина
- сила дизања 4400 kg
- ергономска кабина
- маса 4400 kg
- тегови производња МАЈЕВИЦА



Сл. 2. Трактор Урсус 11024

2.3 „Мајевица-Пумпе и цистерне“ а.д. – у реструктурирању

Ово друштво обавља делатност производње осталих цистерни, резервоара и контејнера, шифра делатности 2529. Производни програм чине: стабилни челични резервоари за нафтне деривате са двоструким зидовима капацитета 1.000-100.000 литара, цистерне за транспорт течног стајњака и наводњавање 3.200, 6.000 и 10.000 литара, тракторске покретне цистерне за гориво, котлови за грејање, дробилица дрвета, тањираче.

Пример: цистерне за осоку и наводњавање

Савремено сточарство захтева опремљеност фарми и овом врстом машина, које штеде време и напор, а рад је чист и хигијеничан. Цистерна је намењена пражњењу осочних јама, као и свих осталих септичких јама у производним објектима и домаћинствима. Може се употребити за превоз воде и заливање. Компактна конструкција гарантује дуг век трајања и једноставно руковање. Цистерна је опремљена вакум пумпом, механичком кочницом и сигналним уређајима који јој омогућују кретање у јавном саобраћају. Сигурносни вентил за вакум спречава деформацију бурета цистерне које је на тај начин дугог века експлоатације. Цистерна од 6000 лит. има и пнеуматске кочнице. Цистерна М 10 м³ се не ради у поцинкованој варијанти. На слици 3 приказана је цистерна за осоку и наводњавање запремине од 2,4 м³ до 10 м³.



Сл. 3. Цистерна за осоку и наводњавање

2.4 „Мајевица-Пољоопрема“ а.д. – у реструктурирању

Наведено друштво обавља делатност производње машина за пољопривреду и шумарство, шифра делатности 2830. Производни програм обухвата машине за припрему земље као што су грубери, ротоситнице, сетвоспремачи, комбиновани ваљци, машине за међуредну обраду широкоредних пољопривредних култура, затим ситнице биљних остатака, вадилце кромпира, једноредне и дворедне бераче кукуруза, пнеуматске сејалице за кукуруз, приколице за транспорт, растураче стајњака, расипаче минералног ђубрива, каналокочаче и пумпе за наводњавање.

Пример: Сејалица за стрна жита

Сејалица за жито је намењена искључиво за сетву најзаступљенијих ускоредних пољопривредних култура. Сетвени апарат сејалице има могућност исејавања крупног, средњег и ситног семена: пшенице, луцерке, уљане репице, грашка. На слици 4 приказана је сејалица за стрна жита.



Сл. 4. Сејалица за стрна жита

Тип цистерне	Јед.	М-437.30 (М2.4 м ³)	М-436.30 (М3.2 м ³)	М-486.30 (М6 м ³)	М-487.30 (М10 м ³)
Запремина	lit	2400	3200	6000	10000
Ширина	m	1,80	1,80	2,18	2,44
Дужина	m	4,33	5,00	6,35	7,85
Висина	m	1,84	1,84	2,63	2,75
Пнеуматици	col	10x15"	10x15"	16/70x20"	16/70x20"
Радни притисак	bar	1,0	1,0	1,0	1,5
Вакум	%	80	80	80	80
Учинак пумпе	l/min	3 600	3 600	5 700	8 100
Потребна вуча	kW	16	22	50	120
Тежина празне цистерне	kg	780	840	1740	2680

Табела 2. Техничке карактеристике цистерне за осоку и наводњавање

Број редова		25	31
Димензије: ширина; висина; дужина	m	3; 1.3; 2	
Запремина сандука	m ³	0.6	
Потребна снага трактора	kW	45	
Размак редова	cm	12	9.5
Маса	kg	600	

Табела 3. Техничке карактеристик сејалице

Предности предузећа су добро заокружен производни процес од ливнице, преко машинске обраде и монтаже финалних производа у оквиру фабричког круга са могућношћу повезивања помоћних и пратећих капацитета. Предузећа која су у саставу „Мајевица Холдинг“ а.д. су међусобно комплементарна у радионицама и процесима који се у њима одвијају, а значајно различита у погледу финалних производа, тако да покривају широк асортиман производа металне индустрије: пнеуматске сејалице за ширококоредне и ускоредне културе, једноосовинске приколице, растурачи стајњака, цистерне за осоку и наводњавање, берачи, тањираче, шпартачи, расипачи минералног ђубрива, вадилце кромпира, котлови за грејање, дробилица дрвета, надземни и укопани резервоари за гориво, одливци, тегови класе тачности М1 и др. Најстарији је произвођач стабилних резервоара у Србији са изграђеним тржиштем и на просторима бивших југословенских република. Дуга је традиција и нагомилано искуство у изради машина за обраду резањем, као и осталих производа металне индустрије и мерне технике.

Циљ предузећа је превазилажење тренутне економске кризе, као и покушаја да се предузеће учини атрактивније за потенцијалне купце, смањење трошкова производње, повећање обима рада и пласмана производа на тржиште. Усвајањем реалних планова очекује се остварење позитивних резултата у производњи, уз већу продуктивност, боље коришћење капацитета, пуну упосленост, повећање извоза, побољшање ликвидности и остварење добити.

3. ПРОИЗВОДИ ПРОГРАМ ПРОЦЕСНЕ ОПРЕМЕ ЗА ПРERAДУ БИОМАСЕ

3.1 Ситнилица биљних остатака

Намењена је за ситњење: сламе, кукурузовине, стабљике сунцокрета и коровских биљака. Поред ситнилице у плану је да фабрика производи пресе за балирање биомасе, дезинтеграторе бала и сечке за биомасу. На слици. 5 приказана је ситнилица биљних остатака



Сл. 5. Ситнилица биљних остатака

Модел	М-531.2	
Радни захват	m	2.8
Радна брзина	km/h	8
Радни учинак	ha/h	1.6
Потребна снага трактора	kW	50
Број обртаја прикључног вратила	o/min	1000
Тежина	kg	1260
Број ножева	ком	64
Димензије машине: дужина	m	2.48
Димензије машине: ширина	m	3.07
Димензије машине: висина	m	1.12

Табела 4. Техничке карактеристике ситнилице

3.2 Дробилица дрвета

Увлачење дрвета обављају ваљци на хидраулични погон. Дробљење дрвета омогућују један фиксни и четири покретна ножа на замајцу. Ситњење дрвета се подешава брзином рада увлакачких хидрауличних ваљака. У плану је фабрике да производи већег капацитета дробилице, сечке и млинове чекићаре за уситњавање дрвне биомасе. На слици 6 приказана је дробилица дрвета



Сл. 6. Дробилица дрвета

Радна ширина отвора	mm	240
Пречник дрвета	mm	160
Потребна снага трактора	kW	18-51
Број обртаја прикључног вратила	o/min	540
Тежина	kg	700

Табла 5. Техничке карактеристике дробилице

3.3 Котлови за централно грејање

Котао представља поуздани и проверени квалитет грејања: кућа, станова и производних хала. Као гориво може да се користи дрво, брикет, биомаса, угаљ (дрвени, камени, кокс). Пространа врата котла омогућавају једноставно ложење чврстог горива и бала сламе, као и чишћење котла. Значајна додирна површина воденог зида котла и ложишта гарантује ефикасан рад котла са високим степеном искоришћења. Котао је варене конструкције израђен од котловског лима и бешавних цеви, атестираног и провереног квалитета. На слици 7 приказан је котао за централно грејање на биомасу и друга чврста горива.



Сл. 7. Котао за централно грејање

Снага	kW	30	40	150	500
Радни притисак	bar	2			
Радна температура	°C	60/90			
Тежина	кг	440	660	1200	7000

Табела 6. Техничке карактеристике котлова "Мајевица"

3.4 Вертикални челични резервоари, надземни према стандарду- SRPS M.Z3.030

На слици 8 приказани су вертикални челични резервоари, надземни. То значи да фабрика "Мајевица" је добро опремљена да може да изради вертикалне силосне ћелије за складиштење уситњене биљне масе, зрнастог материјала, песка, шљунка и других материјала.



Сл.8. Вертикални челични резервоари (силоси)

3.5 Производни програми нове процесне опреме

На слици 9 приказана је технолошка шема потребне процесне опреме за прераду биомасе, тј. производњу енергетских пелета- биогорива.



Сл. 9. Технолошка шема потребне процесне опреме за прераду биомасе (производње енергетских пелета- биогорива)

На слици 9 приказана је следећа процесна опрема: ланчasti транспортер (поз. 1), дезинтегратор бала (2), коси ланчasti транспортер (3), сечка са центрифугалним вентилатором (4), циклон (5), бин за складиштење уситњене суве или влажне биомасе (6), тракаста сушара (дехидратор) (7), бин за биогориво (пелете) (8), пећ или котао (9), димњак (10), центрифугални вентилатор (11), бин за складиштење осушене биомасе (12), млин чекићар (13), центрифугални вентилатор (14), бин за складиштење самлевене биомасе (15), преса за биомасу (пелетирка) (16), коси тракасти транспортер за енергетске пелете (17), хладњак за пелете (18), вибрационо сито (19), пакерица пелета у цакове (20). Већина од наведене опреме може да се произведе у фабрици "Мајевица Холдинг". Витални делови опреме (тзв. срце опреме) кондиционер, дозатор, пелетирка и пакерица за почетак рада погона морали би се набавити из иностранства, док се не освоји и

ухода домаћа производња ових машина и уређаја.

На слици 10 приказан је један мањи погон за пелетирање биомасе у раду. На слици се могу видети скоро сви елементи као што су појединачно прикаузани на слици 9, сем пакерице. Паковање на овој слици обавља се у џамбо вреће, преко уређаја за убацивање пелета у џамбо вреће.



Сл. 10. Погон за производњу енергетских пелета- биогорива

3.6 Искуства Мајевице у кориштењу биомасе

Властитим развојем фабрика је произвела котлове на биомасу од 30, 40, 150 и 500 kW. Котлови од 150 и 500 kW прикључени су на радне тест услове као алтернативни извори грејања пословно производног простора фабрике. Котао од 150 kW слика 11 заменио је грејање електричном енергијом у пословном простору продајног центра Мајевица, а котао од 500 kW је инсталисан у котларници као замена односно допуна котловског постројења на природан гас задуженог за грејање производних хала.



Сл. 11. Котао 150 kW на биомасу, у раду Мајевица

Котлови су ложени малим (просек 15 kg/kom) балама сојине сламе. У грејној сезони 2013/2014 за грејање пословног простора (гр.повр. 500 m²) утрошено је око 2500 бала са којима је остварена производња нето топлотне енергије од 480000 MJ односно 133 MWh. Када би се овај простор грејао електричном енергијом (предходна варијанта грејања) утрошило би се најмање 135 MWh електричне енергије која би коштала 750.000,- РСД. Сојина слама је обезбеђена по цени 30 РСД по бали што износи 75.000,- РСД. Уштеда је очита. Радна снага на руковању котлом је кориштена из фабрике прерасподелом и бољом организацијом радног времена запослених. У грејној сезони 2013/2014 остварене су значајне уштеде у потрошњи гаса. Примера ради грејне сезоне 2012/2013 утрошено је 54000 m³ природног гаса, а 2013/2014 9500 m³ након делимичне замене енергента (природни гас замењен малим балама сојином сламе) у котларници снаге 3 MW. Инсталисано је само 0,5 MW капацитета на сојину сламу и добијени су веома охрабрујући резултати, без обзира што се ради о једној од блажих зима. У наредном периоду планира се уградња још једног котла на биомасу снаге 0,5 MW, као и механизовано руковање котлова на биомасу.

4. ЖИВОТНИ ЦИКЛУС ПОСТРОЈЕЊА ЗА ПРОИЗВОДЊУ БИОГОРИВА

У циљу анализе освајања производње нове процесне опреме постројења за производњу биогорива са аспекта заштите животне средине у наставку се разматра животни циклус постројења почевши од производње линије машина, експлоатације до могућности рециклаже на крају животног века постројења [2].

4.1 Производња компонената постројења

Израда компоненти за машине, уређаје и опрема за производњу енергетских пелета од биомасе, које се планирају производити у фабрици „Мајевица-Холдинг“ у Бачкој Паланци, с обзиром да се ради о познатим конвенцијалним технологијама, које имају незнатни утицај на животну средину: сечење ливење, ковање, заваривање, стругање, бушење, глодање, рендсање, итд. У производном процесу не ради се са испарљивим хемијским једињењима, органског или минералног порекла, штетним за животну средину. Евентуални проблеми који се могу појавити за животну средину од стране струготине, опилака, шљаке завара, отпадака од сечења лима и носеће

конструкције, успешно се решавају тако што се овај отпад сакупља у контејнере, одвози и одлаже на за то законом прописано место. Истрошено уље, вода за хлађење радних органа машина (стругова, глодала, итд.), средства за каљење компоненти, итд., такође се сакупља у резервоаре контејнерског типа, и одвози на законом прописано место. Количина испуштених загађујућих материја у околину контролише се у складу са Уредбом о граничним вредностима емисија загађујућих материја у ваздуху [3] и Уредбом о граничним вредностима емисије загађујућих материја у води и роковима за њихово достизање [4], као и Правилником о дозвољеним количинама опасних и штетних материја у земљишту и води за наводњавање и методама њиховог испитивања, [5].

4.2 Крај животног века и могућности рециклаже

Машине, уређаји и опрема које се планирају угвратити у погон за производњу енергетских пелета од биомасе су углавном израђене од метала (око 96%). Коси тракасти транспортери, тзв. елеватори (4 ком.) који служе за транспорт пелета, треба да се ураде од валовите (хармоникасте) гуме. Такође, панелни зидови сушаре и пећи за производњу топлотне енергије урађени су у облику сендвича (између лимова налази се изолација). Електрични орман, каблови, инструменти, мерна и управљачка опрема раде се од електро-материјала. Дакле, део опреме који није метални укупно износи око 4%. То значи да је 96% опреме рециклабилан, тј. може се поново вратити у процес производње. Количина испуштених штетних гасова контролише се у складу са Уредбом о граничним вредностима емисије загађујућих материја у ваздуху [3].

5. ЗАКЉУЧАК

Фабрика „Мајевица Холдинг“ а.д. обавља припремне радње за изградњу две производне линије процесне опреме, која треба да има називни капацитет од 2x1000 кг/час, нпр. агропелета од сојине сламе. Линија се треба поставити у круг фабрике где ће се обављати праћење, експлоатације рада линије и освајање производње процесне опреме за прераду биомасе у биогориво. Дакле, линија ће имати вишеструку улогу:

- Производног капацитета који у планираном експлоатационом периоду може остварити економски оправдану производњу која ће обезбедити средства за отплату

инвестиционих улагања, као и за остварење уштеда заменом постојећег система грејања на земни гас, грејањем на биомасу из властите производње будуће производне линије,

- Технолошко развојног објекта на коме ће бити могуће усавршавати жељене технолошке процесе производње пелета, од различитих извора биомасе, различите намене,
- Развојног узора, по коме је могуће развити нове компоненте опреме, наредних сличних или ново осмишљених линија за производњу пелета, (агропелета итсл.),
- Образовно научног објекта за образовање будућих кадрова, и места на коме је могуће потражити практичне мултидисциплинарне одговоре различитих стручно-научних интересовања везаних за одрживи развој обновљивих извора енергије из биомасе.
- Да цена квалитетне домаће опреме буде усаглашена са могућностима и потребама домаћих купаца, пошто је инострана опрема веома скупа.
- У току производног процеса користиће се вода или алтернативно водена пара, у количини коју упија органска материја (уситњена сировина за пелетирање). Минерално уље за подмазивање радних делова машина и уређаја неће се просипати у канализацију. Отпадне воде, које настају само у оквиру санитарног чвора, одводиће се кроз регулисану канализациону мрежу. Процесна опрема у погону за производњу енергетских пелета од биомасе биће углавном израђена од метала (око 96%) и може се на крају свог животног циклуса успешно рециклирати. Производни процес компонената из линије машина и опреме за производњу пелета, с обзиром да се ради о познатим технологијама, имаће незнатан утицај по животну средину. Количина испуштених загађујућих материја у околину контролисаће се у складу са важећим законским прописима и уредбама Владе Р. Србије.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Производни програм Фабрике пољопривредне опреме и алатних машина „Мајевица-Холдинг“ из Бачке Паланке.* (<http://www.majevica.co.rs/index.php/sr/>)
- [2] Ходолич Ј, Комад Р, Лалић Н, Агарски, Б., Бркић, М.: *Утицај постројења за производњу биогорива на квалитет заштите животне средине*, Зборник

радова са научно-стручне конференције са међународним учешћем: „ЕТИКУМ“ 2013, Факултет техничких наука, Департман за производно машинство, Нови Сад, 12-13 јун 2013, с. 111-114.

- [3] *Уредба о граничним вредностима емисија загађујућих материја у ваздуху*, Службени гласник РС, бр. 55/205, 71/05-исправка, 101/07 и 65/08, Београд
- [4] *Уредба о граничним вредностима емисије загађујућих материја у воде и роковима за њихово достизање*, Службени гласник Р. Србије бр. 67/2011 и 48/2012, Београд (www.merz.gov.rs).
- [5] *Правилник о дозвољеним количинама опасних и штетних материја у земљишту и води за наводњавање и метода мањиховог испитивања*, „Сл. гласник РС”, бр. 23/94. (www.sepa.gov.rs).
- [6] Ходолич Ј, Комад Р, Лалић Н: *Идејни техничко-технолошки пројект за опремање фабрике за прераду биомасе и производњу енергетских пелета -ФБП 2000 Мајевица-*, Бачка Паланка (www.majevica.co.rs/index.php/sr/pumpe-i-cisterne-3/projekti), ФТН, Нови Сад, 2013, с. 36.

Autori: Раденко Комад, дипл. инж. маш., Ненад Лалић, дипл. инж. маш., Мирослав Шокчић, маст. инж. маш., Мајевица Холдинг, ад у реструктурирању, 21400 Бачка Паланка, Жарка Зрењанина 123, Тел: +381 21 751 388, Факс: +381 21 6040 175.

Имејл: info@majevica.co.rs
tehnoraz@majevica.co.rs
miroslavsokcic@majevica.co.rs

Ašonja, A., Brkić, M.

EKOLOŠKI ASPEKTI KORIŠĆENJA OKLASKA KAO BIOGORIVA
NA SEMENSKIM CENTRIMA

Rezime: Pozitivni efekti korišćenja biomase kao energenta pored društvenih i ekonomskih aspekata, treba da ukažu i na pozitivne ekološke aspekte njenog korišćenja. Cilj istraživanja predstavljen u radu je bio da se definišu koji su to negativni ekološki aspekti korišćenja oklasaka kao biogoriva. Ovi aspekti u radu su posmatrani iz ugla tri tehnološka procesa, i to: procesa ubiranja, procesa uskladištenja i konstrukciono-tehnološkog procesa sagorevanja oklasaka.

Svi nepovoljni ekološki aspekti primene oklasaka kao biogoriva u prikazanim procesima detaljno su predstavljeni. Oni treba da posluže budućim korisnicima odn. konstruktorima ovakvih postrojenja na šta treba da obrate pažnju, kako bi eliminisali sve navedene ekološke nedostatke koji mogu nastati u procesu ubiranja, procesu uskladištenja i konstrukciono-tehnološkom procesu sagorevanja oklasaka.

Ključne reči: oklasak, biogorivo, biomasa, sagorevanje, ekološki aspekti

1. UVOD

U poljoprivrednoj proizvodnji danas ostaje velika količina neiskorišćene biomase. Razni ostaci u ratarskoj proizvodnji kao što su: kukuruzovina, oklasak, slama, stabljike suncokreta, ostaci pri rezidbi voćki, vinove loze, maslina i sl. relativno su lako iskoristiv oblik energije [1]. Proizvodnjom i korišćenjem biomase u energetske svrhe smanjuje se emisija štetnih gasova i doprinosi se zaštiti zemljišta i voda. Biomasa je vrlo prihvatljivo gorivo sa gledišta uticaja na okolinu jer sadrži vrlo malo ili čak uopšte ne sadrži otrovne supstance, poput sumpora i teških metala koji se nalaze u fosilnim gorivima, a koje se njihovim sagorevanjem emituju u vazduh, te ugrožavaju zdravlje ljudi i okolinu. Glavna prednost biomase u odnosu na fosilna goriva je njena obnovljivost. Računa se da je opterećenje atmosfere sa CO₂ pri korišćenju biomase kao goriva zanemarljivo, budući da je količina emitovanog CO₂ prilikom sagorevanja jednaka količini apsorbovanog CO₂ tokom rasta biljke [2].

Pozitivni efekti korišćenja biomase kao energenta moraju se posmatrati multidisciplinarno od čega bi se najpre mogli istaći: društveni, ekonomski i posebno ekološki aspekti (sl.1), koji predstavljaju stub održivosti navedenih aktivnosti [3].



Slika 1. Multidisciplinarni koncept održivosti primene biomase kao energenta [3]

U osnovne prednosti oklasaka kao biogoriva moglo bi se navesti sledeće [3]:

- ekološki znatno prihvatljivija proizvodnja energije,
- obnovljivost na godišnjem nivou,
- lokalna dostupnost,
- niska cena nabavke i dr.

2. KORIŠĆENJE OKLASKA KAO
BIOGORIVA ZA SUŠENJE SEMENSKOG
KUKURUZA

Krajem avgusta 2013. godine puštena je u rad nova sušara za sušenje semenskog kukuruza u klipu i znu na silosnom centru PD "Sava Kovačević" u Vrbasu. Od starog magacina adaptiran je objekat za sušaru. Na levoj strani

sušare obavlja se izuzimanje klipa kukuruza. Sušara se sastoji od 7 binova dimenzija 3,75x6,5x7,1 m. Za sušenje vlažnog klipa koristi se 6 binova, jer je jedan bin uvek na punjenju ili pražnjenju. U jedan bin može da stane 35 t vlažnog klipa kukuruza. Sušenje kukuruza u klipu obavlja se od 38 na 15% sadržaja vlage u trajanju 80 sati, a onda se klip kruni i zrno se dosušuje na 12,5 do 13%. Pri krunjenju klipa odvaja se oklasak. Količina oklasaka kod semenskog kukuruza iznosi u proseku 1/3 od mase zrna, a kod merkantilnog 1/5. Projektom je predviđeno da nova sušara osuši 4.400 t klipa semenskog kukuruza ubranog sa 550 ha u toku 70 dana rada sušare. Od navedene količine vlažnog klipa kukuruza dobija se 3.210 t suvog klipa sa 15% sadržaja vlage. Krunjenjem suvog klipa dobija se 2.140 t zrna i 1.070 t oklasaka sa 15% sadržaja vlage. Sušenje i homogenizacija sadržaja vlage u zrnu nastavlja se u "kongskilde" ćelijama kružnog preseka 2,7 m i visine 6,5 m. Instalirano je četiri ćelije kapaciteta po 22,5 t zrna kukuruza [4,5].

Za kompletno sušenje vlažnog klipa kukuruza i skoro osušenog zrna koristi se oklasak. Transport oklasaka od krunjača pa do termogena obavlja se pneuamatski, putem visokopritisnog centrifugalnog ventilatora i dugačkog cevovoda (40 m). Oklasak se ubacuje u silosnu ćeliju u kojoj se skladišti. Zapremina ćelije je 64 m³, sl.2. U nju može da stane 10 do 12 t oklasaka. Iz silosne ćelije oklasak se izuzima agitatorom i transportuje pužnim transporterom, zatim trakastim transporterima do koševa postavljenih pored termogena. Na sušari su instalirana tri termogena UT-850, snage po 850 kW, proizvodnje "Termoplin" iz Mladenovca. Ukupna snaga termogena je 2,550 kW ili 2,55 MW [6]. Ložište čini perforirana livena kada u koju se automatski ubacuje oklasak sa pužnim izuzimačima iz koša i dozatorima i primarni vazduh sa centrifugalnim ventilatorom, potrebnog za sagorevanje oklasaka. Količina primarnog vazduha može da se podešava zasunom. Vreli produkti sagorevanja, tj. dimni gasovi, temperature 600 do 800°C, prolaze kroz cevni razmenjivač toplote, dimnjaču, hvatač varnica i dimnjak (200 do 250°C). Okolni vazduh provlače centrifugalni ventilatori postavljeni pored binova sušare oko cevi razmenjivača toplote u kojem se podigne temperature vazduha na 42 do 45°C. Temperatura vazduha u binovima ne sme da pređe 42°C zbog biološke osetljivosti klice zrna kukuruza. Protok vazduha kroz jedan bin je 35.000 m³/h. Jedan termogen se koristi uglavnom za dva bina. Topli

vazduh temperature 42°C prolazi kroz polusuvi klip (II faza sušenja ispod 24% sadržaja vlage), vraća se nazad u proces sa temperaturom 32°C i suši u drugom binu vlažni klip (I faza sušenja od 38% sadržaja vlage). Potrošnja oklasaka u jednom termogenu je 273 kg/h pri protoku vazduha kroz termogen 80.000 m³/h, pri temperaturi okolnog vazduha 10°C i temperature vazduha u centralnom kanalu sušare od 42°C. Pri ovim uslovima postiže se termička snaga termogena od 850 kW.



Slika 2. Čelo sušare sa silosnom ćelijom za oklasak i tri termogena

Sagorevanjem oklasaka stvara se pepeo, koji se automatski izuzima pomoću dva pužna transporterata. Količina pepla iznosi od 1,5 do 2,2% i ona je najmanja u odnosu na druge vrste poljoprivredne biomase. Pepeo nije štetan za đubrenje zemljišta, pošto ne sadrži u značajnim količinama opasne materije za biljke. Sušenje zrna obavlja se u tri "kongskilde" ćelije, (sl.3), jer četvrta ćelija je uvek na punjenju ili pražnjenju [7]. Oko 440 kW se koristi snage termogena za sušenje zrna kukuruza. Protok vazduha kroz jednu "kongskilde" ćeliju je 15.000 m³/h, pri temperature 42°C. Dakle, kroz jedan termogen se provlači 45.000 m³/h, tj. koristi se 56,25% od ukupne termičke snage jednog termogena. Druga polovina snage termogena koristi se za sušenje klipa kukuruza u nepovoljnim vremenskim uslovima (kada je temperature okolnog vazduha ispod 10°C). Upravljanje sa termogenima, centrifugalnim ventilatorima, žaluzinama i zasunima obavlja se poluautomatski, a može i ručno.

Dakle, za kompletno sušenje 4.400 t vlažnog klipa i 2.140 t zrna kukuruza sa 15 % sadržaja vlage utroši se oko 1.000 t oklasaka. Prodajna cena oklasaka je na PD "Sava Kovačević" u Vrbasu 6 din/kg ili 0,052 evra. 1.000 t oklasaka iznosi 52.000 evra. Kada bi se koristio zemni gas za kompletno sušenje vlažnog klipa i skoro osušenog zrna

moralo bi se utrošiti 370.016 nm³ zemnog gasa. Cena 1 nm³ gasa je 46 din ili 0,40 evra. Ukupni troškovi potrošnje zemnog gasa iznosili bi 148.006 evra. Dakle, razlika u ceni potrošnje gasa i oklaska je 96.006 evra ili za 2,85 puta manja.



Slika 3. Desna strana sušare sa "kongskilde" ćelijama

3. EKOLOŠKI APEKTI KORIŠĆENJA OKLASKA AKAO BIOGORIVA

Svetski trendovi i norme koje se stavljaju pred savremene semenske centre na biomasu usmereni su prvenstveno na uvođenju standarda po pitanju upravljanja zaštitom životne sredine ISO 14004:2004 i upravljanja bezbednošću i zdravljem na radu OHSAS 17001:2008. Među brojnim procedurama, uputstvima i zapisima koje definišu navedene standarde, ova preduzeća bi morale da imaju i odgovorna lica za:

- zaštitu životne sredine,
- bezbednost i zaštitu na radu zaposlenih,
- sigurnost na radu i dr.

U procesu ubiranja oklaska na ekološke nedostatke mogu da utiču:

- ubiranje klipa kukuruza zastarelim kombajnima, može dovesti do znatnih gubitaka ploda, kao i do mogućeg izlivanja goriva, maziva ili pojave nepotpunog sagorevanja,
- definisanje momenta ubiranja, jer manji sadržaj vlage utiče na manju potrošnju energije i manje se troši energija (zagađuje životna sredina),
- ostale delovi stabljike kukuruza nakon odvajanja oklaska mogu se koristiti za dalje potrebe silaže, biogas postrojenjima i sl. i nikako ne smeju da se pale na poljima,

- ubrani klip ne bi smeo duže od 12 časova da čeka na sušenje, jer opada kvalitet vlažnog zrna, neophodno je uskladiti čitav proces od ubiranja do sušenja klipa (zrna kukuruza) jer su tada najmanji zastoji i najmanja je potrošnja energije i utrošak ljudskog rada i
- funkcionalnost svakog semenskog centra zavisi od sistema za komušanje i separaciju odpadnog zrna, jer samo dobro opremljeni centri sa ovom opremom mogu da daju minimalne: gubitke, zastoje i potrošnju energije.

U procesu uskladištenja oklaska na ekološke nedostatke mogu da utiču:

- oklasak se mora uskladištiti u predviđenim silosima ili skladišnim centrima predviđenim za tu namenu, u kojima se izbacivanje pleve u atmosferu mora svesti na minimum,
- poželjno je da se oklasak pre distribucije do predviđenih silosa usitni, jer samo tako se može transportovati pneumatskim cevovodima i atekvatno, uskladištiti i dalje izuzimati do termogena,
- oklasci ne smeju da budu ni previše usitnjeni, odn. udeo čestica ispod 2 mm mora da bude ispod 5%, jer su u tom slučaju prikladne za kontrolisano sagorevanje, idealna dužina oklaska treba da bude 1÷1,5 puta prečnika oklaska,
- zabranjena je svaka upotreba vatre, plamena, iskrećih ključeva i svega ostalog što bi moglo dovesti do paljenja oklaska odn. njegove prašine koja nastaje prilikom transporta i skladištenja i
- u slučaju samo zapaljenja oklaska u silosima neophodno je predvideti mogućnost na njima da se silosi nesmetano brzo mogu isprazniti pomoću bočnih rampi.

U konstrukciono-tehnološkom procesu sagorevanja oklaska na ekološke nedostatke mogu da utiču:

- arhitektonsko-konstrukcioni dizajn objekta sušare semenskog kukuruza - uvek je poželjno da ovakva postrojenja budu zasebne celine u potpunosti odvojene od drugih postrojenja i tehnoloških procesa,

- stepen automatizacije postrojenja - sa većim stepenom automatizacije kompletnog postrojenja manja je verovatnoća da dođe do neke ekološke katastrofe i manje je ljudi angažovano na opsluživanju,
- viši stepen automatizacije pojedinih odeljenja u okviru postrojenja je veoma poželjan ukoliko nije moguće izvesti automatizaciju kompletnog postrojenja, (npr. kod poluatomatizovanog postrojenja termogena ručno se izuzima i dalje distribuira pepeo, koji veoma lako nekontrolisano može dospeti u životnu sredinu)
- potpuna zaptivenost procesne opreme - osigurava minimalno prisustvo prašine i njeno kontrolisano izuzimanje, što stvara mogućnost za pojavu eksplozije na minimum.

4. ZAKLJUČCI

Na osnovu navedenih podataka može da se zaključi da oklasak predstavlja dobro alternativno gorivo, odnosno biogorivo.

Na osnovu navedene analize može da se konstatuje kolike su prednosti u korišćenju oklasaka, kao biogoriva, u odnosu na potrošnju zemnog gasa. Zemni gas se uglavnom uvozi (70%) i transportuje do mesta potrošnje, a oklasak se dobija na mestu potrošnje. Negde na putu (cevovodu) od Sibira pa do Srbije zemni gas se može obustaviti ("zavrnuti slavina"), a oklasak svake godine skoro u istoj količini raste na našim njivama. Zemni gas je neobnovljivo gorivo, a oklasak je obnovljiv, odnosno održivo alternativno gorivo. Zemni gas je opasno, eksplozivno, gorivo, a oklasak nije, samo je zapaljivo gorivo. Sagorevanjem zemni gas proizvodi CO₂, koji se nagomilava u atmosferi i negativno utiče na globalnu klimu, a biljka kukuruza pri rastu i stvaranju zrna i oklasaka troši CO₂ iz atmosfere, tako da proizvedeni ugljen-dioksid pri sagorevanju oklasaka se sav potroši. Zemni gas je velika "šteta" sagorevati i koristiti za proizvodnju toplotne energije. Od njega, kao sirovine, mogu da se dobiju mnogo vredniji proizvodi, kao što su razni hemijski proizvodi: plastični i drugi sintetički materijali. Cena zemnog gasa je 2,22 puta viša od cene oklasaka pri istom energetskekvivalentu. Verovatno će cena gasa i dalje rasti, tj. brže rasti nego cena oklasaka, pa će ovaj odnos cena biti sve više u korist oklasaka.

Navedeni u radu ekološki aspekti korišćenja oklasaka kao biogoriva treba da posluže budućim korisnicima odn. konstruktorima ovakvih postrojenja na šta treba da obrate pažnju, kako bi eliminisali sve navedene ekološke nedostatke koji mogu nastati u procesu ubiranja, procesu uskladištenja i konstrukciono-tehnološkom procesu sagorevanja oklasaka.

5. LITERATURA

- [1] Ašonja, A., Desnica, E., Radovanović Lj. (2016). Energy Efficiency Analysis of Corn Cob Used as a Fuel, Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy. (Prihvaćen rad)
- [2] Ašonja, A., Brkić, M. (2013). Energetska efikasnost sušare semenskog kukuruza na oklasak, Zbornik radova sa I naučno-stručnog skupa: „Energetska efikasnost“, Visoka tehnička škola strukovnih studija Novi Beograd i Društvo za tehničku dijagnostiku Srbije iz Beograda.No. EE-4, 25. Oktobar 2013, Beograd, Srbija, 34-52.
- [3] Brkić, M., Janić, T., Pejović, G., Kostić B. (2012.) Raspoloživost i troškovi biomase za potrebe sistema daljinskog grejanja na području opština Vrbas i Kula, Predstudija, Eko produkt, Novi Sad.
- [4] Brkić, M. (2013). Idejno tehnološko-tehničko rešenje sušare semenskog kukuruza u PP „Sava Kovačević“ a.d. - dokumentacija, Vrbas.
- [5] Tehnička dokumentacija NS-Termomontaža d.o.o. (2013). Sušare semenskog kukuruza u PP „Sava Kovačević“ a.d. - Vrbas.
- [6] Uputstvo za rad sa termogeneratorom „UT-850“ (2013). Termoplin d.o.o. Smederevska Palanka (Mladenovac).
- [7] Brkić, M., Janić, T. (2000). Analiza efikasnosti i kvaliteta rada sušara za semenski kukuruz, časopis Procesna tehnika i energetika u poljoprivredi (PTEP), Vol.4, No.1-2, 18-21.

Autori:

Dr Aleksandar Ašonja, NS-Termomontaža, Stevana Mokranjca 18/31, 21.000 Novi Sad, Srbija, Tel/Fax: +381 21 512-245
E-mail: aleksandar.asonja@gmail.com

Dr Miladin Brkić, prof. u penziji, Partizanskih baza 4/52, 21000 Novi Sad, Tel. +381 21 639-5954
E-mail: mbrkic@uns.ac.rs

Stojić Srbijanka, Stojić, N., Gluvakov Zorica, Aščerić Valentina

EKONOMSKA ANALIZA TRŽIŠTA I ISPLATIVOSTI PROCESA PROIZVODNJE ENERGETSKIH PELETA OD BIOMASE U SRBIJI

***Rezime:** U radu je prikazano stanje na tržištu energetskih peleta u Srbiji. Analizirani su faktori koji utiču na stepen i dinamiku razvoja tržišta peleta u Srbiji, uz poseban osvrt na moguće pravce razvoja tržišta u budućnosti. Prikazana je i komparativna analiza upotrebe energetskih peleta i konvencionalnih goriva, kao i dugoročni efekti na očuvanje životne sredine. Prikazani su ukupni troškovi pokretanja proizvodnje peleta. Date su i aktuelne prodajne cene, a na osnovu toga, prikazana je i ekonomska analiza isplativosti pokretanja proizvodnje pelete u Srbiji kao i neto sadašnja vrednost investicije. Na osnovu prikazanih podataka, izračunati su i objašnjeni vredonosni koeficijenti, koji služe za detaljnije tumačenje opravdanosti ulaganja finansijskih sredstava u pokretanje procesa proizvodnje peleta od biomase.*

Ključne reči: energetski peleti, ekonomska isplativost, tržište, proizvodnja

1. UVOD

Evropsko tržište energetskih peleta od biomase je i dalje u stadijumu razvoja. Tržište, a samim tim i proizvodnja peleta se pretežno zasniva na korišćenju šumske, i otpadne biomase dobijene iz drvnoprerađivačke industrije, dok znatno manji udeo čini biomasa dobijena iz poljoprivrede. Takav odnos korišćenja otpadne biomase u procesu proizvodnje otežava dalji razvoj tržišta energetskih peleta, jer u savremenim uslovima drvnoprerađivačka industrija gubi na značaju naspram ostalih industrija. U takvoj situaciji, proizvodnja peleta će se sve više preorijentisati na upotrebu biomase i sirovina dobijenih iz poljoprivrede. Razvoju evropskog tržišta briketa i peleta najviše doprinosi Evropski peletni centar, čije sedište je u Danskoj, www.pelletcentre.info. Takođe, razvoju tog tržišta u mnogome su doprinela dva istraživačka projekta: projekt "Altener", "Pelete za Evropu" (2003 do 2005) i "projekt@las" (2007-2009). Najveći proizvođači peleta od drvne mase su: Švedska, Danska i Austrija. (Brkić M., Janić T., 2011).

Upkos tome, evropsko tržište peleta karakteriše nizak stepen razvijenosti. Razvijene zemlje su donele određene standarde kvaliteta energetskih peleta od biomase, ali i dalje izostaje proces harmonizacije i usaglašavanja zakonskih propisa između pojedinih, manje razvijenih zemalja. Ipak, Evropski komitet za standardizaciju je prethodnih godina oformio višestruki standard CEN, koji je 2010. godine dopunjen i usvojen kao Evropski standard (EN).

Ne sme se izostaviti činjenica da pelete za evropsko tržište moraju biti proizvedene po Evropskom standardu ili po standardima zemalja u kojima se prodaju. Cene peleta za evropsko tržište iznose 100 € u rinfuzi, 200 € upakovano u velike džakove, i 300 € upakovano u male džakove (Gluvakov Zorica i sar., 2011).

2. ANALIZA TRŽIŠTA PELETA U SRBIJI

Kada se posmatra tržište peleta u Srbije, ne može se reći da se radi o formiranom tržištu. Najveća barijera u daljem razvoju tržišta se odnosi pre svega na nizak nivo tehničke razvijenosti Srbije, što se dalje manifestuje preko niskog kvaliteta mašina i opreme za proces proizvodnje peleta, a i gotovi proizvodi uglavnom nisu izrađeni po standardima evropske klasifikacije, što direktno utiče na slabiju konkurentnost naših proizvoda na inostranim tržištima. Kvalitet gotovih proizvoda nije, u većini slučajeva, urađen po standardima evropske klasifikacije CEN. Takođe, proizvodni troškovi briketa i peleta su u nas prilično visoki. To sve umanjuje našu prodajnu moć na inostranom tržištu (Brkić M., Janić T., 2009.). Za inicijalno investiciono ulaganje u otpočinjanje procesa proizvodnje peleta od biomase potreban je značajan iznos finansijskih sredstava. Usled ekonomske situacije u državnom, i bankarskom sektoru, privrednici nisu u mogućnosti da obezbede sebi kredit po povoljnim uslovima. Državna intervencija ovde izostaje. Država ne podstiče u dovoljnoj meri proizvodnju ove vrste ekološkog goriva. Sa druge strane, razvijene zemlje, sa namerom da promovišu očuvanje

životne sredine, putem poreza i drugih fiskalnih opterećenja, sankcionišu one proizvođače koji pospešuju stvaranje ugljen-dioksida. Sredstva koja se prikupe ovim putem, bivaju transferisana ka proizvođačima čija proizvodnja odgovara modernim ekološkim standardima, a u tu grupu spada i proizvodnja iz obnovljivih izvora energije, i proizvodnje energetskih peleta od biomase.

Takođe, u Srbiji ne postoje odgovarajući zakonski i podzakonski akti koji regulišu ovu oblast. Usled nedostatka pravne zaleđine, investitori se veoma teško odlučuju da svoja finansijska sredstva ulože na ovom polju. Jednostavno, usled izostanka pravne zaleđine, jedno od najvažnijih prava, pravo svojine, nije jasno definisano i razgraničeno, i samim tim, ulaganje novčanih sredstava se smatra veoma rizičnim. Država, kao pravna institucija, bi morala pre svega da stvori taj regulatorni okvir, što bi dovelo do poboljšanja investicione klime na ovom polju. Eventualni sledeći korak državne intervencije bi trebao da se ogleda kroz sankcionisanje proizvođača koji oštećuju životnu sredinu, i to kroz veće fiskalno opterećenje, a sa druge strane, stimulaciju onih proizvođača koji doprinose očuvanju životne sredine, i to kroz određene poreske olakšice i poreska oslobođenja, kao što je u većini evropskih zemalja.

Srbija kao nerazvijena zemlja, poseduje značajne površine obradivog zemljišta, i samim tim i veliki potencijal u agraru. Razvijanjem poljoprivrede, istovremeno se razvija i tržište sirovina za proizvodnju energetskih peleta od biomase, čime se otvaraju mogućnosti prosperiteta celokupne ekonomije i privrede Srbije u budućnosti.

3. EKONOMSKA ANALIZA ISPLATIVOSTI POKRETANJA PROCESA PROIZVODNJE ENERGETSKIH PELETA

Na osnovu prikupljene literature i analiziranih podataka proizvođača energetskih peleta od biomase, prikazna je potrebna oprema za nesmetano odvijanje procesa proizvodnje energetskih peleta od biomase. Predstavljeni sklop potrebne opreme je kombinacija mašina domaće i inostrane proizvodnje, i predstavlja određeni prosečni nivo, kako kvaliteta, tako i proizvodnje. Osnovna oprema (grubi mlin, fini mlin, peletirka) za proces proizvodnje energetskih peleta od biomase od 350 kg/h košta 87.000 €. Dodatna oprema (transportni elementi, hladnjak, pakerica) koja je neophodna za nesmetano odvijanje procesa proizvodnje

iziskuje dodatna ulaganja u iznosu od 42.000 €. Sabiranjem pojedinačnih stavki, dolazi se do ukupnih troškova nabavke opreme za pokretanje procesa proizvodnje, i oni iznose 129.000 €. Maksimalni učinak cele linije za peletiranje iznosi 350 kg/h peleta od biomase, i to se uzima kao data, konstantna vrednost. Predstavljeni proces proizvodnje bi se odvijao u dve smene od po 8 sati.

Na osnovu iznetih podataka, dolazi se do taktičkog plana kapaciteta, koji se proračunava preko formule (Boljević A., 2007.):

$$TK = FH * G_{min} * U_{max}$$

pri čemu su TK - tehnički, instalisani kapacitet, FH - ukupan fond sati jednog radnika u toku jedne godine, G_{min} - nastali gubici u toku proizvodnje na godišnjem nivou, U_{max} - učinak, tj. proizvodnja ostvarena za jedan sat.

Tehnički (teorijski) kapacitet proizvodne linije peleta iznosi:

$$TK = 365 * 2 * 8 * 350 = 2.044.000 \text{ kg/god}$$

Međutim, pošto je tehnički kapacitet teorijski koncept, jer pretpostavke o kontinuitetu proizvodnje tokom cele godine nisu realne, pristupa se prikazivanju radnog kapaciteta. Radni (normalni) kapacitet pokazuje nivo proizvodnje koji je moguće ostvariti pod normalnim (prosečnim) radnim uslovima. Godišnji broj radnih dana se umanjuje i to za nedelje (52), praznike i neradne dane propisane zakonom (11), remont (15), i zastoje u proizvodnji (7). Radni kapacitet iznosi:

$$RK = 280 * 2 * 8 * 350 = 1.568.000 \text{ kg/god}$$

Za pokretanje procesa proizvodnje potrebne su zalihe sirovina u iznosu od 10.000 do 15.000 €. Prodajna cena peleta od biomase po toni se kreće u rasponu od 120 do 180 €. Za potrebe analize, predviđene su zalihe od 12.500 €, i prodajna cena pelete od biomase od 150 €/t, što je 0,15 €/kg.

Ukupno početno investiciono ulaganje u pokretanje procesa proizvodnje energetskih peleta od biomase iznosi 141.500 €.

Ukupni prihodi na godišnjem nivou, pri proizvodnje od 1.568.000 kg/god, i ceni peleta od 0,15€/kg, iznose 235.200 €.

Među troškovima poslovanja, najdominantnija stavka jesu troškovi materijala (sirovina), i oni iznose oko 85.000 €. U proizvodnom pogonu, u jednoj smeni, neophodna su 3 radnika i poslovođa. Struktura

troškova zarada zaposlenih radnika je prikazana u tabeli 1.

Tabela 1. *Prosečne zarade zaposlenih radnika*

KVFR	Broj radnika	Neto zarada (€)	Bruto zarada (€)	Godišnja zarada (€)
KV	2	300	510	12.240
NKV	6	250	425	30.600
Ukupno	8	-	-	42.840

KVFR – Kvalifikacija radnika

Nematerijalni troškovi se sastoje od plaćenih premija osiguravajućem društvu, kao i naknada isplaćenih stručnim službama za pružene usluge, i na godišnjem nivou iznose oko 400 €. Troškovi amortizacije se računaju u procentualnom iznosu od vrednosti objekata, postrojenja i opreme. Amortizaciona stopa se razlikuje u zavisnosti od metode obračuna amortizacije. Troškovi amortizacije na godišnjem nivou iznose oko 7.000 €. Shodno svemu prikazanom, ukupni rashodi na godišnjem nivou iznose 135.240 €. Godišnji neto prilivi novčanih sredstava se računaju kao razlika između ukupnih prihoda i ukupnih rashoda na godišnjem nivou, i isti iznose 99.960 €.

Rok povraćaja uložених sredstava se računa kao odnos investicionih ulaganja i ostvarenih neto priliva, i ima vrednost 1,42, što ukazuje na to da se povrat uložених sredstava, pri normalnim uslovima proizvodnje i prema predviđenom planu prodaje, može očekivati posle perioda od jedne godine i 5 meseci. Međutim, rok povraćaja kao metod ocene investicionog ulaganje ne uzima u obzir rokove plaćanje, već podrazumeva promptna plaćanja u jednom mesecu. To upućuje na činjenicu da stvarni rok povraćaja uložених sredstava je duži, za onoliko za koliko se dopušta odlaganje naplate prodatih proizvoda. **Ekonomičnost investicije** se iskazuje preko koeficijenta ekonomičnosti koji se dobija kada se stave u odnos ukupni prihodi sa ukupnim godišnjim troškovima. Koeficijent ekonomičnosti iznosi 1,74 i ukazuje na to da se na svaku novčanu jedinicu rashoda ostvaruje 1,74 novčanih jedinica prihoda, što govori o ekonomsko ispativoj investiciji. **Rentabilnost investicije** se dobija kao odnos ukupnih prihoda i ukupnih investicionih ulaganja tokom celog veka projekta. Na osnovu prezentovanih podataka, indeks rentabilnosti iznosi 0,96, i profitabilnost investicije na visokom nivou. **Neto sadašnja vrednost investicionog projekta** (NSV)

predstavlja sumu vrednosti godišnjih neto priliva svedenih na njihovu vrednost u početnoj godini projekta. NSV, pri diskontnoj stopi od 4%, za prvih pet godina trajanja projekta iznosi 445.004,16 €. Kriterijum koji se koristi za ocenjivanje primenom ove metode upućuje na to da je neophodno da je NSV pozitivna ili bar jednaka nuli. Ukoliko u metod NSV uključimo i početno investiciono ulaganje, prema ovom kriterijumu zaključujemo da je ekonomski opravdano izvršiti ulaganje u ovakav projekat. **Metod interne stope prinosa** (ISP) koristi internu stopu prinosa kao kriterijum za ocenu rentabilnosti projekta. Interna stopa prinosa se definiše kao ona diskontna stopa koja izjednačava NSV neto prihode sa sadašnjom vrednošću investicionih ulaganja. ISP zapravo pokazuje maksimalnu kamatnu stopu koja može iz projekta da se plati na pozajmljena sredstva, a da se pri tome posluje na granici rentabiliteta (Todosiljević R., 2009.). Za posmatrani petogodišnji period eksploatacije projekta, pri diskontnim stopama od 4%, odnosno 8%, NSV iznose 445.003,16 €, odnosno 399.111,29 €. Interna stopa prinosa iznosi 42,79%. Izuzetno visoka stopa prinosa nedvosmisleno ukazuje na veliku profitabilnost projekta. Međutim, u normalnim uslovima, velika profitabilnost brzo privlači nove investitore, odnosno utiče na jačanje pritiska konkurencije. Jačanje konkurencije, sa druge strane, u veoma kratkom roku utiče na obaranje prodajnih cena gotovih proizvoda, ali i niz drugih modifikacija, kao što su produžavanje rokova naplate prodatih proizvoda, naplata prodatih proizvoda u ratama, obezbeđivanje količinskih popusta i slično, što veoma značajno, i u relativno kratkom roku dovodi do obaranja stope profita, i to na nivo prosečne stope profita u privredi.

4. KOMPARATIVNA ANALIZA UPOTREBE ENERGETSKIH PELETA OD BIOMASE I DRUGIH KONVENCIONALNIH GORIVA

Komparativna analiza upotrebe energetskih peleta od biomase u odnosu na druga konvencionalna goriva prikazana je u tabeli 2.

Tabela 2. *Komparacija energetskih peleta od biomase sa konvencionalnim gorivima*

2 kg peleta od biomase \approx 1 l ulja za loženje
1,85 kg peleta od biomase \approx 1 m ³ prirodnog gasa
3 m ³ peleta od biomase \approx 1.000 l ulja za loženje
Potrošnja peleta 1 kg/h \approx 5 kW snage

Na osnovu podataka prikazanih u tabeli 2, može se konstatovati da upotreba energetske peleta od biomase pruža određene komparativne prednosti, ali i značajan doprinos očuvanju životne sredine. Energetske vrednosti peleta od biomase ne zaostaju za ostalim oblicima konvencionalnih goriva, dok činjenica da 650 kg peleta od biomase zauzima 1 m³ prostora, dodatno afirmiše upotrebu ove vrste ekološkog goriva.

5. ZAKLJUČAK

Finansijska sredstva uložena u izgradnju pogona za proizvodnju energetske peleta od biomase mogu relativno dosta brzo da se povrate. Proizvodnja energetske peleta od biomase je veoma profitabilan investicioni projekat. Međutim, svaka nadprosečna stopa profita za sobom povlači nove količine kapitala. Novi investitori i proizvođači utiču na rast konkurencije. Rast konkurencije dovodi do obaranja cena autputa, i do rasta cena inputa, i to sve do nivoa na kojem se profitna stopa ove grane, ne izjednači sa prosečnom profitnom stopom na nivou privrede. Veliki problem razvoja ove privredne grane predstavlja veliki iznos kapitala koji je neophodan za pokretanje procesa proizvodnje. Usled ekonomske situacije u Srbiji, ali i na globalnom nivou, veoma je teško doći do kredita po povoljnim kamatnim stopama, zbog čega je neophodna državna intervencija. Proizvodnja ekoloških goriva predstavlja buduću smer razvoja industrije. Srbija, kao nacionalna ekonomija koja poseduje značajan potencijal na ovom polju, nedovoljno pažnje posvećuje ovoj temi. Proces proizvodnje energetske peleta od biomase se može okarakterisati kao isplativa investicija, međutim, u Srbiji izostaju institucionalni uslovi i regulatorni sistem koji bi obezbedio normalno funkcionisanje tržišta. Upravo zbog toga izostaje priliv kapitala koji je neophodan za razvoj ove nerazvijene grane industrije. Svest o očuvanju čovekove okoline dobija sve više značaja u svakodnevnom životu, ali i u sferama poslovanja. Upravo zbog toga, realociranje ekonomskih resursa ka delatnostima kao što je proizvodnja ekoloških goriva predstavlja realnu

osnovu za dugoročni prosperitet i razvoj privrede Srbije.

ZAHVALNOST

Rezultati prezentovani u ovom radu su deo istraživanja na projektu MNTR br. III-42011 koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

6. LITERATURA

1. Boljević A., (2007), Strategijsko planiranje, Ekonomski fakultet, Subotica, s. 86-87
2. Brkić M., Janić T. (2009) Monografija, Briketiranje i peletiranje biomase, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, s. 219-221
3. Brkić M, Janić T, (2011), Uspostavljanje tržišta energetske briketa i peleta od biomase, časopis Savremeni povrtar, VDP, Novi Sad, X, 39, s. 51-54
4. Gluvakov Z., Brkić M., Janić T., (2011), International conference – process technology and environmental protection (PTEP), Process analysis of biomass pellets production, Tehnicka fakultet of Zrenjanin s. 12-17
5. Todosijević R., (2009), Strategijski menadžment – metode i tehnike, Ekonomski fakultet, Subotica, s. 315-324

Autori: dipl. ecc. Stojić Srbijanka¹, dipl. ecc. Stojić Nemanja², MSc Zorica Gluvakov³, dipl. ecc. Aščerić Valentina⁴

¹JVP Srbija vode, Bulevar umetnosti 2A, 11070 Novi Beograd, Srbija

²Unirvezitet u Novom Sadu, Ekonomski fakultet Subotica, dr Sime Miloševića 16, 21000 Novi Sad, Srbija

³Unirvezitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Trg Dositeja Obradovića 8, 21000 Novi Sad, Srbija.

⁴Naftna industrija Srbije, Direkcija za neprofilne aktive, Narodnog fronta 12, 21000 Novi Sad, Srbija

E-mail: srbijanka.stojic@srbijavode.rs
snemanja10@gmail.com
zorica.gluvakov@live.com
valentina.asceric@nis.eu

Nježić Zvonko¹**BRIKETIRANJE I PELETIRANJE – ZAŠTITA OD POŽARA I EKSPLOZIJA**

Rezime: *Pravilnom primenom svih preventivnih mera pri briketiranju i peletiranju biomase sa stanovništva zaštite na radu i protivpožarne zaštite, pravilnom izvedbom svih tehničkih detalja na mašinskoj tehnološkoj opremi i pri montažnim radovima, pravilnom izvedbom elektroinstalacija, strogim pridržavanjem propisanih pravila za rad, pravilnim rukovanjem i održavanjem opreme ispravnom stanju u funkciji kompleksnog postrojenja, može se smatrati da su požarne i eksplozivne opasnosti eliminisane, odnosno svedene na minimum. To praktično znači da ove opasnosti nisu prisutne u normalnim uslovima rada i da one mogu nastati samo usled izvesnih nenormalnosti u radu.*

Mere prevencije i svi ključni aspekti moraju biti deo svake ozbiljne studije i tehničko-tehnološke dokumentacije

Ključne reči: *briketiranje, biomasa, zaštita od požara, eksplozija*

1. UVOD

Zbog raznovrsnosti biomase koju sačinjavaju: pšenična, ječmena, ovsena, ražena slama, kukuruzovina, slama uljarica, ostaci suncokretove stabljike i ljuske, rezidbe voća i vinograda, šumska biomasa, drveni otpad u preradi drveta čine kompleksni mašinsko tehnološki postupak proizvodnje briketa [1].

Značaj briketiranja naročito je porastao poslednjih godina, kada je došlo do sve izraženije nestašice i poskupljenja nafte i gasa, odnosno klasičnih energetske goriva. U početku su se biobriketima uglavnom razrešavali tehnološki problemi suviška otpadnih materijala u pojedinim proizvodnim pogonima drvoprerađivačke i sl. industrija, kao i delimično njihove energetske potrebe. Danas se biomasa sve više koristi, ne samo kao značajan autohtoni energetski izvor za proizvodne pogone, već i kao komercijalni energetski supstituent za mnoge korisnike uključujući i široku potrošnju [2,3].

Za ovu tehnologiju i njene proizvode karakteristično je:

1. postojanje ogromnog izvorišta obnovljenih sirovina
2. prosečna zapreminska težina briketa kreće se od 900-1100 kg/m³, a mogućnost pogodnog pakovanja (folija, kutije i sl.) omogućuje laku manipulaciju bez prljanja okoline i osoblja pri radu [4],
3. kalorična vrednost briketa, u zavisnosti od materijala, kreće se od 14.000 do 18.000 kJ/kg i slična je dobrim vrstama mrkog uglja [1],

4. sagorevanje briketa je veoma dobro, praktično bez dima i bez sumpornih gasova, a sadržaj pepela je vrlo nizak, 2-3% [5],

5. ostaci od prehrambene industrije (pivski treber, muljni talog iz uljarica, otpaci iz mlinske industrije, stari hleb i sl.) je izvanredna sirovina za proizvodnju briketa za stočnu hranu [6,7,8,9].

Korišćenje dela organskog otpada nakon separacije u postrojenjima za separaciju otpada, jer on predstavlja i preko 60% u morfološkom sastavu otpada[10].

2. ZAŠTITA OD POŽARA I EKSPLOZIJA

Za pogone za briketiranje i peletiranje predviđene su potrebne zaštitne mere protivpožarne zaštite u skladu sa važećim propisima.

Opasnost od eksplozije prašine se mora razjasniti sa što više aspekata, da bi se postigao što viši nivo preventive, jer su eksplozije vrlo retke u objektima ove vrste, ali kad se dogode izazivaju katastrofalne posledice obično sa ljudskim žrtvama i redovno sa veoma velikom materijalnom štetom.

Pravilnom primenom svih preventivnih mera sa stanovništva zaštite na radu i protivpožarne zaštite, pravilnom izvedbom svih tehničkih detalja na mašinskoj tehnološkoj opremi i pri montažnim radovima, pravilnom izvedbom elektroinstalacija, strogim pridržavanjem propisanih pravila za rad, rukovanje i održavanje ispravnom stanju u funkciji kompleksnog postrojenja, može se smatrati da su požarne i eksplozivne opasnosti eliminisane, odnosno svedene na minimum. To praktično znači

da ove opasnosti nisu prisutne u normalnim uslovima rada i da one mogu nastati samo usled izvesnih nenormalnosti u radu.

Ukoliko izbije požar u nekom zaprašenom delu postrojenja ne znači da će se on završiti eksplozijom, ako u datom momentu nisu prisutni i svi ostali faktori koji kompleksno uslovljavaju pojavu eksplozije. Najuticajni faktori za pojavu eksplozije prašine su:

1. Vrsta prašine - po poreklu, hemijskom sastavu, granulometrijskom sastavu, osobinama zapaljivosti,
 2. Koncentracija prašine u vazduhu
 3. Vlažnost prašine
 4. Izvor paljenja, odnosno inicirajuća varnica.
- 6.

7. 2.1 Vrsta prašine

Prašina je po poreklu neorganska i organska. Prašina od zemlje, peska i sl. dolazi u objekat sa sirovinom, dok se habanjem pojedinih elemenata gradjevskih konstrukcija pojavljuju i dopunski oblici prašine neorganskog porekla od cementa, boja i sličnih materijala.

Prašina organskog porekla nastaje uglavnom od osnovnog materijala za obradu, tj. drveta ili usitnjavanjem sekundarnih sirovina iz poljoprivrede.

Prašina je po pravilu mešavina prašine neorganskog i organskog porekla. Odnos neorganske i organske prašine u smeši je promenljiv i po pravilu procentualno učešće prašine neorganskog porekla je najveće na prijemnom mestu (istovar), a dalje linijom prijema i procesa sušenja i usitnjavanja postepeno opada. Kako se eksplozivnost prašine povećava sa smanjenjem sadržaja pepela, treba smatrati da se idući linijom od mesta istovara na dalje povećava opasnost od eksplozije prašine.

Granulometrijski sastav prašine je veoma uticajan faktor na eksplozivnost prašine. Smatra se da je prašina podložna eksploziji ukoliko je njena struktura po veličini čestica ispod 100 mikrona, a naročito opasna je struktura čestica veličine ispod 60 mikrona.

Na mestima prašenja, opasnost predstavljaju oblaci prašine sastavljeni od veoma sitnih lebdećih čestica (aerosoli) koji uz povoljan uticaj ostalih okolnosti mogu dovesti do primarne eksplozije. Udarni talas primarne eksplozije uskovitlaće nataloženu prašinu u bližoj zoni i izazvati lančane eksplozije uz stalno povećavanje intenziteta eksplozivnog pritiska i razorne moći.

Sa ovog stanovništva je veoma važno da se spreči da u objektu dodje do opšte zaprašenosti i nataložnosti prašine na zidovima, podovima, gredama, mašinama i instalacijama.

8. 2.2 Koncentracija prašine u vazduhu

Prašina kao zapaljiv materijal može da sagoreva u raznim vidovima, od sagorevanja tinjanjem nataloženog sloja prašine do eksplozivnog sagorevanja. Izmedju ovih graničnih slučajeva uskovitlana prašina u vazduhu kao zapaljiva smesa sagoreva "regularno". Prema do sada objavljenim stručnim podacima može se konstatovati da je ovo područje još uvek nedovoljno ispitano, ali se na osnovu raspoloživih podataka može izvesti sledeći aproksimativni zaključak:

1. Za tinjanje nataloženog sloja drvene prašine debljine 5 mm karakteristična je temperatura koja se nalazi u granicama izmedju 330-470°C. Pri tome treba imati u vidu da duže zagrevanje drveta na nižim temperaturama stvara sloj piroformnog uglja radi čega se već i temperatura od 1.300°C smatra opasnom i pri odredjenim uslovima može preći u samopaljenje.
2. Temperatura od cca 3.000°C predstavlja kritičnu temperaturu samopaljenja sloja debljine 5 mm prašine biljnog porekla.
3. Za paljenje uskovitlane prašine biljnog porekla karakteristična je temperatura od cca 450°C gde se u zavisnosti od ostalih faktora front plamena kreće brzinom od 10 do 25 m/s.
4. Proces nastanka i razvoja gorenja drveta odvija se u 6 karakterističnih faza:
 1. Faza - do 80°C - isparavanje vode (sušenje)
 2. faza - 80-160°C - razvoj upaljivih plinova kao posledica razaranja ćelija drveta
 3. faza - 150-270°C - izgaranje upaljivih plinova i smola uz pojavu plamena i površinsko pougljenje.
 4. faza - do 300°C - izgaranje površinskog sloja uz ravnomeran porast unutrašnje temperature praćen mehaničkim raspadom drveta i stvaranjem novih gorivnih površina
 5. faza - 300-600°C - pregrevanje izolacionog kartoniziranog sloja i dalje razaranja gradje drveta
 6. faza - iznad 600°C - intezivno gorenje uz potpuno razaranja gradje drveta.
5. Za eksplozivno paljenje oblaka prašine biljnog porekla potrebna je temperatura iznad 800°C. Brzina eksplozivnog sagorevanja oblaka prašine iznosi nekoliko stotina metara u sekundi, pri čemu pritisci eksplozije mogu dostići razorne vrednosti.

Kao indikator brzine gorenja drveta služi podatak o brzini širenja plamena od oko 2 m/min. Zapaljivost, te brzina i intenzitet gorenja u velikoj meri su ovisni o usitnjenosti drvene mase, tako da se mnogo lakše može zapaliti drvo veće usitnjenosti, a i intenzitet gorenja biće veći jer u usitnjenom stanju drvo može dostići brzinu gorenja od 400 kg/m²/h razvijajući temperaturu plamena od oko 1.300 °C.

Najuticajni faktor na oblik sagorevanja prašine je koncentracija prašine u vazduhu. Karakteristično za prašinu je da postoji određena zona eksplozivne koncentracije koja se prostire između donje i gornje granice eksplozivne koncentracije. Maksimalni pritisci eksploatacije nastaju pri srednjoj vrednosti eksplozivne koncentracije, međutim sa stanovništa eksplozivne opasnosti i preventivne bezbednosti u postrojenjima ove vrste preventivnim se merama mora obezbediti da stepen zaprašenosti vazduha bude održan ispod DONJE GRANICE eksplozivne koncentracije.

Pri sadržaju vlage 6,3% i veličini čestica od 60 mikrona donja granica eksplozivne koncentracije drvene prašine u vazduhu iznosi 30 g/m³. Pri smanjenom sadržaju vlage u usitnjenom materijalu (presušeno) usled izvesnih nenormalnosti u radu donja granica eksplozivne koncentracije se snižava i iznosi 22 g/m³.

Kako se tehničkim rešenjima, a u skladu sa normativima Zaštite na radu, radne prostorije održavaju na višestrukom nižem stepenu zaprašenosti (režim mikroklike) uz doslednu preventivu, radni prostori se mogu smatrati bezbednim.

9. 2.3 Izvor paljenja

Kada se u delu postrojenja ispune svi prethodni uslovi, da bi sticaj okolnosti doveo do katastrofalnih posledica, potreban je još izvor paljenja odnosno inicirajuća varnica dovoljnog intenziteta i trajanja. Mogući izvori paljenja su uglavnom: otvoreni plamen, elektrouredjaji i pogonska sredstva, statički elektricitet i mehaničko trenje.

Pod OTVORENIM PLAMENOM kao uzroku paljenja podrazumevaju se sve vrste otvorene vatre, rad gasnim i električnim aparatima za zavarivanje, šibice i pušenje, otvoreni grejači i elektrootpornici i sl. Nataložena prašina na nekoj površini zagrejanom iznad 200°C počće da sagoreva tinjanjem i kao takva može izazvati paljenje oblaka prašine. Naročito veliku opasnost predstavljaju električne svetiljke bez zaštitnog stakla, odnosno propisne armature. Za ovu grupu opasnosti pravilna preventiva je od presudnog značaja za bezbednost od eksplozije.

ELEKTROUREDJAJI I POGONSKA SREDSTVA mogu biti uzročnici stvaranja inicirajuće varnice. Elektro uredjaji i pogonska sredstva kao što su elektromotori, elektromagneti, motorreduktori, mikroprekidači i ostali elektro-uredjaji moraju biti izvedeni u odgovarajućem stepenu zaštite, prema važećim propisima za ovu vrstu objekata.

STATIČKI ELEKTRICITET može predstavljati vrlo veliku opasnost. Područje stvaranja elektrostatickog naboja je vrlo široka, pa bi opisivanje istog zahtevalo puno prostora. Važno je istaći da se na odgovarajući način mora osigurati efikasno poništenje elektro-statičkog naboja.

MEHANIČKO TRENJE kao uzrok paljenja usled povišenja temperature, ima vrlo širok dijapazon opasnosti kao što su: prisustvo feromagnetnih primesa u masi, proklizavanje pogonskih bubnjeva na trakastim transporterima, nedozvoljna odstupanja paralelnosti i koakcijsnosti osa koja prouzrokuje dopunska opterećenja i zagrevanja ležišta, vodjica i sl.

Obezbedjenje od neželjenih posledica može se postići ako postrojenje bude pravilno montirano, održavano u ispravnom stanju u eksploataciji i ako se obezbedi maksimalna primena preventivnih mera kao i kontrola nad primenom istih.

3. ZAKLJUČAK

Korišćenje biomase u svrhu zagrevanja objekata je postupak koji je poznat čoveku još od davnina. Ovaj postupak nije zaživeo u velikoj meri zbog svoje energetske neefikasnosti u odnosu na fosilna goriva.

Pogoni za proizvodnju briketa i peleta zahtevaju velika finansijska ulaganja, ali zbog nedovoljne efikasnosti tadašnjih pogona, isti nisu obezbeđivali povraćaj uloženi sredstva. Bez ekonomske opravdanosti, razvoj i modernizacija pogona za briketiranje i peletiranje je izostao.

Povećana efikasnosti pogona za briketiranje i peletiranje ostvarena je uvođenjem u pogon kotla sa ložištem sa fluidiziranim sagorevanjem u režimu tečnog pepela kao i visokofrekventim sušenjem u režimu povećanog podpritiska. Time smo obezbedili kvalitetan proizvod, visokoenergetska iskorišćenost ulaznih sirovina za zagrevanje, dobijanje malih količina pepela (između 1-2 %), iskorišćenost toplotne energije iz pogona koja se do sada gubila kroz izduvne sisteme, sušenje vlažne sirovine na traženi nivo vlage, potpunu automatizaciju procesa i neophodnu zaštitu kako ljudi tako i sredine u kojoj pogon funkcioniše.

Zaštita ljudi, životne sredine i materijalnih dobara su naš cilj u svakom tehničko-tehnološkom sistemu, pa i u ovom za briketiranje i peletiranje.

Ovim radom predviđene su potrebne zaštitne mere protivpožarne zaštite u skladu sa važećim propisima. Opasnost od eksplozije prašine je razjašnjena sa više aspekata, da bi se postigao što viši nivo preventive, jer su eksplozije vrlo retke u objektima ove vrste, ali kad se dogode izazivaju katastrofalne posledice obično sa ljudskim žrtvama i redovno sa veoma velikom materijalnom štetom.

ZAHVALNICA

Istraživanja su finansirana od Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije, broj projekta III 46005.

4. LITERATURA

- [1] Brkić, M., Janić, T.: Evropski standard za peletiranje i briketiranje biogorva, Revija agronomska saznanja, 5, 80-86, 2008.
- [2] Brkić, M., Janić, T.: Poljoprivreda kao potrošač i proizvođač energije, Savremena poljoprivredna tehnika, 31, 4, 155-161, 2005.
- [3] Martinov, M., Brkić, M., Janić, T., Đakov, Đ., Golub, M., Bojić, S.: Biomasa u Vojvodini-Res 2020, Savremena poljoprivredna tehnika, 37, 2, 119-133, 2011.
- [4] Carroll, J. P.; Finnan, J. Physical and chemical properties of pellets from energy crops and cereal straws. Biosyst. Eng. 2012, 112 (2),151–159.
- [5] Nježić, Z., Cvetković, B., Banjac V., Živković, J.: Briquetting and pelleting biomass- protection from fire and explosions, Proceedings of 3rd International Congress "Engineering, environment and materials in processing industry" University of east Sarajevo, Faculty of technology, Zvornik, Jahorina, Bosnia and Herzegovina, Mart 2013, 424-429 str.
- [6] Filipović, S., Prodanović, Olivera, Sakač, Marijana, Đurđev, S., Bogdan, V., Zečević, S.: Tehnološki postupak oplemenjavanja nuzproizvoda suncokreta, 37 Savetovanje, Proizvodnja i prerada uljarica, Zbornik radova, 66-72, Budva, 1996.
- [7] Filipović, S., Ristić, M., Prodanović, Olivera, Sakač, Marijana, Kormanjoš, Š., Đurđev, S., Bogdan, V., Zečević, S.: Tehnološki postupak prerade sporadnih proizvoda industrije ulja, 38 Savetovanje, Proizvodnja i prerada uljarica, Zbornik radova, 367-374, Budva, 1997.
- [8] Filipović, S., Đurđev, S., Prodanović, Olivera, Sakač, Marijana: Valorizacija nuzproizvoda industrije ulja u proizvodnji stočne hrane, 36 Savetovanje, Proizvodnja i prerada uljarica, Zbornik radova, 291-297, Budva, 1995.
- [9] Nježić Z., Živković J., Cvetković B.: Energy value of leftover bread as safe and quality food;

"Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly" ; 16(4) 399-403;2010.

[10] Nježić Z., Hodolić J., Stević M. (2006): *Waste separation in the city of Novi Sad*, Engineering of Enviroment Protection TOP 2006,: Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Mechanical Engineering, Proceedings 361-366, Bratislava, 2006.

Autori: Dr Zvonko Nježić¹

¹Naučni institut za prehrambenu tehnologiju u Novom Sadu

e-mail: zvonko.njezic@fins.uns.ac.rs

Karić, M., Nikolić, R.

SAGOREVANJE I GASIFIKACIJA DRVNE BIOMASE
U ENERGETSKE I EKOLOŠKE SVRHE

Rezime: Biomasa je obnovljiv izvor energije koji zbog svojih osobina postaje sve prihvatljivije gorivo današnjice. U radu su opisane tehnologije pretvaranja biomase u energiju procesom sagorevanja i gasifikacije. Prikazani su rezultati teorijskog modela za određivanje sastava produkata istosmerne gasifikacije u zavisnosti od uslova gasifikacije (temperature, vlage i procenta ugljenika koji sagoreva).

Proces gasifikacije drvnog otpada omogućava dobijanje kvalitetnog gasovitog goriva (generatorskog gasa ili biogasa). Problem proizvodnje gasovitog goriva iz drvnog otpada postaje sve aktuelniji jer se na taj način rešava značajan ekološki problem kontaminacije tla, vodotokova i vazduha koji nastaje na mestu odlaganja drvnog otpada uz iskorišćenje energetskog potencijala sadržanog u otpadnom drvetu, uzimajući u obzir prednosti gasovitog goriva u odnosu na čvrsto.

Ključne reči: drvena biomasa, sagorevanje, gasifikacija, generatorski gas, životna sredina

1. UVOD

Stalni i ubrzan rast cena fosilnih goriva i činjenica da su konvencionalni izvori energije ograničeni i iscrpljivi, kao i razvoj svesti o uštedi energije i zaštiti životne sredine, dovodi u pitanje energetsku efikasnost i korišćenje obnovljivih izvora na vrlo važno mesto u razvijenom svetu. Biomasa se smatra obnovljivim „CO₂ neutralnim“ gorivom, čijom se gasifikacijom može dobiti gas primenljiv u različite svrhe. Ima manju toplotnu moć u odnosu na fosilna goriva ali značajno manji sadržaj sumpora i drugih zagađujućih materija i nizak sadržaj pepela. Postoje razni načini da se iz biomase dobije energija. Biomasa se može pretvoriti u energiju sagorevanjem pri čemu se proizvodi pregrejana vodena para za grejanje u industriji i domaćinstvu i za dobijanje električne energije u malim termoelektranama. Osim toga biomasu je moguće konvertovati u biogas putem bioloških procesa kao što su anaerobna digestija ili putem gasifikacije koja spada u grupu termohemijskih procesa. Gasifikacija biomase nudi određene prednosti u odnosu na direktno sagorevanje biomase. Cilj rada jeste da doprinese boljoj informisanosti o prednostima i mogućnostima korišćenja drvene biomase u energetske svrhe i podstakne veće korišćenje ovog izvora za dobrobit čovečanstva.

2. MATERIJAL I METOD

2.1. Drvena biomasa kao izvor energije

Biomasa pomoću fotosinteze iz vode, ugljen dioksida i energije sunca gradi glukozu a pri tome se oslobađa kiseonik. Na taj način u biomasu akumuliranu energiju Sunca dobijamo sagorevanjem

u obliku toplotne energije. Između različitih vrsta biomase drvena ima najširu primenu.

Sav otpadni materijal (35-40% drvene mase stabla namenjenog za dalju preradu) veliki je energetski potencijal. Toplotna moć biomase odgovara vrednosti toplotne moći srednje kaloričnih ugljeva. Ova činjenica ide u prilog pokušajima da se biomasa posmatra kao energetski izvor, odnosno da se istraživanja usmere u pravcu iznalaženja pravog načina za njegovo termičko tretiranje. Analiza toplotnih moći različitih vrsta drveta pokazuju veliku sličnost. To je realno ako se ima u vidu činjenica da je elementarni sastav različitih vrsta drveta približno konstantan.

Red. br.	Vrsta drveta	Ugljenik, C (%)	Kiseonik, O (%)	Vodonik, H (%)
1.	Bukva	48,5	45,2	6,4
2.	Hrast	49,4	44,5	6,1
3.	Topola	49,7	44,0	6,3
4.	Jela	50,0	43,6	6,4
5.	Smreča	49,6	44,0	6,4

Tabela 1. Elementarni hemijski sastav nekih domaćih vrsta drveća [1]

Koristeći podatke o elementarnom sastavu drveta moguće je uz pomoć poznatih VDI obrasca sračunati gornju toplotnu moć drveta:

$$H_g = 339C + 1430\left(H - \frac{O}{10}\right) + 105S \quad \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$

U jednačini brojne vrednosti za C, H, O, S se uzimaju u procentima po masi za radno stanje goriva. U drvetu, koje je organska supstanca složene strukture, ugljenik, vodonik i kiseonik nalaze se u okviru ugljovodoničnih jedinjenja.

2.2. Tehnologije korišćenja drvnog otpada za proizvodnju energije

U drvno-prerađivačkoj industriji nastaju velike količine različitog drvnog ostatka. Taj ostatak se najčešće koristi samo delimično i to za podmirivanje osnovnih toplotnih potreba pogona. Drvna biomasa, kao biljni materijal, koristi se direktno kao gorivo ili se pretvara u druge oblike pre sagorevanja. Najčešći način korišćenja drvnog otpada za proizvodnju energije je sagorevanje u kotlovima ili ložištima i gasifikacija.

2.2.1. Sagorevanje drvnih otpadaka

Sagorevanje je hemijska reakcija oksidacije glavnih sastojaka iz nekog goriva s kiseonikom iz vazduha pri kojoj se oslobađa energija. Osnovni cilj sagorevanja je da se oslobodi što veća količina toplotne energije. Preduslov za ovo je da je sagorevanje potpuno. Specifični vid izrade i pripreme drvnih otpadaka za loženje predstavlja briketiranje i peletiranje piljevine i prašine od brušenja. Proizvodnja peleta i briketa je u ekspanziji. Postupak se zasniva na povećanju gustine piljevine (oko 10 do 15 puta) da bi se lakše čuvala i jednostavnije sa njom manipuliralo pri loženju. Pritisak se ostvaruje dejstvom valjka, klipa ili pužne zavojnice. Usled dejstva visokog pritiska i visokih temperatura dolazi do termoplastičnih deformacija lignoceluloznog materijala i njihovog vezivanja bez dodatka vezivnog materijala. Da bi se biomasa mogla pretvoriti u formu briketa neophodno je obezbediti: vlažnost sirovine između 10% i 18% (mereno u odnosu na apsolutno suvo) i granulaciju otpadaka ne veću od 10 %. Briketi su većih dimenzija, prečnika 60-100 mm i dužine 20-200mm pa su skloni lomljenju i mrvljenju. Iz tog razloga su peleti interesantniji kao gorivo. Uobičajena praksa je da se peleti proizvode bez dodatka vezivnih sredstava, sitnjenjem drvnih otpadaka do nivoa drvnog brašna, a zatim njihovim sabijanjem u posebnim presama. Cilindričnog su oblika, prečnika od 6-12mm i dužine od 10-30mm. Sadržaj vlage se kreće od 8-10%, a energetska vrednost je izuzetno visoka što ih svrstava u najbolja goriva na bazi drveta.



Sl. 2. Drvni briketi



Sl. 3. Drvni peleti

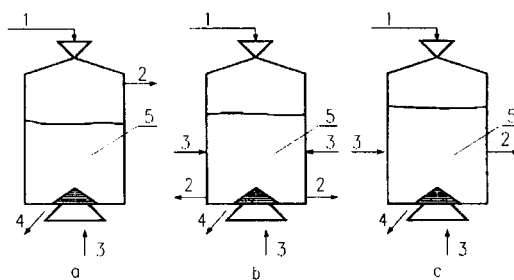
2.2.2. Gasifikacija drvnih otpadaka

Gasifikacija je termohemijski proces koji se ostvaruje kada se biomasa zagreva u sredini sa sniženim prisustvom kiseonika tada dolazi do proizvodnje gasa niske ili srednje toplotne

vrednosti koji uglavnom sadrži CO i H₂ [2]. U zavisnosti od sadržaja ugljenika i vodonika biomase i karakteristika gasifikatora toplotna vrednost proizvedenog gasa može da varira od 10 do 50% od toplotne vrednosti prirodnog gasa. A preostali sastojci gasa su CO₂, N₂ i mala količina CH₄ i drugih nesagorljivih gasova. Proces gasifikacije izvodi se u generatorima. Dospevši u generator, biomasa se lagano spušta od uvodnog aparata ka pokretnoj rešetki, prolazeći pri tome kroz različite faze transformacije. Pri tome biomasa postepeno prelazi u gas, a ostatak (sastavljen uglavnom od mineralnih materija) kroz ostavu za pepeo napušta generator.

U zavisnosti od međusobnog toka produkata gasifikacije i čvrstog goriva, reaktori za gasifikaciju u nepokretnom sloju svrstavaju se u tri grupe:

- reaktori suprotnosmernog toka,
- reaktori istosmernog toka,
- reaktori poprečnog toka.



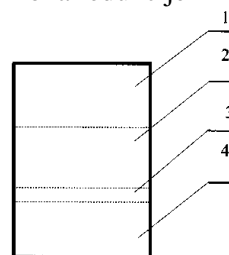
Sl. 4. Šematski prikaz postupaka gasifikacije čvrstih goriva [3]

a) suprotosmerni tok, b) istosmerni tok, c) poprečni tok

1 - čvrsto gorivo, 2 - proizvedeni gas, 3- medijum za gasifikaciju, 4 - čvrsti ostatak, 5 - reaktorski prostor

Za analizu fizičko-hemijskih procesa koji karakterišu proces gasifikacije, reaktorski prostor je podeljen na četiri (uslovno usvojene) zone i to:

1 - zona sušenja, 2 - zona devolatilizacije, 3 - zona sagorevanja, 4 - zona redukcije



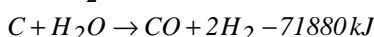
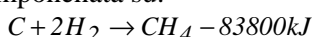
Sl. 5. Šema reaktorskog prostora

Zona sagorevanja i zona redukcije čine osnovnu aktivnu zonu gasogeneratorskog procesa. Iznad aktivne zone nalaze se zona devolatilizacije

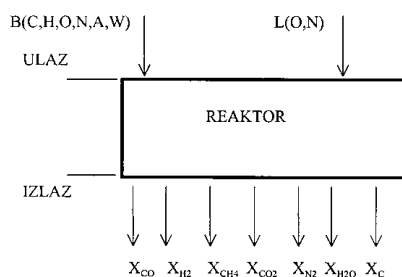
i zona sušenja, u kojima se gorivo priprema za gasifikaciju.

2.3 Teorijski model za određivanje parametara procesa i sastava produkata istosmerne gasifikacije biomase

Gasifikacija biomase može biti okarakterisana kao celokupnost heterogenih i homogenih reakcija, od kojih su u krajnjem rezultatu poželjne one koje dovode do stvaranja CO, H₂ i CH₄ – kvalitetnih sastavnih komponenata gasa. U procesu gasifikacije tipične hemijske reakcije (endotermne) koje dovode do stvaranja gasovitih komponenata su:



Ubačeni vazduh u generator sagoreva deo ugljenika ($C + O_2 \rightarrow CO_2 + 390600kJ$) i zagreva preostali ugljenik a zatim vodena para reaguje s gorivom stvarajući gasovito gorivo. Sastav generatorskog gasa zavisi od hemijskog sastava i vrste goriva za gasifikaciju, konstrukcije gasogeneratora, načina vođenja procesa (temperaturski režim i pritisak).



Sl 6. Šema aktivne zone

B – količina goriva koja stupa u reaktorski prostor
C, H, O, N, A, W – maseni udeli komponenata u drvnim otpacima (elementarna analiza), (kg/kgB);
L – količina vazduha koja stupa u reaktorski prostor (kg/kgB);
X_{CO}, X_{H₂}, X_{CH₄}, X_{CO₂}, X_{N₂}, X_{H₂O}, X_C – molski udeli produkata gasifikacije u ravnotežnoj smeši (kmol/kmol)

3. REZULTATI I DISKUSIJA

U ravnotežnoj smeši postoji sedam komponenata nepoznatih molskih udela (X_{CO}, X_{H₂}, X_{CH₄}, X_{CO₂}, X_{N₂}, X_{H₂O}, X_C) koje se izračunavaju na osnovu sedam jednačina materijalnog bilansa:

$$X_{CO} + X_{H_2} + X_{CH_4} + X_{CO_2} + X_{N_2} + X_{H_2O} + X_C = 1$$

$$\frac{X_C + X_{CO} + X_{CO_2} + X_{CH_4}}{X_{CO_2} + 1/2 X_{H_2O} + 1/2 X_{CO}} = \frac{\sum C}{\sum O_2} = L$$

$$\frac{X_C + X_{CO} + X_{CO_2} + X_{CH_4}}{X_{H_2O} + 2X_{CH_4} + X_{H_2}} = \frac{\sum C}{\sum H_2} = M;$$

$$\frac{X_C + X_{CO} + X_{CO_2} + X_{CH_4}}{X_{N_2}} = \frac{\sum C}{\sum N_2} = N$$

$$K_1 = \frac{p_{CH_4}}{p_{H_2}^2} = \frac{X_{CH_4}(1 - X_C)}{X_{H_2}^2 p};$$

$$K_2 = \frac{p_{CO}^2}{p_{CO_2}} = \frac{p X_{CO}^2}{(1 - X_C) X_{CO_2}};$$

$$K_3 = \frac{p_{CO} p_{H_2}}{p_{H_2O}} = \frac{X_{CO} X_{H_2} p}{X_{H_2O} (1 - X_C)};$$

gde su: $\sum C, \sum O_2, \sum H_2, \sum N_2$ – broj molova ugljenika, kiseonika, vodonika i azota (po kilogramu drvnih otpadaka) na ulazu u reaktorski prostor, (kmol/kg); L, M, N – pomoćne veličine;

$p_{CO}, p_{CH_4}, p_{H_2}, p_{CO_2}, p_{H_2O}, p_{N_2}$ – parcijalni pritisci komponenata u gasovitoj fazi ravnotežne smeše (Pa); p – ukupni apsolutni pritisak u reaktorskom prostoru (Pa)

Konstante hemijske ravnoteže K₁, K₂ i K₃, zavise samo od temperature i dobijene su laboratorijskim merenjima pri postizanju potpune hemijske ravnoteže.

Pritisak u generatoru pri kome se vrši gasifikacija drvnih otpadaka je 1bar.

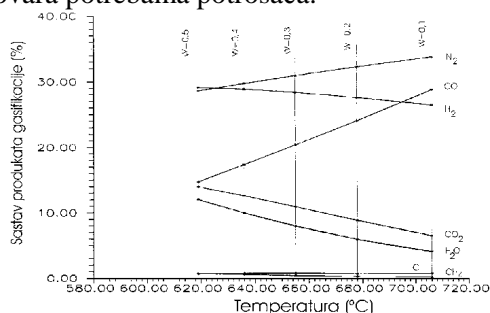
Za predstavnika biomase uzeti su drveni otpaci elementarnog sastava: C=0.49; H=0.06; O=0.42, N=0.01 za koje je dalje rađen proračun procesa istosmerne gasifikacije. Obradeni su sledeći slučajevi:

- sagorevanje 15% ugljenika pri vlažnostima goriva 0,1 do 0,5 kgW/kgB,
- sagorevanje 20% ugljenika pri vlažnostima goriva 0,1 do 0,5 kgW/kgB,
- sagorevanje 25% ugljenika pri vlažnostima goriva 0,1 do 0,5 kgW/kgB,
- sagorevanje 30% ugljenika pri vlažnostima goriva 0,1 do 0,5 kgW/kgB.

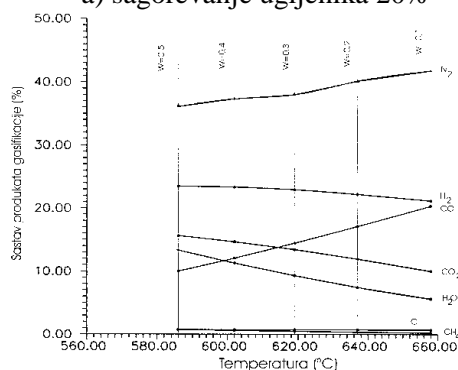
U jednačine materijalnog bilansa pri proračunu ravnotežnog sastava generatorskog gasa uključena je i čvrsta faza (neizreagovani ugljenik iz zone hemijskih reakcija). Za razliku od predhodnih modela ovde će se smatrati: da sva količina vodonika iz biomase sagori u zoni sagorevanja i da se kiseonik iz biomase koristi za sagorevanje, čime se znatno umanjuje količina potrebnog vazduha, što je takođe uključeno u jednačine materijalnog bilansa.

Program za rešavanje sistema jednačina urađen je Njutnovim iterativnim metodom i testiran na računaru. Na osnovu dobijenih rezultata napravljene su dijagramske zavisnosti sastava produkata gasifikacije od temperature.

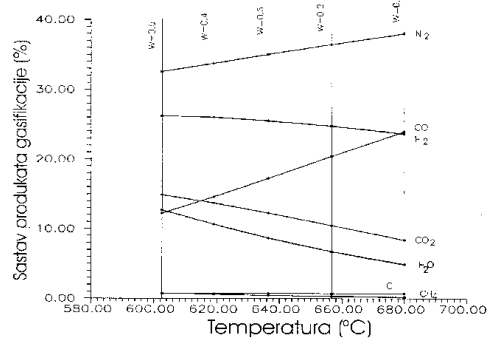
Sa dijagrama se može zaključiti da se kvalitetnije gasovito gorivo dobija pri nižim vrednostima ugljenika koji sagoreva i manjim vlažnostima. Teorijska temperatura gasifikacije za sve navedene slučajeve kreće se u intervalu 600 - 700°C. Dakle, podešavanjem uslova gasifikacije (vlage i procenta ugljenika koji sagoreva) možemo dobiti konačni sastav generatorskog gasa koji odgovara potrebama potrošača.



a) sagorevanje ugljenika 20%



b) sagorevanje ugljenika 25%



c) sagorevanje ugljenika 30%

Slika 7: Dijagrami zavisnosti sastava produkata gasifikacije od temperature

a) sagorevanje ugljenika 20%, b) sagorevanje ugljenika 25% , c) sagorevanje ugljenika 30%

Na osnovu jednačina toplotnog bilansa za pojedine slučajeve došlo se do zaključka da je količina od 15% ugljenika koji sagoreva nedovoljna za odvijanje procesa gasifikacije (reakcije u zoni redukcije su endotermne).

4. ZAKLJUČAK

Drvena biomasa kao ogrevni materijal je obnovljiva i jeftina, a pored toga je prihvatljiva za okolinu. Računa se da je opterećenje atmosfere s

ugljen dioksidom pri korišćenju biomase kao goriva zanemarljivo, jer je količina emitovanog CO₂ prilikom sagorevanja jednaka količini apsorbovanog CO₂ tokom rasta biljke.

Drvni otpaci se mogu pretvoriti u energiju jednostavnim sagorevanjem pri čemu se proizvodi pregrejana vodena para za grejanje u industriji i domaćinstvu i za proizvodnju električne energije u malim termoelektranama. Osim toga drvni otpaci se procesom istosmerne gasifikacije mogu termički transformisati u gasovito gorivo koje predstavlja mešavinu zapaljivih gasova: H₂, CO i manje količine CH₄. Osim ova tri gasa nastaju N₂ i CO₂ koji nisu zapaljivi.

Sastav gasa a samim tim i toplotna moć zavisi od uslova rada generatora (vlažnosti, temperature gasifikacije i udela ugljenika za sagorevanje). Proces gasifikacije biomase postaje sve zanimljivija tema razvojnih istraživanja u energetici i procesnoj tehnici.

Korišćenje drvnog ostatka omogućuje efikasno zbrinjavanje tehnološkog otpada i nudi proizvodnju dragocene toplotne energije. Zato je važno biomasu posmatrati kao energent budućnosti.

5. LITERATURA

- [1]Brkić, M. (2007): *Briketiranje i peletiranje biomase*, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
- [2]Karamarković, V. (2006): *Povećanje termičkog stepena korisnosti postrojenja za transformaciju energije primenom reaktora za istosmernu gasifikaciju i gorivih ćelija*, Mašinski fakultet Kraljevo.
- [3]Karić, M. (1999): *Gasifikacija biomase u reaktorima istosmernog toka*, magistarski rad, Mašinski fakultet Kraljevo.
- [4]Danon, G., *Energija u drvnoj industriji*, Šumarski fakultet Beograd.
- [5]Petrović, M., *Rasplinjavanje*, Rudarsko geološki građevinski fakultet, Univerzitet u Tuzli.
- [6]Žbogar, A., Nemoda, S., i dr. (2004): *Ispitivanje procesa gasifikacije biomase u fluidizovanom sloju*, Institut za nuklearne nauke „Vinča“ Beograd.
- [7]Morvaj, Z. (2008), *Obnovljivi izvori energije u kućanstvu*, Priručnik za energetske savjetnike, Zagreb

Autiri: mr Marina Karić, mr Radovan Nikolić, Visoka tehnička mašinska škola strukovnih studija, Radoja Krstića 19, 37240 Trstenik, Srbija, [Tel: +381 37 714 121](tel:+38137714121)
E-mail: karicmarina@gmail.com
rasa62nikolic@gmail.com

Matúš, M., Šooš, L., Križan, P., Biath, P., Beniak, J.

PROGRESSIVE DESIGN OF THE BRIQUETTING DOUBLE SCREW PRESS

Abstract: *Densification of biomass as a production of solid biofuel is economically very consuming process what could solve the described machine design of new press. Paper is focused on the development of new patented construction of briquetting double screw machine for compacting biomass to form of solid biofuel. Developed machine design is based on achieved results of comprehensive research of the complicated process of biomass compaction. The construction provides two main goals: the elimination of axial forces, which causes increasing of bearings lifetime, and a new modular design of pressing chamber and tools with geometry based on application of the mathematical model to achieve longer lifetime of tools and higher efficiency of production process.*

Key words: *biomass; densification, screw press; briquettes; pellets; biofuel*

1. INTRODUCTION

Wider use of solid biofuels is mainly limited by high production costs and demanding requirements for their quality. Briquettes with the highest quality are undoubtedly produced by screw presses. However, these machines are characterized by high axial forces, which cause significant reduction of bearing life and rapidly wear of pressing tool - the screw. Due to the great advantages in producing briquettes of the highest quality by screw presses, it represents the most current and promising technology in the compaction of biomass into the form of briquettes. Further research to get the progress in this technology is only logical. Increasing the tool life will reduce operating costs, and will lead to lower prices for the final product, making it a more viable application for biomass use. Compacting biomass as a live material is very difficult process. Therefore it's necessary to control important construction parameters for different kinds of biomass. The newly-patented structure of a screw briquetting machine was designed in our department for this purpose.

2. DESIGN OF THE DOUBLE SCREW PRESS

Research results of parameters influencing the process of biomass compaction were applied in developing the design of a new screw press. The design that has been developed enables the technological and structural parameters of the compaction process to be controlled in order to achieve high quality output with various input factors. The requirements for the development of the structure were as follows:

- eliminate the axial load of the bearings, and thus increase their life,
- optimize the tools in terms of shape and material properties to increase the efficiency of the compaction process of compaction and to increase their lifetime,
- achieve high modularity of the machine,
- enable all important parameters of the compaction process to be managed and controlled,
- ensure that the pressing screw and the pressing nozzle can be exchanged rapidly,
- produce pressings of various shapes and sizes.

The comprehensive design of the new screw press is shown in Fig. 1. It is a double chamber two-sided design, allowing quality production of pressings from various organic materials, due to the control options for each significant parameter of the compaction process, e.g. compacting pressure, pressing temperature, pressing speed, cooling intensity of pressings, rapid exchange of worn tools, and required changes of tool geometry. The structure is also equipped with sensors that provide feedback in the compaction process. This screw machine is a universal machine for producing solid high-grade biofuels from a variety of raw materials.

The machine consists of one common main drive, a special spindle bearing that captures the work axial load and defines the exact position of the pressing screw in the pressing chamber, two identical pressing chambers with tools, two filling systems and two cooling channels.

Single screw extruders are characterized by the very short lifetime of the thrust bearings, or by their large dimensions. The main objective of the two-sided design of the press is to eliminate the

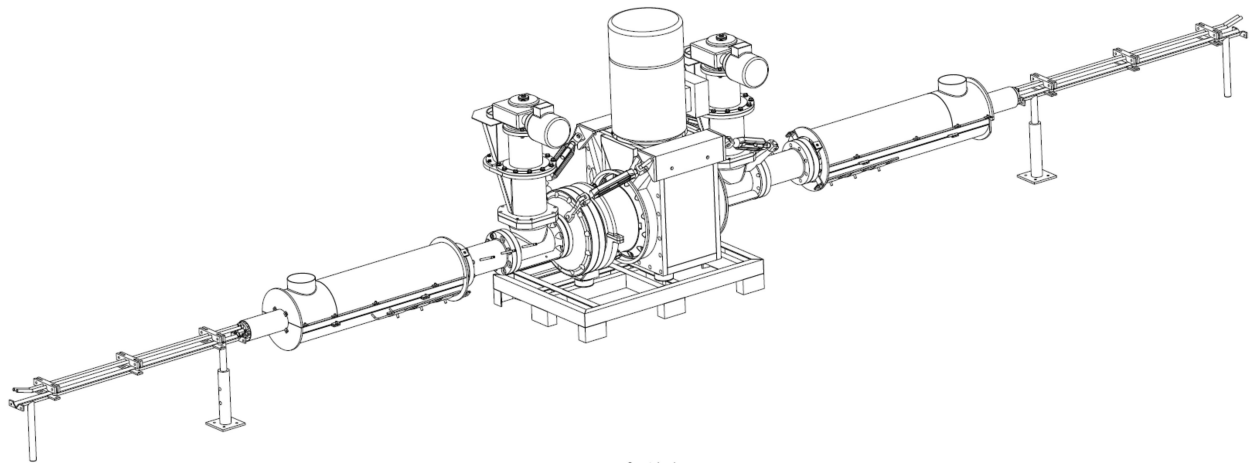


Fig. 1. Newly-patented design of a screw press

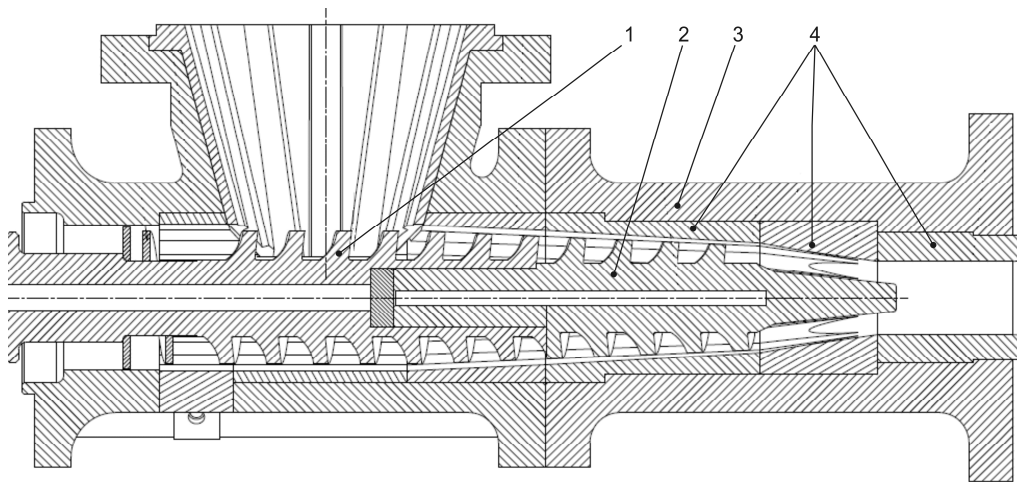


Fig. 2. Pressing chamber with tools (1-feeding screw, 2-pressing screw, 3-pressing chamber, 4-nozzles)

axial workload resulting from the pressing of material, and thus progressively increasing the lifetime of the bearings. The bearings are loaded only with the difference of the axial pressing forces caused by asymmetric filling of the material into the pressing chamber. The whole workload is transmitted in the axis of the machine through the outer flange system (tensile stress) and the continuous solid spindle with pressing screws on the ends (compressive stress). This system eliminates the need for a massive frame to transfer the load, or for anchoring the machine. The construction of the machine is designed for secure transmission of an axial load to 520 kN (pressing machine is able to draw 265 MPa for briquette diameter 70 mm).

The modularity of the double chamber machine enables a single chamber machine to be created very easily and quickly by removing a part of the press - the whole side from the drive of the press, without any other modifications. The single chamber design is used especially for optimization experiments and measurements, because it allows the full operating load to be measured.

3. DESIGN OF THE PRESSING CHAMBER

The pressing chamber must be strong enough to withstand the internal pressure while pressing. It consists of the body of the pressing chamber, the feed screw, the pressing screw and the individual nozzles (Fig. 2). High material requirements and geometric requirements are placed on the tools inside the pressing chamber. The material requirements include high abrasion resistance, toughness and thermal stability. The geometrical requirements are complicated, and vary according to the type of raw material. The basic geometrical requirements are to ensure an increase in material pressure during compaction. In addition, the geometry of the tool must generate axial movement of the material to ensure continuity of the compacting process.

The pressing chamber is coated by heating devices to control the pressing temperature, which is the most important parameter in the biomass compaction process. The chosen design of the heating system provides direct measurement and control of the pressing temperature, up to 350°C.

During optimization of the compacting

process, it is possible to change the shape and size of the pressing by simply and quickly changing the tool (screws and pressing nozzles), changing the inner diameter of the pressing chamber, the length of the pressing chamber, the combination of tool materials, the taper of the pressing chamber, etc. The structural parameters of pressing tools are optimized experimentally, e.g. the whole compaction process for different types of raw materials.

4. DESIGN OF THE PRESSING SCREW

The geometry of the pressing screw (Fig. 3) ensures a high degree of material compaction in the pressing chamber and compression of the material through the nozzle, thus achieving a compact briquette of high density, strength and surface quality. The movement of the material, the compression, the rate of wear and the stress distribution depend primarily on the chosen geometry of the screw. It is therefore extremely important to pay close attention to the design of the screw geometry.

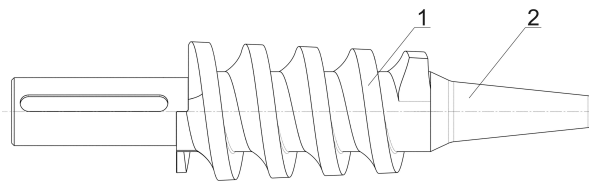


Fig. 3. Monolithic pressing screw (1 - working thread part of the screw, 2 - tip)

We obtained a mathematical model (1) describing the dependence of the compacting pressure on the geometry of the screw by deriving the theory for the speed and power relations in the screw.

$$p = p_0 \cdot e^{A \cdot \frac{l}{D}} \quad (1)$$

This mathematical model is very important in designing the geometry of the pressing screw (p - working pressure, p_0 - initial pressure, A - constant of proportionality, l - active length of the screw, D - outer diameter of the screw). This relationship shows that the pressure in the screw profile is exponentially dependent on the length of the screw. The constant of proportionality (A) depends on the geometry of the screw profile and the friction between the material and the nozzle (f_p), as well as the friction between the material and the screw (f_z). The condition of a sharp pressure increase requires that the friction coefficient (f_p) be as large as possible, while the coefficient (f_z) is as small as possible. The coefficient (f_z) can greatly affect the surface quality of the screw. The goal is to achieve minimum surface roughness.

Coefficient (f_p) can be increased by increasing the nozzle roughness or by machining grooves into the surface of the nozzles in the direction of the screw axis. Grooving not only increases the friction, but also prevents rotation of the material invoking so-called axial block flow.

The pressing screw is the most stressed component of the machine, with the highest level of wear. It is subject to high pressure, abrasion and heat. The critical part of the screw is the tip (Fig. 3) and the first 1.5 revolutions of the thread, which shows on the instruments workload distribution.

The degree of the load and tool wear is also dependent on raw material. Further research and optimization is therefore under preparation for several sets of tools made from a variety of special steels, coating tools and tools with hard-grinding threads. Pressing screws are designed as monolithic (Fig. 3), as well as folded (Fig. 4, Fig. 5), which can have a rotating tip to reduce friction. A folded screw can have each part made of a different material, which reduces costs. The modularity of the tool enables optimization of the compaction efficiency of different types of raw materials at the lowest tool cost.

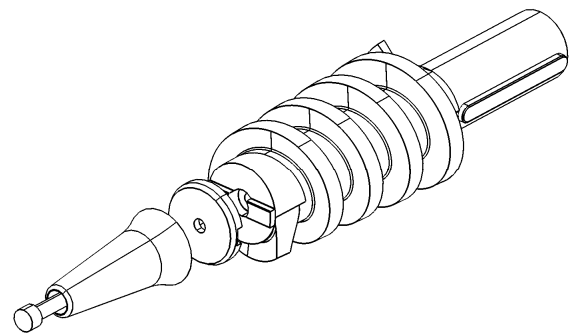


Fig. 4. Folded pressing screw with a rotating tip

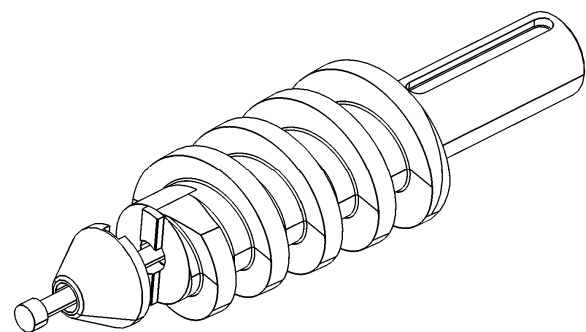


Fig. 5. Folded pressing screw with a fixed tip

5. PRESSING NOZZLE

The individual nozzles within the pressing chamber must copy the shape of the thread of the screws and prevent rotation of the material, while simultaneously allowing it to move axially. The nozzles geometry is determined in such a way that it copies the thread, from the pressing chamber to its tip, while gradually transforming the material

into the desired product shape, i.e. a briquette. The nozzles are highly stressed by the compressive pressure, the heat and, most importantly, by abrasion. The surface of the material must therefore be very hard and resistant to abrasion, while internally the material must be relatively ductile.

Several pressing nozzle geometries were developed within the research project, with different lengths, diameters and tapers. These nozzles are, as well as screws, made of different materials for purpose of using them for different types of raw materials. They can be exchanged very quickly and easily, thanks to the cassette system. The pressing nozzles determine the size and shape of the resulting pressings by their shape and design. The pressing nozzle in the chamber can be exchanged to produce several pressings at the same time (Fig 6 and Fig. 7). In this way, the same machine can produce briquettes or pellets by simply changing pressing chamber. By making a simple change, it is possible to produce pressings of various shapes: cylindrical, elliptical, polygon, etc.

Modularity of the pressing chamber of the screw press enables the compaction process for different types of raw materials to be optimized easily and quickly by exchanging the tools. Optimization criteria are: the quality of production, process efficiency, energy costs, tool costs, and tool lifetime. A major advantage is that pressings of various shapes and sizes can be made using a single machine.



Fig. 6 Pelleting nozzle



Fig. 7. Pressings made by a single machine

7. CONCLUSION

Research on biomass compaction indicated a need for a compacting machine with a modular design, where all significant parameters of the compaction process can be controlled. The aim of this paper has been to present a newly-patented screw press design that satisfies all requirements for modularity and control of the parameters. It enables this process to be optimized for different types of raw materials, and high quality production to be achieved. The results of an experimental study of the compacting process led to the engineering design of a production machine tailor-made to the customer's requirements, that is able to minimize the costs for investment, energy and operation. The design of the screw press is unique in its modularity and high reliability.

8. ACKNOWLEDGEMENTS

The research presented in this paper is an outcome of the project No. APVV-0857-12 "Tools durability research of progressive compacting machine design and development of adaptive control for compaction process" funded by the Slovak Research and Development Agency.

9. REFERENCES

- [1] Matúš, M., Križan, P.: *Modularity of pressing tools for screw press production solid biofuels*. Acta Polytechnica, Vol. 52, No. 3, p.p. 71-76, 2012.
- [2] Matúš, M., Križan, P.: *Influence of structural parameters in compacting process on quality of biomass pressing*. Aplimat - Journal of Applied Mathematics, Vol. 3, No. 3, p.p. 87-96, 2010.
- [3] Matúš, M., Križan, P., Ondruška, J., Šooš, L.: *Analysis of tool geometry for screw extrusion machines*. Aplimat - Journal of Applied Mathematics, Vol. 4, No. 4, (2011).

Authors: M.Sc. Miloš Matúš, Prof. Dr. Ľubomír Šooš, M.Sc. Dr. Peter Križan, M.Sc. Peter Biath, M.Sc. Dr. Juraj Beniák, Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Mechanical Engineering, USETM, Nam. slobody 17, 812 31 Bratislava, Slovak Republic. Phone: +421 257 296 573.

E-mail: milos.matus@stuba.sk
 lubomir.soos@stuba.sk
 peter.krizan@stuba.sk
 peter.biath@stuba.sk
 juraj.beniak@stuba.sk

Križan, P., Svátek, M., Matúš, M., Beniak, J.

**IMPACT OF PRESSING TEMPERATURE ON THE PRESSING CONDITIONS IN
BRIQUETTING MACHINE PRESSING CHAMBER**

Abstract: In this paper, we will present the impact of the pressing temperature on the pressing conditions in pressing chamber during pressing of wooden briquettes. Conditions in pressing chamber can significantly impact the resulting briquettes quality. An experiment results which are showed in this paper, described the detected impact of pressing temperature on conditions in pressing chamber, especially on the friction forces between pressing chamber wall and the densified briquette. This experiment is aimed on detecting of pressing temperature effect and its role at densification in cylinder and in conical pressing chamber. By pressing conditions setting we will be able to achieve the suitable resulting compacting pressure with respect of required final briquettes quality.

Key words: biomass, briquetting, densification, pressing temperature, briquette density

1. INTRODUCTION

For many years we are acting in area of biomass densification. This technology is a suitable option of biomass treatment prior to energy recovery. We are trying to develop a new progressive densification machines and trying to optimize a biomass treatment process before densification. For this reason we built an experimental pressing stand where we can set various monitored parameters and we try to quantify and define the relationships and influence of individual influencing parameters on the final briquettes quality. The results of this experimental research are applicable at densification machines dimensioning. On the base of our research we are able to obtain a comprehensive overview of the parameters behaviors during the densification process. In this article we would like to present experiment results and findings related an impact of pressing temperature during the densification process.

2. PRESSING TEMPERATURE IMPACT

The pressing temperature is one of the technological parameter of densification process. Belongs to the group of 4 significant influencing parameters next to pressing pressure „p“, moisture content „w_r“ and fraction size „L_s“. The pressing temperature (“T”) has a significant effect on the quality and strength of the briquettes. This parameter determines whether the lignin from the cellular structures is excreted. Lignin is a very important substance in the densification process because it has a adhesive effects in the pressed

material. The more lignin in the input material, and the more we can extract in the pressing process, increases the unity and thus quality of the resulting briquette. Lignin strengthens the briquette primarily in compression. Lignin is excreted only at certain pressing temperatures, which must be accounted for in order for the densification process to be successful. Lignin plasticizing temperature and also lignin content depends on the material being pressed. From the existing dependencies between strength and temperature, we know that it is not necessary to excessively increase temperature. Higher temperatures not only evaporate water but also volatile substances. Therefore it is necessary to consider how much is necessary to increase the temperature without losing heating potential of briquette. Volatile substances are by the way very important components of a biofuel in terms of their heating potential.

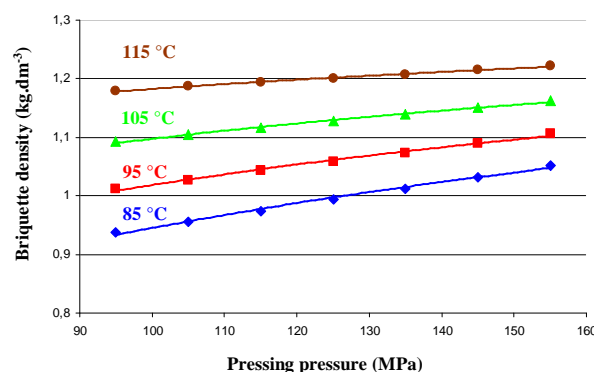


Fig. 1. Briquette density dependence with respect to pressing pressure at various pressing temperatures for pine sawdust (moisture content w_r = 10 %; fraction size L_s = 2 mm)

Lignin properties and behaviour during change of pressing temperature influences final briquettes quality, which is evaluated mainly by density. According above mentioned facts and according to research findings we can say that pressing temperature influences significantly also mutual interactions between pressing pressure, material fraction size and moisture content. On the figures 1, 2 and 3 we can see that pressing temperatures influences positively briquettes density, increases the briquettes density at all dependencies.

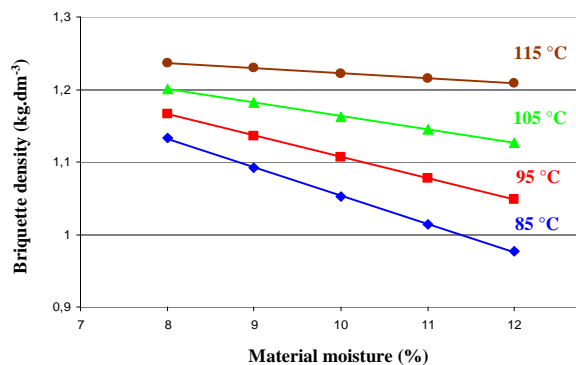


Fig. 2. Briquette density dependence with respect to material moisture at various pressing temperatures for pine sawdust (pressing pressure $p = 155$ MPa; fraction size $L_s = 2$ mm)

Pressure and temperature go „hand in hand“ in the densification process. If we increase the pressure, we can reduce the required temperature and vice versa. This is nicely shown in figure 1. Pressing at higher temperatures obtains the desired density without increasing the pressure. The same tendencies we can see also on moisture content and fraction size dependencies.

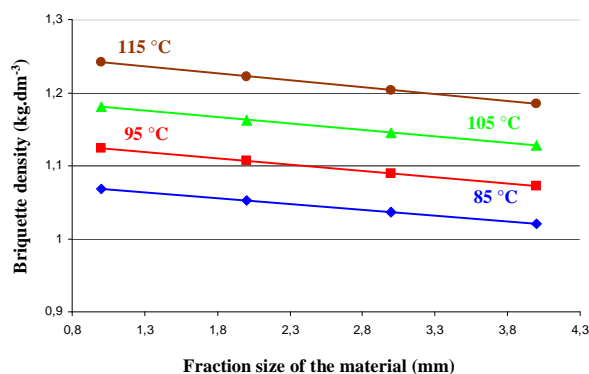


Fig. 3. Briquette density dependence with respect to fraction size at various pressing temperatures for pine sawdust (moisture content $w_r = 10$ %; pressing pressure $p = 155$ MPa)

In the previous part we presented the research findings which describe the impact of pressing temperature on final briquettes quality. According to these results we are able to find an optimal setting of 4 most important influencing parameters

for different type of pressed material.

3. IMPACT OF PRESSING TEMPERATURE ON STRUCTURAL PARAMETERS OF CYLINDRICAL CHAMBER

Following research which was done on our department was investigating of pressing temperature impact of structural parameters. Can pressing temperature influence also a pressures distribution in pressing chamber during pressing? We tried to identify impact of pressing temperature in different type of pressing chambers. We designed experimental research and we used for experiment our experimental pressing stand.

In the first phase we tried to find a relationship between length of pressing chamber and briquette density and how can pressing temperature influence this dependence. Experiment was done with cylindrical shape of pressing chamber. Experiment settings were designed according to possibilities of pressing stand dimensions. On the following figure you can see the model of experimental stand where in the middle is situated the pressing chamber.

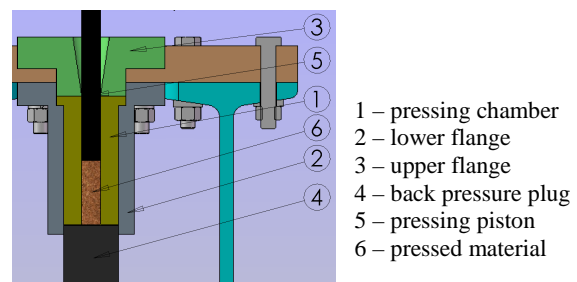


Fig. 4. Cross-section of pressing stand 3D model

We designed experiment with various pressing chambers length (80, 100, 120 and 140 mm) on the base of dimension of pressing stand. Because



Fig. 5. Cylindrical shaped pressing chambers with various length

of pressing stand have only one temperature sensor which is fitted in the middle of the length

of pressing stand, pressing chamber with 80 mm length wasn't included in experiment where we increased the pressing temperature. The proof can be seen in the previous figure, where the smallest pressing chamber (80 mm length chamber) don't have the hole for sensor fixation. Technological and material parameter were constant (pine sawdust; fraction size $L_s = 1$ mm; material moisture $w_r = 8$ %). On the following figures we can see the results.

From the results presented on figures 6, 7 and 8 we can say that impact of pressing chamber length on the briquette density is not so significant as the impact of pressing temperature.

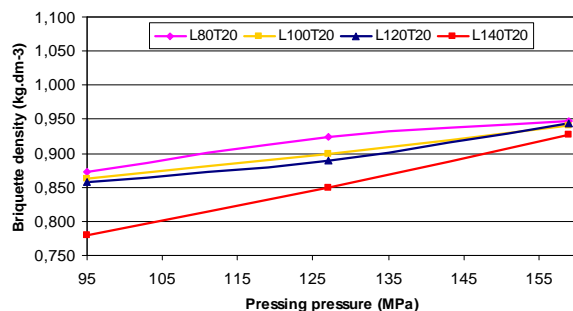


Fig. 6 Briquette density dependence with respect of pressing pressure at various pressing chambers length (at constant pressing temperature $T = 20$ °C)

When we pressed the briquettes without any pressing temperature (Fig. 6) we had noted that pressing chamber length impact can be most significantly described. With decreasing of pressing chamber length increases the final briquettes density. During pressing without temperature is the final briquette density value influenced mainly by pressing pressure.

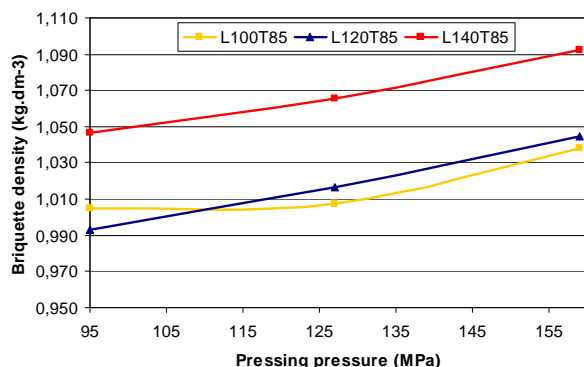


Fig. 7 Briquette density dependence with respect of pressing pressure at various pressing chambers length (at constant pressing temperature $T = 85$ °C)

During pressing with pressing temperature (85 °C and also at 120 °C) is different situation. With increasing of pressing chamber length also increases the final briquette density. Using of

higher temperatures occurs better plasticization of lignin in the cell structure of the pressed material. During pressing with some pressing temperature is the final briquette density value influenced mainly by pressing temperature.

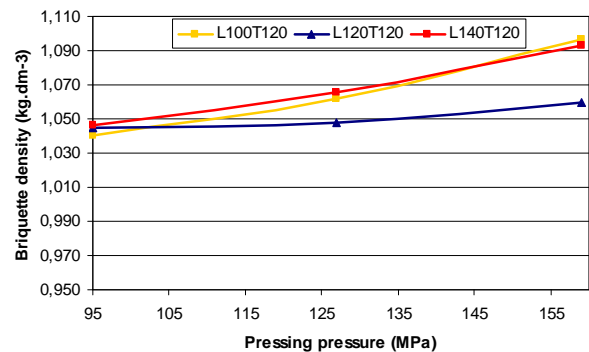


Fig. 8 Briquette density dependence with respect of pressing pressure at various pressing chambers length (at constant pressing temperature $T = 120$ °C)

4. IMPACT OF PRESSING TEMPERATURE ON STRUCTURAL PARAMETERS OF CYLINDRICAL CHAMBER

In the second phase we tried to identify relationship of pressing temperature, pressing chamber conicalness and briquette density. Experiment was done with conical shaped pressing chamber. Experiment settings were designed according to possibilities of pressing stand dimensions. On the following figure you can see the model of experimental stand where in the middle is situated the pressing chamber.

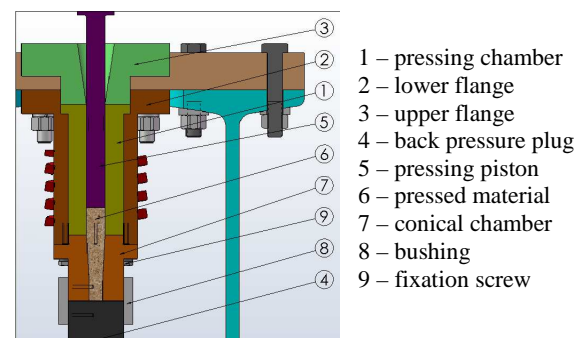


Fig. 9. Cross-section of pressing stand 3D model with conical shaped chamber

We designed experiment with various pressing chambers conical (1° , 2° and 3°) on the base of dimension of pressing stand. Technological and material parameter were constant (pine sawdust; fraction size $L_s = 1$ mm; material moisture $w_r = 8$ %). We tried to identify impact of pressing chamber conicalness on dependence of used pressing temperature (20°C, 85 °C and also at 120 °C).



Fig. 10. Negatives of internal chamber space representing different geometries

In the following table we can see the results – achieved briquettes densities. We can say that with change of cylindrical shaped chamber to conical shaped chamber increases briquettes density. This comes from the different pressures distribution along the pressing chamber during the pressing. Impact of pressing temperature is significant, with increases of pressing temperature also increases the final density. But also we have to say that without additional temperature we weren't able to produce briquettes, because of pressing stand dimensions and maximal values of hydraulic press. The maximal value of axial pressure what we could use was 318 MPa. Also with this pressure we weren't able to press out the briquettes during pressing without temperature.

$\rho = f(\alpha)$	$T_1 = 20\text{ °C}$	$T_2 = 85\text{ °C}$	$T_3 = 120\text{ °C}$
$\alpha = 0\text{ °}$	0, 852	1, 152	1, 207
$\alpha = 1\text{ °}$	-	1, 221	1, 216
$\alpha = 2\text{ °}$	-	1, 236	1, 224
$\alpha = 3\text{ °}$	-	-	-

Table 1. Experiment results – density of pressed briquettes, in kg/dm^3 (α represents the conicalness of the chamber)

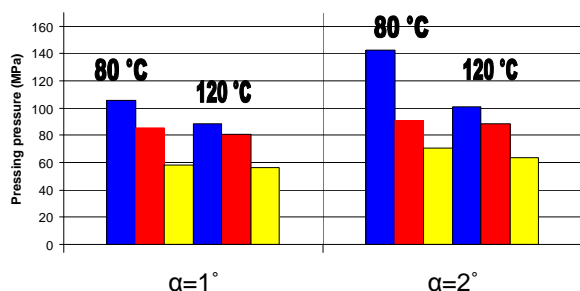


Fig. 11. Comparison of recognized pressures for pressing in conical chambers /blue columns represent the pressure needed to overcome the friction force, red columns represent pressing, and yellow columns represent the pressure needed to extrude the pressed briquette from the chamber/

These figures prove that during pressing with conical chamber acting higher pressures as with

cylindrical chamber. We can state that it is possible to increase the pressures acting in the chamber by changing the degree of conicalness of the chamber. However, it can be seen that higher friction forces act in a conical chamber with a higher degree of conicalness. The friction forces can be reduced by a higher pressing temperature. As the pressing temperature increases, the pressing pressure action decreases.

5. CONCLUSION

In this paper was presented results where is identify significant impact of pressing temperature during pressing. A future study should investigate the unit production costs (energy costs and production costs).

6. ACKNOWLEDGEMENTS

The research presented in this paper is an outcome of the project No. APVV-0857-12 “Tools durability research of progressive compacting machine design and development of adaptive control for compaction process” funded by the Slovak Research and Development Agency.

7. REFERENCES

- [1] Horrichs, W., *Determining the dimensions of extrusion presses with a parallel-wall die channel for the compaction and conveying of bulk solids*, Aufbereitungs – Technik: Magazine, Duisburg, Germany, 1985, No.12.
- [2] Križan, P.; Vukelić, Dj.: *Shape of the pressing chamber for wood biomass compacting*, International Journal for Quality Research, Vol. 2, No. 3 (2008), ART GRAFIKA d.o.o. Podgorica, Montenegro, ISSN 1800-6450, pp. 205-209
- [3] Križan, P.; Matúš, M.; Kers, J.; Vukelić, Dj.: *Change of pressing chamber conicalness at briquetting process in briquetting machine pressing chamber*. In: Acta Polytechnica. - ISSN 1210-2709. - Vol. 52, No. 3 (2012), s. 60-65

Authors: M.Sc. Peter Križan, PhD., M.Sc. Michal Svátek, PhD., M.Sc. Miloš Matúš, M.Sc. Juraj Beniak, PhD., Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Mechanical Engineering, IMSETQM, Nám. Slobody 17, 812 31 Bratislava, Slovakia, Phone.: +421 2 572 96 537, Fax: +421 2 524 97 809.
E-mail: peter.krizan@stuba.sk
svamichal@gmail.com; milos.matus@stuba.sk
juraj.beniak@stuba.sk

Biath, P., Šooš, E., Ondruška, J., Matúš, M.

NEW CONCEPTION OF THE PELLETING MILL

Abstract: *Creating of new conceptions and technical solutions of densification machines is very necessary to improve the construction and technological process of densification. The article at the beginning deals with analysis of nowadays usually used pellet presses kinematics and new conception of spherical pellet press and its new technical solutions. First chapter deals with kinematics of most expanded and used pellet press machines. Every kinematics is shortly described and mentioned its advantages and disadvantages. Next chapter describes the construction and technical solutions of spherical pellet press. Last chapter consist of new technical solutions of spherical pellet press, which ensure to increase its functionality, output power and suitability to densification of various types of organic and inorganic materials.*

Key words: *spherical pellet press, new technical solution*

1. INTRODUCTION

Institute of manufacturing systems, environmental technology and quality management on STU in Bratislava are interested in biomass compaction research since 1995. The pellet press PLG 2010 is machine with progressive construction to compaction biomass, which was designed within the scientific research in our institute. There were produced three prototypes of this type of machine, each with new innovation or construction modification. The latest prototype was produced in 2010 and first test were made that time. We made the experiments to find out hourly output of spherical pellet press in order to real compare machine with similar pellet machines. Nowadays were proposed new technical solutions of pellet press construction which increase the output power, functionality and suitability to densification of various types of organic and inorganic materials.

2. ANALISYS OF PELLET PRESSES KINEMATICS

Common feature of whole types of densification is pressing material under the high pressure. However every technology has advantages and disadvantages. Next section describes the most widely used pelleting with description of each type.

Horizontal screw pelleting press

The machine is composed by screw, cooled pressing chamber, die and knife. Material is delivered to pressing space by screw which is also pressing tool. Material is compressed in pressing chamber and in screw and then extruded

through the die. Then the pellet is cut by rotating knife. That presses are characterized by simpler design nodes of imposition. That presses are most widely used to densification of compound feed. That presses are not suitable to densification wood waste as a result of high pressure inside the pressing chamber during densification

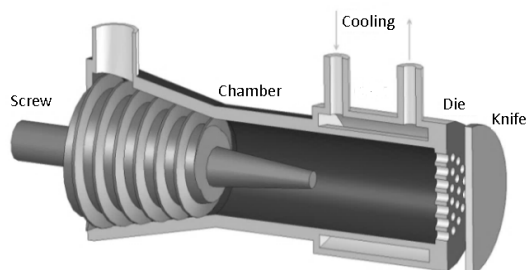


Fig.1. Horizontal screw pellet press

Horizontal pellet press with spur gear

The machine is composed by two spur gears. Every gear has pressing chambers between every tooth. Material is pressed into pressing chamber by opposite pressing spur gear. Inside the cylinder pellet are cut by knife. Advantage of this construction is simply feeding by material. Disadvantage is lower hourly output and necessary to replacement of both gears to change the diameter of pellets.

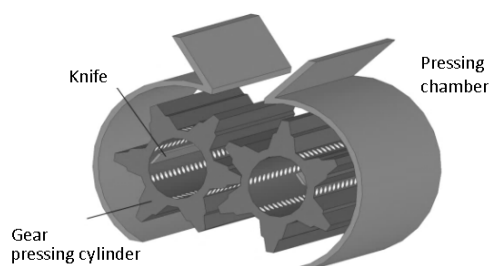


Fig.2. Horizontal pellet press with spur gear

Vertical pellet press with flat die

Densification starts between two or more cylindrical or conical rollers mounted on static shafts and cylindrical flat die with pressing chambers. Material is pressed by the rollers through pressing chambers in the die. The die is driven by screw. Material is delivered from above, and evenly distributed on the die. Pellets are cut by knife under the die.

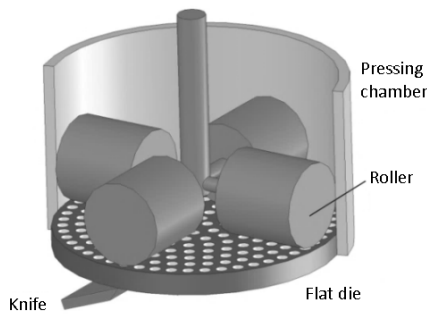


Fig.3. Vertical pellet press with flat die and cylindrical roller

Construction of machine is compact and dynamic balanced because of vertical construction. Disadvantage of the machine is quite big wear of rollers because of permanent contact between the die and the rollers. Cylindrical rollers are unevenly wear of.

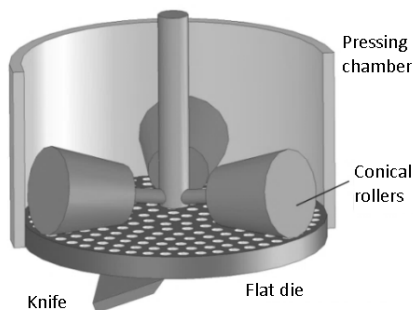


Fig.4. Vertical pellet press with flat die ad conical roller

Horizontal pellet press with cylindrical die and pressing rotor

Die is cylindrical with pressing chamber located on circumference. Material is pressed through chambers by rotor and produced pellets are cut by knife. Advantage of this press is simple construction. Material distribution is quite difficult due to rotating of rotor. Pressing of material is uneven which leads to flutter and unbalance. But wear of rotor is big due to pressing of rotor. This construction is suitable for materials that doesn't need big pressur, for example compound feed.

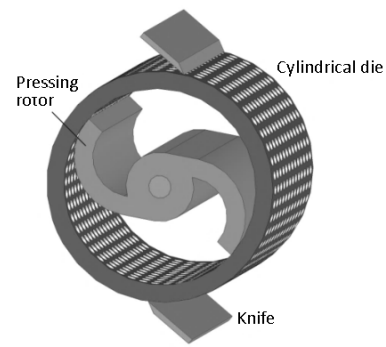


Fig.5. Horizontal pellet press with pressing rotor

Horizontal pellet press with cylindrical die and pressing rollers

Rotating member is die. Material is pressed by rotating rollers which number is 2 or more. Rollers are rigid connected with base construction of press. Material is distributed axially into the pressing space, and when pellet is produced than is cut by knife. Distance between the die and rollers are fit to small gap and this leads to minimal wear of rollers. Distribution into pressing space is same as in the press with rotor. Best construction of this type of machine is with as big die as possible and small rollers. This will ensure good running of the machine but increase the energy intensity.

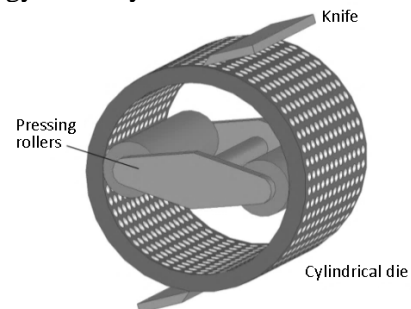


Fig.6. Horizontal pellet press with pressing rollers

Spherical pellet press

The spherical pellet press principle of compaction is based on dragging and compacting material between the two axially misaligned discs where the first is pressing tool and second is die. Pressing tool and die are rotary components and they are rotated relative to each of the wedge angle. Together with sphere and main machine body define pressing space. Pressing tool is driven by electromotor through a gearbox and to die torque is transferred by the friction or by contact form according to the type of pressing tools. Position of the sphere center is in the intersection of the tools axes. Sphere is rigidly connected and drifted by the press tool. Sphere, pressing tool and die define rotary part of pressing space. Static part of pressing space is defined by the body of the press. We can change pressing space geometry by

changing set of tools and thus easy change conditions of compaction. Most of the pellet press parts are designed modular to reach easy and quick tools replacement.

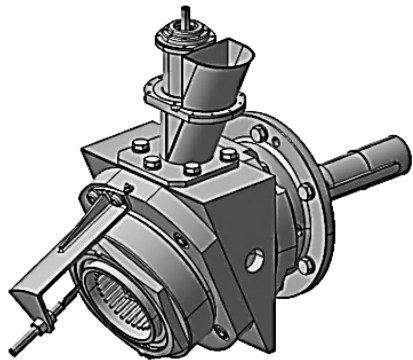


Fig.7. Spherical pellet press PLG 2010 with feeder

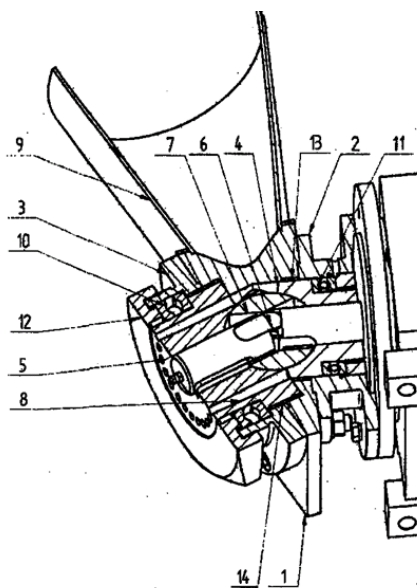


Fig.8. Section view of spherical pellet press

Insert of die and insert of pressing tool has important role in dragging, moving and compacting of pressed material. Material is dragged to pressing space and then into pressing chamber of the die. The tools and sphere towards the press body creates movable pressing space with relative movable surfaces (figure 5). Angle of conical part is fix and it was determined with respect to reach good dragging, moving and compacting ability of the compacted material. During compaction with the drift system of torque transfer must be ensured sufficient friction between the tools. Friction depends on compacted material, its properties, shape of tools and the size of the minimal distance between them.

3. NEW TECHNICAL SOLUTION OF SPHERICAL PELLETT PRESS

Whereas the construction of press is

modular size of die (4) and pressing tool (14) is same as in the original technical solution in all of the next new technical solutions.

Spherical unit, in this case sphere (1), is free assembled between die and pressing tool. Sphere is during densification wafted by pressing tools. Speed of sphere turning is smaller than speed of turning of pressing tool because of only friction connection between them.

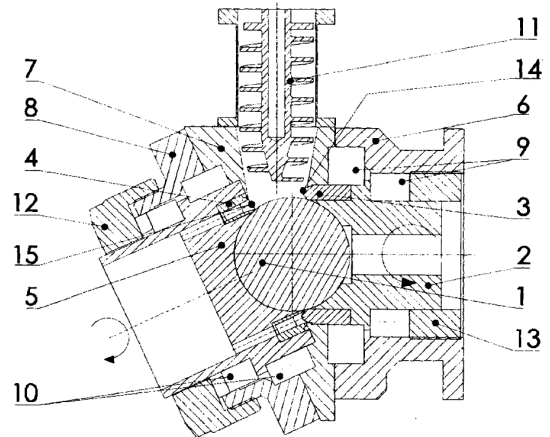


Fig.9. Spherical pellet press with "free" sphere

Press construction in this variation is changed by construction design of node: pressing tool (14) – spherical unit (1). Spherical surface is in this case rigidly connected with pressing tool. Then rotation of sphere and pressing tool is equal. Construction of die and its imposition is unchanged.

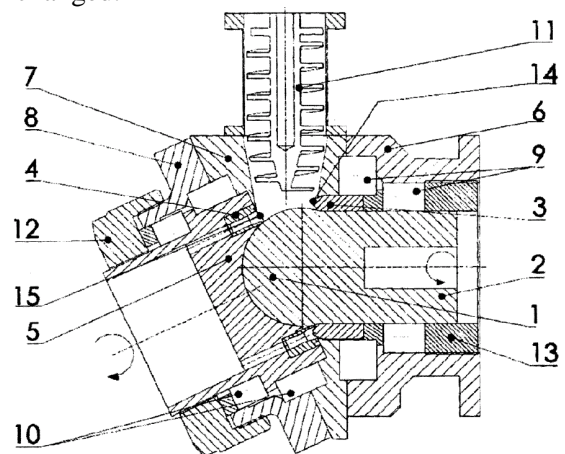


Fig.10. Spherical pellet press with pressing tool connected with sphere

The last technical solution of spherical unit (1) composition has independent drive, that allows continuously change speed of spherical unit. Pressing tool (14) and its imposition is (2) has the separate drive too. Than speed of sphere (1), die (4) and speed of pressing tool (14) can be different. This variant is most complicated by

construction, because drive of sphere and pressing tool are different. But this technical solution should theoretically reach highest hourly outputs and resulting efficiency.

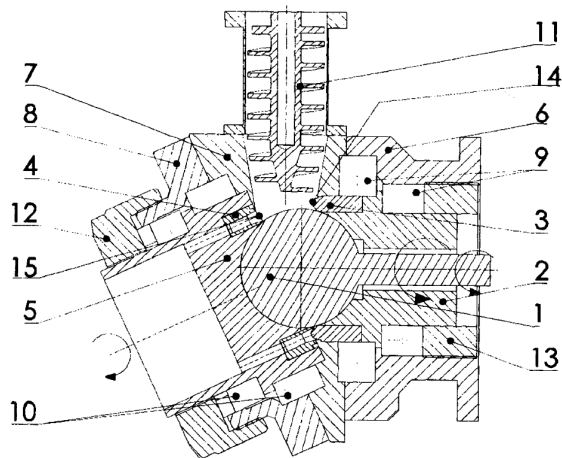


Fig 11. Spherical pellet press with independently driven sphere

Last technical solution is focused to modification of both pressing tools – die (5) and pressing tool (2). Impositions of pressing tools are identical as in the previous solution. Working face of pressing tool (2) has cylindrical groove on the periphery with outside spherical surface. Working face of die has cylindrical ring on the periphery with inside spherical surface. Spherical surfaces have the same diameter. Than assembled pressing tools groove fits with die cylindrical ring and it will helps with better pressing material into pressing chambers. Better densification is consequence of good created input pressing space with supplemented spherical surfaces and ledges.

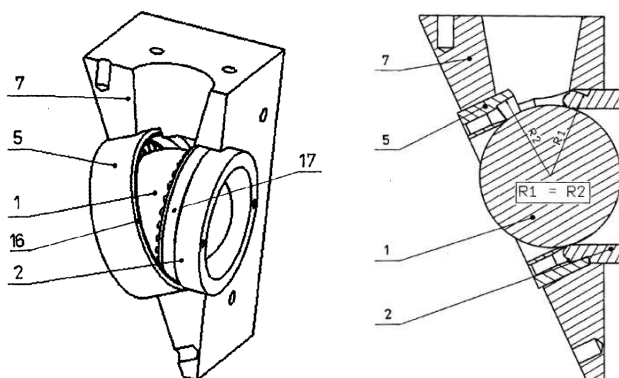


Fig.12. Perspective and section view of press with adapted pressing tools

4. CONCLUSION

Spherical pellet press and its technical solution have a role to remove the construction and technological shortcomings of technologies of pelleting, which are nowadays mostly used in the commercial sector. Therefore is very necessary to

implement new technical and technological solutions in the pelleting technologies. New technical solution will bring a new look at the possibility of improving original technologies and constructions of pelleting.

5. ACKNOWLEDGEMENTS

The research presented in this paper is an outcome of the project No. APVV-0857-12 “Tools durability research of progressive compacting machine design and development of adaptive control for compaction process” funded by the Slovak Research and Development Agency.

6. REFERENCES

- [1] Biath, M. Matúš, M. Šooš, Ľ. Ondruška, J.: *Nové technické riešenia lisu na pelety*. TOP 2014, 2014.
- [2] L. Šooš, J. Ondruška, P. Biath, M. Matúš, J. Zegzulka,,: *Lis na pelety – úžitkový vzor SK 6727*
- [3] L. Šooš, J. Ondruška, P. Biath,,: *Guľový peletovací lis - aktuálny stav vývoja*, Power Engineering 2011 , ISBN 978-80-89402-38-0, 2011
- [4] J. Ondruška, P. Križan, M. Matúš,,: *Vývoj prototypu nízko-energetického peletovacieho lisu PLG-2010*, ERIN 2011 , p.p. 145 – 154, ISBN 978-80-89347-05-6, 2011

Authors: M.Sc. Peter Biath, Prof. Dr. Ľubomír Šooš, M.Sc. Dr. Juraj Ondruška, M.Sc. Miloš Matúš, Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Mechanical Engineering, USETM, Nam. slobody 17, 812 31 Bratislava, Slovak Republic. Phone: +421 257 296 537.

E-mail: peter.biath@stuba.sk
 lubomir.soos@stuba.sk
 juraj.ondruska@stuba.sk
 milos.matus@stuba.sk