SOCIETY FOR ROBOTICS OF BOSNIA AND HERZEGOVINA
3rd International Conference
„NEW TECHNOLOGIES NT-2016“ Development and Application
ISSN 2303-5668

NT-2016

PROCEEDINGS
„NEW TECHNOLOGIES“
DEVELOPMENT AND APPLICATION

Editors: Vlatko Doleček, Isak Karabegović, Sead Pašić



Mostar, Bosnia and Hezegovina, 13-14. may 2016.

ACADEMY OF SCIENCES AND ARTS OF B&H
SOCIETY FOR ROBOTICS OF B&H
UNIVERSITY OF MOSTAR "DŽEMAL BIJEDIĆ"
UNIVERSITY OF TUZLA
UNIVERSITY OF BIHAĆ
TECHNOLOGY PARK INTERA MOSTAR

PROCEEDINGS - ZBORNIK RADOVA

NEW TECHNOLOGIES
NOVE TEHNOLOGIJE
„NT-2016"

Mostar, 13-14. maj 2016.

AKADEMIJA NAUKA I UMJETNOSTI BOSNE I HERCEGOVINE
DRUŠTVO ZA ROBOTIKU U BOSNI I HERCEGOVINI
UNIVERZITET „DŽEMAL BIJEDIĆ" U MOSTARU
UNIVERZITET U TUZLI
UNIVERZITET U BIHAĆU
INTERA TEHNOLOŠKI PARK MOSTAR

Proceedings - Zbornik radova

NEW TECHNOLOGIES
NOVE TEHNOLOGIJE
„NT-2016"

Editors - Editori:
Akademik Vlatko Doleček, Prof.dr.sc. Isak Karabegović, Prof.dr.sc. Sead Pašić

Technical Editor - Tehnički urednik:
Prof.dr.sc. Isak Karabegović
Doc.dr.sc. Mehmed Mahmić
Dr.sc. Ermin Husak

Publisher - Izdavač:
SOCIETY FOR ROBOTICS OF BOSNIA AND HERZEGOVINA
DRUŠTVO ZA ROBOTIKU U BOSNI I HERCEGOVINI
Petog Korpusa broj 3
77000 Bihać, BiH
www.robotika.ba

ISSN: 2303-5668

Printed - Štamparija: *FOJNICA d.d*. **Tiraž***: 100 primjeraka*

Pokrovitelji

	MINISTARSTVO CIVILNIH POSLOVA BOSNE I HERCEGOVINE
VLADA Federacije BiH	*VLADA FEDERACIJE BOSNE I HERCEGOVINE*
ANU BiH AHY BiH	*AKADEMIJA NAUKA I UMJETNOSTI BOSNE I HERCEGOVINE*
FMON	*FEDERALNO MINISTARSTVO OBRAZOVANJA I NAUKE BOSNE I HERCEGOVINE*
FMERI	*FEDERALNO MINISTARSTVO ENERGIJE,RUDARSTVA I INDUSTRIJE BOSNE I HERCEGOVINE*
	VANJSKOTRGOVINSKA KOMORA BOSNE I HERCEGOVINE
	PRIVREDNA-GOSPODARSKA KOMORA FEDERACIJE BOSNE I HERCEGOVINE
Vlada Unsko-sanskog kantona	*VLADA UNSKO SANSKOG KANTONA*
	GRAD BIHAĆ
Nacionalni park Una	*NACIONALNI PARK UNA*
bh	*BH TELEKOM*
	KULA GRADAČAC INDUSTRIJA MODNE KONFEKCIJE
	„RAUSK" RAZVOJNA AGENCIJA USK
	INTERA TEHNOLOŠKI PARK MOSTAR
HT ERONET	*JP HRVATSKE TELEKOMUNIKACIJE d.d. MOSTAR*



ACADEMY OF SCIENCES AND ARTS OF B&H



SOCIETY FOR ROBOTICS OF B&H



UNIVERSITY OF MOSTAR "DŽEMAL BIJEDIĆ"



UNIVERSITY OF TUZLA



UNIVERSITY OF BIHAĆ



TECHNOLOGY PARK INTERA MOSTAR

NEW TECHNOLOGIES „NT-2016"

Word of the organizers

We are aware of a different problems that the contamporary economy suffer. Research capacities are limited and infrastructure is poorly developed. Companies fall in using the contemporary knowledge and specialization, rarely promote innovation and commercialization, poorly manage research facilities and technology transfer. All this ultimately leads to their inadequate capacities to meet market demands, as well as lagging in a regional development and a low competitiveness. The organizers are going to prepare the series of free seminars, conferences and round tables for the economy, small and medium enterprises, with the goal to introduce new capacities and the possibilities of the technology development.. Thus the organizers want to encourage technology transfer, development projects and innovative work, as well as develop awareness of the importance of intellectual property protection. In a product development, from concept to its production, a key element in achieving market success, is time. With ever stringent market requirements, the trends in increasing product individualization (personalization) become more obvious, and there are fewer products of mass consumption. Alternative solutions in production are increasingly being used to meet such conditions in the development and production. The organizers' intention is to introduce new methods and technologies to our market, as well as to inform the engineers, designers, contractors and investors about the possibilities and advantages of new methods and technologies, as well as products in their technical and financial form. The aim is to bring closer new 21st century technologies, that are in use in developed countries, to professional public in above mentioned conferences, seminars and round tables. With their development trends and achievements, new technologies can contribute to the development of both small and medium-sized enterprises and large companies, and thus to develop the local community in which they operate. The goals of conferences, seminars and round tables is that manufacturing companies as well as research and development institutions become more familiar with the latest technical and technological achievements in the field of new technologies used in the 21st century.

Mostar, February 2, 2016 *THE ORGANIZERS*

NOVE TEHNOLOGIJE „NT-2016"

Uvodna riječ organizatora

Uočili smo veliki problem današnjeg gospodarstva. Istraživački su kapaciteti ograničeni, infrastruktura slabo razvijena, kompanije zaostaju za suvremenim znanjem i specijalizacijama, rijetko promoviraju inovacije i komercijalizacije, slabo se upravlja istraživačkim kapacitetima i transferom tehnologija, što u konačnici dovodi do neadekvatnih kapaciteta kompanija za odgovor na zahtjeve tržišta, zaostajanja u regionalnom razvoju i niskoj konkurentnosti. Organizatori pripremaju seriju besplatnih seminara, konferencija i okruglih stolova za privredu, mala i srednja poduzeća, na kojima ih žele upoznati s novim kapacitetima i mogućnostima koje nude. Time također žele potaknuti transfer tehnologije, razvojne projekte, inovativni rad i razviti svijest o važnosti zaštite intelektualnog vlasništva. Pri razvoju proizvoda, od ideje do njegove proizvodnje, ključni element u postizanju uspjeha na tržištu je vrijeme. Uz sve oštrije zahtjeve tržišta, očitiji su i trendovi u porastu individualizacije (personalizacije) proizvoda, a sve je manje proizvoda masovne potrošnje. Kako bi se udovoljilo takvim uvjetima pri razvoju i proizvodnji, sve se više primjenjuju alternativna rješenja u proizvodnji. Namjera je organizatora približiti nove metode i tehnologije našem tržištu i upoznati inženjere, projektante, izvođače, te investitore o mogućnostima i prednostima novih metoda i tehnologija, kao i proizvoda u njihovom tehničkom i financijskom obliku. Stručnoj javnosti ovakvim konferencijama, seminarima i okruglim stolovima želimo približiti nove tehnologije 21. stoljeća koje su u upotrebi u razvijenim zemljama u svijetu. Nove tehnologije svojim trendovima razvoja i dostignućima mogu doprinijeti razvoju kako malih i srednjih poduzeća, tako i velikih kompanija, te na taj način razviti lokalnu zajednicu u kojoj djeluju. Ciljevi konferencija, seminara i okruglih stolova će biti takvi da proizvodnim tvrtkama i razvojno-istraživačkim institucijama približe najnovija tehničko-tehnološka dostignuća na području novih tehnologija koje se koriste u 21. stoljeću.

Mostar, 02.02.2016. *ORGANIZATORI*

PREFACE

Modern industrial production is exposed to many influences and problems that prevent the strengthening of market competitiveness. Let us mention a few of them: materials and raw materials are constantly becoming more expensive, and some even disappear, so a suitable replacement should be found; mass production disappears, and large series manufacturing decreases, while small-scale and medium serial production increases to some extent; new production philosophy demands and prefers highly educated personnel able to successfully implement new technologies; technologies, as well as knowledge, quickly become obsolete, which requires lifelong learning, i. e. constant update of already acquired knowledge; environmental requirements are stronger and higher, which increases companies' costs and funds to invest in equipment (there is a demand for pollution and waste materials reduction, greater work safety, recycling, etc.); market is full of various goods and products of questionable quality from medium developed countries and often with dumping prices; there are ever increasing demands for wage increases, which forces the owners to dislocate their production facilities or move to countries with cheaper labor force; increased education of personnel affects their mobility and increase of fluctuation, as well as greater opportunities in the choice of better jobs, so that they make more use of their intellectual and emotional capabilities, thereby changing the mental structure of employees; customers are increasingly looking for a good design, durability and good price, with a wide range of support and service, not just a product; customers' knowledge is increasing, thus causing the increase in requirements that a product must be flawless in every respect, rather «ideal» (well designed, reliable, stylish, economical, etc.).To successfully solve the abovementioned requirements, there are new technological, production, organizational and other methods and models that ensure the improvement and modernization of production in the preparation phase (modern methods of product design, methods for modeling, simulation and optimization of products and production program, evolutionary methods – methods of artificial intelligence, software and computer hardware), as well as in the realization phase of production (flexibility, innovation, productivity, automation, product quality).

The main objectives of the conference are:

- *Transfer of new and high technologies that serves to improving research and development work and implementation in production, in order to achieve technological and economic growth of domestic production in domestic companies.*
- *Transfer of practical knowledge and results of their own research,r to strengthen competitiveness of domestic companies*
- *Promotion of technological and economic feasibility of applying new technologies in companies' industrial production*
- *Organizing and conducting training in knowledge update and innovation lifelong learning*
- *Performing training courses in new technologies, production and business systems, integrated product development, implementation and maintenance of quality systems, production logistics, acquisition of competitive ability in the market, the application of modern methods in production management, the development of modern and successful production, etc.*
- *Education about justification for introducing new products and production program.*

Mostar, May 13, 2016 *EDITORS*

PREDGOVOR

Suvremena industrijska proizvodnja je izložena mnogim utjecajima i problemima koji ometaju jačanje konkurentnosti na tržištu. Evo samo nekih od njih: materijali i sirovine neprestano poskupljuju, a neki i nestaju, pa im valja naći odgovarajuću zamjenu; masovna proizvodnja nestaje, a velikoserijska se smanjuje, dok raste maloserijska i donekle srednjeserijska proizvodnja; nova proizvodna filozofija uvjetuje, preferira visoko educirane kadrove sposobne da uspješno implementiraju nove tehnologije; tehnologije kao i znanja brzo zastarijevaju, što zahtijeva cjeloživotno učenje, odnosno stalno osvježavanje već stečenih znanja; sve su oštriji i veći ekološki zahtjevi, što poduzećima povećava troškove i sredstva za investiranje u opremu (traži se smanjenje zagađivanja i otpadnih materijala, veća sigurnost u procesu rada, reciklaža otpada i sl.); tržište je sve punije raznovrsnim proizvodima ali i proizvodima upitne kvalitete iz srednje razvijenih zemalja i često s damping cijenama; sve su veći zahtjevi za porastom plaća, što vlasnike prisiljava da svoje proizvodne pogone dislociraju, odnosno presele u zemlje sa jeftinijom radnom snagom; porast obrazovanosti kadrova sve više utječe na njihovu mobilnost i porast fluktuacije, te veće mogućnosti u izboru boljih radnih mjesta, kako bi više koristili svoje intelektualne i emocionalne mogućnosti, čime se mijenja mentalna struktura zaposlenih; kupci sve više traže dobar dizajn, trajnost i povoljnu cijenu proizvoda, uz široki asortiman i servisne usluge, a ne samo proizvod; znanje kupaca sve je veće, zbog čega nastaju i sve veći zahtjevi da proizvod mora biti bez greške u svakom pogledu, bolje rečeno «idealan» (dobro dizajniran, pouzdan, moderan, ekonomičan itd.). Za uspješno rješavanje navedenih zahtjeva postoje nove tehnološke, proizvodne, organizacijske i druge metode i modeli koji osiguravaju unapređenje i modernizaciju proizvodnje u fazi pripreme (moderne metode oblikovanja proizvoda, metode modeliranja, simulacije i optimizacije proizvoda i programa proizvodnje, evolucijske metode-metode umjetne inteligencije, softverske i računalne tehnike), kao i u fazi realizacije proizvodnje (fleksibilnost, inovativnost, proizvodnost, automatizacija, kvaliteta proizvoda).

***Osnovni ciljevi održavanja konferencije su slijedeći**:*

- *Transfer novih i visokih tehnologija u pravcu razvoja naučnoistraživačkog rada i implementacije u proizvodnji, s ciljem ostvarenja tehnološkog i ekonomskog rasta domaće proizvodnje u domaćim kompanijama.*
- *Transfer praktičnih znanja i rezultata vlastitih istraživanja, s ciljem jačanja konkurentske sposobnosti domaćih kompanija.*
- *Promocija tehnološke i ekonomske opravdanosti primjene novih tehnologija u industrijskoj proizvodnji u kompanijama.*
- *Organiziranje i izvođenje edukacije iz programa osvježavanja i inoviranja znanja i cjeloživotnog učenja.*
- *Izvođenje edukacijskih predavanja iz novih tehnologija, proizvodnih i poslovnih sistema, integriranog razvoja proizvoda, uvođenja i održanja sistema kvalitete, logistike proizvodnje, stjecanja konkurentske sposobnosti na tržištu, primjene modernih metoda u upravljanju proizvodnjom, razvoju moderne i uspješne proizvodnje, itd.*
- *Edukacija o opravdanosti uvođenja novih proizvoda i programa proizvodnje.*

EDITORI *Mostar, 13. maj 2016.*

Internacionalni naučni/znanstveni odbor

Akademik Zijad Haznadar (HRV), Presjednik

Akademik Kemo Hanjalić (BiH)
Akademik Ejup Ganić (BiH)
Prof.dr.dc.Mirsad Hadžikadić (USA)
Prof.dr.sc. Miran Brezočnik (SVN)
Prof.dr.sc. Emir Hodžić (USA)
Prof.dr.sc. Vidmantas Nenorta (LTU)
Prof.dr.sc. Đorđe Jovanović (MNE)
Prof.dr.sc. Riaz Mirza (PAK)
Prof.dr.sc. Ivan Polajner (SVN)
Prof.dr.sc. Dong Zhang (USA)
Prof.dr.sc. Ille C. Gebeshuber (AUT)

Naučni/znavstveni odbor

Akademik Vlatko Doleček,(BiH), Presjednik

Ali Sabea, H. (IRQ), Al-Asadi A.A.,H. (IRQ), Alibabić, V. (BiH), Amir Maher, S. L. (GBR), Athapaththu, A. M. R. G (JPN), Bajić, D. (MNE), Balić, J. (SVN), Bašić, H. (BiH), Bazaras, Ž. (LTU), Begić, R. (BiH), Behmen, M. (BiH), Berberović, S. (HRV), Blagojević, D. (BiH), Brdarević, S. (BiH), Brezočnik, M. (SVN), Bundalo, Z. (BiH), Calautit, J. K. (GBR), Costa, F. S. (PRT), Čaušević, M. (HRV), Čohodar, M. (BiH), Ćatović, F. (BiH), Ćehić, M. (BiH), Ćosović-Bajić, S. (HRV), Damić, M. (SRB), Damić, V. (HRV), Dašić, P. (SRB), Daunuys, M. (LTU), Delalić, Z. (BiH), Denjo, D. (BiH), Diby, P. (KOR), Dizdar, G. (USA), Doroslovački, R. (SRB), Duket, K. E. (USA), Dukić, H. (BiH), Džonlagić, M. (BiH), Džonlagić, N. (BiH), Đukanović, M. (MNE), Ekinović, S. (BiH), Erklig, A. (TUR), Ferizović, M. (BiH), Galović, A. (HRV), Habibzadeh, A. (IRN), Hadžiabdić, M. (BiH), Hadžikadić, M. (USA), Hajro, I. (BiH), Halilović, E. (BiH), Haznadar, Z. (HRV), Hodžić, E. (USA), Hrasnica, M. (BiH), Husetić, A. (BiH), Isić, S. (BiH), Ismail, O. (SYR), Jašarević, S. (BiH), Jecić, S (HRV), Jovanović, A. (MNE), Jovanović, Đ. (MNE), Jovanović, J. (MNE), Jovanović, O. (MNE), Jonanović-Doleček, G. (MEX), Juraga, I. (HRV), Kahn, R. A. (BGD), Karabegović, E. (BiH), Karabegović, I. (BiH), Kecshkmethy, A. (DEU), Khan, K. (BGD), Khan, M. S. (PAK), Kiss, I. (ROU), Knežević, M. (MNE), Kostić, M. (BiH), Kothari, V. K. (IND), Kovač, A. (MKD), Kovačević, A. (GBR), Kovačević, S. (HRV), Krezić, D. (BiH), Kulenović, M. (BiH), Kurtanović, O. (BiH), Lara, D. (USA), Lee, J. S. (KOR), Lovrić, I. (BiH), Luximon, A. (CHN), Mahmić, M. (BiH), Masi, A. (ITA), Meshari, M. (IRQ), Mićević, D. (SRB), Mijović, B. (HRV), Milovanović, M. (SRB), Mirjanić, D. (BiH), Mijanović-Markuš, M.(MNE), Muhić, Š. (DNK), Mujčić, A. (BiH), Mujčić, E. (BiH), Mujić, I. (CRO), Nariman, N. A. (DEU), Natraveli, A. (USA), Niderer, P. (CHE), Nikolić, D. (MNE), Nikolić, V. (SRB), Noman, N. (KOR), Nožica, M. (BiH), Nukathati, R. K. (IND), Obad, M. (BiH), Ogurlu, Y. (TUR), Ozdemir, S. (TUR), Parwadi, M. (IDN), Pašagić, H. (HRV), Pašić, S. (BiH), Pašić, Z. (BiH), Plančak, M. (SRB), Polajner, I. (SVN), Posavljak, S. (BiH), Rahul, M. (USA), Rezić, S. (BiH), Riaz, M. (PAK), Rogić, M. (BiH), S. Sheik, M. (OMN), Safdar, A. (SWE), Salah, E. O. (SDN), Samardžić, I. (HRV), Samardžija, Lj. (BiH), Sanjeevikumar, P. (ITA), Saridarg, F. D. (TUR), Shukla, A. (IND), Singh, R. P. (IND), Soković, M. (SVN), Sprečić, D. (BiH), Srb, N. (HRV), Srkalović, G. (USA), Stefanović, M. (SRB), Stojkić, Ž. (BiH), Subramoniau, S. (MYS), Šabanović, A. (TUR), Širok, B. (SVN), Špago, S. (BiH), Tarek, M (USA), Teerawong, L. (THA), Tešnjak, S. (HRV), Tiro, D. (BiH), Tokić, A.

(BiH), Trišović, N. (SRB), Ujević, D. (HRV), Uzunoglu, M. (TUR), Veladžić, M. (BiH), Veljović, Z. (MNE), Vitez, I. (HRV), Vojić, S. (BiH), Vukojević, D. (BiH), Waleed, K. A. (ARE), Wein, P. S. (THA), Xhaxhiu, K. (ALB), Yadav, K. (SWE), Yang, X. J. (CHN), Yildirim, A. (TUR), Zaimović-Uzunović, N. (BiH), Zhang, D. (USA), Zlatar, M. (BiH), Žapčević, S. (BiH), Žigić, I. (BiH), Žugaj, M. (HRV).

Programski odbor

Prof.dr.sc. Isak Karabegović, Presjednik

Akademik Vlatko Doleček
Prof.dr.sc.Sead Pašić
Prof.dr.sc. Hazim Bašić
V.prof.dr.sc. Safet Isić
Doc.dr.sc. Mehmed Mahmić
Doc.dr.sc. Milena Đukanović
Dr.sc. Ermin Husak
Tomislav Grizelj, komp. "GRIZELJ"
Mladen Kostić, mag. ing. ee
Eldin Okanović, mag. ing. ee

Recezenti

Akademik Vlatko Doleček, Akademik Zijad Haznadar, Prof.dr.sc.Isak Karabegović, Prof.dr.sc.Sead Pašić, Prof.dr.sc.Himzo Đukić, Prof.dr.sc. Đorđe Jovanović, Prof.dr.sc.Marina Mijatović-Markuš, Prof.dr.sc.Olivera Jovanović, Prof.dr.sc. Tarik Kupusović, Prof.dr.sc.Snježena Resić, V.prof.dr.sc.Safet Isić, V.prof.dr.sc.Edina Karabegović, Prof.dr. Ljubo Marković, Doc.dr.sc.Mehmed Mahmić, V.prof.dr.sc. Vildana Alibabić

Opaska/Note:
Svi radovi u ovom zborniku su recenzirani. Bez obzira na to, urednici i organizator ne odgovaraju za sadržaj prikazan u ovoj publikaciji. Sva prava pripadaju autorima, što znači da će daljnji uvjeti objave rada biti dogovoreni sa samim autorima. Nakon objave Zbornika Apstrakta NT-2016, autori kao i druge osobe ili institucije koji žele objaviti reference ili na neki način koriste rad iz ove publikacije, se mole da navedu prethodnu objavu rada u Zborniku Apstrakta NT- 2016.

All the papers presented in this publication have been reviewed. However the editors and the organizers are not responsible for thecontents presented within the papers. All the rights belong to the authors, meaning further publication conditions should be agreed upon with the authors. Upon the Book of the Proceedings publication the authors, so as the other persons or institutions wishing topublish reference or in some other manner use the papers from this publication are kindly requested to explicitly identify priorpublication in the Book of the Proceedings Abstracts NT-2016.

CONTENTS - SADRŽAJ

Boran Pikula
OD INTELIGENTNIH TRANSPORTNIH SISTEMA DO AUTONONOG UPRAVLJANJA SAVREMENIM VOZILIMA
FROM INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS TO AUTONOMOUS DRIVE OF MODERN VEHICLES *1*

Danilo Nikolić
NEW TECHNOLOGIES FOR REDUCING EMISSIONS FROM SHIPS
NOVE TEHNOLOGIJE ZA SMANJENJE EMISIJA ŠTETNIH MATERIJA IZ BRODOVA *17*

Ivica Botički, Tomislav Jagušt, Vedran Mornar, Nino Uzelac, Alen Delić, Manuela Kajkara, Marija Kaselj
INNOVATIONS IN THE DEVELOPMENT OF APPLICATIONS FOR MOBILE LEARNING
INOVACIJE U RAZVOJU APLIKACIJA ZA MOBILNO UČENJE *29*

Adisa Vučina, Filip Ćosić, Remzo Dedić
ISTRAŽIVANJE PRITISKA STOPALA PRI KRETANJU NA STEPENICAMA U CILJU AUTOMATIZACIJE NOVE HIDRAULIČNE NATKOLJENIČNE PROTEZE
RESEARCH OF FOOT PRESSURE FOR MOVING ON STAIRS IN ORDER TO AUTOMATE NEW HYDRAULIC ABOVE-KNEE PROSTHESIS *38*

Janez Gotlih, Miran Brezočnik, Bojan Ačko, Andrej Cupar
ADVANCED QUALITY CONTROL OF INJECTION MOULDED PARTS
NAPREDNA KONTROLA KVALITETA INJEKCIJSKI PREŠANIH DIJELOVA *45*

Isak Karabegvić , Dušan Mićević
DEVELOPMENT AND APPLICATION OF NANOTECHNOLOGY
RAZVOJ I PRIMJENA NANOTEHNOLOGIJE *52*

Isak Karabegović, Riaz Mirza
APPLICATION OF NANOTECHNOLOGY IN MEDICINE - NANOROBOTS
APLIKACIJA NANOTEHNOLOGIJA U MEDICINI-NANOROBOTI *63*

Denijal Sprečić, Ferid Mulahalilović, Boris Jerman
POBOLJŠANJE KONSTRUKCIJE UTOVARNOG TRAKASTOG TRANSPORTERA ROTORNOG BAGERA SRs-220
ENHANCING THE CONSTRUCTION OF LOAD BELT CONVEYOR OF A BUCKET WHEEL EXCAVATOR SRs-220 ..... *72*

Edin Terzić, Nermina Zaimović-Uzunović, Narcisa Jarović-Bajramović
MJERENJE POVRŠINSKE I UNUTRAŠNJE TEMPERATURE ČVRSTIH TIJELA
MEASURING SURFACE AND INTERNAL TEMPERATURE OF SOLID BODIES *79*

B. Fakić, Diana Ćubela, Mirsada Oruč, Adisa Burić
REGRESIONA ANALIZA REZULTATA ISPITIVANJA TVRDOĆE KOD ČELIKA 17-7PH MODIFIKOVANOG HEMIJSKOG SASTAVA
REGRESSION ANALYSIS OF HARDNESS TESTING RESULTS AT STEEL 17-7PH WITH MODIFIED CHEMICAL COMPOSITION..... *88*

Asmir Selimi, Nedim Moranjkić, Zlatko Kovačević, Alija Karić
UPOTREBA NOVIH PROGRAMA ZA ANALIZU SAOBRAĆAJNIH NEZGODA
USAGE OF THE MODERN COMPUTER PROGRAMS FOR TRAFFIC ACCIDENTS ANALYSIS *94*

Miroslav Rogić, Predrag Milovanović, Dragan Erceg
PRIMJENA DUALNIH ALATA U AUTOMATIZACIJI ROBOTSKOG ZAVARIVANJA
APPLICATION OF DUAL TOOLS IN AUTOMATION OF ROBOT WELDING *101*

Boris Crnokić, Snježana Rezić
EDGE DETECTION FOR MOBILE ROBOT USING CANNY METHOD
DETEKCIJA IVICA ZA MOBILNE ROBOTE KORISTEĆI CANNY METOD *106*

Semir Mehremić, Safet Isić, Isak Karabegović
EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA KINEMATIČKIH PARAMETARA U NAPREDNIM MEHATRONIČKIM SISTEMIMA S CILJEM POVEĆANJA SIGURNOSTI PRI VOŽNJI VOZILA

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF KINEMATIC PARAMETERS IN ADVANCED MECHATRONIC SYSTEMS IN ORDER TO INCREASE SAFETY WHEN DRIVING A VEHICLE 112

Raif Seferović, Edin Aganović
PRILOG EKSPERIMENTALNOJ IDENTIFIKACIJI DINAMIČKOG PONAŠANJA MEHANIZMA POMOĆNOG KRETANJA KRUŽNE PILE KLIZNOG TIPA KOD ODSIJECANJA PROFILA U VRUĆEM STANJU
EXPERIMENTAL IDENTIFICATION CONTRIBUTION OF THE DYNAMIC BEHAVIOR LOWFULNESS OF AUXILIARY MOTION CIRCULAR SAW SLIDING TYPE WITH CUTTING OFF PROFILES IN HOT STAND 119

Petar Tasić, Adi Pandžić, Ismar Hajro
EKONOMSKI ASPEKTI PRIMJENE ZAVARIVANJA TRENJEM SA MIJEŠANJEM U INDUSTRIJI
ECONOMICAL ASPECTS OF INDUSTRIAL FSW APPLICATION 128

Ermin Husak, Isak Karabegović, Safet Isić
MOGUĆI TIPOVI OPTIMIZACIJE ELASTIČNIH SISTEMA
POSSIBLE OPTIMIZATION TYPES OF ELASTIC SYSTEMS 135

D. Blagojević, M. Todić, Valentina G. Bugarski, Radomir Cvijić
KALIBRACIONO ISPITIVANJE RADA I NELINEARNE KRUTOSTI VUČNIH I ODBOJNIH NAPRAVA ŠINSKIH VOZILA
CALIBRATION TEST WORK AND NONLINEAR STIFFNESS THE PULLING AND BUFFERS DEVICES ROLLING STOCK 141

Mehmed Mahmić, Edina Karabegović
MODELIRANJE SILE AKSIJALNOG TISKAČA U PROCESU HIDROOBLIKOVANJA RAČVE
MODELING OF AXIAL PUNCHER FORCE IN HYDROFORMING PROCESS OF CROSS TUBE 147

Edin Šemić, Edina Karabegović
DIZAJN MEHATRONIČKOG SISTEMA ZA EKSPERIMENTALNO HIDROOBLIKOVANJE TANKOSTJENIH ELEMENATA
DESIGN OF MECHATRONIC SYSTEM FOR EXPERIMENTAL HYDROFORMING OF A THIN ELEMENTS 153

Mirna Nožić
PRIMJENA TERMOGRAFIJE U PROIZVODNIM TEHNOLOGIJAMA
APPLICATION OF THERMOGRAPHY IN MANUFACTURING TECHNOLOGY *161*

Elvis Hozdić, Zoran Jurković
SEMANTIČKE WEB TEHNOLOGIJE ZA POTPORU AUTONOMNIM KIBERNETSKO-FIZIČKIM RADNIM SISTEMIMA
SEMANTIC WEB TECHNOLOGIES FOR AUTONOMOUS CYBER-PHYSICAL WORK SYSTEMS SUPPORT *168*

Elvis Hozdić, Seid Žapčević, Zoran Jurković, Peter Butala
OMOGUĆAVAJUĆE TEHNOLOGIJE ZA STRUKTURIRANJE SOCIJALNO-KIBERNETSKO-FIZIČKIH PROIZVODNIH SISTEMA
ENABLING TEHNOLOGIES FOR STRUCTURING SOCIO-CYBER-PHYSICAL PRODUCTION SYSTEMS *177*

Daut Denjo, Senada Pobrić, Nermina Zaimović – Uzunović, Esad Pobrić, Lejla Denjo
KOMPARACIJA POSTUPAKA ZA OCJENU SPOSOBNOSTI MJERNIH SISTEMA PREMA MSA I VDA 5
COMPARISON PROCEDURES OF ASSESSMENT OF CAPABILITY OF MEASUREMENT SYSTEMS ACCORDING TO MSA AND VDA 5 ..... *184*

Salah-Eldien Omer
USAGE OF ROBOT IN PRODUCTION OF PREFABRICATED HOUSES
UPOTREBA ROBOTA U PROIZVODNJU DRVNE MONTAZNE KUĆE *192*

Radoslav Tomović, Dejan Bratić
AKTIVNI MAGNETNI LEŽAJEVI
ACTIVE MAGNETIC BEARINGS *202*

Šeherzada Begić, Isak Karabegović
SERVISNI ROBOTI I NJIHOVA PRIMJENA U ODBRANI
SERVICE ROBOTS AND THEIR APPLICATION IN DEFENCE *210*

Tarik Kupusović
VODE U BIH U 2016. – GODINI APLIKACIJE BIH ZA ČLANSTVO U EU
WATERS IN B&H IN 2016 – THE YEAR OF APLICATION FOR THE MEMBERSHIP IN EU *218*

Abdel Đozić, Vahida Selimbašić, Franc Andrejaš, Vedran Stuhli, Nedim Hodžić, Irma Nuhbegović
FITOREMEDIJACIJA: NOVI PRISTUP ODRŽIVE REMEDIJACIJE I KORIŠTENJA ODLAGALIŠTA ŠLJAKE I PEPELA
PHYYTOREMEDIATION: A NOVEL APPROACH FOR SUSTAINABLE REMEDIATION AND UTILIZATION OF COAL ASH DISPOSAL SITES 225

Jovana Jovanović, Svetlana Stević
GLOBALNO ZAGRIJAVANJE KAO PROBLEM SAVREMENOG ČOVJEČANSTVA
GLOBAL WARMING AS A PROBLEM OF MODERN HUMANITY 234

Goran Orašanin, Dušan Golubović, Davor Milić, Jovana Pajkić
ASPEKTI ENERGIJSKE EFIKASNOSTI U SISTEMIMA VODOSNABDIJEVANJA
ASPECTS OF ENERGY EFFICIENCY IN WATER SUPPLY SYSTEMS ……. 241

Pero Dugić, Zoran Petrović, Vojislav Aleksić, Stefan Pavlović, Biljana Milovanović
RECIKLAŽA ZAULJENE OTPADNE AMBALAŽE PROCESOM PIROLIZE
RECYCLING OF OILY WASTE PACKAGING BY PYROLYSIS ……..249

Ljubo Marković, Ljiljana Milić Marković, Velimir Dutina, Miljan Kovačević
RADOVI NA SANACIJI DIJELA GLAVNE OBODNE KANALSKE MREŽE HIDROMELIORACIONOG SISTEMA LIJEVČE POLJE-KANALI JURKOVICA-JABLANICA I JABLANICA-TOPOLA
REHABILITATION WORKS ON THE PART OF THE MAIN CIRCUMFERENTIAL DRAINAGE NETWORK OF LAND IRRIGATION SYSTEM LIJEVCE POLJE- JURKOVICA- JABLANICA AND JABLANICA-TOPOLA CHANNELS …… 259

Sabina Begić, Vladan Mićić, Selma Tuzlak
SECOND GENERATION BIOFUELS
BIOGORIVA DRUGE GENERACIJE …… 265

Sabina Begić, Vladan Mićić, Zoran Petrović, Selma Tuzlak
KORIŠTENJE SUPERKRITIČNIH FLUIDA U PREHRAMBENOJ INDUSTRIJI
THE USE OF SUPERCRITICAL FLUID IN FOOD PROCESSING …… 272

Merima Šahinagić - Isović, Suad Špago, Marko Ćećez, Fuad Ćatović
KARAKTERISTKE POLIPROPILENSKIH I POLIETILENSKIH CIJEVI ZA ODVODNJU OBORINSKE VODE
CHARACTERISTICS OF POLYPROPYLENE AND POLYETHYLENE PIPES FOR DRAINAGE OF PRECIPITATION WATERS *277*

Milutin M. Milosavljević, Milan M. Milosavljević, Ivan M. Vukićević, B. Vidojević, Milena Milošević, Aleksandar D. Marinković
NOVI EKOLOŠKI POSTUPAK SINTEZE REAKTIVNIH DERIVATA KSANTOGENIH KISELINA
NEW ECOLOGICAL METHOD OF SYNTHESIS REACTIVE DERIVATES OF THE XANTOGEN ACID *285*

Tomislav Grizelj, Hajra Šahinović, Tin Grizelj
PRIMJENA ENERGETSKE EFIKASNOSTI U RECIRKULACIONIM FONTANAMA
APPLICATION OF ENERGY EFFICIENCY IN RECIRCULATION FOUNTAINS *290*

Jasmina H. Bajramović, Tomislav Grizelj
ENERGETSKA EFIKASNOST KROZ OBNOVLJIVE IZVORE ENERGIJE NA INDUSTRIJSKIM PEĆIMA PRIMJENOM REKUPERATIVNE I REGENERATIVNE TEHNOLOGIJE
ENERGY EFFICIENCY THROUGH RENEWABLE ENERGY IN THE INDUSTRIAL OVEN USING RECUPERATIVE AND REGENERATIVE TECHNOLOGY *299*

Zijad Haznadar, Ajla Merzić, Frano Škopljanac-Mačina
PRILAGODBA ELEKTROENERGETSKIH SUSTAVA NOVIM SUVREMENIM UVJETIMA RADA
ADJUSTING THE ELECTRIC POWER SYSTEMS TO NEW MODERN WORKING CONDITIONS *306*

Branko Dokić
ENERGETSKI EFIKASNE BEŽIČNE SENZORSKE MREŽE
ENERGY-EFFICIENT WIRELESS SENSOR NETWORKS *310*

Gordana Jovanovic Dolecek, Vlatko Dolecek, Isak Karabegovic
A SIMPLE METOD TO IMPROVE MAGNITUDE RESPONSE OF CIC DECIMATION FILTERS

JEDNOSTAVNA METODA ZA POBOLJŠANJE MAGNITUDNOG ODZIVA CIC DECIMACIONIH FILTERA …… 328

Gordana Jovanovic Dolecek, Vlatko Dolecek
TECHNIQUES TO IMPROVE ALIAS REJECTIONS OF COMB DECIMATION FILTERS
TEHNIKE POBOLJŠANJA ALIAS ODBIJANJA ČEŠLJASTIH DECIMACIJSKIH FILTERA 333

Branislav Gavrilovic, Zoran Bundalo
USAGE OF THE INTERNAL OPTICAL ENCODER FOR THE DETECTION OF WHEEL SLIP/SLIDE AND ANTISLIP CONTROL IN RAILWAY TRACTION SYSTEMSPROCESS
PRIMENA INTERNOG OPTIČKOG ENKODERA ZA DETEKCIJU KLIZANJA U PROTIVKLIZNOJ ZAŠTITI PRI ŽELEZNIČKIM VUČNIM PROCESIMA …… 338

Zlatan Jukic, Muhammad Faisal Hayat
PERFORMANCE MODELLING OF MAC PROTOCOL FOR GPRS
MODELIRANJE PERFORMANSI MAC PROTOKOLA ZA GPRS ……347

Zlatan Jukic, Ammar Rafiq
COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ARCHITECTURES FOR INTEGRATION OF FIBER AND WIRELESS ACCESS NETWORKS
KOMPARATIVNA ANALIZA AKTUELNIH MREZNIH ARHITEKTURA BEZICNIH I OPTICKIH TELEKOMUNIKACIONIH MREZA I SISTEMA… 355

Ernest Gungl, Zmago Brezočnik
SELF-DRIVING CAR BASED ON MACHINE LEARNING
SAMOVOZEĆI AUTOMOBIL BAZIRAN NA MAŠINSKOM UČENJU …… 370

Lejla Banjanovic-Mehmedovic, Adnan Husejnovic, Ivan Bosankic, Suad Kasapovic
MONITORING OF COOPERATION BETWEEN AUTONOMOUS VEHICLES IN ROUNDABOUT ENVIRONMENT
MONITORING KOOPERACIJE AUTONOMNIH VOZILA U KRUŽNOM TOKU 377

Suad Sućeska
WEB APLIKACIJA EDIJAGRAM
WEB APPLICATION EDIJAGRAM 384

Lucija Brezočnik
MOBILE APPLICATION FOR EMAIL ENCRYPTION USING AES ALGORITHM
MOBILNA APLIKACIJA ZA ŠIFRIRANJE E-MAILA POMOĆU AES ALGORITMA …… 389

Mladen Vukašinović
PREDLOG SOFTVERSKOG SISTEMA ZA AUTOMATSKO REAGOVANJE NA ANOMALIJE U MREŽI I UŽIVO HVATANJE PODATAKA POTREBNIH ZA ISTRAGU DIGITALNE FORENZIKE
A PROPOSAL OF SOFTWARE SYSTEM FOR AUTOMATIC RESPONSE TO ANOMALIES IN NETWORK AND LIVE CAPTURE OF DATA NECESSARY FOR DIGITAL FORENSICS INVESTIGATION …… 396

Kenan Duraković, Ivana Ognjanović, Ramo Šendelj
IZAZOVI U PRIMJENI DIGITALNIH CERTIFIKATA U CRNOJ GORI
CHALLENGES IN DEPLOYMENT OF DIGITAL CERTIFICATES IN MONTENEGRO …… 405

Marko Ikić
JEDNA REALIZACIJA FAZNOG UPRAVLJANJA TIRISTORSKIM PRETVARAČIMA POMOĆU MATLABA
ONE REALIZATION OF PHASE CONTROL FOR THYRISTOR CONVERTERS IN MATLAB 413

Nezir Halilović
MOBITEL U ŽIVOTU I UČENJU UČENIKA SREDNJE ŠKOLE
MOBILE LEARNING AND TEACHING HIGH SCHOOL STUDENTS 421

Adnan Ramakić, Amel Toroman
SISTEMI KUĆNE AUTOMATIZACIJE TEMELJENI NA UPRAVLJANJU POMOĆU GOVORA
HOME AUTOMATION SYSTEMS BASED ON VOICE CONTROL …… 430

Kemal Dizdarevic, Samir Delibegovic, Mevludin Avdic, Salko Ćosić, Amir Arnautovic
NOVE METODE UPOTREBE HEMOLOCK KLIPSA U ZATVARANJU ANEURIZME U NEUROKRANIJUMU
NEW METHODS OF USE HEM-O-LOCK CLIP IN CLOSURE OF ANERYSM IN NEUROCRANIUM …… 439

Damir Hrnjica, Huska Jukić, Asmir Aldžić, Suad Habeš, Ekrem Pehlić
ODREĐIVANJE KONCENTRACIJE 4'4-DIHIDROKSI-2,2-DIFENILPROPANA (BISFENOL) U DJEČIJOJ PASTI ZA ZUBE POMOĆU HPLC-A
DETERMINATION OF CONCENTRATION 4'4 -DIHYDROXY - 2,2-DIPHENYLPROPAN (BPA) IN CHILDREN'S TOOTHPASTE WITH HPLC 446

Damir Hrnjica, Huska Jukić, Asmir Aldžić, Suad Habeš, Ekrem Pehlić
UTICAJ BISFENOLA A NA ZDRAVLJE ČOVJEKA
IMPACT BISPHENOL A ON HUMAN HEALTH 454

Z. Delalić, A. Kuduzović, B. Dolić, A. Rošić
POJAVA KESTENOVE OSE ŠIŠKARICE *(Dryocosmus kuriphilus)* NA UNSKO-SANSKOM KANTONU I POVEZANOST SA RAKOM KORE KESTENA *(Cryphonectria parasitica)*
OCCURRENCE CHESTNUT GALL WASP (Dryocosmus kuriphilus) AT UNA-SANA CANTON AND INTERACTION WITH CHESTNUT BLIGHT (Cryphonectria parasitica)..... 462

Vildana Alibabić, Ibrahim Mujić
PREGLED ISTRAŽIVANJA O KESTENU (*CASTANEA SATIVA* MILL.) SA OSVRTOM NA POTREBU ZAŠTITE KESTENOVIH ŠUMA CAZINSKE KRAJINE
REVIEW OF RESEARCH ON CHESTNUT (CASTANEA SATIVA MILL.) WITH REGARD ON NEEDS FOR PROTECTION OF CHESTNUT WOODS IN CAZINASKA KRAJINA 469

Elvira Ćatić-Kajtazović, Amra Nuhanović, Sanita Bilanović
RAZLIKE IZMEĐU STUDENATA I STUDENTICA U KOMPETENCIJI PODUZETNIŠTVA
DIFFERENCES BETWEEN MALE AND FEMALE STUDENTS IN THE COMPETENCIES OF ENTREPRENEURSHIP 478

Mahmut Jukić, Huska Jukić, Asmir Aldžić
ANALIZA MASE I SASTAVA KOMUNALNOG OTPADA U POSTUPKU ODREĐIVANJA ENERGIJSKOG POTENCIJALA
ANALYSIS MASS AND COMPOSITION OF MUNICIPAL WASTE IN THE PROCESS OF DETERMINING ENERGY POTENTIAL 484

Jasmina Pašagić Škrinjar, Omer Kurtanović
ROUTE CONSOLIDATION AND GUIDANCE
OBJEDINJAVANJE I USMJERAVANJE RUTA 491

Kingshuk Mukherjee
TECHNOLOGY @ POINT OF PURCHASE
TEHNOLOGIJA @ POINT NABAVE 503

OD INTELIGENTNIH TRANSPORTNIH SISTEMA DO AUTONONOG UPRAVLJANJA SAVREMENIM VOZILIMA

FROM INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS TO AUTONOMOUS DRIVE OF MODERN VEHICLES

Boran Pikula
Univerzitet u Sarajevu, Mašinski fakultet Sarajevo
pikula@mef.unsa.ba

SAŽETAK:
Kontinuiran razvoj motornih vozila u zadnjih 100 godina je doveo do postojanja modernih vozila koja posjeduju sve bolje i bolje dinamičke karakteristike. Paralelno s ovim tehnološkim unaprjeđenjem, mnogo je učinjeno na povećanju sigurnosti korištenja vozila, koja su se u početku odnosila na primjenu pojaseva i vazdušnih jastuka kao elemenata pasivne sigurnosti, sistema kočenja sa ABS, TCS, ESP, itd. kao sistemima aktivne sigurnosti, dok je zadnjih 20 godina razvoj usmjeren ka sistemima integralne sigurnosti gdje se posebna pažnja posvećuje vozaču i putnicima u vozilu, te pješacima i njihovom okruženju. Danas postoji veliki broj tzv. „inteligentnih transportnih sistema" - ITS ugrađenih u vozilo koja omogućavaju samostalno djelovanje tokom kretanja vozila u kritičnim situacijama, kao što su ACC, PreCrash, itd. Imajući u vidu sadašnje pravce razvoja motornih vozila krajnji cilj je formiranje potpuno autonomnih vozila, vozila koja će moći da se kreću samostalno bez odluka vozača koji u takvom vozilu postaje putnik. Danas postoji veliki broj prototipova koji se testiraju u određenim dijelovima svijeta.

Ključne riječi: *vozilo, ITS, autonomno vozilo*

ABSTRACT:
The continuous development of motor vehicles in the last 100 years has led to the existence of modern vehicles that have better and better driving dynamic characteristics. In parallel with this technological improvement, a lot of efforts has been done to increase the safety of use of the vehicle, which were initially referred to the application of the belts and the airbags as elements of the passive safety, to braking system with ABS, TCS, ESP, etc., as well as the active safety systems, while the last 20 years of development focused on integrated security systems where special attention is given to the driver and passengers in the vehicle, and pedestrians and their environment. Today there are a large number of so-called "intelligent transport system" - ITS installed in a vehicle that enables independent action during the movement of the vehicle in critical situations, such as ACC, PreCrash, etc. Taking into account the current development directions of motor vehicles a final goal is the formation of a fully autonomous vehicles, the vehicles that will be able to drive independently without driver that in such a vehicle becomes a passenger. Today there are a number of prototypes to be tested in certain parts of the world.

Keywords*: vehicle, ITS, autonomous vehicle*

---

1. UVOD

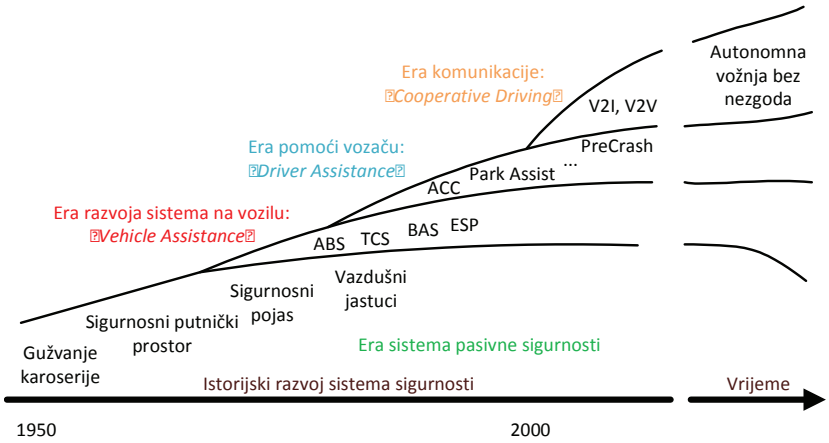
Od samih početaka razvoja motornih vozila i nastanka prvih saobraćajnih nezgoda pred kraj XIX stoljeća, kad su registrovane prve povrijeđene i nastradale osobe, velika pažnja se posvećuje

sigurnosti upotrebe motornih vozila. U današnjem modernom svijetu, zahtjevu za povećanjem sigurnosti doprinose sve bolje dinamičke karakteristike motornih vozila, što zahtijeva postojanje adekvatnih sigurnosnih sistema na motornom vozilu. Kad se spominju sigurnosni sistemi, smatra se da su sistem kočenja i sistem upravljanja najvažniji sistemi koji omogućavaju sigurnu vožnju jednog motornog vozila. Korištenje navedenih sistema je bilo dugi niz godina uslovljeno sposobnostima vozača (čovjeka), međutim, tokom vremena se pokazalo da sigurnost motornog vozila zavisi od jednog složenog sistema kog čine čovjek – vozilo – okruženje. U zadnjih 30-tak godina uobičajena je podjela sigurnosti vozila na aktivnu sigurnost i pasivnu sigurnost.

Pod pojmom aktivne sigurnosti podrazumijevaju se svi uređaji i oprema vozila kojima se izbjegava nastanak sudara, dok se pod pasivnom sigurnošću podrazumijevaju uređaji i oprema vozila kojima se smanjuju posljedice sudara. U ovom stoljeću došlo je do podjele sistema aktivne sigurnosti na sisteme aktivne sigurnosti kod kojih vozač aktivno učestvuje u procesu izbjegavanja nastanka sudara i na sistema aktivne sigurnosti kod kojih vozač ne učestvuje u procesu izbjegavanja nastanka sudara ili sistemi koji trebaju da umanje posljedice sudara kad je on neizbježan [1]. Do razvoja sistema aktivne sigurnosti kod kojih vozač ne učestvuje u procesu izbjegavanja nastanaka i ublažavanja sudara je došlo zahvaljujući ideji o uvođenju potpuno autonomnih vozila u pogledu upravljanja bez uticaja vozača u budućnosti.

Danas, postoji značajan broj uređaja i opreme, koja bez uticaja vozača, doprinose povećanju sigurnosti a svrstavaju se u grupu inteligentnih transportnih sistema ITS (*eng. Intelligent Transport Systems*), [2]. Inteligentni transportni sistemi se mogu dodatno mogu vezati za saobraćajnu infrastrukturu V2I (*eng. Vehicle to Infrastructure*), odnosno za vozilo(a) i njihovu međusobnu komunikaciju V2V (*eng. Vehicle to Vehicle*).

Istorijski prikaz razvoja sistema sigurnosti je prikazan na slici 1. na osnovu koje se može zaključiti da je prošao kroz 4 generacije, od sistema pasivne sigurnosti, preko razvoja sistema na vozilu „*Vehicle Assistance*", preko sistema za pomoć vozaču „Driver Assistance", do komunikacije i potpuno autonomnog upravljanja.



Slika 1: Razvoj sistema sigurnosti vozila

U posljednje vrijeme se maksimalno koristi termin „integrisana" sigurnost vozila (*eng. Integrated Vehicle Safety*) koja obuhvata istovremeno i aktivnu i pasivnu sigurnost vozila [3].

2. PREGLED NAJVAŽNIJIH SISTEMA AKTIVNE SIGURNOSTI

Dugi niz godina jedan od najvećih problema pri korištenju vozila u svakodnevnoj eksploataciji je bila primjena sistema kočenja, kao najvažnijeg sistema aktivne sigurnosti, tokom procesa kočenja na vlažnoj podlozi koju karkteriše nizak koeficijent prianjanja između pneumatika i podloge. Ključni uslov koji je trebao da se ostvari je dovođenje momenta kočenja u skladu s raspoloživim prianjanjem u kontaktu između pneumatika i podloge.

U početku razvoja vozila je bilo dosta rješenja koja su bazirana na primjeni korektora pritiska radnog fluida u instalaciji za kočenje, ali pošto se radilo o sistemima s otvorenim kolom bez povratne sprege, blokiranje točkova tokom procesa kočenja i gubitak upravljivost je bila sasvim normalna pojava, što je uzrokovalo veliki broj saobraćajnih nezgoda i povrijeđenih i nastradalih osoba. Pojava blokiranja točka je uočena još 20-tih godina prošlog stoljeća prilikom sletanja aviona i njegovog kočenja na kraju poletno-sletne staze, pa je prva verzija uređaja protiv blokiranja točkova (ABS) kod aviona bila zasnovana na uvođenju inercijalne mase u vidu zamajca na točkovima aviona. Unaprijeđene verzije od strane firme Dunlop se primjenjuju kod aviona bombardera B-47 iz 1947. godine, a prva primjena kod automobila se desila na ograničenom broju vozila firme Lincoln 1954. godine. Prve potpuno mehaničke izvedbe uređaja protiv blokiranja točkova (ABS) se tokom 60-tih godina prošlog stoljeća pojavljuju kod motornih vozila namijenjenih za utrke Ferguson P99, Jenen FF i Ford Zodiac. Ove izvedbe koriste analogne računare i vakuumske modulatore pritiska radnog fluida u instalaciji za kočenje. Najveća mana ovog sistema je činjenica da je ciklus regulacije pritiska uz pomoć vakuuma bio dosta spor što je dovodilo do povećanja zaustavnog puta vozila tokom procesa kočenja. S razvojem poluprovodnika, 60-tih godina prošlog stoljeća dolazi do pojave prvih elektronskih izvedbi koje su se upotrebile kod aviona Concorde, te u nekim vozilima firmi Mercedes i BMW. Prva serijska ugradnja elektronskog uređaja protiv blokiranja točkova (ABS) kod motornih vozila se primjenjuje od 1978. godine na vozilima Mercedes S-klasa, dok se kod motocikala BMW primjenjuje od 1988. godine. Od tada pa do danas, ABS je doživio veliki razvoj, omogućio razvoj i drugih sistema aktivne sigurnosti.

Današnja izvedba ABS sistema se sastoje iz elektronske kontrolne jedinice (ECU) koja dobiva informacije od davača broja okretaja točkova vozila, te na osnovu brzine kretanja vozila i broja okretaja točkova određuje stanje klizanja točkova procesa kočenja i daje informacije modulatorima (uređaja za regulaciju pritiska) na koji način da obezbjeđuju pritisak u instalaciji za kočenje svakog pojedinačnog točka.

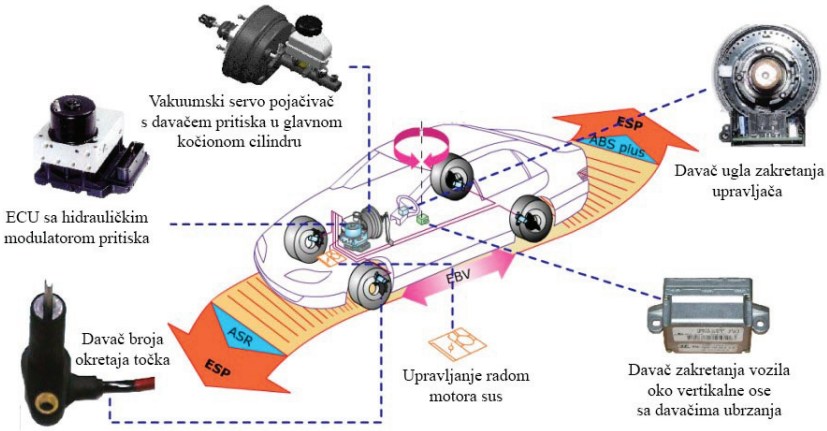
Davači broja okretaja na točku se koriste kako za rad ABS, tako i za rad uređaja za kontrolu dovedenog obrtnog momenta ASR/TCS (*ger. Anti Schluff Regelung, eng. Traction Control System*) i za rad elektronskog programa za stabilnost vozila ESP (*eng. Electronic Stability Program*). U koliko je u vozilu ugrađena navigacija bazirana na GPS signalu, informacija s davača broja okretaja se koristi za proračun pređenog puta i lokaciju pri gubitku GPS signala (na primjer: prolazak kroz tunel).

Kritične situacije se mogu javiti ne samo u procesu kočenja, već u svim slučajevima kada se podužne sile s velikim intenzitetom trebaju prenijeti s točka na podlogu. Kritične situacije se mogu javiti prilikom dovođenja obrtnog momenta pri polaska iz mjesta posebno u slučajevima kada je podloga mokra i klizava, na usponima, kao i u vožnji u krivini. Sve ove situacije uzrokuju smanjenje stabilnosti vozila, a samim tim i sigurnosti. Kako je već rečeno, zadatak ABS je spriječi blokiranje kočenog točka putem regulacije pritiska u instalaciji za kočenje tokom procesa kočenja i tako zadržati upravljivost i stabilnost vozila. S druge strane, napredna funkcija ABS se može postići pomoću uređaja za kontrolu dovedenog pogonskog momenta ASR/TCS gdje se, koristeći isti davač broja obrtaja točka, sprječava proklizavanje pogonskih točkova. Naime, prilikom

polaska vozila iz mjesta, povećavanjem obrtnog momenta motora, dolazi do povećanja obrtnog momenta kroz mjenjač i glavni prenosnik, koji zatim dolazi u diferencijal. Ovaj moment se preko diferencijala dijeli u omjeru 50:50 i isporučuje na lijevi i desni točak. Ukoliko se dovedeni moment može prenijeti na podlogu, vozilo neometano kreće iz mjesta. Međutim, ukoliko pogonski moment doveden na jedan od točkova ili na oba točka prekorači maksimalni moment sa stanovišta raspoloživog prianjanja, dolazi do proklizavanja pogonskih točkova. Navedeni primjer se može desiti i tokom vožnje, na primjer krećući se velikom brzinom na podlozi s visokim prianjanjem i iznenadnim dolaskom jednog ili oba pogonska točka na podlogu s niskim prianjanjem. Iz tog razloga se kod savremenih vozila zahtijeva uvođenje sistema koji mogu regulisati dovedeni obrtni moment na točku u skladu s raspoloživim prianjanjem čime zadržava stabilnost kretanja motornog vozila, a u mnogim slučajevima i upravljivost.

Na osnovu ABS i TCS sredinom 80-tih godina prošlog stoljeća je stvoren novi sistem aktivne sigurnosti, elektronski program za stabilnost vozila ESP koji omogućava održavanje stabilnog kretanja vozila pri neprilagođenim pokretima upravljačem (manevrisanje) ili zbog promjene putanje kretanja vozila iz različitih razloga. Tokom navedenih primjera kretanja vozilom, kao posljedica aktivnih sila (centrifugalna sila) koje djeluju u bočnom pravcu vozila, javljaju se bočne reakcije podloge. U koliko je intenzitet aktivnih sila veći od intenziteta raspoloživog prianjanja u kontaktu između pneumatika i podloge, može doći do gubitka stabilnosti u vidu bočnog zanošenja vozila oko vertikalne ose vozila, a nekad i do prevrtanja vozila oko podužne ose vozila. Zanošenje zadnje osovine kod većine vozila, ne samo da je vjerojatnije, nego je i opasnije od zanošenja prednje osovine. Da bi se izbjegao gubitak stabilnosti i obezbjedilo sigurno kretanje kroz krivinu neophodno je smanjiti brzinu prije početka krivine koja direktno utiče na aktivnu centrifugalnu silu, posebno na vlažnom i klizavom kolovozu. U suprotnom može doći do pojave podupravljivosti ili nadupravljivosti.

Pošto je ESP sistem nadređeni sistem sistemima ABS i ASR/TCS, na slici 2. dat je prikaz svih komponenti kojima sa danas opremljena savremena motorna vozila.

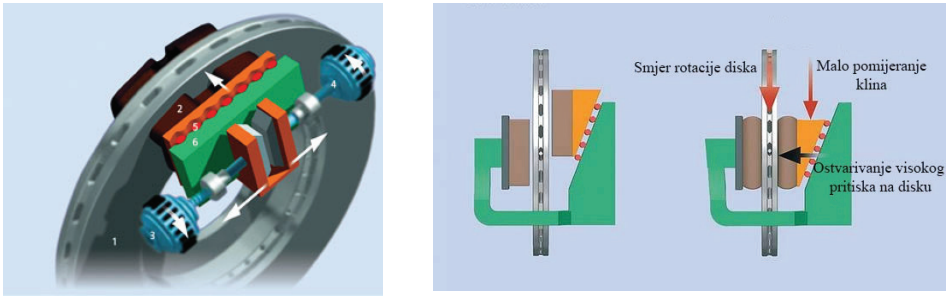


Slika 2: Komponente ABS, ASR/TCS i ESP i njihov položaj na vozilu

Današnji imperativ u radu svih navedenih sistema je skraćenje inercije (odziva) sistema i povećanje frekvence rada sa sadašnji 30 Hz na željenih 100 Hz. Prototipovi budućih sistemi su već

napravljeni prije 10 godina i pred njima predstoji dalja faza unaprjeđivanja. Radi se o tzv. potpuno električnim sistemima BBW (*eng. Brake By Wire*) i SBW (*eng. Steer by Wire*).

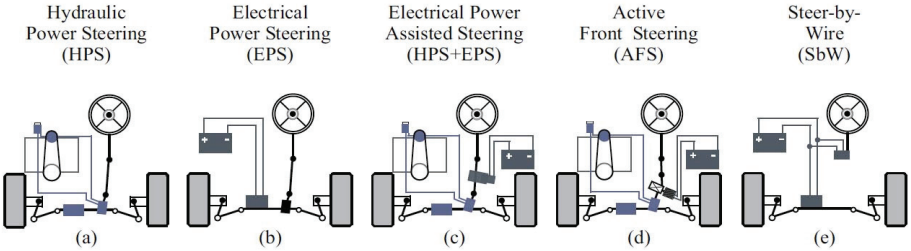
Kod električnih sistema kočenja BBW vozilo ne posjeduje hidraulički prenos sile kočenja, već se sila kočenja formira na samom točku dok se informacija o potrebi kočenja prenosi električni putem. Pošto je neophodno formirati veliku silu kočenja, radna kočnica se izvodi s klinom koji se pomjera uz pomoć elektromotora dok se velika snaga kočenja ostvaruje rotacijom diska tokom procesa kočenja. Izgled jedne radne kočnice kod BBW sistema, s osnovnim principom rada kočnice s klinom je prikazana na slici 3.



Slika 3: Izvedba BBW kočnice sa klinom i princip rada

Historijski razvoj sistema upravljanja se veže za mehanički sistem upravljanja koji se obično izvodi kao zupčasta letva kod putničkih motornih vozila, odnosno kao pužni prenosnik kod teretnih motornih vozila. Međutim, s povećanjem težina vozila i opterećenjima na prednjoj upravljačkoj osovini, te želje za povećanjem komfora, isključivo mehanički sistem upravljanja je izgubio bitku s pojavom hidraulično servo sistemima upravljanja HPS (slika 4.a) još od kraja drugog svjetskog rata. Osnovna funkcija ovog servo sistema je hidraulička podrška upravljačkom momentu, čime se smanjuje napor vozača. Ovakve izvedbe sistema upravljanja su imale veliku primjenu do sredine 90-tih godina prošlog stoljeća. Naime, pogon hidro pumpe je bio ostvaren pomoću motora sus, a prema nekim procjenama na vozilima srednje klase samo pogon hidropumpe je uzrokova potrošnju goriva veću za 0,5 *l*/100 km. Tako se došlo do elektro-hidrauličkih servo sistema upravljanja EPS+HPS (slika 4.c) kod kojih je za razliku od čisto hidrauličkog servo sistema upravljanja pogon umjesto motora sus ostvaren pomoću elektromotora. U okviru ovog sistema dodate su sljedeće komponente: elektromotorom elektronska jedinica za upravljanje radom elektromotora, te davač za praćenje brzine zakretanja upravljača. Odvajanjem hidropumpe od motora sus dozvoljava slobodu odabira mjesta instalacije hidropumpe u vozilu i značajnom doprinosu za proizvodnju potpuno funkcionalnog i provjerenog osovinskog modula od strane proizvođača upravljačkog sistema. Uvođenje elektronskog upravljačkog sistema omogućeno je smanjenje potrošnje energije i do 75 % zavisno od opterećenja i načina upravljanja. Kao krajnji rezultat unaprjeđenja konvencionalnog sistema upravljanja danas se koristi isključivo električni servo sistem upravljanja EPS (slika 4.b) koji je u potpunosti izbacio hidraulične komponente. Preko davača momenta na samom upravljaču elektronska kontrolna jedinica proračunava potrebni servo moment i direktno ga dovodi putem elektromotora koji se nalazi na samoj zupčastoj letvi. Ovakva izvedba omogućava uštedu do 80 % energije u odnosu na hidraulički servo sistem upravljanja. S ciljem ostvarivanja aktivnog upravljanja uveden je sistem upravljanja AFS (slika 4.d) koji podrazumijeva da pored date komande na upravljaču od strane vozača, sistem može da samostalno i dodatno mijenjati položaj zupčaste letve i tako povećati sigurnost kretanja motornog vozila. Na slici 4.e je prikazan potpuni SBW sistem na kom se može primijetiti da nema

mehaničke veze između upravljača i zupčaste letve, a da se zakretanje upravljačkih točkova ostvaruje putem elektromotora ugrađenog na samoj zupčastoj letvi čije pomijeranje je elektronski kontrolisano.



Slika 4: Vrste sistema upravljanja tokom razvoja motornih vozila

3. PREGLED NAJVAŽNIJIH SISTEMA POMOĆI VOZAČU

U prethodnom poglavlju su prikazani najvažniji sistemi aktivne sigurnosti koji su omogući da se unaprijedi proces kočenja, proces dovođenja obrtnog momenta i proces upravljanja. Svi navedeni sistemi predstavljaju vid prvih inteligentnih transportnih sistema ITS (*eng. Intelligent Transport Systems*), gdje se pomoću nekog mehatroničkog sistema obavila aktivnost koju sam vozač ne bi mogao samostalno uraditi u skladu s zahtjevima za regulaciju nekog od procesa. Zahvaljujući postojanju i razvoju ovih sistema u zadnje tri decenije uveden je cijeli niz različitih ITS koji omogućavaju pomoć vozaču DAS (*eng. Driver Assistance Systems*).

3.1. Sistem za regulaciju brzine i udaljenosti između vozila

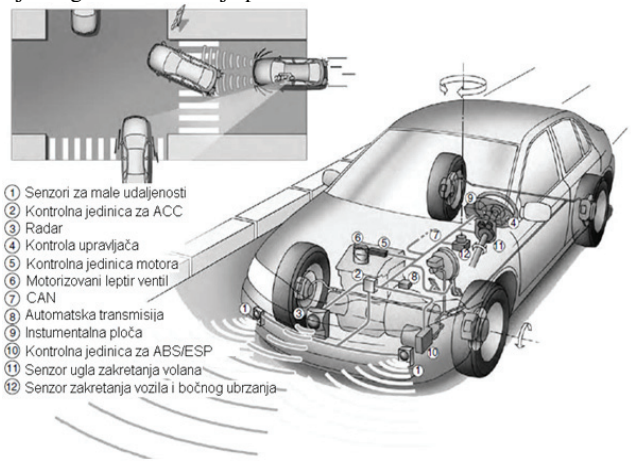
Jedan od prvih DAS je sistem za regulaciju brzine kretanja i udaljenosti između dva vozila ACC (*eng. Adaptive Cruise Control)*. Sistem ACC je samostalan sistem i za svoj rad koristi samo senzore i nezavisan je od komunikacije i saradnje sa drugim vozilima na putu. Postoji više izvedbi ACC sistema:

- ACC za velike brzine HS ACC (*eng. High-Speed ACC*);
- ACC za male brzine LS ACC (*eng. Low-Speed ACC*);
- ACC za male i velike brzine FSR ACC (*eng. Full-Speed-Range ACC*).

HS ACC omogućava vozaču da odabere željenu brzinu kretanja kao što bi to uradio korištenjem tempomata, nakon toga vozač može da pusti papučicu gasa i vozilo će nesmetano nastaviti kretanje odabranom konstantnom brzinom sve do trenutka kada naiđe na sporije vozilo u istoj kolovoznoj traci. Kada se to desi postoji više opcija, jedna opcija je da vozač djelovanjem na upravljač izvrši preticanje sporijeg vozila i nakon toga vozilo nastavlja kretanje ranije odabranom brzinom, druga opcija je da vozač ne djeluje i da se ACC sistem prilagodi brzinu vozila prema brzini vozila ispred. Ukoliko se vozilo opremljeno HS ACC - om kreće iza sporijeg vozila kada to vozilo ubrza ili promijeni kolovoznu traku sistem će ubrzati vozilo do ranije odabrane brzine. Vozač u svakom trenutku može isključiti HS ACC sistem djelovanjem na papučicu kočnice. Prvi HS ACC sistemi su konstruisani za rad na umjerenim i velikim brzinama, reda veličine od 40 km/h, pa naviše, zbog toga što je mnogo lakše pri ovakvim brzinama eliminisati i razlikovati vozila koja miruju u odnosu na vozila koja se kreću. Druga vozila koja se kreću u istom smjeru će imati male relativne brzine koje detektuju senzori sistema, dok stacionarni objekti imaju velike relativne brzine i time se lako eliminišu od strane HS ACC sistema. Razvojem sistema povećan je raspon brzina na kojima je HS ACC aktivan. Većina evropskih sistema počinje sa radom pri brzini od 30 km/h i više, zbog toga

što se tipično kretanje gradskim područjem vrši pri ovoj brzini. Gornja granica rada sistema se kreće i do 200 km/h.
Za razliku od otvorenog puta (autoput, brze ceste, itd.) gdje vladaju relativno dobri uvjeti za rad HS ACC sistema, kretanje u gradskoj zoni i pri malim brzinama je jako stresno i umarajuće za vozača, a samim tim su i teški uvjeti za rad ACC sistema. U skladu sa tim LS ACC sistem je konstruisan tako da oslobodi vozača, ako ne svih onda većine funkcija u gradskom saobraćaju. Međutim, to i jeste osnovni problem funkcionisanja ovog sistema, konstruktor mora predvidjeti veliki broj različitih situacija i rješenja za iste. Tako ovaj sistem mora voditi računa o drugim vozilima, o pješacima, horizontalnoj, vertikalnoj i svjetlosnoj signalizaciji itd. Na osnovu tih problema i zaključka da je potrebna manja inteligencija da se vozilo sigurno zaustavi nego da se pokrene prvi sistemi ovog tipa bili su tzv. "*stop and wait*" sistemi. To znači da je zadatak sistema da u slučaju prepreke sigurno zaustavi vozilo i nakon toga zvučnim signalom obavijesti vozača, te mu prepusti sve komande. Drugo rješenje za ovaj sistem je bilo da se odredi minimalna i maksimalna brzina na kojim sistem radi i ispod i iznad kojih sistem ne radi, odnosno komande prepušta vozaču uz prethodni zvučni signal. Taj sistem je ustvari unaprijeđeni HS ACC sistem koji radi na manjim brzinama i dosta složenijem okruženju. Ono što se može primijetiti iz prethodnog teksta je mana postojećih sistema u vidu nemogućnosti pokretanja vozila iz stanja mirovanja, što se u posljednje vrijeme riješilo primjenom tzv. "STOP AND GO" sistemima, tj. ACC sistemima za velike i male brzine.

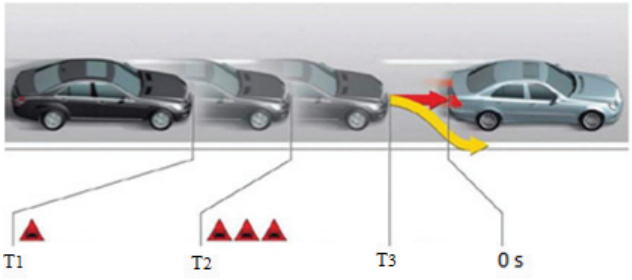
Izvedeno rješenje jednog ACC sistema je prikazano na slici 5.



Slika 5: Komponente FS ACC na vozilu

3.2. Autonomna kočnica u slučaju iznenadne opasnosti

Autonomna kočnica u slučaju iznenadne opasnosti AEB (*eng. Autonomous Emergency Brake*) predstavlja kombinaciju ACC s automatskom kočnicom za potpuno zaustavljanje. Sistem isključivo služi za izbjegavanje čeonih sudara bez dejstva vozača. Kako se rad AEB sistema naslanja na rad ACC sistema i princip rada je sličan principu rada ACC sistema. Senzori koji se nalaze u okviru ACC sistema (radari, lidari, CMOS i CCD kamere) prate dešavanja ispred vozila i informacije šalju u centralnu procesorsku jedinicu koja ih obrađuje i šalje signale pojedinim aktuatorima. Princip rada se najbolje vidi na slici 6.



Slika 6: Princip rada AEB sistema

Kao što je prikazano na slici 6, T_1 sekundi prije sudara sistem šalje vozaču vizualne i zvučne signale upozorenja, nakon toga vozač ima na raspolaganju vrijeme kako bi djelovao na pedalu kočnice ili na upravljač i time izbjegao sudar. Poslije tog vremena, T_2 sekundi prije sudara sistem parcijalnim kočenjem počinje da automatski usporava vozilo i to traje sve do T_3 sekundi prije sudara kada sistem aktivira potpuno kočenje. Ono što je bitno napomenuti je da neki AEB sistemi imaju dejstvo i na pasivne sisteme sigurnosti koje aktiviraju u slučaju nemogućnosti izbjegavanja sudara. To se prvenstveno ogleda u pripremi vozača i putnika na udar u vidu zatezanja sigurnosnih pojasa, itd.

3.3. Inteligentno prilagođivanje brzine kretanja

Ovaj sistem je razvijen s ciljem smanjenja broja saobraćajnih nesreća, pogotovo u naseljenim mjestima. Izvodi se pasivni i aktivni, i pojavljuju se pod nazivom V2I (*eng. Vehicle to Infrastructure*). Pasivni sistem samo upozorava vozača na ograničenje brzine kretanja na daljoj relaciji, dok je aktivni sistem u mogućnosti da ako vozač ne poštuje ograničenje brzine samostalno preuzme akcije kojima smanjuje brzinu kretanja da dozvoljenu vrijednost. Danas je navedeni sistem unaprijeđen putem kamera, koji sam prepoznaje saobraćajne znakove i može da upravlja radom mjenjača, motora i drugih sistema u skladu sa dobivenom informacijom. Neki proizvođači dozvoljavaju da pri uključenom tempomatu vozač sam definiše maksimalni prekoračenje u odnosu na saobraćajne znakove (najčešće 10 km/h offset).

3.4. Sistemi za upozorenje pri napuštanju saobraćajne trake

Napuštanje saobraćajne trake čini jednu četvrtinu svih saobraćajnih nezgoda i jednu trećinu saobraćajnih nezgoda sa smrtnim ishodom. Zbog toga je uveden sistem za upozoravanje pri napuštanju trake. Ovaj sistem pomaže u sprječavanju saobraćajnih nezgoda uzrokovanih napuštanjem trake/ceste kao i čeonih sudara, a poznat je pod imenom LKAS (*eng. Lane Keep Assistance System*). Princip rada je zasnovan na "prepoznavanju" oznaka na kolovozu, a procesirajući oblike dobivene kamerom, te procjenjujući širinu i sredinu saobraćajne trake definiše kuda vozilo treba da se kreće. Poprečna pozicija vozila u traci se može pratiti preko radarskih sistema, lasera ili video kamera. Namjere i ponašanje vozača se prate preko senzora ugla zaokretanja kola upravljača. Upozorenje se vrši kroz zvučne signale koji obično dolaze od vozila koje napušta saobraćajnu traku, vizualne signale ili vibraciju upravljača. Ovo upozorenje se oglašava samo kada vozilo otpočne nesvjesno kretanje prema izlasku iz trake, ali ne kada vozač namjerno (uključen pokazivač pravca) izvrši manevar kojim želi napustiti traku.

3.5. Sistemi pomoći pri smanjenoj vidljivosti

Ovaj sistem je poznat što omogućava lakšu vožnju u noćnim uslovima (*eng. Night Vision*) povećanjem vidnog polja vozača izvan dometa glavnih svjetala vozila. Prikaz objekata oko vozila se vrši putem LCD uređaja u automobilu, na navigacionom monitoru ili na *head–up* displeju na vjetrobranskom staklu ispred vozača. Infracrvena kamera detektira pješake na udaljenosti od 150 metara što je tri puta veća udaljenost od one koju mogu osvijetliti standardna oborena svjetla. Prednost infracrvenih svjetala je u tome što ne mogu zaslijepiti pješake i vozače iz suprotnog smjera. Koriste se aktivni i pasivni sistemi. Aktivni sistemi su zasnovani na infracrvenim zrakama koje se šalju od automobila i osvjetljavaju okolinu čovjeku nevidljivom svjetlošću. Na monitoru se prikazuje u realnom vremenu video okoline snimljen infracrvenom kamerom. Prednosti su što je slika objekata jasna, rezolucija slike je velika i davač je mali (moguće ga montirati na retrovizor). Nedostatak je slaba vidljivost pri kiši i magli. Pasivni sistemi su zasnovani na korištenju termalne kamere koja na osnovu različitih temperatura objekata i živih bića u okruženju na displeju prikazuje ono što je ljudskom oku u tami nevidljivo. Prednost je što je domet veći od 300 m, a nedostaci su što ne radi dobro pri toplijim uvjetima i što je termalni davač veći od infracrvenog.

3.6. Sistemi za prepoznavanje i zaštitu pješaka

Osim sigurnosti vozača, sigurnost pješaka je također vrlo važna i to će biti glavni zadatak u budućnosti automobilske industrije. Ovaj sistem prvenstveno je namijenjen da zaštiti pješake u gradskim dijelovima PSS (*eng. Pedestrian Safety System*). Sistem može detektovati pješaka koji je ušao u putanju vozila, te ukoliko vozač ne reaguje, sistem će djelovati na kočioni sistem i zakočiti vozilo. Sistem je namijenjen da djeluje pri brzinama manjim od 30 km/h. Pri većim brzinama ovaj sistem će također djelovati, ali na način da će smanjiti brzinu. Sistem upozorava vozača na dva načina: zvukom i pojavljivanjem znaka opasnosti na displeju. Glavni uređaji za zaštitu pješaka jesu pravilno oblikovan poklopac motora automobila i zračni jastuci za pješake. Kada dođe do nesreće u kojoj vozilo udara pješaka, veoma je bitno da je poklopac motora gdje udara tijelo pješaka napravljen od mekog materijala. Istraživanjem se utvrdilo da je moguće smanjiti ozljede pješaka ukoliko se poklopac motora u trenutku udara podigne iznad svoje uobičajene pozicije, čime se ozljede pješaka značajno umanjuju. Poboljšanja su također moguća na prednjem braniku koji je kontaktna površina prilikom sudara. Branik treba biti izrađen od pjene visoke gustoće. Pješački zračni jastuk ima za cilj da spriječi da pješaci prilikom nesreće udare u prednji vjetrobran.

Ovo su samo neki od ITS sistema pomoći vozaču prilikom upotrebe motornog vozila a koji imaju velikog udjela u prelasku ka potpunom autonomnom upravljanju budućih vozila. Pored navedenih sistema danas se na savremenim vozilima koristi značajno veći broj ITS koji se neće obrađivati u ovom radu.

4. AUTONOMNA VOZILA

Autonomna inteligentna vozila su vozila sa generičkim tehnologijama ugrađenim u vozilo kojim se djelimično ili u potpunosti omogućava autonomno (samostalno) kretanje vozila uz povećanje sigurnosti njegove upotrebe. U osnovi, autonomna inteligentna vozila su usko vezana sa tehnologijama mobilnih robota, a njihova upotreba je zasnovana na sljedeće četiri (4) tehnologije: percepcija i modeliranje okruženja, pozicioniranja i mapiranja na bazi GPS (*eng. Global Positioning System*), planiranja rute (trajektorije) kretanja vozila i konačno kontrole kretanja [4].

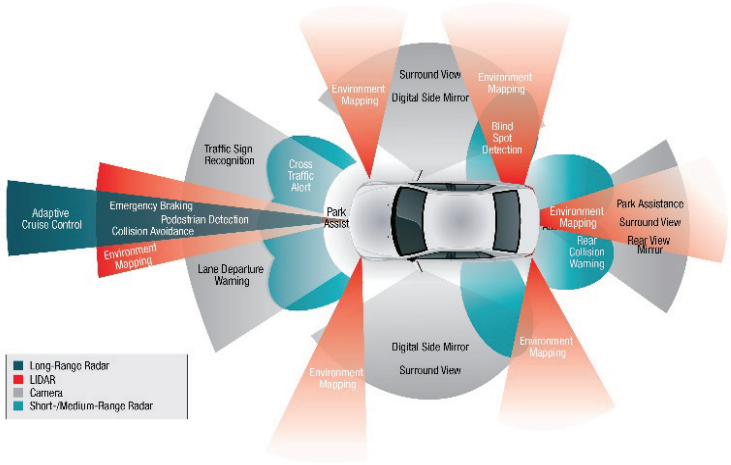
Stalni razvoj novih tehnologija u svim oblastima tehnike je omogućio kontinuirano unaprjeđenje savremenih motornih vozila. Ipak za razvoj autonomnih inteligentnih vozila najveća zasluga

pripada ciljevima vojnih projekata koji su još 1980-tih godina zagovarala da do 2015. godine jedna trećina vozila mora biti autonomno, tj. upravljano bez vozač, tj. čovjeka. Tako je većina aktivnosti provedena pod pokroviteljstvom DARPA (*eng. Defense Advanced Research Projects Agency*), a posebno je interesantan period 2004-2007 godine kad su organizovana takmičenja pod nazivom Urban Challenge na kom su vodeći proizvođači vozila, univerziteti, vladine agencije davali svoje viđenje budućih autonomnih inteligentnih vozila. Izvedbe nekih najuspješnijih prototipova autonomnih inteligentnih vozila sa ovih takmičenja su prikazana na slici 7.



Slika 7: Prototipovi autonomnih inteligentnih vozila prezentiranih na DARPA Urban Challenge takmičenjima u periodu 2004-2007

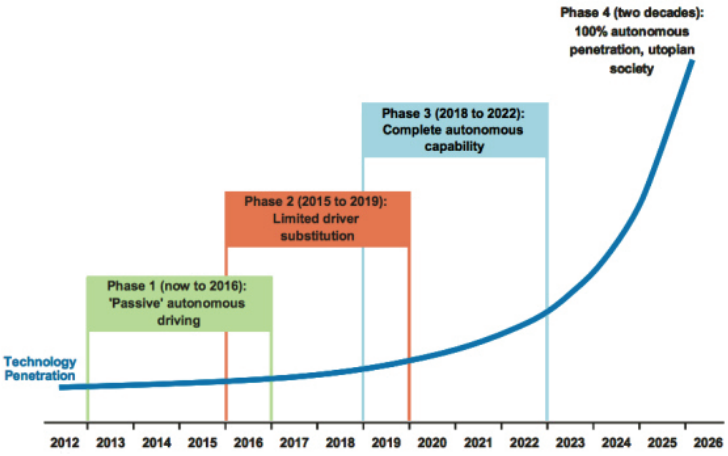
Kao što se može vidjeti sa slike 7, svaki prototip je imao veliki broj različitih davača, radara i lidara, te kamera čija je osnovna funkcija bila percepcija i modeliranje okruženja. Međutim, najveći problem koji se javio pri upotrebi ovih prototipova autonomnih inteligentnih vozila su: praćenje saobraćajne trake samostalna odlučivanja pri kretanju na raskrsnici, praćenje zadate putanje kretanja i pojava nepredviđenih situacija koje mogu ugroziti sigurno samostalno kretanje.
Na osnovu tadašnjih iskustava, kroz višegodišnji razvoj i unaprjeđenje, postiglo se da današnja savremena vozila više klase budu opremljena velikim brojem davača koji omogućavaju rad današnjih sistema na vozilu, obezbjeđujući tzv. "pogled 360 °" što je prikazano na slici 8. Na ovaj način je omogućeno da se napravi novi iskorak ka upotrebi savremenih autonomnih vozila.



Slika 8: Davači koji omogućavaju percepciju okruženja (360° pogled)

Na slici 9. prikazane su faze uvođenja novih tehnologija u svrhu omogućavanja samostalne vožnje autonomnih vozila i to:

- Faza 1 – Pasivna autonomna vožnja (2013-2017);
- Faza 2 – Ograničena zamjena vozača (2016-2020);
- Faza 3 – Sposobnost potpune autonomije vožnje (2019-2023) i
- Faza 4 – Puna autonomna vožnja.



Slika 9: Faze uvođenja novih tehnologija u procesu izrade autonomnih vozila

Danas se u veliko koriste savremena autonomna vozila koja imaju pasivni autonomni način rada i koja imaju ograničenu zamjenu vozača. Ispitivanja i homologiranje ovih, serijsko proizvedenih vozila, zauzimaju veliku pažnju u automobilskoj industriji, a rezultati pojedinih ispitivanja pokazuju da su prethodno nabrojani problemi autonomnih vozila i dalje prisutni, što je prikazano u [7] te u tabeli 1. Naime, prema ovim ispitivanjima koja su provedena s početkom 2016. godine,

pokazano je i dalje prisustvo problema održavanja pravca kretanja u saobraćajnoj traci kod navedenih vozila, dok dugogodišnje iskustvo i unaprjeđenje ACC sistema pokazuju odlične rezultate.

Tabela 1. Rezultati testa savremenih autonomnih vozila

Parametar za ocjenu	BMW 750i xdrive	Mercedes-Benz S65 AMG	Infinity Q50S	Tesla S P85D
Sistemi pomoći vozaču	Driver Assistance Plus, Active Driving Assistance Plus	Distronic Plus, Steering Assist, Adaptive Brake Technology, Active Lane-Keeping Assist	Intelligent ACC, Predictive Forward Collision Warning, Forward emergency Braking, Lane Departure warning, Active Lane Control	Autopilot, Auto steer, Auto Lane Change, Auto Park
Davači	1 stereo kamera, 5 radara	1 stereo kamera, 5 radara	1 kamera i 1 radar	1 kamera, 1 radar, 12 ultrazvučnih davača
ACC + reakcija ulaska vozila u putanju kretanja	odlično	odlično	odlično	odlično
Broj napuštanja saobraćajne trake na dionici od 50 milja	56	58	93	29
Kontrola saobraćajne trake noću uz prisutnu kišu	dobro	dobro	dobro	dobro
Mogućnost promjene saobraćajne trake	ne	ne	ne	da
Pomoć pri parkiranju	da	da	ne	da
Cijena $	129.245,00	252.675,00	54.055,00	136.720,00

U vrijeme pisanja ovog rada, veoma aktuelna je inicijativa Holandije da tokom svog predsjedavanja EU 2016 . godine omogući implementaciju kretanja teretnih vozila u konvoju od nekoliko vozila. U tu svrhu će šest (6) evropskih proizvođača teretnih vozila će demonstrirati kretanje vozila u konvoju na dionici od Beč-Roterdam početkom aprila ove godine. Kretanja vozila u konvoju podrazumijeva da se na čelu konvoja nalazi vodeće vozilo, dok se ostala vozila konvoja pomoću savremenih sistema povezivanja vozila (radar, GPS i V2V), te sistema autonomne vožnje kreću jedan za drugim na veoma malom rastojanju između vozila. Razlog za održavanje veoma malog rastojanja između vozila u konvoju je u boljem iskorištenju autoputa, smanjenju otpora vazduha vozila u konvoju čime se smanjuje potrošnja goriva i emisije zagađujućih materija u izduvnim gasovima. Prema nekim istraživanjima, emisija zagađujućih materija u izduvnim gasovima se može smanjiti i do 20 %. Na slici 10 je prikazan pogled iz vozila koje se kreće u konvoju teretnih vozila, a isto rješenje se može primijeniti i na putnička motorna vozila što je prikazano na slici 11.

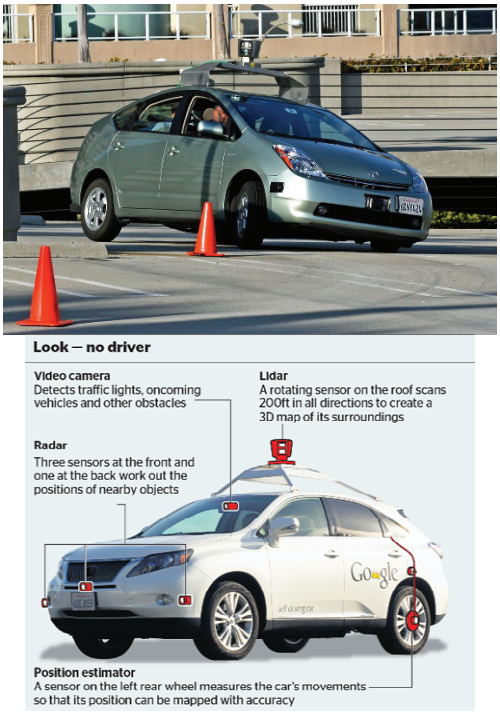


Slika 10: Konvoj teretnih vozila



Slika 11: Konvoj putničkih vozila

Svakako da krajnji cilj prema dijagramu na slici 9 predstavlja potpuno autonomno vozilo koje može da se kreće uz samostalno upravljanje. Firma Google je možda danas najveći pionir u razvoju potpuno autonomnog vozila. Iako već dugi niz godina aktivno rade na projektu potpuno autonomnog vozila, zvanično predstavljanje prototipa autonomnog vozila izvršeno je krajem 2014. godine, čiji su prvi modeli bili zasnovani na vozilima Toyota i Lexus [8]. Na slici 12 su prikazana vozila Toyota i Lexus koje firma Google koristi za razvoj prototipa svog autonomnog vozila, kao i neophodna tehnička i tehnološka rješenja koja omogućavaju njihovu primjenu.



Slika 12: Prototipovi autonomnih vozila firme Google

Kao što se vidi na slici 12, neophodna tehnička i tehnološka rješenja koja koristi firma Google su bazirana na sljedećem:

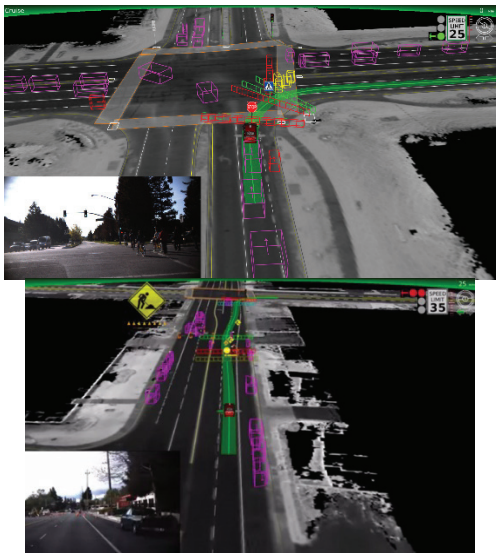
a) Video kamera, koja registruje semafore, vozila i ostale objekte – prepreke;

b) Radari, koji su postavljeni sa prednje strane (lijevo, sredina i desno na prednjem branika) i jedan sa zadnje strane vozila;
c) Lidar, postavljen a krovu vozila, zadužen za formiranje 360 ° percepcije okruženja na udaljenosti od 60 m;
d) Davač na točku koji registruje parametre kretanja vozila i služi za povećanje tačnosti.

Ova generacija autonomnih vozila se oslanja prvenstveno na unaprijed programirane podatke [9], što znači da se kretanje vozila ne zasniva samo na formiranju percepcije okruženja već i na dodate informacije koje je stručni tim Google već ranije prikupio. Na ovaj način, Google koji drži primat u satelitskim snimcima i napravljenim mapama kao krajnji cilj ima digitalizaciju puteva kako bi napravili što sigurnije vozilo za upotrebu na javnim cestama. To je sigurno jedan od ključnih razloga zašto cijela flota Google vozila koja je prešla ogroman broj kilometara (prema nekim podacima oko 1,6 miliona km) nije napravila neki značajniji broj saobraćajnih nezgoda.

Međutim, u slučaju da Google projekt potpuno autonomnog vozila ne raspolaže sa digitalnim mapama, tehnologija lidara nije u mogućnosti da jednoznačno prepozna neke situacije u raskrsnicama, pokrete policajca, a veoma često rupe pa čak i neki sitni objekti na cesti se smatraju kao prepreke pa vozilo bez potrebe pravi dodatne manevre i napuštanja saobraćajne trake. Isto tako, registrovani su značajni problemi u slučajevima vožnje po jakoj kiši i u snježnim uslovima kad snijeg prekrije horizontalnu signalizaciju, ivice kolovoza, itd. Sve ovo je ipak dovelo do određenog broja saobraćajnih nezgoda, a posljednja se desila u februaru 2016. godine kad je pri brzini od 3 km/h došlo do bočnog kontakta sa autobusom javnog gradskog prevoza.

Prema podacima Google, sistemi autonomnog upravljanja na vozilu su u mogućnosti da istovremeno prate do 100 različitih učesnika u saobraćaju, od vozila, biciklista, pješaka i prepreka, što je slikovito prikazano na slici 13.



Slika 13: Primjer prikaza percepcije okruženja dobivena putem lidara i radara

Konačno, na slici 14. prikazane su izvedbe vlastitog električnog Google autonomnog vozila koji treba da posluži kao osnova za dalji razvoj. Sudeći po veoma simpatičnom obliku vozila, nije čudo

da Google danas traži vodeće inženjere iz oblasti automobilske industrije kako bi nadoknadili zaostatak u tehnologijama izrade motornih vozila, posebno s električnim pogonom.



Slika 14: Prototip električnog autonomnog vozila firme Google

Pored Google, mnogi proizvođači imaju svoje vlastite modele autonomnih vozila. Kao „state of the art" u ovom segmentu svakako treba izdvojiti BMW koncept Next 100, prikazan u [10]. Pored vizije potpuno električnog autonomnog vozila sa mogućnošću upravljanja od strane vozača, ovaj koncept karakteriše i primjena novih materijala. Naime, s ciljem povećanja aerodinamičnosti i smanjenja koeficijenta otpora oblika Cx bočne strane točkova su prekrivene aerodinamičkim površinama. Imajući u vidu da se upravljanje vozilom mora ostvariti zakretanjem upravljačkih točkova, da ne bi došlo do kontakta između točka i aerodinamičke površine, dolazi do bočnog pomjeranja (rastezanja) karoserije vozila, što je prikazano na slici 15.



Slika 15: BMW koncept autonomnog vozila budućnosti – Next 100

Još jedan vodeći svjetski proizvođač motornih vozila, Mercedes Benz daje svoju viziju budućnosti autonomnih vozila [11], koja je u vidu koncept vozila F-015 prikazana na slici 16. Svakako je važno spomenuti i viziju vozila Vocativ, japanske firme Nissan.



Slika 16: Mercedes Benz F-015 – autonomno vozilo budućnosti

5. ZAKLJUČAK

U radu je dat prikaz razvoja ITS od samih početaka do potpuno autonomnih vozila. Očigledno je da se svaki izazov koji se postavio pred čovjeka, odnosno savremenu tehnologiju, u pogledu izvedbe nekog ITS uvijek uspješno riješio. Sigurno je da će narednih 10 godina biti od velike važnosti za budućnost autonomne vožnje motornih vozila, jer se aktivno razvija nova tehnologija koja će omogućiti uspješno i potpuno sigurnu samostalnu promjenu saobraćajne trake, kretanje kroz raskrsnicu, izbjegavanje nastanka saobraćajnih nezgoda, zaštita pješaka i okoliša. S druge strane, od posebnog interesa je uvođenje vozila nulte emisije zagađujućih materija, što se može postići samo korištenjem električnog pogona. Ipak, današnji moderan čovjek i dalje osjeća zadovoljstvo u upravljanju svojim vozilom (ljubimcem), tako da budućnost sigurno treba vidjeti u korištenju električnih i hibridnih vozila (u prelaznoj fazi) gdje će biti omogućeno i autonomno upravljanje na dugim i zamornim dionicama puta, te upravljanje koje će vršiti čovjek po potrebi.

6. LITERATURA

[1] U. Sieffert, L. Wech, Automotive Safety Handbook, SAE, ISBN 978-0-7680-1798-4, 2007
[2] R. Bishop, Intelligent Vehicle Technology and Trends, Art House, ISBN 1-58053-911-4, 2005
[3] U. Sieffert, M. L. Gonter, Integrateed Automotive Safety Handbook, SAE, ISBN 978-0-7680-6437-7, 2014
[4] H. Cheng, Autonomous Inteligent Vehicles - Theory, Alorithm and Implementation, Springer, ISBN 978-1-4471-2279-7, 2011
[5] B. T. Fijalkowski: Automotive mechatronics: Operation and Practical Issue, Volume I, Springer, ISBN 978-94-007-0408-4, 2011
[6] F. Holzmann: Adaptive Cooperation between Driver and Assistant System - Improving Road Safety, Springer, ISBN: 978-3-540-74473-3, 2008
[7] http://www.caranddriver.com/features/semi-autonomous-cars-compared-tesla-vs-bmw-mercedes-and-infiniti-feature
[8] https://en.wikipedia.org/wiki/Google_self-driving_car
[9] https://www.google.com/selfdrivingcar/
[10] http://www.digitaltrends.com/cars/bmw-vision-next-100-news-specs-pics-performance/
[11] https://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/innovation/autonomous-driving/

NEW TECHNOLOGIES FOR REDUCING EMISSIONS FROM SHIPS

NOVE TEHNOLOGIJE ZA SMANJENJE EMISIJA ŠTETNIH MATERIJA IZ BRODOVA

Danilo Nikolić

University of Montenegro, Maritime faculty Kotor, Dobrota 36, Kotor, Montenegro
fzpdekan@ac.me

ABSTRACT:
In the current era of globalization, the shipping industry has become a key component of the world's economy. Over 90% of global trade is carried by sea. At the same time, shipping sector is emitting significant amounts of pollutants and greenhouse gases due to combustion of low quality fossil fuels. International Maritime Organization IMO sets limits to the emissions of nitrogen oxides NOx and sulfur oxides SOx that originate from marine diesel engines. Manufacturers of marine diesel engines and researchers, explore a variety of techniques which aim to minimize formation and emission of those pollutants. This paper gives an overview of technologies that are applied in marine diesel engines in order to meet the harshest requirements related to limiting emissions of NOx and SOx.

Keywords: *marine diesel engines, exhaust emission, SOx, NOx, emission abatement technologies*

SAŽETAK:
U eri globalizacije, brodarska industrija je postala ključna komponenta svjetske ekonomije. Više od 90% globalne trgovine se danas odvija morem. U isto vrijeme, brodovi emituju značajne količine zagađivača i gasova staklene baste usljed sagorijevanja fosilnih goriva lošeg kvaliteta. Međunarodna pomorska organizacija IMO postavlja ograničenja za emisije oksida azota NOx i okside sumpora SOx koje potiču iz brodskih dizel motora. Proizvođači brodskih dizel motora i naučnici rade zajedno na iznalaženju tehnologija koje imaju za cilj smanjenje formiranja i emisije ovih zagađivača. Ovaj rad daje pregled tehnologija koje se primjenjuju u brodskim dizel motorima koje zadovoljavaju najoštrije zahtjeve koji se odnose na ograničavanje emisija NOx i SOx.

Ključne riječi: *brodski dizel motori, izduvna emisija, SOx, NOx, tehnologije za smanjenje emisije zagađivača*

---

1. UVOD

The continuous increase of the international maritime traffic has increased marine fuel consumption from about 250 million to 325 million tonnes over the period 2007–2012 [1]. As a consequence, ships were responsible for 13 % and 15 % (on annual average basis) of global sulfur oxide (SOx) and nitrogen oxides (NOx) emissions, respectively [1]. Ship's exhaust emission could be transported hundreds of kilometres inland. Median transport velocity of SOx and NOx is 400 around kilometers per day, while mean residence time is 1-3 days, indicating mean transport distances of 400 to 1200 km [2].

International Maritime Organization IMO recognizes the importance and need to limit the emission of pollutants that originate from marine diesel engines. IMO's Marine Environment Protection Committee MEPC adopted International Convention for the Prevention of Pollution from Ships - MARPOL 73/78. On September 27th 1997, the MARPOL Convention has been amended by the Protocol which includes Annex VI titled "Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships". MARPOL Annex VI sets limits on NOx and SOx emissions from ship exhaust, and prohibits deliberate emissions of ozone depleting substances. MARPOL Annex VI also regulates shipboard incineration, and the emissions of volatile organic compounds from tankers. This Protocol entered into force on May 19th 2005, and applies to all engines over 130 kW of power. MEPC revised MARPOL Annex VI with the aim of significantly strengthening the emission limits and strengthened the requirements for the permitted sulfur levels in marine fuels in light of technological improvements and implementation experience. The amendments entered into force on July 1st 2010. Furthermore, in July 2011, IMO adopted measures to reduce greenhouse gas emissions from ships. A new Chapter 4 to MARPOL Annex VI entitled "Regulations on energy efficiency for ships" was adopted, which includes a suite of mandatory technical and operational measures, with the aim of improving the energy efficiency of new ships through improved design and propulsion technologies, and for all ships by improving operational measures, which could help to reduce CO_2 emissions between 45 and 50 million tons on annual basis by 2020 [4]. These regulations entered into force on January 1st 2013 and apply to all ships over 400 gross tonnage.
The paper gives an overview of technologies to be applied in order to meet the harshest requirements related to limiting emissions of nitrogen oxides NOx and sulfur oxides SOx from marine diesel engines.

2. NOx CONTROL TECHNOLOGIES

Regulation 13 of MARPOL Annex VI, limits NOx emissions from marine diesel engines and applies to installed marine diesel engines over 130 kW other than those used solely for emergency purposes irrespective of the tonnage of the ship onto which such engines are installed [4]. The limits are divided into three tiers. Tier I limits applies to engines installed on ships built on or after 1 January 1st 2000, Tier II after January 1st 2011, while Tier III limits applies to ships built after January 1st 2016 only if operating within the North American and US Caribbean, table 1.

Table 1: MARPOL Annex VI NOx Emission Limits for marine diesel engines [4].

Tier	Ship construction date on or after	Total weighted cycle emission limit (g/kWh) n – engine's rated speed (rpm)		
		n <130	n =130 – 1999	n ≥2000
I	1.1.2000	17.0	$45\ n^{-0.2}$	9.8
II	1.1.2011	14.4	$44\ n^{-0.23}$	7.7
III	1.1.2016	3.4	$9\ n^{-0.2}$	2.0

The emission value for a marine diesel engine is to be determined in accordance with the NOx Technical Code [4]. The purpose of the Code is to specify the requirements for the testing, survey, and certification of marine Diesel engines to ensure they comply with the NOx emission limits as of Regulation 13. Technical code provides several measures for reduction of NOx, which could be divided on primary, aimed to combat NOx formation in engine cylinder, and secondary, aimed to combat NOx reduction from exhaust gasses.
Primary measures are aimed at reducing the amount of NOx formed during combustion by optimizing engine parameters. These measures are divided into "dry" and "wet" and are aimed at reducing maximum combustion temperature, since NOx formation mostly depends on it [5]. Dry

methods are based on the engine adjustments through optimization of combustion process, injection rate shaping, high compression ratio, combustion chamber optimization, Miller cycle, variable valve timing, common rail with improved control systems, turbocharger improvement, 2-stage turbo charging, etc [6]. The wet methods involve introduction of water/moisture into the engine cylinder to reduce peak combustion temperatures. Water can be introduced into the engine in several ways: by humidification of inlet air, by adding water into the fuel (emulsion) and by directly inject water into the cylinder [6]. Depending on which wet-technology is used, the effect on combustion and thereby the emissions are slightly different. In many cases the wet-technologies are used as a substitute for EGR when fuel with high sulphur content is used.
Secondary measures are designed to remove NOx from the exhaust gas by downstream cleaning techniques. Exhaust gas cleaning through selective catalytic reduction SCR is successfully applied at marine diesel engines.
According [6] NOx reduction potential is as follows:

- High pressure 2-stage turbo compressor system, ca. - 40%
- Low NOx combustion tuning, ca. - 10%
- EGR system, ca. - 60%
- Charge air humidification, ca. - 40%
- Water Fuel Emulsion, ca. - 25%
- Direct Water Injection, ca. - 50%
- SCR system, ca. - 80%
- Gas engine, ca. - 85%.

Tier II standards are met by combustion process optimization. NOx Tier III emission standards are 80% stricter than for NOx Tier I, thus require dedicated NOx emission control technologies such as various forms of water induction into the combustion process, exhaust gas recirculation, or selective catalytic reduction [6, 7]. Also, gas engines are implemented in reducing not only emission of NOx, but also emission of SOx. In this paper this technology will be discussed as major technology for reducing SOx emission. To comply with this Tier III requirements ships shall have to be installed or retrofitted with equipment/systems which can reduce NOx below Tier III standards.
To show compliance, an engine has to be certified according to the NOx technical code and delivered with an Engine International Air Pollution Prevention (EIAPP) certificate of compliance [4]. The certification process includes NOx measurement for the engine type concerned, stamping of components that affect NOx formation and a technical file that is delivered with the engine.

2.1 Exhaust Gas Recirculation, EGR

In the EGR system, after a cooling and cleaning process, part of the exhaust gas is recirculated to the scavenge air receiver. In this way, part of the oxygen in the scavenge air is replaced by inert gasses from the combustion process. Its effect on NOx formation is partly due to a reduction of the oxygen concentration, and partly due to the content of water and carbon dioxide in the exhaust gas. The higher molar heat capacities of water and carbon dioxide lower the peak combustion temperature, which, in turn, curbs the formation of NOx. The NOx reduction is almost linear to the ratio of recirculated exhaust gas [8]. SFOC and other emissions are almost not affected at small EGR amounts, e.g. below 10%. At higher EGR amounts, e.g. 30-40%, the SFOC and other emissions are affected. Typically, the SFOC increases by 1-3 g/kWh and CO increases significantly. By adjustment of the engine parameters it is possible to maintain an acceptable CO level, but an SFOC increase seems impossible to eliminate [8].The application of EGR to low speed two stroke marine engines is challenging, due to the need to clean the recirculated exhaust gas of harmful metals and sulfur and the need to maintain the exhaust header pressure below that of the intake header to ensure cylinder scavenging. Two different layouts of the EGR system are

available [9]: EGR with bypass matching with one turbocharger, and EGR with TC (turbo compressor) cut-out matching having two or more turbochargers.
An EGR system with bypass matching is shown in Figure 1. Two strings, a main string and an EGR string, are available to direct the scavenge air into the scavenge air receiver. The main string, with the capacity to lead all the scavenge air through the turbocharger compressor and the scavenge air cooler. The main string is provided with a cylinder bypass and an exhaust gas bypass (EGB). For Tier II mode only the main string is in operation, and the EGR string is kept closed by the shut-down valve. The cylinder bypass is also kept closed in this mode. At high load, the exhaust gas bypass is open to increase the efficiency of the engine. The EGR string, with the capacity to lead up to 40% of the exhaust gas through the EGR unit (pre-scrubber, cooler, scrubber and WMC) to a mixing point before entering the scavenge air receiver, forced by the EGR blower. For Tier III mode EGR string is activated by opening the EGR shut-down valve and the change-over valve. The exhaust gas is led through the EGR string into the pre-scrubber, and the saturated gas passes through the EGR cooler before entering the scrubber operating with water to absorb particles, SOx and other matters. The cleaned and cooled exhaust gas continues through a water mist catcher into the main string, forced by the EGR blower. The mixture of air and recirculated gas is finally led to the scavenge air receiver. The cylinder bypass is active in this mode to increase the scavenge air pressure and thereby reduce the SFOC. IMO Tier III NOx requirements can be met in the full load range by using the EGR blower to control the EGR ratio [9].

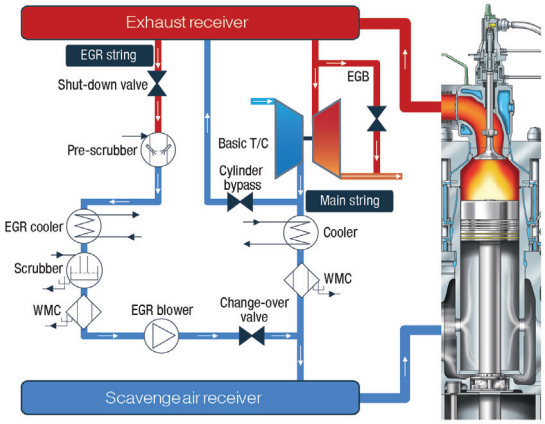


Figure 1: EGR process diagram with one turbocharger [9]

At EGR system with TC cut-out matching there are three strings, a main string, a cut-out string and an EGR string. The main string, leads up to 70% of the scavenge air through the large turbocharger and the scavenge air cooler. The cut-out string, leads up to 40% of the scavenge air through a smaller turbocharger (the cut-out turbocharger) and through the EGR cooler and scrubber before entering the scavenge air receiver. The EGR string, leads up to 40% of the exhaust gas through the EGR unit to a mixing point before entering the scavenge air receiver, forced by one or more EGR blowers. In this case the cut-out string is closed. For Tier II both the main string and the cut-out string are in operation with the turbocharger cut-out valves open, however, the EGR string is kept closed by the shut-down valve. In Tier III mode the EGR mode is used, the cut-out string is closed by the turbocharger cut-out valves and the EGR string is activated by opening the EGR shut-down valve and the change-over valve [9].

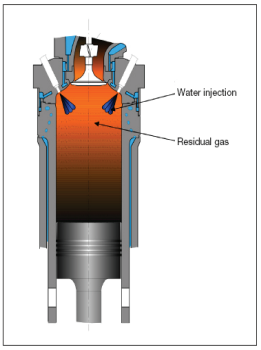


Figure 2: Principle of the internal EGR, WaCoReG [6]

Wartsila low-speed engines use internal EGR technique, a combination of DWI (Direct Water Injection) and EGR, called water-cooled residual gas (WaCoReG) [3]. In this concept some of the exhaust gas is left in the cylinder, which in normal circumstances leads to increased thermal loading and inferior combustion. These drawbacks are largely avoided, if the residual gas is cooled by an internal spray of water thus reducing temperature levels, thereby keeping thermal loads much the same as when running without internal EGR. As the surrounding combustion space components are rather hot, there will be no condensation of acid products on the metal surfaces. With WaCoReG, the water is injected earlier in the compression stroke than with just DWI. A reduction in NOx emissions of up to 70 % below the IMO Tier I limit is anticipated from the WaCoReG system.

2.2 Selective Catalytic Reduction, SCR

The SCR system reduces the level of NOx in the exhaust gas from the engine by means of catalyst elements and a reducing agent. In the process a reducing agent, urea or ammonia water solution is added to the exhaust gas stream before passing it through a unit at a temperature between 290 and 450 °C. The water in the urea solution is evaporated as the solution is injected into the hot exhaust gas. The high temperature also induces thermal decomposition of the urea ($(NH_2)_2CO$) into ammonia (NH_3) and carbon dioxide (CO_2). Exhaust gas NOx emissions are thereafter transformed into harmless gaseous products molecular nitrogen (N_2) and water (H_2O), as they react with the ammonia at a catalytic surface [9].
To ensure a SCR operation it is crucial to maintain exhaust gas temperatures within a certain temperature window. A lower temperature limit is dictated by the sulphur content in the marine fuel and the subsequent formation of sulphurous acid H_2SO_3 in the gas. At temperatures below approximately 320 °C, the sulphuric acid is neutralised by ammonia. This forms a sticky product, ammonium bisulphate (NH_4HSO_4), which may accumulate in the SCR elements and destroy. However, if the exhaust gas temperatures are kept above 350 °C, this reaction can be suppressed. When the sulphur content in the fuel is below 0.1%, a temperature of approximately 310 °C would be sufficient. At low exhaust gas pressures, the required temperatures will be lower. On the other hand, the temperature must not be too high as this will result in an increased SO_3 formation in the catalyst. SO_3 subsequently reacts with water creating sulphuric acid H_2SO_4, which appears as an undesired white aerosol plume. Another undesired reaction which also limits the upper temperature for SCR operation is the oxidation of ammonia NH_3 as the exhaust gas temperature is above 400 °C, i.e. ammonia will burn rather than reacting with NOx which will lead the system to be ineffective. Additionally, the catalyst material starts to sinter at temperatures above 500-550 °C. The temperature depends on the material and results in a loss of catalytic activity [9].

The temperature requirement of the process generally dictates that the SCR system unit for a low-speed two-stroke engine is installed before the turbocharger, figure 3, while for four-stroke engine the post-turbocharger exhaust gas temperature is sufficient for the catalytic process.

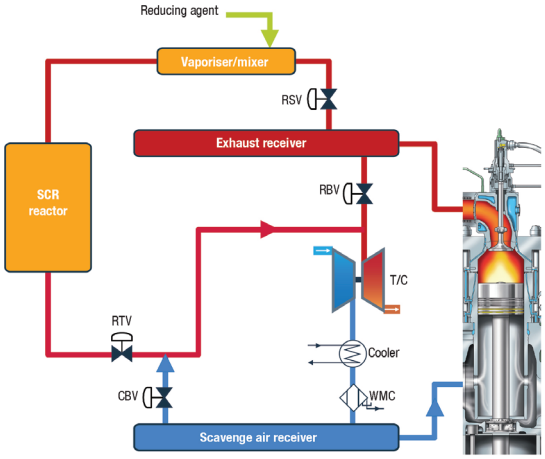


Figure 3: MAN SCR system for two stroke marine diesel engines [9].

When operating in Tier II mode, the SCR system is cut off by the reactor sealing valve (RSV) and the reactor throttle valve (RTV), figure 3. The reactor bypass valve (RBV), is open and exhaust gas passes directly to the turbocharger. When operating in Tier III mode the SCR system will be engaged. The SCR line is opened by the valves, RSV and RTV, while the valve RBV will be closed [9].
The efficiency of the catalytic reduction depends on a number of factors, including the dosage of the reducing agent, the volume of catalyst elements and the exhaust gas temperature. Normally, a NOx reduction level of 90% can be reached.
SCR has been recognized as one of the most promising means of controlling NOx by a variety of countries and regulatory authorities, and is the only technology currently available to achieve compliance with the Tier III NOx standards for all applicable engines. Other technologies can either achieve Tier II standard or achieve Tier III standard for only a subset of applicable engines.

3. SOx CONTROL TECHNOLOGIES

The sulphur emissions from the engine are essentially proportional to the sulphur content of the fuel. Sulphur is oxidized in the combustion chamber, forming principally sulphur dioxide (SO_2) and sulphur trioxide (SO_3).
In October 2008 the Marine Environment Protection Committee (MEPC) of the IMO agreed on the progressive reduction of the maximum sulphur content in fuels used on board ships. Regulation 14 of MARPOL Annex VI, limits fuel sulphur content to restrict SOx and also PM emissions, and applies to all ships in service. This Annex sets a maximum global fuel sulphur limit of currently 3,5% (from 1.1.2012) in weight for any fuel used on board a ship. Annex VI also contains provisions allowing for special SOx Emission Control Areas (SECA) to be established with more stringent controls on sulphur emissions. In a SECA, which currently comprises the Baltic Sea, the North Sea, the English Channel, the US Caribbean Sea and the area outside North America (200 nautical miles), the sulphur content of fuel oil used onboard a ship must currently

not exceed 0,1 % in weight, table 2. The revised MARPOL Annex VI regulations reduce the global sulphur cap to 0.5%, effective from 1st January 2020 [4].

Table 2: MARPOL Annex VI marine fuels sulfur gap [4]

Fuel sulfur cap	Area	Date of implementation
max. 1.0 % S in fuel	SECA Areas	1 July 2010
max. 3.5 % S in fuel	Globally	1 January 2012
max. 0.1 % S in fuel	SECA Areas	1 January 2015
max. 0.5 % S in fuel	Globally	1 January 2020

Regulation 4 allows flag administrations to approve alternative means of compliance with Regulation 14 that are at least as effective in terms of emissions reduction as the prescribed sulphur limits. This means that a ship may operate on fuel with a higher sulphur content than that allowed by the regulations, providing that SOx emissions are controlled to a level which is no higher than the levels emitted if using compliant fuel [4].
Abatement technologies including scrubbers are allowed as alternatives to low sulphur fuels. The exhaust gas system can be applied to reduce the total emissions of sulphur oxides from ships, including both auxiliary and main propulsion engines, calculated as the total weight of sulphur dioxide emissions.

3.1 Low sulfur fuels

Several low sulphur fuels are available including low-sulphur distillate oil, liquefied natural gas (LNG), liquefied petroleum gas (LPG), biofuels, dimethyl ether (DME), ethane and methanol. These are primary compliance techniques as they lower SOx emissions at source. Currently, for this purpose, besides a low sulfur distillate marine oils which are on the market for many years mostly used for auxiliary marine engines, LNG is used.
Operation on natural gas results in very low emissions thanks to the clean burning properties of the fuel and its low content of pollutants. Methane, the main constituent, is the most efficient hydrocarbon fuel in terms of energy content per amount of carbon, containing the highest amount of hydrogen per unit of energy of all fossil fuels. In gas operating mode, the specific carbon dioxide emissions are thus typically reduced by 20 % compared with heavy fuel oil (HFO)/marine diesel oil operation. The corresponding reduction in nitrogen oxide (NOx) emissions is 85 - 90 %, while sulphur oxide (SOx) and particulate emissions are almost eliminated [3].
Liquefied Natural Gas, LNG, is very low in sulphur and easily combusted in engines and boilers using mature and reliable technology. Gas engines are widely used in land-based industry and have been used in LNG carriers for many years. Wholesale LNG prices are generally lower than HFO prices, but a lack of marine supply facilities means LNG may be more expensive than HFO once delivery costs are taken into account. Where LNG supply infrastructure is in place, LNG is expected to become very financially attractive as a marine fuel.
Converting existing ships to alternative fuels such as LNG is possible. However, conversions are expensive and technically challenging. Challenges include installing the fuel tank and containment systems, gas zoning and engine conversion [10].
Dual-fuel engine is the diesel engine that can run on both gaseous and liquid fuels. When running in gas mode, the engine works according to the Otto process with a lean premixed air/gas mixture in the combustion chamber. A lean mixture is also necessary to avoid knocking (self-ignition). When running in diesel mode, the engine works according to the Diesel process where the diesel fuel is fed to cylinders at the end of compression stroke. In this case engine is optimized for running on gaseous fuels and diesel fuel is used for back-up fuel operation. The dual fuel technology enables the engine to be operated on either natural gas, light fuel oil or HFO.

Switching between fuels can take place seamlessly during operation, without loss of power or speed. The engine is designed to have the same output regardless of the fuel used.
There is a different concept of introduction of gas into cylinder in 4-stroke and 2-stroke marine diesel engines.
In 4 stroke engines, the gas is fed into the cylinder in the air inlet channel during the intake stroke, Figure x. Instead of a spark plug for ignition, normally used in lean-burn gas engines, the lean air/gas mixture is ignited by a small amount of diesel fuel injected into the combustion chamber. This high energy source ensures reliable and powerful ignition of the mixture, which is needed when running with a high specific cylinder output and lean air/gas mixture.
When the DF engine is running in gas mode with a pre-mixed air/gas mixture, the combustion must be closely controlled to prevent knocking and misfiring. Wärtsilä says that the only reliable way to effect this is to use fully electronic control of both the pilot fuel injection and the gas admission on every cylinder head. The global air/fuel ratio is controlled by a wastegate valve, which allows some of the exhaust gases to bypass the turbine of the turbocharger. This ensures that the ratio is of the correct value independent of changing ambient conditions such as the temperature [3, 6].

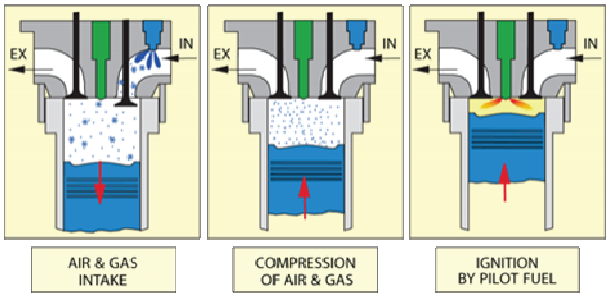


Figure 4: The lean-burn DF diesel operating system for 4-stroke medium speed engines [3]

DF engines can be run on gas or light fuel (marine diesel or gas oil) and HFO. When running in gas mode, the engine instantly switches over to diesel operation if the gas feed is interrupted or component failure occurs. The switch-over takes less than 1s and has no effect on the engine speed and load during the process. Transferring from diesel to gas operation, however, is a gradual process: the diesel fuel supply is slowly reduced while the amount of gas admitted is increased. The effect on the engine speed and load fluctuations during transfer to gas is minimal [3, 6].
The DF engine is normally started only with the pilot fuel injection enabled to a speed of approximately 60 % of the nominal engine speed. When ignition is detected in all cylinders, the gas admission is activated, and the engine speed increased to the nominal speed; this safety measure ensures that no excess unburnt fuel is fed directly into the exhaust gas system.
In 2-stroke low speed marine diesel engines, the gaseous fuel is admitted directly to the cylinders at low pressure via electronically controlled valves, during the intake stroke, Figure 5. The lean burn combustion of gaseous fuels is an enabler of both the low emissions and high efficiencies of low-speed dual fuel engines. Even without any aftertreatment equipment their NOx emissions in gas operation mode are within the limits set by IMO Tier III for vessels operating in Emissions Control Areas (ECAs), while natural gas is virtually sulphur free, also ensuring compliance with IMO limits for SOx emissions in ECAs.

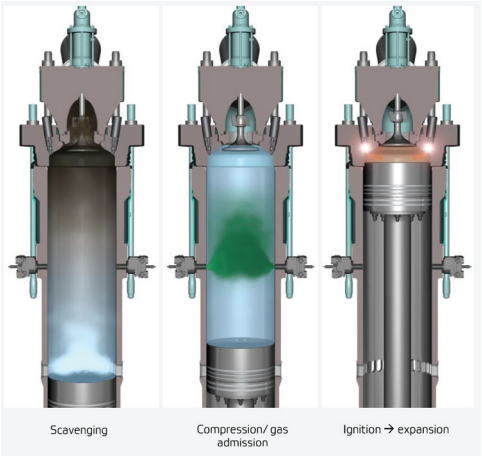


Figure 5: The low pressure DF concept for 2 stroke slow speed engines [6]

There are some other versions of engine conversions to implement LNG such us gas diesel (GD) engine with high-pressure gas injection [6], spark ignited (SG) pure gas engines using low pressure gas [6, 11] and performance gas injection (PGI) igniting considerably leaner mixtures than those typically used in gas engines with electrical ignition systems [3]. Dual fuel system is predominant conversion of marine diesel engines to run on LNG.

3.2 Scrubbers

International regulations allow reducing SOx emissions by purification of exhaust gases. As the price of fuel with low sulfur content significantly higher than the existing heavy fuel (Heavy Fuel Oil, HFO), installation of washing exhaust gases make economic sense, since it continues to use heavy fuel with normal sulfur content. For this purpose, at the end of the exhaust pipe is set specially designed air receiver device (scrubber). The scrubbing technology is based on the fact that SOx dissolve in water. This means that when the exhaust gas is sprayed with the alkaline water in the scrubber, the SOx will dissolve in the scrubbing water and be cleaned from the exhaust gas.
The system is designed and certified in accordance with IMO Resolution MEPC.184(59), Guidelines for Exhaust Gas Cleaning Systems. Scrubber design criteria can be agreed upon on a project specific basis, and may include permitted SOx emissions equivalent to 0.1 % sulphur in the fuel as per:

- EU regulations for EU ports 1.1.2010.
- IMO and EU regulations for SECAs with entry into force 2015 as per MARPOL Annex VI.

There are two main types of SOx scrubbers, wet scrubbers that use water (seawater or fresh water) as the scrubbing medium, and dry scrubbers that use a dry chemical.
Marine engines are usually fitted with wet scrubbers using either sea water, which is easily available, or recirculated fresh water with chemical addition. There are three main types of wet scrubber arrangements:

- open loop systems, which use seawater to treat the exhaust gas;
- closed loop systems, which use fresh water with the addition of an alkaline chemical to treat the exhaust gas; and

- hybrid systems, which can operate in both open loop and closed loop modes.

All wet scrubbers generate washwater. This is the seawater or fresh water mixed with the exhaust gases in the scrubber chamber. Requirements for treatment, monitoring and discharge of washwater are contained in the IMO MEPC.184(59).
In open loop scrubber arrangement, exhaust gas enters the scrubber and is sprayed with water in three different stages. The SOx in the exhaust reacts with water and forms sulphuric acid. There is no need for chemicals since the natural alkalinity of seawater neutralizes the acid. Wash water from the scrubber is treated and monitored at the inlet and outlet, to make sure it is in line with the discharge criteria of IMO MEPC 184(59), before it is discharged to sea with no harm to the environment. A simple open loop scrubber arrangement is shown in Figure 6.

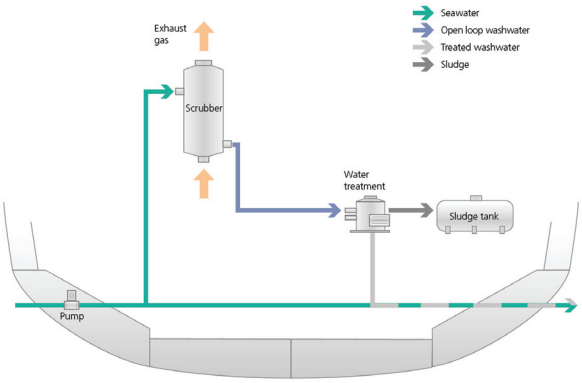


Figure 6: An open loop scrubber arrangement [10]

In an open loop system, SOx is removed from the exhaust gas in a series of conventional chemical reactions. These reactions are forming sulphates, which are discharged into the sea. The open loop system is typically used in open waters where the alkalinity of the seawater is sufficiently high for effective scrubbing. The system is simple and the cheapest solution in regards to installation and operating cost. However, an open loop system lacks flexibility when local regulations prevent or limit the use of the system due to low alkalinity or restricted discharge criteria. Open loop operation requires a sea water amount of approximately 45 m^3/MWh when a 2.7 % sulphur HFO is used [9].
In closed loop arrangement, the wash water is being circulated within the scrubber. Washwater is pumped from the wet sump through the cooler to the top part of the scrubber, and is sprayed into the exhaust gas flow from the spray nozzles in the scrubber. Water is also supplied to the mid part of the scrubber to further improve the SOx removal efficiency. Washwater passes is collected and removed through the bottom. The water absorbs SOx emissions, heat and other components from the exhaust gas stream. To neutralise the sulphuric acid in the washwater, an addition of chemicals is needed. This could be sodium hydroxide (NaOH). The sodium hydroxide is automatically added to the washwater circulation to maintain the process pH and consequently the SOx removal efficiency, a process known as pH buffering. The sodium hydroxide consumption in weight is roughly 6 -15% of the diesel engine fuel oil consumption depending on the sulphur content and cleaning efficiency. Closed loop systems typically consume sodium hydroxide in a 50% aqueous solution.
However, the sulphate and the particulate matter (PM) from the combustion process accumulates in the scrubber water. To avoid an increase in salinity and contamination of the system, the sulphate and PM must be removed continuously. This is done by bleeding off washwater from the

system and adding fresh water to replace the lost volume. Most of the fresh water is regained in the scrubbing process by condensed water from the combustion process. Before discharging the bleed-off water, a cleaning process is required to meet the IMO guidelines criteria. The cleaning process is performed in a water cleaning unit and the sludge is led to a sludge tank. A closed loop arrangement is shown in Figure 7.

The closed loop system offers a high degree of flexibility for the vessel as the use is not restricted by local regulations. However, the initial costs are higher, compared to the open loop system, due to the additional equipment. In addition, operating costs are higher mainly because of the constant addition of chemicals. The flow rate in a closed loop system is about half that of an open loop, 30m^3/MWh. Typically, closed loop operation requires a constant discharge at the rate of 0.1 to 0.3 m^3/MWh, although the system can operate with zero discharge for limited periods [9].

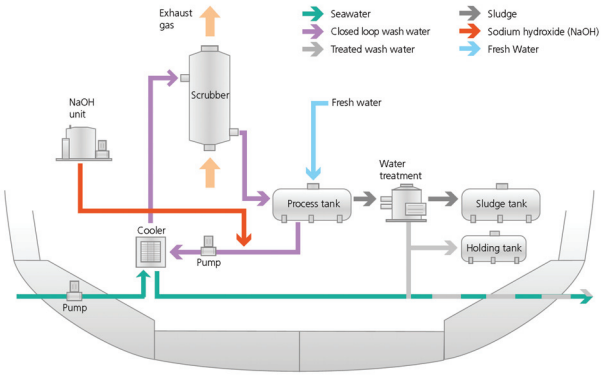


Figure 7: A closed loop scrubber arrangement [10]

The hybrid system can operate in either open loop or closed loop mode. Due to the combination, the hybrid system is more complex, but it offers the highest degree of flexibility. In this system, an open loop mode is typically used in open waters where the alkalinity is sufficiently high for effective scrubbing. The closed loop system is used in certain enclosed waters, harbors and estuaries or where the alkalinity of the seawater is low. This combination optimizes the chemical consumption and ensures that discharges do not affect sensitive areas with little water exchange.
One of the principal challenges associated with wet scrubbing is handling the washwater discharge. The IMO MEPC.184(59) Guidelines require three washwater parameters to be continuously monitored if discharged to sea, acidity (pH) limited to 6.5 at the ship's side at rest; suspended particulate matter, including heavy metals and ash; and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) concentration [4]. Another challenge is residue sludge produced. Waste residue sludge results from conditioning the washwater to remove contaminants. This sludge is a pollutant and cannot be discharged to sea. It must be stored on board, landed ashore and disposed appropriately.
Service experience shows that wet SOx scrubbers can achieve emissions reductions of over 99%, the equivalent emissions of 0.10% sulphur fuel with all marine fuels. The technology is simple, and the return on investment time is short, potentially less than one year if operating in an ECA constantly.

4. CONCLUSION

Emissions from ships represent one of the important issues that concern those interested in maritime domain, as it has a negative impact on the marine environment. The present paper discusses the various methods which could carry out to reduce those emission.
IMO's MARPOL Annex VI sets limits on NOx and SOx emissions from ship exhaust, which applies to all marine engines over 130 kW of power. For the latest strengthen limits applicable in SECA and NECA areas there are available several promising low NOx and SOx technologies.
Technologies for reducing emission of NOx according Tier II standards are met by combustion process optimization. NOx Tier III emission standards are 80% stricter than for NOx Tier I, thus require dedicated NOx emission control technologies such as various forms of water induction into the combustion process, exhaust gas recirculation EGR, or selective catalytic reduction SCR.
Since emission of SOx is linear with sulfur level in marine fuels, majority of technologies for reducing emission of SOx include application of low sulfur fuels such are low sulfur marine distillate fuels and LNG. Application of LNG reduces both emission of SOx and NOx successfully. Abatement technologies including scrubbers are used as alternatives to low sulphur fuels.
The new ships are to be built in accordance with the latest technological developments and environmental standards.

5. REFERENCES

[1] IMO International Maritime Organization, Third IMO GHG Study 2014 – Final Report, MEPC 67/INF.3, 25 July 2014.
[2] M.I.Lamas and C.G.Rodriguez, Emissions from marine engines and NOx reduction methods, *Journal of Maritime Research, Vol IX, No. I* (2012), ISSN 1697-4040
[3] Doug Woodyard, *Pounder's Marine Diesel Engines and Gas Turbines*, Butterworth-Heinemann, ISBN 978-0-7506-8984-7, 9th Edition, 2009.
[4] IMO International Maritime Organization, www.imo.org.
[5] John B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw Hill, ISBN 0-07-100499-8, 1988.
[6] Göran Hellén, *Wärtsilä Product Development to comply with IMO Tier III (NOx)*, presentation to HELCOM, Helsinki, 26 May 2010.
[7] MAN Diesel & Turbo, *Marine Engine IMO Tier ll and Tier lll Programme 2016*, 2016.
[8] Jens Peter Hansen et al., *Reduction of SO2, NOx and Particulate Matters from Ships with Diesel Engines*, ISBN 978-87-93026-57-5, Miljøstyrelsen, Danmark.
[9] MAN Diesel & Turbo, *Emission Project Guide MAN B&W Two-stroke Marine Engines*, 2013.
[10] Guidance for shipowners and operators on the Annex VI SOx and NOx regulations, Lloyd's Register Marine, April 2015.
[11] Rolls Royce, Diesel and Gas engines for marine propulsion, 2012

INNOVATIONS IN THE DEVELOPMENT OF APPLICATIONS FOR MOBILE LEARNING

INOVACIJE U RAZVOJU APLIKACIJA ZA MOBILNO UČENJE

Ivica Botički, Tomislav Jagušt, Vedran Mornar, Nino Uzelac, Alen Delić, Manuela Kajkara i Marija Kaselj
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva
ivica.boticki@fer.hr; tomislav.jagust@fer.hr; nino.uzelac@fer.hr; alen.delic@fer.hr; manuela.kajkara@fer.hr; marija.kaselj@fer.hr

---

ABSTRACT:
This paper presents innovations in the development of applications for mobile learning. Due to the prevalence of mobile connected devices in today's world and especially in the lives of young people, its effects onto education have to be examined in a scientific way. Therefore the SCOLLAm project was launched in order to explore the benefits of such technology and the corresponding revised digital curriculum and lessons onto students' learning. This paper presents technological innovations in terms of developed applications for mobile learning as part of the project. The applications include Author, a system for designing digital lessons, In.Form, a mobile learning tablet application and a module for augmented mobile learning.

Keywords: *innovative technologies, e-learning, m-learning*

SAŽETAK:
Ovaj rad predstavlja inovaciju u razvoju aplikacija za mobilno učenje. Zbog rasprostranjenosti mobilnih uređaja danas u svijetu, posebno u životima mladih ljudi, njihov uticaj na edukaciju mora biti ispitan na znansvenom nivou. Radi toga lansiran je SCOLLAm projekt sa željom da se istraže prednosti ovakve tehnologije i odgovarajućih revidiranih digitalnih kurikuluma i lekcija na učenje studenata. Ovaj rad predstavlja tehnološku inovaciju u smislu razvoja aplikacija za mobilno učenje kao dio projekta. Aplikacija uključuje Autora, sustav za projektovanje digitalnih lekcija, In.Form, tablet aplikaciju za mobilno učenje i modul za prošireno mobilno učenje.

Ključne riječi: *inovativne tehnologije, e-učenje, m-učenje*

---

1. INTRODUCTION

The SCOLLAm project combines innovative educational technologies and modern pedagogical approaches in order to affect teaching and learning in elementary education, primarily focusing on the first four grades of compulsory education in Croatia. The methodology on how to integrate these technologies and pedagogical approaches is in detail discussed and decided upon in collaboration with the class teachers. The main pedagogies upon the project methodology is built are experiential learning [1], inquiry-based learning and collaborative learning [2].

In order to draw closer to a lifestyle of a young digital native [3], the SCOLLAm project implements modern devices, technologies and methods such as tablet computers, mobile learning, learning adaptation techniques and the concept of augmented reality. The project encourages mobility of the learners by leaning on the practices from the *mobile learning* domain which adopts mobile devices as tools for in-classroom and out-of-classroom teaching and learning [4]

encouraging both formal and informal learning. Besides the aforementioned, the project also focuses on the diversity of individual learners by applying methods of *adaptive learning* [5] in order to tailor the content or learning paths to the specific needs of an individual or a group of learners. The project also explores the potential of *augmented reality* (AR) as a direct or indirect view of the real world in which physical objects or other real-world concepts (e.g. locations) are annotated with, or overlaid with additional digital information [6]. Mobile devices represent an ideal general environment for augmented reality learning experiences (ARLEs) as they contain numerous sensors (camera, GPS, compass, microphone, etc.) applicable for AR [7].

2. DIGITAL LESSON DESIGN SYSTEM – THE AUTHOR SYSTEM

The author system is a web application for designing and reproducing interactive lessons. Each lesson is a package that may contain multimedia elements such as text, image, shapes, widgets and others. There is also an option of defining interactive rules that trigger an action based on some interaction. Some examples of user defined triggers can be object move, object touch, object drag and drop that can make some other object change position, style or size. Using these simple concepts, a variety of interactive lessons can be created which would allow for easier usability.

Author's architecture consists of a client application and a server with a database used to synchronize the lesson data. Client application used in web browser has been developed in JavaScript language and Backbone.JS, a popular library for building single-page applications in JavaScript using MVP (*Model-View-Presenter*) pattern. Author server exposes a thin REST service built in C# that controls user authentication & authorization and stores/reads data from the MS SQL database.

There are two client components that can be observed in Author. First one is an editor with a user interface directed to lesson creators. Its main elements are the slide canvas, toolbar for adding objects and properties pane to control object settings. Editor serializes the lesson data to JSON (*JavaScript Object Notation*) and saves it through the REST service. Second client component is the lesson player that can be accessed from the editor or as a standalone application from tablet or mobile devices. It loads the lesson JSON from the REST service, parses it and starts reproducing the lesson.

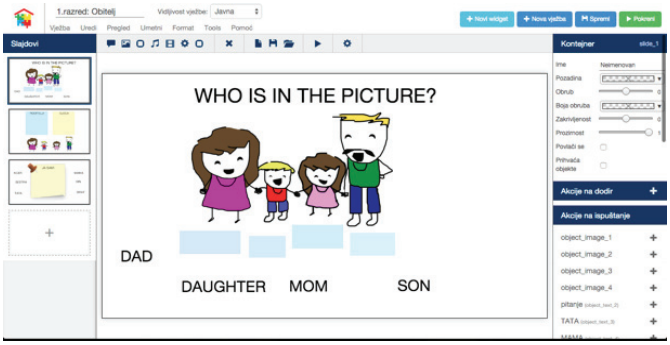
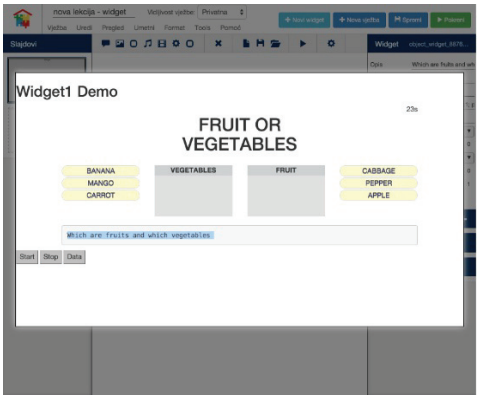


Figure 1: Author learning system - editor component

3. DESIGING INTERACTIVITY AS THE KEY TEHNOLOGICAL AFFORDANCE

To support a wide-array of interactive learning scenarios, the author learning system allows for import of simple web applications that are able to communicate with the system. A module is

developed as a stand-alone web application and is integrated in the Author system through an HTML5 iframe. The two main functionalities of a module are the implementation of independent module logic and the communication between the module and the Author system.



Figures 2: A third party interactive learning module preview through the Author application

A module consists of four main parts: index.html, main.js, author.js and params.json. The index.html is a simple html index page that is the main page of the module. It loads all the Javascript libraries and displays the module itself. Main.js is the main Javascript file. There are no rules how to write the Javascript code, it could be written plain, or using any framework. It must only implement the methods required for communication with the author system. The author.js file is a simple library that helps the author of the module to establish a communication with the system. The params.json file is the manifest file of the module, describing its input and output parameters. Using this file, the system knows how to communicate with a module.

```
{
  "inParams": [
    {"name":"description",
     "label": "Description",
     "type": "string",
     "defaultValue": "This is a default text"
    },
    {"name":"title",
     "label": "Title",
     "type": "string",
     "defaultValue": "Title"
    }
  ],
  "outParams": [
{"name":"endTime",
     "label": "End time",
     "type": "number",
     "defaultValue": 0
    }
  ]
}
```

Figure 3: Example of file "params.json"

The module communicates with the Author learning system using the Post Message protocol used for communication between a web page and an iframe. The protocol is wrapped inside a small library called *author.js* that encapsulates its functionality and is a simple interface to the end-developer. All the end-developer has to do is to implement "GetData" and "onSetData" methods. The "onSetData" method is used to set the data given by the Author system on the module. "GetData" returns the result of the model execution back to the system.

Examples of the developed modules will be shown in the following subchapters.

3.1. ITEM CLASSIFICATION MODULE

The item classification module provides functionality for classifying items into corresponding boxes as shown in Figure 4. Items that can be classified in several boxes are supported as well as those that cannot be classified at all. It is possible to define up to four classifying groups.



Figure 4: Item classification module user interface

When an item is correctly sorted it fills the box and cannot be dragged anymore. Score is calculated as the minimum number of moves divided by total number of moves. Game is considered successful only when all items are sorted in the right boxes.

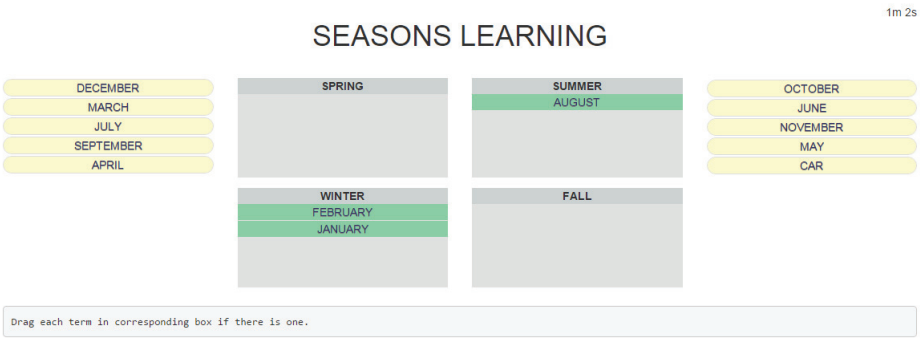


Figure 5: Item classification module when items are correctly sorted

When creating module, it is possible to define parameters regarding module configuration. For example, it can be defined whether to revert item when wrong classification is detected or should the timer be visible.

3.2. MATH OPERATIONS MODULE

The module for math operations allows the definitions of several math assignments that need to be solved in order to complete the task. Assignments are calculated one at the time so that the following assignment displays only when user provides correct answer for the current one. Figure 6 shows an example of a math assignment when no answer is yet provided.

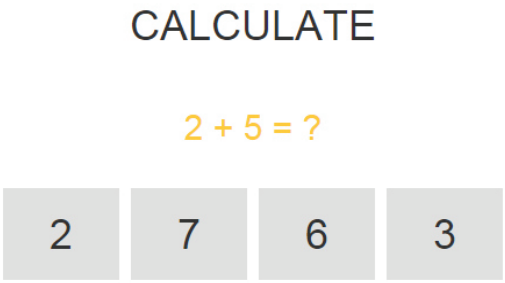


Figure 6: An unanswered math assignment

When user provides an answer, correct or incorrect, the number of user attempts rises. Minimum number of attempts corresponds to number of set assignments and if user does not make a wrong answer he will be scored with highest score value being 1. The score is calculated as the number of assignments divided by the number of attempts, therefore being between zero and one. Figure 7 shows the module display state when the correct answer is chosen on the assignment. Task is considered successfully solved only when all assignments are solved.

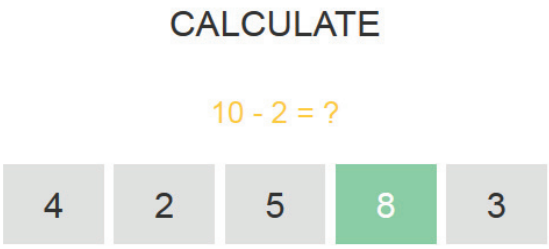


Figure 7: Assignment state when the correct answer is chosen

When providing input data, first and second operand must be defined along with the chosen operation. Also, it is necessary to define number of possible answers that will be displayed and interval from which random answers will be generated apart from correct answer. Minimum

number of possible answers is two and maximum is five. If correct answer is integer value than randomly generated answers are also integer values. On contrary, answers are generated with step 0.5 in which case it is possible to generate decimal numbers.

3.3. SORTING MODULE

Module provides functionality for sorting items in an adequate order. Figure 8 shows the initial order when the task is started. The goal is to sort the items in as little attempts as possible.

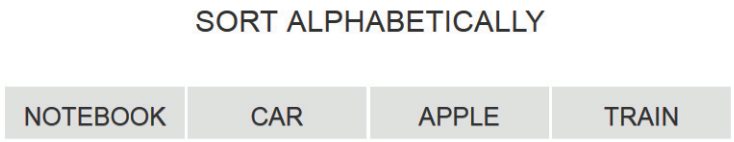


Figure 8: Initial order of items in the Sorting module

Similar to the other modules, score is calculated as minimum number of required attempts divided by the total attempts. Figure 9 shows item while being dragged. The minimum number of attempts is n – k where n is number of items and k is number of longest increasing subsequence of the initial order of items. Longest increasing subsequence refers to the longest number of items already in correct order, not necessarily in succession.

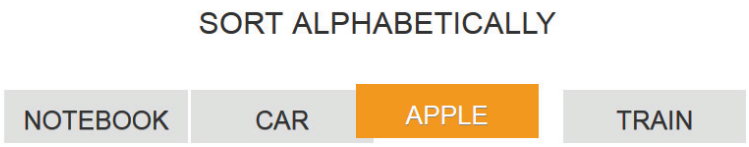


Figure 9: Dragging an item in the Sorting module

Task is considered successful only when all items are in the correct order as shown in Figure 10.

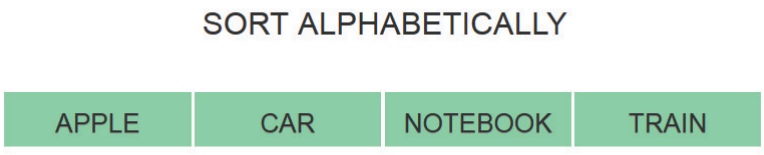


Figure 10: Final order, all items sorted in the Sorting module

For this module the minimum number of items is two and maximum is ten. When listing the input data, it is necessary to define items in the correct order so that task completeness can be detected. Then, input data is randomly shuffled.

4. AUGMENTED REALITY FOR MOBILE LEARNING

Augmented reality (AR) combines digitally created objects with a user's environment in real time. Main characteristics of the AR are the combination of real world and virtual objects and real time interaction with the user. Using AR in education via Augmented Reality Learning Experiences (ARLEs) can lead to increased pupil motivation, with changes in engagement and behavior noted for pupils having previous motivation and concentration issues [8].

In the SCOLLAm project there are three modules, each for different field of study: mathematics, science and the Croatian Language. They are created with Unity3d using Vuforia SDK. Vuforias Frame Markers were best choice as Vuforia has 512 different Frame Markers already defined. Markers are created for each individual game, given to the students in order to represent the answers. Only one is correct and that triggers an action or displays a green tick as shown in the figures 11-13. Markers are recognized only if whole marker is visible to camera, in other words, markers should be held without hiding the black frame with fingers.

The first module is called AR.addition and it is used for studying math (Figure 11). It covers students' knowledge of addition up to the number 10. After the task is displayed on top of the screen, student has to find marker with the correct number. If the answer is correct a green tick is shown.

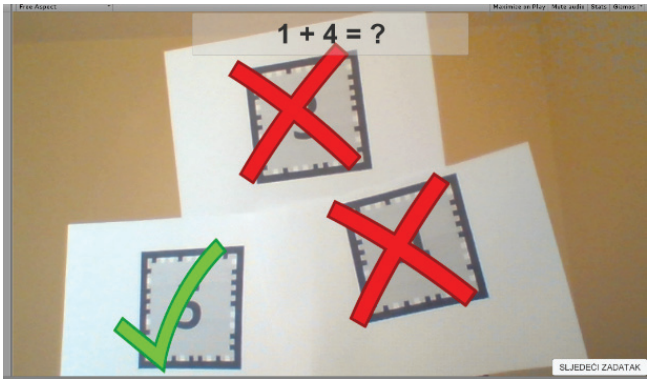


Figure 11: Augmented reality Addition submodule

The second module, AR.professions, teaches students on distinguishing professions. Professions are presented with the three pictures. There is an additional incomplete sentence describing the task of a profession. After a student answers correctly, picture of the profession is shown and the sentence is automatically with missing word.



Figure 12: Augmented reality Professions submodule

The last module is AR.shapes, whereby students can learn the voices of animals with different markers created for each animal. After a question is written on the top of the screen, a student has to recognize the correct animal amongst markers. If the answer is correct a green tick is shown on top of the marker whereas a red cross indicates a wrong answer.



Figure 13: Augmented reality Professions submodule

In each of the modules students are allowed to skip or return to tasks at any time. However, correct tasks are considered completed and are not showed again during the current usage cycle. All modules keep track of the completion time and success.

5. CONCLUSION

In this paper the current state of one of the first mobile and seamless learning implementation projects in Croatia was presented. Based on the previous experience in similar domestic and international projects, the SCOLLAm project aims to go few steps further, offering the complete mobile learning platform, digital lesson authoring tool, collaborative and augmented reality modules, adaptation and analytics.
The project is entering the second phase where the mobile learning platform and a range of additional application modules will be developed, and tested in the pilot school. In the end, the research aims to propose technologically innovative mobile learning solution, together with system

architecture, a number of digitalized lessons, experimental modules, different insights and good practices that were identified during the project.

6. REFERENCES

[1] D. A. Kolb, *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*, 1st ed. Prentice Hall, 1983.

[2] P. Dillenbourg, "What do you mean by ' collaborative learning '?," *Collab. Learn. Cogn. Comput. approaches*, vol. 1, no. 6, pp. 1–15, 1999.

[3] M. Prensky, "Digital Natives, Digital Immigrants," *Horiz.*, vol. 9, no. 5, 2001.

[4] M. Sharples, J. Taylor, and G. Vavoula, "Towards a Theory of Mobile Learning," *mLearn 2005 Conference*. Cape Town, 2005.

[5] O. Park and J. Lee, "Adaptive instructional systems," in *Handbook of Research on Educational Communications and Technology: Third Edition*, 3rd ed., Routledge, 2007, pp. 469–484.

[6] H.-K. Wu, S. W.-Y. Lee, H.-Y. Chang, and J.-C. Liang, "Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education," *Comput. Educ.*, vol. 62, no. 0, pp. 41–49, Mar. 2013.

[7] J. Cubillo, S. Martin, M. Castro, and I. Boticki, "Preparing augmented reality learning content should be easy: UNED ARLE—an authoring tool for augmented reality learning environments," *Comput. Appl. Eng. Educ.*, p. n/a–n/a, 2015.

[8] M. Dunleavy, C. Dede, and R. Mitchell, "Affordances and Limitations of Immersive Participatory Augmented Reality Simulations for Teaching and Learning," *J. Sci. Educ. Technol.*, vol. 18, no. 1, pp. 7–22, 2009.

ISTRAŽIVANJE PRITISKA STOPALA PRI KRETANJU NA STEPENICAMA U CILJU AUTOMATIZACIJE NOVE HIDRAULIČNE NATKOLJENIČNE PROTEZE

RESEARCH OF FOOT PRESSURE FOR MOVING ON STAIRS IN ORDER TO AUTOMATE NEW HYDRAULIC ABOVE-KNEE PROSTHESIS

Adisa Vučina[1], Filip Ćosić[2], Remzo Dedić[1]
[1]Sveučilište u Mostaru, Fakultet strojarstva i računarstva,
Matice hrvatske bb, adisa@sve-mo.ba
[2]EZ-Engineering, Trnska cesta 22, filip.cosic91@gmail.com

SAŽETAK:
U ovom radu je prezentirana detaljna anlaiza sile pritiska ljudskog stopala tijekom normalnog hoda po ravnoj podlozi i pri penjanju na stepenicama s ciljem dobivanja smjernica za razvoj upravljane natkoljenične proteze koja će omogućiti penjanje uz stepenice natkoljeično amputiranim osobama. Mjerenje je provedeno na tri zdrava ispitanika koji su hodali i penjali se na stepenice. Mjerili su se pritisci stopala i vertikalna sila pritiska na mjernoj ploči Zebris. Pokazano je da sila pritiska stopala pred penjanje na prvu stepenicu postaje značajno veća od sile pritiska pri normalnom hodu.

Ključne riječi: natkoljenična proteza, penjanje uz stepenice, pritisak stopala

ABSTRACT:
This paper presents a detail analysis of foot pressure and vertical foot force during the normal gait and stair climbing in order to give directions for development of self-controlled hydraulic above-knee prosthesis which will provide stair climbing to transfemoral amputee. The analysis is done on 3 healthy young subjects walking and climbing the stairs. Foot pressure and vertical forces are measured on ZEBRIS measuring plate. It is proved that vertical foot force becomes considerably greater just before hitting the first stair than during the gait on horizontal ground.

Keywords: above-knee prosthesis, stair climbing, foot pressure

---

1. UVOD

Krajem 20. stoljeća penjanje osoba s natkoljeničnom protezom uz stepenice smatralo se tehnički neizvodivim. Humanom željom i gestom na Fakultetu strojarstva i računarstva (FSR) Sveučilišta u Mostaru začeta je ideja o natkoljeničnoj protezi koja bi omogućila natkoljenično amputiranim osobama penjanje uz stepenice na što lakši i prirodniji način. Tijekom prvih istraživanja ispostavilo se da je izvođenje penjanja uz stepenice s natkoljeničnom protezom prilično kompleksan problem, te je uslijedio niz istraživanja [1-5]. Penjanje uz stepenice, koje bi svojom kinematikom i dinamikom bilo približno prirodnom, biološkom penjanju zdravih osoba, kod današnjih komercijalnih proteza uglavnom nije u potpunosti riješen problem. Zaključeno je da bi hod i penjanje uz stepenice bili što prirodniji, zglobovi koljena i gležnja moraju biti integrirani u

protezu i biti aktivno pogonjeni od strane vanjskog izvora snage koji bi nadomjestio snagu mišića biološke noge (Slika 1). Do danas je objavljen veliki broj radova koji analiziraju ljudski hod, njegovu kinematiku i dinamiku radi primjene tih saznanja na protetičke elemente [6-10]. S napretkom tehnologije, proteze je moguće i automatizirati korištenjem senzora čime su razvijene prve pametne proteze. Međutim, kontrola i upravljanje natkoljeničnom protezom radi što većeg približavanja optimalnom biološkom hodu je i dalje u fazi istraživanja [11-15]. Istraživanjima je dokazano da je moguća automatska segmentacija ljudskog hoda analizom pritiska stopala čije se vrijednosti dobivaju preko uloška za cipelu u kojem su senzori za mjerenje pritiska [16].
Uporedo s mehanizacijom hidraulične natkoljenične proteze na FSR-u, radi se i na razvoju sustava prepoznavanja namjere korisnika proteze u realnom vremenu za pogonjenu natkoljeničnu protezu u koljenu i gležnju. Sposobnost ovog sustava trebala bi biti da u realnom vremenu prepozna namjeru korisnika za hodanjem te penjanjem na stepenicama. Pretpostavka je da se namjera korisnika može, između ostalog, u realnom vremenu zaključiti bazirano na šablonu prepoznavanja izmjerenih sila pritiska stopala zdrave noge amputirane osobe. Na osnovu provedenog biomehaničkog eksperimenata ovo se pokazalo realno izvedivim [17].



Slika 1: Fizički i analitički prototip hidraulične natkoljenične proteze s aktivnim hidrauličnim koljenom i gležnjom te stopalom s pasivnim savijanjem u prednjem dijelu

2. METODA MJERENJA

U cilju razvoja senzorike za novu hidrauličnu natkoljeničnu protezu u provedeno je eksperimentalno ispitivanje sila pritiska stopala pri hodu i penjanju na stepenicama. Cilj ovog eksperimenta je analizirati promjene sila pritiska stopala koje se dešavaju pri normalnom hodu, pripremi za penjanje na stepenice i pri penjanju na stepenicama.

2.1. Ispitanici i postupak mjerenja

Izabrana su tri zdrava ispitanika (starosi 24 godine) širokog spektra tjelesne mase (masa 76-95kg, prosjekk 84,67±10,30kg, visine 179-191cm, prosjek 185,33±5,67cm), sa sličnim veličinama stopala (42-46 EU veličine). Ispitanici su pri mjerenju bili bosi. Glavne karakteristike ispitanika su dane u Tabeli 1. Od ispitanika se tražilo da hodaju po ravnoj liniji normalnom brzinom koju je svaki ispitanik sam izabrao te da se istom brzinom penju na stepenice. Za ovo istraživanje izrađeno

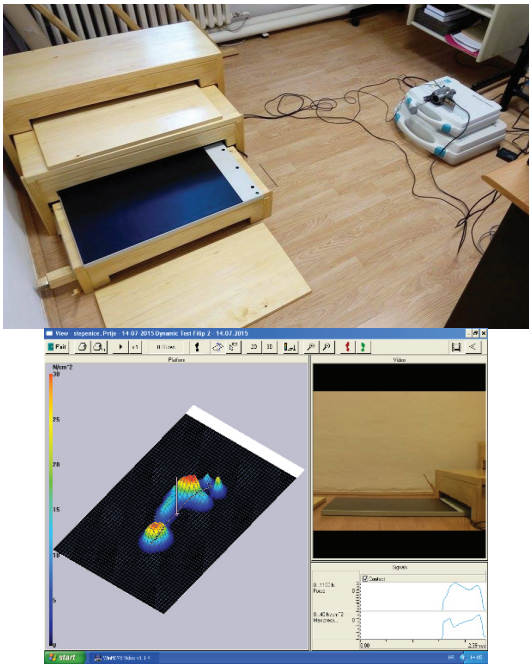
je stepenište sa tri stepenice nagiba 17/35 (visina/širina stepenice) i dužine 85cm. Izvršeno je mjerenje pritiska lijevog stopala za 4 različita slučaja: pri hodu po ravnoj podlozi, prije nailaska na prvu stepenicu, na prvoj stepenici i na drugoj stepenici. Za svaki slučaj izvršena su 3 mjerenja. Pri hodu po ravnoj podlozi ispitaniku je omogućeno da korača 6-7 koraka prije nailaska na mjernu ploču kako bi postigao svoj ritam hoda. Prije i poslije ploče postavljena je podloga čija je visina jednaka visini mjerne ploče kako bi se simulirao hod po ravnoj podlozi. U slučaju panjanja na stepenice, ispitanicima je omogućeno da prije nailaska na stepenice hodaju 7-8 koraka kako bi postigli željeni ritam kretanja.

Tabela 1: Glavne karakteristike ispitanika

Ispitanik	Starost (god)	Masa (kg)	Visina (cm)	Broj cipele (EU)
1	24	76	179	42
2	24	83	186	44
3	24	95	191	46

2.2. Mjerna oprema

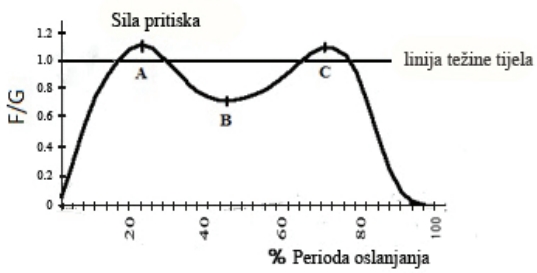
Mjernu opremu je činila mjerna ploča ZEBRIS, video kamera Panasonic i pripadajuće računalo. Na računalu se koristio Zebrisov softver. Na Slici 2 prikazana je postavka eksperimenta i sučelje softvera Zebris [17].



Slika 2: Postavka eksperimenta (lijevo) i sučelje softvera Zebris (desno)

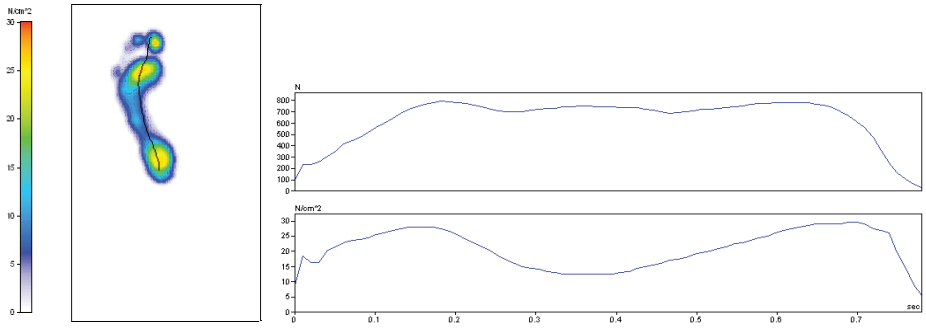
3. ANALIZA REZULTATA

Mjerenje se provodilo za period oslanjanja koji je trajao od trenutka kada ispitanik stopalom dodirne ploču pa sve do trenutka odizanja stopala s ploče (Slika 3). Korištenjem Zebris softvera, sinkronizirana je kamera sa pločom tako da se dobije sinkronizirana video snimka i grafikon sile pritiska. Na Slici 4 je prikazana karakteristična slika pritiska stopala i odgovarajući dijagrami sile i pritiska stopala.



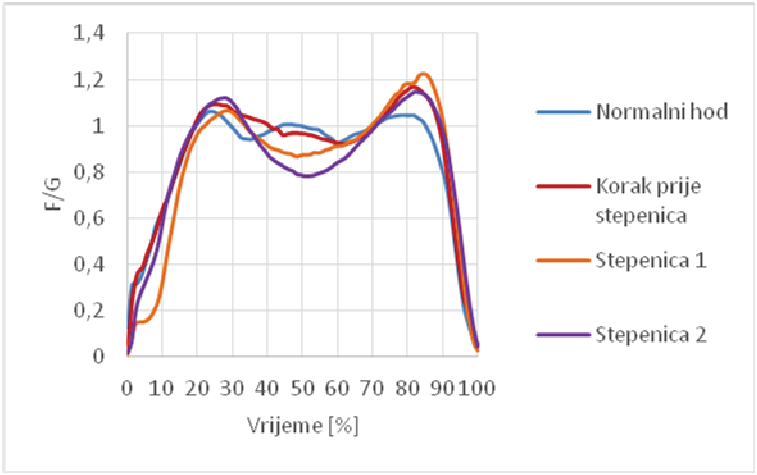
Slika 3: Dijagram sile pritiska stopala za period oslanjanja

Nakon što su izvedena mjerenja i dobiveni podaci za svaki od navedenih slučaja, uslijedila je analiza dobivenih podataka. Tako je za svakog ispitanika izrađen normalizirani dijagram sile pritiska stopala za sva četiri slučaja mjerenja (primjer dan na Slici 5). Sile pritiska su se dijelile s težinom ispitanika, a vrijeme trajanja perioda oslanjanja (od trenutka dodira do trenutka odvajanja stopala) je predstavljeno kao 100% trajanja perioda.



Slika 4: Snimka pritiska stopala (lijevo) i dijagrami sile i pritiska stopala (desno) ispitanika 1 pri normalnom hodu

U Tabeli 2 dani su podaci o prosječnim vrijednostima karakterističnih sila pritiska stopala koje odgovaraju iznosima u točkama A, B i C na Slici 2 i odgovarajuća vremena koja su predstavljena kao postotci ukupnog trajanja perioda oslanjanja. Sile pritiska su podijeljene s težinom ispitanika radi bolje daljnje usporedbe rezultata mjerenja.

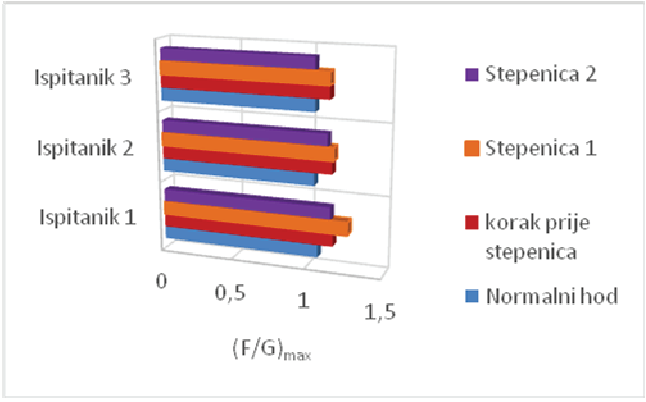


Slika 5: Normalizirani dijagram sile pritiska stopala za četiri slučaja mjerenja (Ispitanik 1)

Tabela 2: Karakteristične sile pritiska i odgovarajuća vremena

Slučaj	$(F/G)_A$	t_A (%)	$(F/G)_B$	t_B (%)	$(F/G)_C$	t_C (%)
Hod	1,06	23,4	0,92	59,7	1,05	78
Prije stepenice	1,09	25,7	0,91	61,4	1,66	81,4
Stepenica 1	1,06	27,8	0,87	48	1,22	84,4
Stepenica 2	1,12	28,1	0,78	50,6	1,14	82

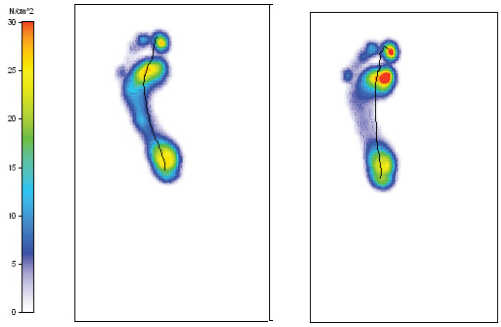
Na Slici 6 je predstavljena promjena sile pritiska za različite slučajeve mjerenja u odnosu na normalan hod po ravnoj podlozi.



Slika 6: Dijagram prosječnih maksimalnih sila pritiska svih ispitanika za četiri slučaja mjerenja

Prvi maksimum sile pritiska (točka A na Slici 2) koji se dešava u trenutku 25,7% perioda oslanjanja za slučaj prije nailaska na stepenicu nije značajno veći od iste sile u slučaju hoda po

ravnoj podlozi koja se dešava u trenutku 23,4% peioda oslanjanja (za oko 0,03 F/G). U toj prvoj četvrtini perioda oslanjanja ne javljaju se velike razlike na ovom uzorku ispitanika. Značajno je napomenuti da je drugi maksimum sile pritiska (točka C na Slici 2) koji se dešava u trenutku 81,4% perioda oslanjanja za slučaj prije nailaska na stepenicu, znatno veći od iste sile u slučaju hoda po ravnoj podlozi koja se dešava u trenutku 23,4% peioda oslanjanja (za 0,61 F/G). Jednako tako je važno istaknuti da se maksimalni pritisak prije nailaska na prvu stepenicu javlja uvijek u prednjem dijelu stopala (Slika 7). Ovo upućuje na to da bi mjerenjem sile pritiska u prednjem dijelu stopala (na primjer, izradom uložaka za cipele sa senzorima za mjerenje pritiska) bilo moguće na vrijeme detektirati namjeru osobe da se penje uz stepenice, što bi moglo poslužiti u razvoju upravljanja hidrauličnom natkoljeničnom protezom na FSR, kao i drugih proteza i ortotičkih pomagala.



Slika 7: Pritisak stopala pri hodu (lijevo) i prije nailaska na stepenicu (desno)

4. ZAKLJUČAK

Nakon analize rezultata ovog eksperimentalnog istraživanja može se zaključiti kako bi za razvijanje senzorike za novu hidrauličnu natkoljeničnu protezu, između ostalog, bilo korisno postaviti i senzore ispod stopala zdrave noge, npr. u obliku uloška u cipeli s ciljem prepoznavanja namjere penjanja na stepenice. Mjerenjem sile pritiska i samog pritiska stopala zdrave noge pri kretanju osobe s protezom, bilo bi moguće prepoznavati karakteristične vrste kretanja (hod, penjanje) te automatski upravljati protezom tj. omogućiti što lakšu tranziciju sa hoda na penjanje stepenicama i upravljanje samim penjanjem. U cilju dobivanja pouzdanijih rezultata, za buduća istraživanja prijedlog je eksperiment s većim brojem ispitanika na stepeništu s većim brojem stepenica, uz dodatnu biomehaničku analizu gibanja ljudskog tijela.

5. LITERATURA

[1] M. Huđec, *Prilog analizi hidrauličkih komponenti za natkoljenične proteze*, Magistarski rad, Univerzitet Džemal Bijedić, Mostar, 2001.

[2] A. Vučina, *Prilog istraživanju kinematike i sila u natkoljeničnoj protezi pri gibanju na stepenicama,* Doktorska disertacija, Sveučilište u Mostaru, 2002.

[3] A. Žiga, *Dizajn stopala natkoljenične proteze sa ugrađenim hidrauličkim pokretačima u članku i koljenu*, Magistarski rad, Univerzitet u Zenici, 2006.

[4] M. Rupar, R. Dedić, Principle of above-the-knee prosthesis with two hydraulic cylinders. *Proceedings of The 10th International Conference on Advanced Engineering Computer Aided Design and Manufacturing, CADAM 2012*: Vis, Croatia, Revelin, Ičići,. p. 103-106.

[5] M. Rupar, R. Dedić, Dizajn protetskog stopala. *Zbornik radova Fakulteta strojarstva i računarstva Sveučilišta u Mostaru,* Sveučilište u Mostaru, p. 93-98. 2012

[6] R. Riener, M. Rabuffetti, C. Frigo, Joint powers in stair climbing at different slopes. *[Engineering in Medicine and Biology, 1999. 21st Annual Conference and the 1999 Annual Fall Meetring of the Biomedical Engineering Society]* 1094-687X, 530 vol.1.

[7] P.A. Costigan, K.J. Deluzio, U.P. Wyss, Knee and hip kinetics during normal stair climbing. *Gait & Posture.* ***16****(1*): p. 31-37. 2002.

[8] A.H. Hansen, D.S. Childress, S.C. Miff, S.A. Gard, K.P. Mesplay, The human ankle during walking: implications for design of biomimetic ankle prostheses. *Journal of Biomechanics.* ***37****(10*): p. 1467-1474. 2004

[9] T.S Bae, K. Choi, D. Hong, M. Mun, Dynamic analysis of above-knee amputee gait. *Clinical Biomechanics.* ***22****(5):* p. 557-566. 2007

[10] R. Riemer, A.Shapiro, Biomechanical energy harvesting from human motion: theory, state of the art, design guidelines, and future directions. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation.* ***8****(1):* p. 1-13. 2011.

[11] H.A. Caltenco-Arciniega,.A. Melendez-Calderon, D.B. Popovic, J.E. Chong-Quero, Reliability of Discrete-Event Control at Coordination Level for a Powered Transfemoral Prosthesis. *Electronics, Communications and Computers*,. CONIELECOMP 2006. 16th International Conference , 21-21. 2006.

[12] G.G Scandaroli, G. Araujo Borges, A.F. da Rocha, F.A. de Oliveira Nascimento, Adaptive Knee Joint Control for an Active Amputee Prosthesis. Robotic Symposium, LARS '08. IEEE Latin American, 164-169. 2008.

[13] G. Yanli, X. Xiaoyun, C. Lingling, Y. Peng, Design and analysis of active transfemoral prosthesis. IECON 2010 - 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, 1553-572X, 1495-1499. 2010

[14] G. Yanli, Y. Peng, X. Xiaoyun, C. Lingling, Design and simulation of Active Transfemoral Prosthesis. Control and Decision Conference (CCDC), Chinese, 3724-3728. 2012

[15] H.L. Xie, Z. Liang, F. Li, L.-X Guo, The knee joint design and control of above-knee intelligent bionic leg based on magneto-rheological damper. *International Journal of Automation and Computing*. ***7****(3):* p. 277-282. 2010.

[16] S. M. M. De Rossi, S. Crea, M. Donati, P. Reberšek, D. Novak, N. Vitiello, T. Lenzi, J. Podobnik, M. Munih, M. C. Carrozza: Gait Segmentation Using Bipedal Foot Pressure Patterns, 4th IEEE RAS/EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics, Roma Italy, 24-27.6.2012.

[17] F.Ćosić, Istraživanje pritiska stopala pri kretanju na stepenicama u cilju automatizacije nove hidraulične natkoljenične proteze. Diplomski rad. FSR. Sveučilište u Mostaru, mentor: A.Vučina.2015

ADVANCED QUALITY CONTROL OF INJECTION MOULDED PARTS

NAPREDNA KONTROLA KVALITETA INJEKCIJSKI PREŠANIH DIJELOVA

Janez Gotlih[1], Miran Brezočnik, Bojan Ačko, Andrej Cupar[2]
[1, 2] University of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering, Smetanova ulica 17, Maribor janez.gotlih@um.si, andrej.cupar@um.si

---

ABSTRACT:
In the presented paper an optical 3D measurement technique for quality control of injection moulded plastic parts is proposed. Injection moulded parts are usually very complex in shape, which makes a tactile coordinate measurement machine unsuitable for inspecting dimensions. Quality control of nonstandard 3D parts, is mainly performed by hand and by visual control, which is a time consuming and unprecise process. In case of series production, only a fracture of the complete series can be controlled by visual control. With the emergence of more reliable and cheaper measurement devices, optical control is becoming increasingly accessible, while its possible implementations have not been fully studied yet. An increase in product quality and error detection in early production stages are only a few benefits of implementation of an advanced optical control systems. In this manner we have investigated how an affordable optical 3D measuring system performs compared to traditional visual control, determined uncertainty of the system and analysed its potentials for a production process integration.

Keywords: *injection moulding, 3D-measurement, optical control system, quality control, uncertainty*

SAŽETAK:
U ovom radu predložena je optička 3D tehnika mjerenja za kontrolu kvaliteta injekcijski prešanih plastičnih dijelova. Injekcijski prešani dijelovi su obično vrlo složena oblika, što čini taktilnu koordinatnu mjernu mašinu neprikladnom za pregled dimenzija. Kontrola kvalitete nestandardnih 3D dijelova uglavnom se obavlja ručno i vizuelnom kontrolom, što je dugotrajan i neprecizan proces. U slučaju serijske proizvodnje, samo dio kompletne serije može biti kontroliran vizuelnom kontrolom. Pojavom pouzdanijih i jeftinijih mjernih uređaja, optička kontrola postaje sve dostupnija, a njene moguće implementacije nisu još u potpunosti istražene. Povećanje kvalitete proizvoda i otkrivanje pogreške u ranim fazama proizvodnje samo su neke od prednosti implementacije naprednih optičkih sistema kontrole. S tim u vezi smo istraživali kako pristupačan optički 3D mjerni sistem funkcionira u usporedbi s tradicionalnom vizuelnom kontrolom, odredili nesigurnost sistema i analizirali njegove potencijale za integraciju procesa proizvodnje.

Ključne riječi: *injekcijsko prešanje, 3D-mjerenje, sistem optičke kontole, kontrola kvaliteta, nesigurnost*

---

1 INTRODUCTION

Due to easy access to computer aided design and popularization of additive technologies, parts are becoming increasingly complex and cheaper to produce. Because part quality should remain the

first priority, an affordable, yet reliable quality control system is required. Parts produced with additive technology are usually complex in shape, which makes a tactile coordinate measurement machine control unsuitable, while automatic industrial optical measuring systems are complicated to set up and require expansive equipment. Consequently, visual and manual control is still a very common quality control technique in industry. 3D measurement supported quality control systems are ranging from implementations at micro part scale [1] and micro surface structure analysis [2], to macro scale and inverse part control approach, scanning the mould instead of the produced part [3]. Based on DOE a transition from macro to micro scale for measuring standards for shrinkage investigation was performed and most influential process parameters were determined [4]. To analyse injection moulding defects a new mathematical model was developed and validated with deflectometric measuring [5]. Typical defects were investigated also by means of conformal cooling [6]. For control process automatization a programmable turning table for scanning was introduced [7] and a quality control system with piezo electrical sensors was developed [8]. A robot supported system was proposed for solving problems with fixing and scanning of complex parts [9], where velocity anisotropy [10] and computer vision for automatic shape analysis could be included [11]. A multi sensor system for scan target detection and process automatization guided by artificial intelligence was developed [12] and a similar system was applied to increase reliability of object reconstruction [13]. Accuracy comparison between a high-end optical scanning device and a coordinate measuring machine was made and verified on a sphere [14]. The goal of this study is to determine how a low cost 3D measuring device performs at defect detection of injection moulded parts compared to visual and manual control.

2 METHODS

Studied objects are injection moulded keychains, produced with MCP 100 KSA, which is a pneumatic, semi-automatic injection moulding machine. Correct process parameters were obtained by a flow simulation analysis and adjusted with the trial-error method. After production, visual control of the keychains revealed some typical defects like short shoot, air traps, sink marks, warpage, burned areas, colour streaks and other. The detected defects are mainly the result of wrong process parameters and a side effect of the trial-error process.
As an improvement, we decided to repeat the visual control process with the help of David SLS-2 optical measuring system. David SLS-2 is a low budget optical scanning device that utilizes the structured light projection method and can detect 1.200.000 points in one scanning cycle with a resolution of 0.1 % of the scanned object size or minimal 0.06 mm and a scan frequency of a few seconds. Scanned object size limits are 60 to 500 mm. The system is supported by David software, which allows post processing of the scanned images and a reconstruction of a digital 3D model of the scanned object. For quality control evaluation the freeware version of GOM inspect software was used, which enables geometry comparison and analysis.
For system validation we compared two damaged keychains with a reference keychain geometry. As reference geometry an undamaged keychain was selected and will be named Reference keychain. A detailed visual control to ensure no shape or surface damage, a calliper control to ensure dimensional tolerances and a weight control to ensure no mass deviation from other reference part candidates was performed. Controlled keychains were selected only based on visual control.

2.1 Selection of the Reference keychain

Based on a detailed visual control a draft of candidates for Reference keychain was selected. Then calliper measurement of outer dimensions and a comparison of candidates to CAD data was performed. CAD model dimensions limit length of the produced keychain to 50 mm, height to 35

mm and outer widths to 4 mm and 5 mm. Comparison of measurement results between CAD model and the two best candidates is presented in table 1.

Table 1: Comparison between CAD model and best reference model candidates

	CAD model	**Candidate 1**	**Rel. dev. [%]**	**Candidate 2**	**Rel. dev. [%]**
Length in mm	50	49.92	0.16	49.92	0.16
Height in mm	35	34.97	0.09	34.95	0.09
Max. thickness in mm	5	4.93	1.4	4.91	1.8
Min. thickness in mm	4	3.95	1.25	3.96	1

In each control point an absolute deviation close to the resolution limits of the scanning device was measured. For part thickness high relative deviation is observed, but absolute deviation values are in the required resolution range. Deviations calculated in table 1 are caused by part shrinkage, due to material cooling and cannot be avoided. Using a produced part for comparison reference will result in deviation maps being independent of shrinkage, which is the main motivation for not choosing CAD geometry as the comparison reference. To validate that our system will not be influenced by shrinkage absolute and relative deviations between reference keychain candidates 1 and 2 is calculated in table 2.

Table 2: Comparison between two best keychain candidates

	Candidate 1	**Candidate 2**	**Abs. dev. [mm]**	**Rel. dev. [%]**
Length in mm	49.92	49.92	0.00	0.00
Height in mm	34.97	34.95	0.02	0.06
Max. thickness in mm	4.93	4.91	0.02	0.41
Min. thickness in mm	3.95	3.96	0.01	0.25

Absolute deviations between the measured dimensions of the two candidate keychains are smaller than the resolution of the optical system and also relative deviations are close to the system resolution limits. As visual and weight control criteria for a keychain had to be previously fulfilled, a candidates deviation from reference geometry may only be the result of the measuring system uncertainty. If all three criteria are met the choice of a Reference keychain can be justified.

2.2 Selection of the Controlled keychains

Two keychains with typical injection moulding damage, determined exclusively by visual control were selected as control targets. The selected keychains will be named Controlled keychain 1 and Controlled keychain 2. On Controlled keychain 1 damaged surface and sink marks were detected as shown in figure 1a. Fracture and short shot defects were detected on Controlled keychain 2 as shown in figure 1b.

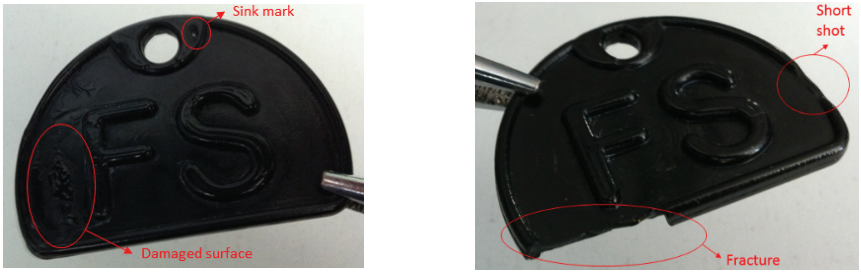


Figure 1: Defects on Controlled keychain 1 (a) and Controlled keychain 2 (b)

3 OPTICAL MEASUREMENTS

For optimal results it is necessary to meet required environment conditions and to calibrate the optical scanning device. Dark coloured parts are problematic, as the system cannot distinct between the scanned object and the mandatory dark background. To avoid this problem we used white powder spray with granulation smaller than scanner resolution to cover all keychain surfaces. This way we assured required brightness of all keychain surfaces and avoided negative effects on the measurement results. To position the keychain into the measurement field we used a fixture. The fixture always covered a part of the keychain, consequently every keychain had to be scanned twice, each time with a different fixing location. The digitalized models of all three scanned keychains are presented in figure 2.

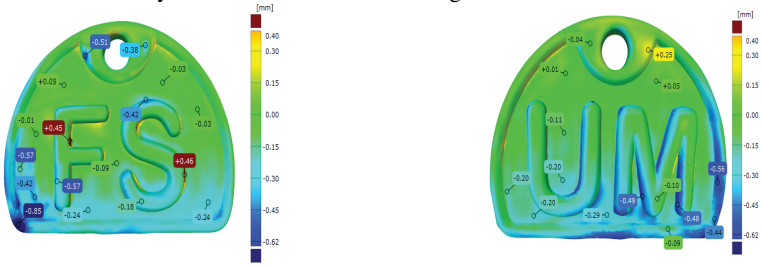


Figure 2: Digitalized models of Reference keychain (a), Controlled keychain 1 (b) and Controlled keychain 2 (c)

Figure 2a shows the digital model of the Reference keychain, which will serve as the comparison target. On the digital model of Controlled keychain 1 in figure 2b sink mark and damaged surface defects are visible and pointed out. On the digital model of Controlled keychain 2 in figure 2c fracture and short shot defects on are visible and pointed out. All of the pointed out defects were previously already discovered on original parts by visual control. Based on this analysis we can conclude that our scanning system is able to reproduce part geometry with a sufficient accuracy, so that no important information is lost in the process. In this manner a more detailed analysis makes sense.

4 RESULTS

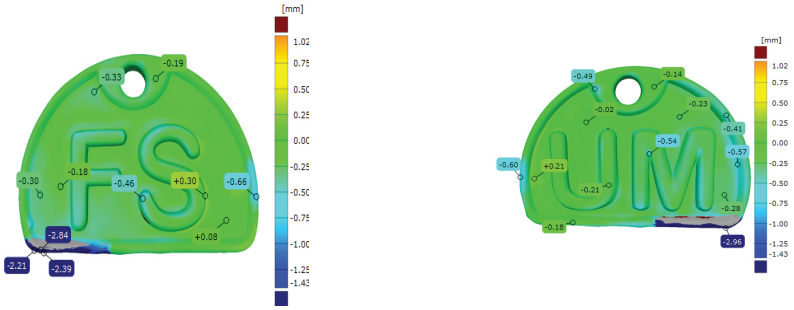
With the help of GOM inspect software digital models of both Controlled keychains were compared to the digital model of the Reference keychain. In figures 3 and 4 surface deviations on a coloured map and absolute deviation values in selected points are presented. Cold colours represent less material of a Controlled keychain in an area and warm colours represent more material in an area relative to the Reference keychain.
Figure 3 reveals that defects detected by visual control are not the only production errors of the Controlled keychain 1. In 8a two sink marks can be seen on the ear of the keychain, whereby the one that was not detected by visual control has an even higher absolute deviation.



(a) (b)

Figure 3: Comparison of digital models of Reference keychain and Controlled keychain 1: side FS (a) and side UM (b)

Another defect that was not detected by visual control is seen on the keychain in left bottom end in 8a or in right bottom end in 8b. This defect has the highest geometrical deviation of Controlled keychain 1 and is located close to the damaged surface area.Damaged surface defect can be correctly seen in the area where it was first identified by visual control. In a second visual investigation of the original Controlled keychain 1 this two newly discovered defects were also detected.A problem that could not be detected by a second visual control is thinner bottom side of the Controlled keychain 1, seen in figure 3. Additional material in the comparison images is the result of lower scanner and postprocessor accuracy and is not a concern.
For Controlled keychain 2 the same comparison method was used. Results are presented in figure 4.



(a) (b)

Figure 4: Comparison of digital models of Reference keychain and Controlled keychain 2: side FS (a) and side UM (b)

Both defects, already detected by visual control are also detected with the proposed method. Because of the bad condition of the Controlled keychain 2, a more precise analysis is not required.

As a last quality control action, measuring uncertainty is calculated for both cases. Standard deviation of all absolute measured values for the Controlled keychain 1 is calculated according to equation 1.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.0863 \text{ mm} \quad (1)$$

Standard uncertainty is equal to standard deviation.

$$s = u = 0.0863 \text{ mm} \quad (2)$$

Expanded uncertainty with factor $k = 2$ is calculated according to equation 3.

$$U = k \cdot u = 2 \cdot 0.0863 \text{ mm} = 0.1725 \text{ mm} \quad (3)$$

The same method is used for the Controlled keychain 2. According to equation 1 and 2 we can calculate standard deviation and standard uncertainty.

$$s = u = 0.8398 \text{ mm} \quad (4)$$

Expanded uncertainty with factor $k = 2$ is calculated according to equation 3.

$$U = 1.6795 \text{ mm} \quad (5)$$

5 DISCUSION

We have set up an experiment to evaluate the applicability of a low cost optical measuring system in quality control of injection moulded parts. The proposed system would be best suited for implementation in a fully automated production line. Therefore we have isolated some problems that prevent automatization of the system without including additional steps. If dark parts are scanned and spray is used to ensure the required brightness, a cleaning step may be required after scanning. Fixing the keychain also requires special attention. As the fixture device covers a part of the object a second fixture position and a second scan run are required for a complete part digitalization. The last problem to mention is connected with quality of the measuring system. At normal angle some areas were scanned incompletely, which was exposed as late as in the comparison phase. For competition of the digital model, the whole process needs to be repeated or a software based correction must be performed. Neither option is preferred as the first approach requires a lot of time to execute and the second approach may cover defects in the edited area. Despite all mentioned problems the proposed method proved useful as it uncovered some defects that were not recognized by visual control. Similar control systems with multiple cameras based on triangulation methodology are already used in designated control cells in the injection moulding industry, yet they are expansive and hence not accessible for many companies.

6 REFERENCES

[1] S. Gasparin, G. Tosello, H. Hansen and A. Islam, "Quality control and process capability assessment for injection-moulded micro mechanical parts," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* vol. 66, pp. 1295-1303, 2013.

[2] T. Tábi, A. Suplicz, F. Szabó, N. K. Kovács, B. Zink, H. Hargitai*, et al.*, "The analysis of injection molding defects caused by gate vestiges," *Express Polymer Letters,* vol. 9, pp. 394-400, 2015.

[3] A. Speck, B. Zelzer, M. Speich, R. Börret, A. Langenbucher and T. Eppig, "Deflectometric analysis of high volume injection molds for production of occupational eye wear," *Zeitschrift Für Medizinische Physik,* vol. 23, pp. 314-323, 2013.

[4] D. Annicchiarico, U. M. Attia and J. R. Alcock, "Test method: A methodology for shrinkage measurement in micro-injection moulding," *Polymer Testing,* vol. 32, pp. 769-777, 2013.

[5] J. Macher, D. P. Gruber, T. Altenbuchner, G. A. Pacher, G. R. Berger and W. Friesenbichler, "Test method: A novel sink mark model for high gloss injection molded

parts – Correlation of deflectometric and topographic measurements," *Polymer Testing,* vol. 39, pp. 12-19, 2014.

[6] F. H. Hsu, K. Wang, C. T. Huang and R. Y. Chang, "Investigation on conformal cooling system design in injection molding," *Advances in Production Engineering & Management,* vol. 8, pp. 107-115, 2013.

[7] L. M. Galantucci, M. Pesce and F. Lavecchia, "A powerful scanning methodology for 3D measurements of small parts with complex surfaces and sub millimeter-sized features, based on close range photogrammetry," *Precision Engineering,* vol. 43, pp. 211-219, 2016.

[8] G. Gordon, D. O. Kazmer, X. Tang, Z. Fan and R. X. Gao, "Quality control using a multivariate injection molding sensor," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* vol. 78, pp. 1381-1391, 2015.

[9] F. J. Brosed, J. J. Aguilar, D. Guillomía and J. Santolaria, "3D Geometrical Inspection of Complex Geometry Parts Using a Novel Laser Triangulation Sensor and a Robot," *Sensors (14248220),* vol. 11, pp. 90-110, 2011.

[10] K. Gotlih, D. Kovac, T. Vuherer, S. Brezovnik, M. Brezocnik and A. Zver, "Velocity anisotropy of an industrial robot," *Robotics and Computer Integrated Manufacturing,* vol. 27, pp. 205-211, 2011.

[11] S. Klancnik, M. Ficko, J. Balic and I. Pahole, "Computer Vision-Based Approach to End Mill Tool Monitoring " *International Journal of Simulation Modelling,* vol. 14, pp. 571-584, 2015.

[12] A. Reiterer, M. Lehmann, M. Miljanovic, H. Ali, G. Paar, E. Uwe*, et al.*, "A 3D optical deformation measurement system supported by knowledge-based and learning techniques," *Journal of Applied Geodesy,* vol. 3, pp. 1-13, 2009.

[13] S. Barone, A. Paoli and A. V. Razionale, "3D Reconstruction and Restoration Monitoring of Sculptural Artworks by a Multi-Sensor Framework," *Sensors (14248220),* vol. 12, pp. 16785-16801, 2012.

[14] T. Brajlih, T. Tasic, I. Drstvensek, B. Valentan, M. Hadzistevic, V. Pogacar*, et al.*, "Possibilities of Using Three-Dimensional Optical Scanning in Complex Geometrical Inspection," *Strojniski Vestnik / Journal of Mechanical Engineering,* vol. 57, pp. 826-833, 2011.

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF NANOTECHNOLOGY

RAZVOJ I PRIMJENA NANOTEHNOLOGIJE

Isak Karabegović[1] – Dušan Mićević[2]

[1]University u of Bihać, Technical fakulty of Bihać,
dr. Irfana Ljubijankića bb.,
isak1910@hotmail.com
[2]University of Belgrad,Faculty of Civil Engineering,Serbia
Bulevar kralja Aleksandra 73,11000 Belgrad

ABSTRACT:
This paper describes the historical development of nanotechnology, with relevant discoveries that were milestones in the development of nanotechnology. The analysis of publications and patents in nanotechnology from the period of 2000-2013 has been conducted. The investment in nanotechnology in the world and the USA for the period from 2000 to 2020 has been presented, as well as the assessment of the market of nanomaterials, electronics, pharmaceutical industry, chemical industry, and aviation industry in the USA for the period 2000-2015. The analysis of nanotechnology application in all areas has been conducted, with special emphasis on nanotechnology applications in agriculture, food production and medicine.

Keywords: *nano, nanotechnology, application, agriculture, investment, medicine.*

SAŽETAK:
U radu je opisan istorijski razvoj nanotehnologije, sa navedenim bitnim otkrićima koji su bili prekretnica u razvoji nanotehnologije.Izvršena je analiza objavljenih publikacija i patenata iz nanotehnologije u periodu 2000.-2013.godina.Prikazano je investiranje u nanotehnologiju u svijetu i USA za period 2000.-2020.godina, kao i procjena tržišta za period 2000.-2015.godine u USA za nanomaterijale,elektroniku, farmaceutsku industriju, hemisku industriju, avio industriju.Izvršena je analiza primjene nanotehnologije u svim područjima, sa posebnim osvrtom aplikacije nanotehnologije u poljoprivredi, proizvodnji hrane i medicini.

Ključne riječi: *nano,nanotehnologija,aplikacija,poljoprivreda, investiranje, medicina*

---

1. INTRODUCTION

As it is known, the evolution of understanding the structure of matter lasts from about 400 BC, and thus it became clear that we ourselves and everything around us is built from only 92 different atoms. Even nowadays, people are developing their own tools and supplies for life using a "harsh" treatment of different raw materials: cutting, drilling, polishing, welding, turning, by creating smaller items from bigger ones, etc. We wonder why so? In the end, if everything is ultimately composed of atoms and molecules, is it possible to simply take the appropriate atoms and molecules and compose what we need? The answer to this question was given by nanotechnology, which refers to everything that happens at the nanoscale as shown in Figure 1, from the general

minimization of macro sizes to smaller ones, i. e. the creation of gadgets and devices an atom by atom or a molecule by molecule.

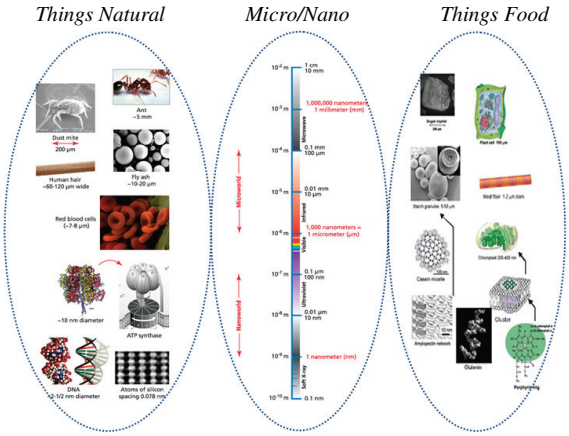


Figure 1. A nanoscale with micro-nano values

New and different properties and functions have been noticed on the critical scale whose length is below 100 nanometers. Research and development of nanotechnology [1,2,3,4,5,6,7,8] involves the controlled manipulation of nanoscopic structures and their integration into larger materials components, systems and architectures (NSET, National Science, Engineering and Technology, a subcommittee of the National Science and Technology Council, February 2000).The aim is to create any desired structure in accordance with the laws of physics and chemistry by placing each atom at a suitable place, and that everything is economical at the same time. The creation of the nanodevice in a research phase is still far away, but there are many indications that such devices, invisible to the human eye, are possible.

2. THE DEVELOPMENT OF NANOTECHNOLOGY

The development of nanotechnology begins with the physicist Richard Feynman. In his book "There's Plenty of Room at the Bottom" from December 29, 1959, Feynman analyzes the possibility of manipulation of single atoms and molecules as a powerful form of synthetic chemistry than those used at that point. The concept of nanotechnology is encountered here for the first time. His presentation remained unnoticed until 1990, when it was released as a good ground for nanotechnology. Many researchers are working in nanotechnology; thus, Professor Nario Taniguchi defines nanotechnology as "*processing, separation, consolidation and deformation of materials one by one atom or molecule*." Professor Eric Drexler published significant scientific papers which promote nano phenomena and nanodevices, and the result of that work is a published book "*Engines of Creation: the Coming Era of Nanotechnology*," which is considered to be the first book in nanotechnology. The investment in nanotechnology causes its rapid development. The progress in nanoscience was made in 1981, when Professor Gerd Binnig, Nobel Prize winner from Munich, discovered a scanning tunneling microscope [8]. A scanning tunneling microscope * STM * is shown in Figure

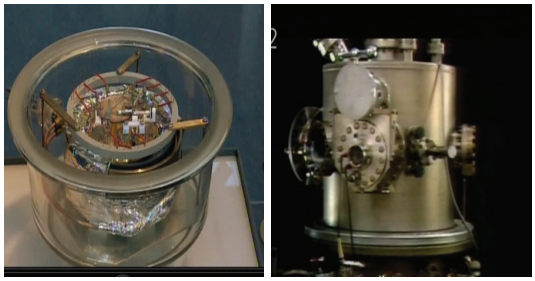


Figure 2. A scanning tunneling microscope * STM *

Using *STM*, they produced an image of atoms on the surface of silicon chips and they could see these atoms separately for the first time. They had a map of that structure of atoms. In that way, for example, we can observe a piece of table. If we look at its smallest parts, we will see atoms. They are usually round and arranged in a certain way. Below and around them are also atoms. We want to look at all those atoms, where they are placed and how they are distributed. Let's take a very thin steel needle. The needle is made up of atoms, so everything looks the same; it has another form and a sharp point, and atoms are everywhere. Bring the needle close and actuate electricity to see if there are atoms. Then you can move to one side, and if you make a continuous movement, you are able to move atoms one by one (Figure 3) and can see the structure of individual atoms, as shown in Figure 4.

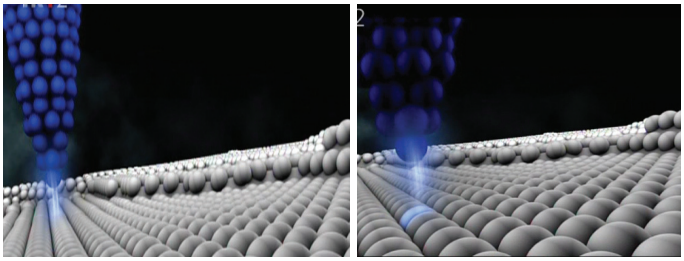


Figure 3. Moving atoms one by one, scanning and structure of an atom

Repeating a line by line is called scanning. If you add light, you will get an image of the surface as shown in Figure 4. For the first time, you will see the surface and all structures. With bigger resolution, you will see all the atoms that form a beautiful structure. You will see the surface for the first time using * STM * microscope.

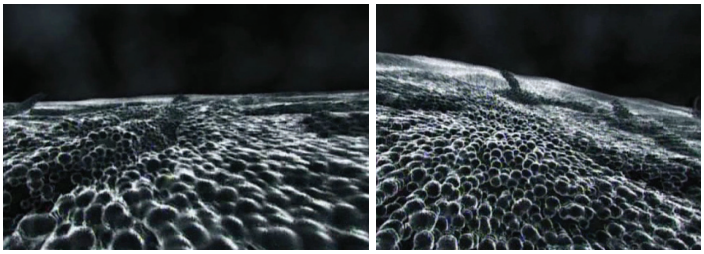


Figure 4. The surface is seen for the first time by using scanning tunneling microscope

Today we can see atoms one by one, atom by atom, and go into the depth of the structure itself, as well as see the way they are arranged in a structure. Scanning of matter allows us to go even deeper. We have reached atoms for the first time. It cannot be done by any other method. Once you are in touch, you can understand them better, play with them and move from one position to another. You can create artificial structures, atom by atom. Some of it has been done. It is not science fiction but a reality. A possibility of scanning tunneling microscope * STM * is to form a funny shape by moving atoms can, as shown in Figure 5.

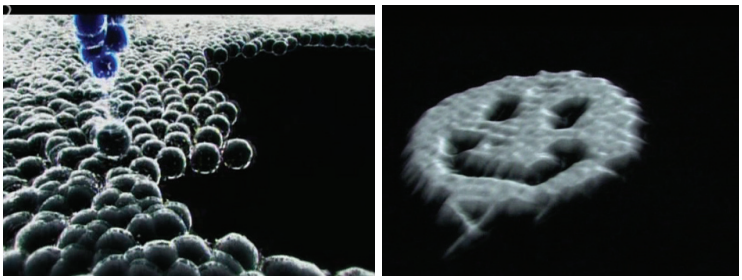


Figure 5. Creating structures by moving atoms

It is possible to design various forms at the level of atoms, as depicted in Figure 5. Even here, however, there are limits to create a sheet of paper by moving atom one by one; it would take 1 million years, which can not be performed in this way. Furthermore, the first fullerene C_{60} was discovered in 1985 by Robert Curl, Harold Kroto and Richard Smalley, and it was named Buckminsterfulleren in honor of Richard Buckminster Fuller (whose buildings resemble the fullerene molecule). Nanotubes have been discovered in 1991, which is a direct result of the discovery of fullerenes (Figure 6).

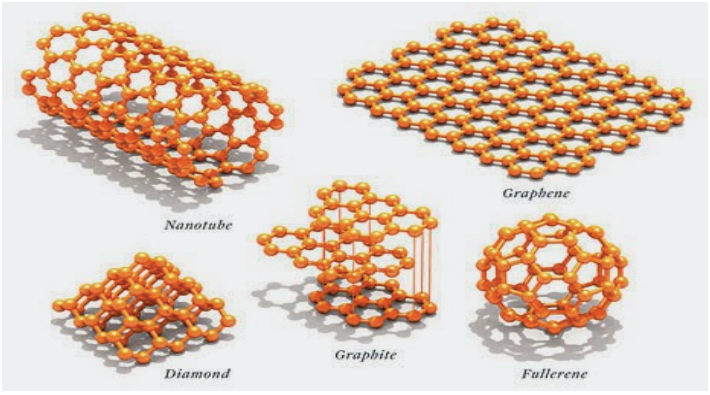


Figure 6. The appearance of fullerene, graphite, graphene, diamond and nanotube

Nanotubes exhibit a very high tensile strength, effective thermal conductivity as well as uniform electrical properties, which makes them ideal components of electrical circuits (transistors and ultracapacitors). In the period 1986-1991, an AFM (Atomic Force Microscope) was discovered, which is a continuation of STM research in the laboratories of American company IBM in Zürich.The year 1999 is marked as the beginning of serious research and development of

nanotechnology, and an important date for the development of nanoscience and nanotechnology was March 11, 1999 when professor Michail P. Rocco was invited to the White House for a meeting with the U.S. President to explain what nanotechnology is and what it can do for the development and progress of society. In his presentation, Professor Michail assured those who were present that it is very important scientific discipline, and that they incorporate nanotechnology into their long-term strategic plans. After his visit to the White House, the U.S. President Clinton said in Congress: *"The researchers will soon create a device that will translate foreign languages as fast as we speak and will create materials 10x stronger and much lighter than steel. No matter how unbelievable it sounded to me, they will develop molecular computers the size of a droplet that will be more powerful than today's supercomputers. In order to accelerate the emergence of such discoveries in all disciplines, I ask that you endorse my recommendation to give three billion dollars to research fund of the 21st century. It will be the largest increase in funding for civilian research. We owe it to our future."*
The event had a great impact on both business and political world. Japan responded immediately when it learned that the USA will invest half a billion dollars. In a few months, Japan also invests half a billion dollars for research and development in nanotechnology with no existing plans whatsoever. In 2001, the USA established the national nanotechnology initiative. Europe reacted quickly and established its European nanotechnology initiatives in Belgium, headed by Professor Kazimir Lenz from 2003-2008. Thanks to research during the 1980s, Europe was actively involved in nanotechnology. Investment in nanotechnology, as presented in Figure 9 [9, 10], led to the rapid research and publication in scientific journals, as well as at conferences in this field, as shown in Figure 7.

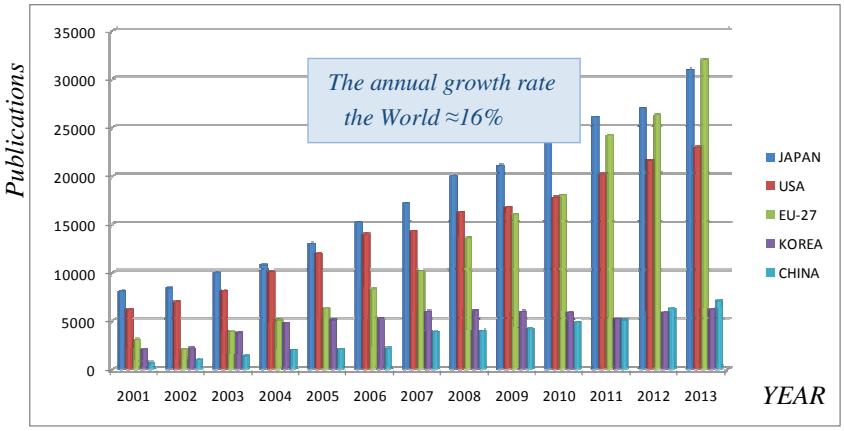


Figure 7. The number of publications in nanotechnology from 2000-2013

On the diagram from the Figure 7, we see that Japan and the USA maintained the first place in nanotechnology research by 2010, but in the last four years, Japan and the EU-27 took the leading role. The annual growth rate of publication of nanotechnology research in the world is ≈ 16%. The number of nanotechnology patent registrations in the world indicates that research in this field is intensive (Figure 8).

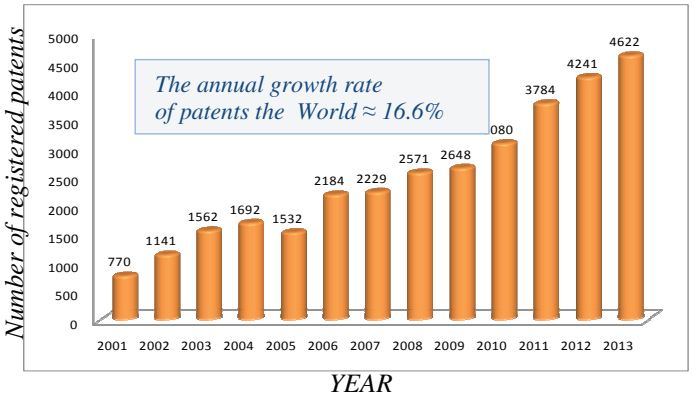


Figure 8. The number of registered nanotechnology patents in the world from 2001-2013

The number of patent registrations in nanotechnology increases from year to year. Based on Figure 8, it can be concluded that the annual growth rate of patents in this field in the world is ≈ 16.6%. Publications and patents in nanotechnology would not have had such a growing trend hadn't there been the investment in nanotechnology research.

3. THE APPLICATION OF NANOTECHNOLOGY

Since 2000, the development and application of nanotechnology in the world has received upward trajectory, as investments in this area increased linearly [2, 4, 5, 8, 11, 14], as indicated by the diagram in Figure 9. The nanotechnology investments of 10 billion dollars per year are increasing, so it is anticipated that it will reach a value of ≈ 3 trillion dollars in 2020. This trend has primarily led to the development of long-term vision of nanotechnology, and then nanocomponents, while the research and development of nanosystems is in progress. The nanotechnology investment in the USA is growing, so it is anticipated that it will reach ≈ 1.2 trillion in 2020.

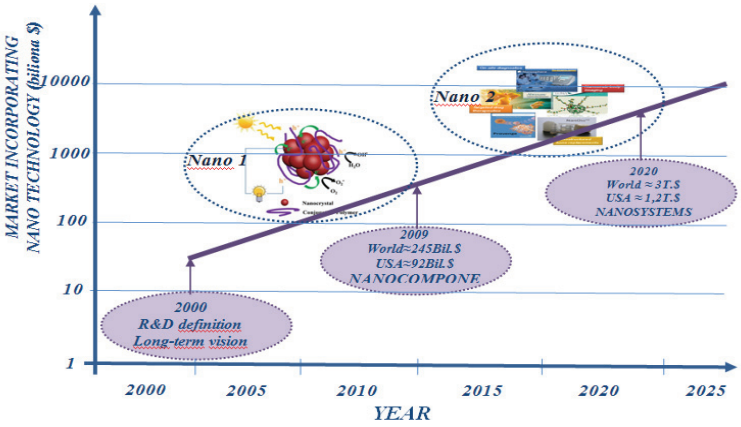


Figure 9. The investment in nanotechnology in the world and the USA in 2000-2020

The investment in nanotechnology results in development of applications, so it has been estimated that the market of nano-products will achieve ≈ 1.1 trillion dollars from 2010-2015; Figure 10 shows the percentage of each application.

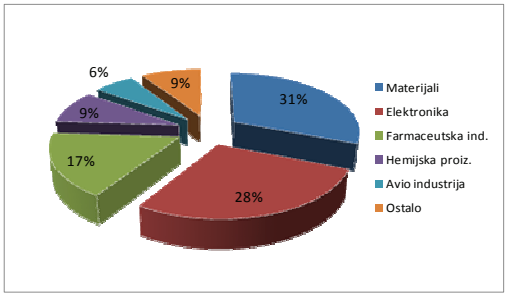


Figure 10. The assessment of nanotechnology market in the USA from 2010-2015 (≈1,1 trillion dollars)

As it can be inferred from Figure 10, applications of nanotechnology in the USA market are mostly related to materials (31%) and then electronics (28%), which is logical because nano-materials development has the largest application in electronics at the present time. The third place of nanotechnology market maintains the pharmaceutical industry, due to production and use of drugs. The development of nanotechnology that is encouraged through large investments (Figure 9) aims at creating components and systems at the nano level, which will expand the nanotechnology application to all segments of human surrounding, for which examples will be provided. Many researchers in the world believe that nanotechnology will solve crucial problems of today, as well as determine the future of all humanity. Many perceived nanotechnology as science fiction, but development of STM and AFM microscopes enabled not only the observation of individual atoms on the surface, but also the manipulation and monitoring of individual atoms, so that nanotechnology is making a fast progress.

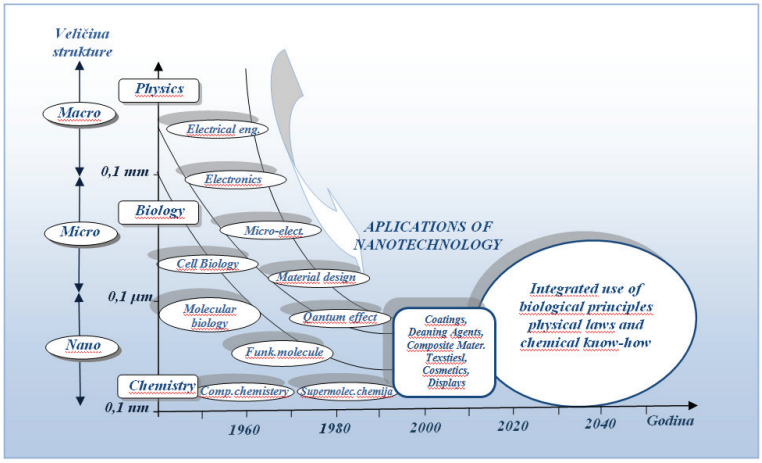


Figure 11. The development and application of nanotechnology in the future

As we see in Figure 11, nanotechnology is a cross-section of the following scientific disciplines: physics, biology, chemistry and engineering, which are necessary to get to the micro and nano world from the macro world. Intensive investments in research in this area led to the development of nanotechnology and its application in all segments of society. Thanks to nanotechnology, many products already function and are being applied: one example is a nano-coating that is used for clothing, footwear, cars, etc., and its function is to keep the coated object clean. Another example refers to nanoparticles that help to deliver a drug to target tissues within a body. I believe that there is no single area in which nanotechnology could not be applied nowadays. Let us list some areas in which nanotechnology is applicable: optical engineering, electronics, energy, telecommunications, bioengineering, cosmetics and paints, metallurgy, materials, textiles, defense and security, agriculture, biomedicine, food, an advanced development of the pharmaceutical industry, aviation, automotive industry, shipbuilding, manufacturing and product design, environment protection, nanorobotics, etc., as shown in Figure 12. Many applications are based on a relatively simple nanostructure, used as a component to improve the product (nanoparticles and nanopowder). Since 2005, sophisticated products have been applied, e. g. targeted therapy drugs. Completely new class of materials has been developed: graphene-based noble metal nanostructures, nano wires, etc.

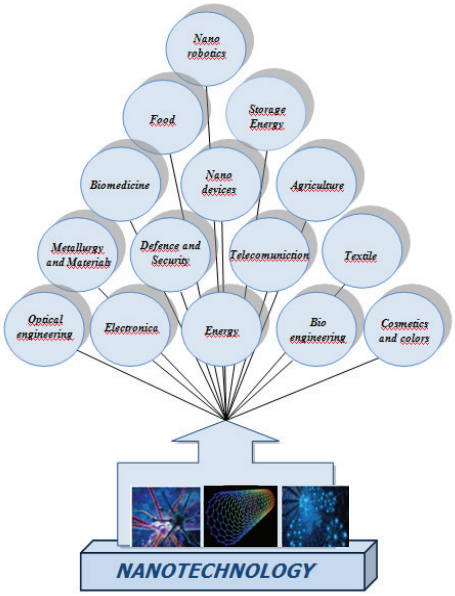


Figure 12. The application of nanotechnology in various segments

Figure 12 offers some fields of nanotechnology application, and the number of applications in various fields increases on a daily basis. We will mention just a few areas. When it comes to agriculture and food production, the development of nanotechnology and its application can be grouped in four segments [13]: materials, food security, products and agriculture, as presented in Figure 13.

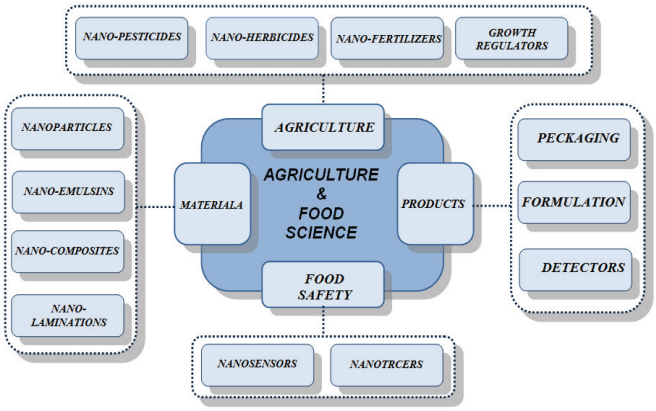


Figure 13. The application of nanotechnology in agriculture and food production

In agriculture, the largest application of nanotechnology is in: nanopesticides, nanoherbicides, nanofertilizers and growth regulators. When it comes to materials, nanotechnology application is in: nanoparticles, nanoemulsions, nanocomposites, nanolamination, etc. In any case, nanotechnology is a wonder for the common man because familiar things take on different properties with it; thus, scientists used nanotechnology to construct exotic new materials, for example, plastic that conducts electricity or covers that prevent corrosion of metals. The point is to use nanotechnology to develop materials of perfect properties by adapting their atomic structure. The commercialization of materials will encourage their development, because we already have a large selection of nanoparticles, nanolayers, nanostructured polymers, metals, ceramics, composites, as well as optical materials. In agriculture and food production, nanotechnology is applied in packaging, formulation and detection. When it comes to food safety in particular, nanosensors and nanodetectors have been developed, which will free a man of any doubt whether food is fresh for use or spoiled. Intensive research on nanotechnology application in medicine is currently taking place, and for this reason, we analyzed its application in medicine. The nanotechnology application in medicine [14] is shown in Figure 14.

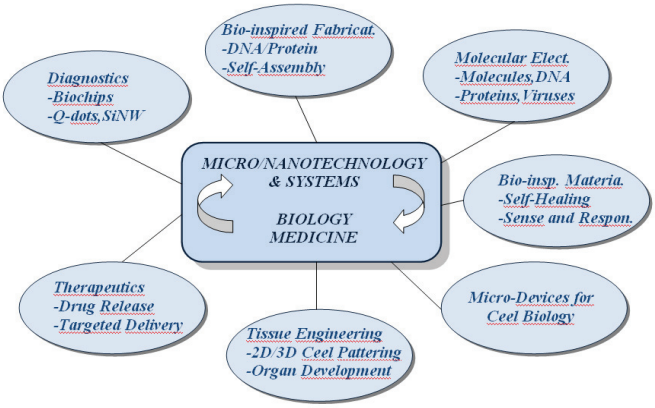


Figure 14. The application of nanotechnology in medicine

As it can be seen from Figure 14, nanotechnology has found its application in medicine in: diagnostic biochips development, bio-research of proteins and self-organization, molecular electronics (molecules, DNA, proteins, viruses), bio-research of self-healing and recovery materials, therapy which involves the targeted action of drugs and addiction rehabilitation, tissue development (2D/3D cell, organ development), as well as research, development and application of devices in cellular microbiology. It is known that Verigene, a medical tool for disease diagnosis, is already being applied around the world. Many products, such as advanced therapy that has a significant impact on different types of cancer, are commercialized. So, for example, Stanford University researchers have developed a treatment in which nanotubes enter the cancer cell and it is being destroyed by heating the tubes with a laser within two minutes at a temperature of 70 degrees. Several thousand nanotubes can fit into the average cancer cell. Researchers at the University of Alberta in Canada have developed nanoparticles that destroyed lung cancer cells successfully in laboratory conditions. The research has been done on animals, but it is believed that nanoparticles could be introduced into human body using an inhaler. It is expected that nanoparticles work better than the traditional ways of healing, because nanoparticles attack only cancer cells and do not affect healthy tissue. One of the most difficult procedures in medicine is connecting severed arteries during organ transplantation because one needs to do very fine sutures. Using Gobin solution, doctors would be able to connect the two ends of the blood vessel easily and thus achieve a perfect connection. Antibacterial material developed by one Korean company is based on nanosilver and it is used to produce the inside of a freezer, but it could be used for medical bandages. It has to be mentioned that more than 50 drugs for cancer treatment which are based on nanotechnology are on clinical trials in the USA. Gene therapy and biomedicine now become the most lucrative industry in commercialization. What the race in space exploration was for the 20th century, so is nanotechnology to the 21st century. The application of nanotechnology in medicine will progress so that doctors will be able to intervene with our DNA with new methods and techniques and thus revitalize our organs. Make functional the ones that are dysfunctional, change their appearance, increase capacity, increase intelligence, and so on. It has been predicted that the application of nanotechnology in medicine will extend human life span. Thus, for example, a life span will be extended each year from 2025 for one year. Even though nanotechnology is known and has been developing for 20 years now, the first wave of its application sweeps and spreads now and in the future. When nanotechnology develops completely, a computer revolution will seem like a small change in comparison to it, because nanotechnology will affect the whole human environment, as well as his life. As we have seen, more and more nanotechnology projects is being financed in the world, which leads to the development and application of new nanoparticles, nanostructural materials, nanocomponents and nanosystems. In the end, we can say that nanotechnology has revolutionized existing production methods, as well as understanding of the world. Nanotechnology has the ultimate goal to create complex structures, i. e. to change the manner of production by creating something greater from something smaller, to develop self-organization as nature does.

4. CONCLUSION

Based on everything presented in the paper, it can be concluded the intensive research and development have been conducted in the field of nanotechnology. Figure 9 shows the value of investment in nanotechnology. It can be seen that it increases year by year, so it is expected that the investment in the world reaches $ 3 trillion. Annual increase in publishing scientific papers and registering patents in the world results from the investments in nanotechnology development, which is shown in Figure 7 and Figure 8. Intensive investments in nanotechnology in the world led to the development and application of nanomaterials (such as nanotubes) which have far better properties than previously known materials, and nanocomponents. The development of nanosystems is in progress. Nanotechnology has found its application in: optical engineering,

electronics, energy, telecommunications, bioengineering, cosmetics and paints, metallurgy, materials, textile industry, defense and security, agriculture, biomedicine, food production, advanced development of the pharmaceutical industry, aviation, automotive industry, shipbuilding, manufacturing and product design, environment protection, nanorobotics. In a word, all segments of society. In the end, it can be concluded that nanotechnology has revolutionized existing production methods, understanding of the world, as well as a new way of looking at the process of creation.

5. LITERATURA

[1] Drexler Eric. K. 1992. Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing and Computation: *John Wiley & Sons*.
[2] Roco M.C., C.L. Bai, H.J. Fissan, J. Schoonman, C. Hayashi& Oda, M. 1998. 'Review of National Research Programs innanoparticle and nanotechnology research', J. Aerosol Science,29(5/6), 749–760.
[3] Siegel R., E. Hu, D.M Cox, H. Goronkin, L. Jelinski, C.C. Koch,J. Mendel, M.C. Roco, & D.T. Shaw, 1999. 'Nanostructure science and technology: Research and development status andtrends in nanoparticles, nanostructured materials, and nanodevices', WTEC editor: G.M. Holdridge, Kluwer Academic Publishers,
[4] Roco M.C., C.L. Bai, H.J. Fissan, J. Schoonman, C. Hayashi& Oda, M. 1998. 'Review of National Research Programs innanoparticle and nanotechnology research', J. Aerosol Science,29(5/6), 749–760.
[5] M.C. Roco ,Nanoparticles and nanotechnology research, *Journal of Nanoparticle Research* 1999. *Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands*.pp: 1–6.
[6] Mihail C. Roco • Chad A. Mirkin •Mark C. Hersam, Nanotechnology research directions for societal needs in 2020: summary of international study, Journal Nanopart Res (2011) 13:897–919
[7] Lubert S. 1995: *Biochemistry, 4th edition*: W.H Freeman and Company
[8] http://www.nanowerk.com/nanotechnology/ten_things_you_should_know_6.php
[9] http://www.degruyter.com/view/j/ntrev.2013.2.issue-6/ntrev-2012-0089/ntrev-2012-0089.xml
[10] http://www.orientjchem.org/vol29no4/chemical-hazards-of-nanoparticles-to-human-and-environment-a-revie
[11] http://link.springer.com/journal/11051/13/3/page/1
[12] http://www.als-journal.com/58-143-1-rv/
[13] http://www.mdpi.com/2072-6694/3/1

APPLICATION OF NANOTECHNOLOGY IN MEDICINE - NANOROBOTS

APLIKACIJA NANOTEHNOLOGIJA U MEDICINI- NANOROBOTI

Isak Karabegović[1], Riaz Mirza[2]
[1]University u of Bihać, Technical fakulty of Bihać,
dr. Irfana Ljubijankića bb., isak1910@hotmail.com
[2]Department of Mechanical Engineering, University of Engineering &Technology,
Lahore, Pakistan. mriazmirza@uet.edu.pk

ABSTRACT:
The paper presents an analysis of the application of nanotechnology in medicine with special emphasis on nanorobots. The rapid development of nanomaterials is driven by the requirements of the market because they can be used in various fields as well as in medicine. Area of nanomedicine is very wide because it studies nanoparticles, nano-fibers and polymer nanoparticles that serve as a biomaterial, as well as nanorobots i. e. nanomachines – or different devices that operate at nanolevel (e. g. hollow microneedles of single crystal Si and Si microchips for drug delivery). In future, nanotechnology and its applications in medicine can be expected in: biopharmacy (drug delivery, encapsulation of drugs, as well as functional drug carriers), materials for implantation (reparation and replacement of tissue, bone reparation, implants coating, structural materials for implants, intelligent materials, bioresorbing materials, etc.), implantation devices (nanorobots that can perform implanting, nanorobots for evaluation and treatment), medical supplies and devices (various tools for surgeries, surgical nanorobots, nano diagnostic tools, intelligent instruments), as well as application of ultrasensitive technique of labelling and detection of diseased cells. Using molecular tools and molecular knowledge of the human body, i. e. nanomedicine, we can diagnosis, cure and prevent a disease, traumatic injuries, pain, as well as maintain and improve health. The paper looks at the future development of nano robots and their applications in the treatment of various diseases of the human body.

Keywords: *nanotechnology, application, medicine, pharmacy, surgery, nanorobots, implants*

SAŽETAK:
U radu je izvršena naliza primjene nanotehnologije u medicini sa posebnim osvrtom na nanorobote.Brz razvoj nanomaterijala postaknut je zhtjevima tržišta jer imaju mogućnost primjene u različitim oblastima pa tako i u medicini. Oblast nanomedicine je jako široka jer proučava nanočestice, nano-vlakna i polimerne nanočestice koje služe kao biomaterijal, kao i nanoroboti odnosno nanomašine-ili različiti uređaji koji djeluju na nanonivou (npr.šupljr mikroigle od Si-monokristala i Si-mikročipovi za doziranje ljekova).Nanotehnologija i njena aplikacija u medicini može se u budućnosti očekivati u : biofarmaciji (dostava ljekova, inkapsuliranje ljekova, kao funkcionalni nosači ljekova), matrijalima za implantiranje (popravak i zamljena tkiva,popravka kostiju, oblaganje implantata,strukturni materijali za implantate,inteligentni materijali,bioresorbujući materijali itd.), uređaji za imlplantiranje (nanoroboti koji mogu da vrše implantiranje, nanoroboti za procjenu i liječenje), medicinska pomagala i uređaji (razhi alati za opreracije, hirurši nanoroboti, nano dijgnostički alati, inteligentni instrumenti) kao i u aplikaciji ultrasenzitivne tehnike označavanja i otkrivanja bolenih ćelija.Koristeći se molekularnim alatima i

molekularnim znanjima ljudskog tijela, odnosno nanomedicinom možemo dijagnostici, liječiti,imati prevenciji bolesti i traumatske povrede, od bolove, kao i očuvanje i unapređenje zdravlja.U radu je dat osvrt na budući razvoj nano robota kao i njihova aplikacija za lječenje različiti oboljenja ljusdkog tijela.

Ključne riječi: *nanotehnologija ,aplikacija, medicina,farmacija, kirurgija,nanoroboti, implantati*

---

1. INTRODUCTION

Research and development in nanotechnology in the 21st century brings a breakthrough in the way of thinking when it comes to the ways of creation, production method, a way of healing and all other segments of society. Intensive rapid development of nanotechnology and its application in our environment is not the result of scientific research but also market demands that occur in all segments [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 22, 24]. Nanotechnology itself refers to science and scientific research at the level of atoms and molecules; the best example of comprehending that level is Figure 1, because a nanometer is 1 billionth of a meter – or to make it more picturesque, it is around 1/80 000 the diameter of a human hair.

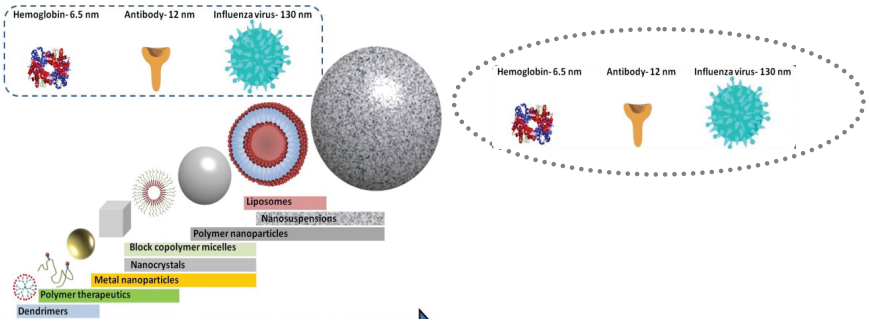


Figure 1. Nanotechnology size scale – a nanoscale [23]

At the level shown in Figure 1., investments and research in nanotechnology will allow the production at the atomic level: computers, intelligent materials and nanorobots that could be placed inside biological cell so they will not interfere with its work. New materials, computers, nanorobots with the programming options will be used in medicine and that will be a new beginning in medicine. Nanorobots will be patrolling inside the body of man and will be equipped with a complete understanding of DNA of an individual in which they are located. Depending on the programming and the task they receive, they would perform given tasks, such as removing any foreign body. Using nanorobots, we will be able to perform plastic surgery painlessly – unlike now when these are very painful. Each person will be able to shape their own body. We would be able to strengthen the body and bones with a diamond network, which would enable a man to withstand falls from greater heights without consequences that we have today after such fall. As we know that viruses, parasites and bacteria mutate constantly and new diseases of our natural immune system emerge for this reason. Nanorobots would function as an artificial immune system and provided immunity to the person so that it is protected against current and future diseases. Thus, we would no longer need vaccination, with which we acquired immunity to a specific type of

disease. The development of nanotechnology will allow us range of security devices significant for man's health, so that many consequences will be avoided and a man will be safer and healthier. The scale of basic biological structures shown in Figure 1 is similar to the components which are involved in nanotechnology. For example, some viruses are the same size as nanoparticles for drug delivery– around ≈ 100 nm, i. e. peptides are almost the same size as quantum dots, around ≈ 10 nm. Although the process of using research in nanomedicine and nanotechnology into marketing purposes is very long and difficult, we can soon expect its commercialisation for: biopharmacy, nanomaterials for implantation, implantation devices, intelligent instruments, nanorobots, diagnostic tools, etc. The development of nanotechnology itself accelerates the development of nanomedicine in processes such as: diagnosis, prevention of diseases and traumatic injuries, treatment, pain relief, and health improvement.

2. RESEARCH AND DEVELOPMENT OF NANOMEDICINE

As we have seen in the introduction, nanotechnology is being largely developed in many fields, and in the last year, an intensive research is being conducted in nanomedicine at the level of multidisciplinary research, as shown in Figure 2. The reason for the intense research is that every second man dies of a stroke or heart attack in industrial countries. Currently, technology has been developed so much that the doctors using a CT scanner can determine whether there has been a narrowing or inflammation of a blood vessel so as to inject a special liquid into blood vessels and they become visible on the CT scanner [1, 2, 3]. But there are a lot of problems when the narrowing is quite small, as said Dr. Michael Shefers from the University of Münster says: "*The problem that we have on this occasion is that we do not see a blood vessel, we do not see where the anomaly occurred, where the disease, i. e. the inflammation, is. We only see means that makes a contrast in the vessels. In the meantime, we found out that heart attacks occur in the parts where the narrowing is very small or non-existent*." This is just one of the reasons why it is necessary to invest in the development of nanomedicine, as a special field of nanotechnology.

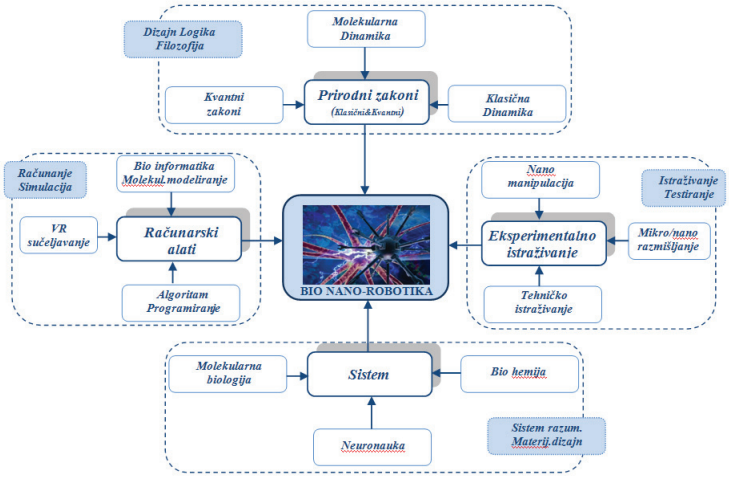


Figure 2. Nanorobotics – a multidisciplinary research [2, 3]

From Figure 2 related to development and application of nanotechnology in medicine, we see that nanomedicine as a branch of nanotechnology is a multidisciplinary scientific discipline. Being a

multidisciplinary discipline, its research has to include: the laws of nature (quantum laws, molecular dynamics and classical dynamics), computer tools (which include molecular modelling, bio-informatics, VR confrontation, algorithms and programming), systems understanding of materials and design (neuroscience, molecular biology, biochemistry), and at the end, experimental research (micro-nano thinking, nano manipulations, technical research) i. e. research and testing. Since nanotechnology found its commercial application in the electronics, automotive industry, textile industry, and many other industries, it is necessary to automate and achieve molecular manufacturing, so that it achieves profitability and expands its applications in all segments of society. One of the molecular products should be a nanorobot as well. The simplest description of a nanorobot is that it is essentially a controlled device at the nano or molecular level, which consists of components that are on a nanoscale Figure 1. Active researches in this field have focused more on the molecular robots, which are inspired in detail by the natural way of doing things at the nano level. Nature has its own set of molecular devices that have worked for centuries, and have been optimized for performance and design in relation to age. Given that our knowledge and understanding of these devices is improved on a daily basis, we come to the conclusion that we can use these natural devices, or create synthetic from scratch, by using the components of nature.

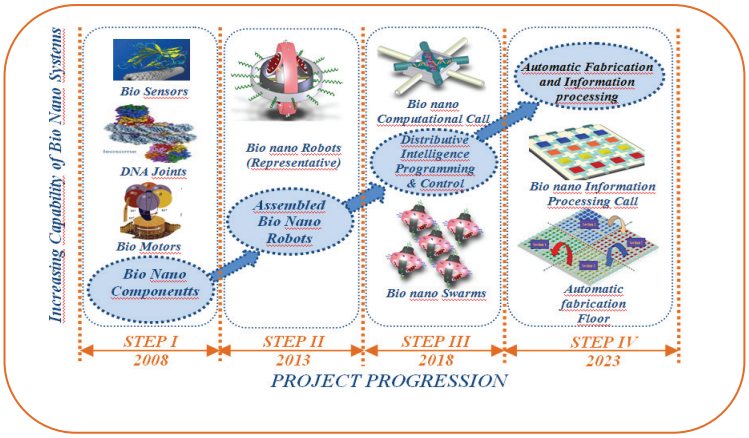


Figure 3. Research scenario and nanorobotics development – a roadmap [2,3]

Ummat A., Dubey A., Sharma G. and Mavroidis C., the authors of „Nanorobotics", give nanorobotics scenario shown in Figure 3. As it can be seen from the image of nanorobotics research and development scenario, it consists of steps. The first step refers to development of nano-components; the second step is related to the development and research of nanorobots construction; the third step involves intelligent programming and control of bio-nano cells, i. e. the development and research of bio-nano swarms (nanorobots). The third stage should last until roughly 2018. The fourth phase of nanorobotics research and development involves nano-computer processing of a cell, i. e. automated production, which would last until 2023. It is expected that nanorobots will be developed in the near future, and begin to be applied in medicine. Such a conclusion can be made if we observe the scenario of research and development of nanorobotics.

3. NANOROBOTS RESEARCH IN NANOTECHNOLOGY

We can see that researches in nanorobotics are huge and intense, and there are numerous reasons for that. The potential of nanorobotics applications in medicine is huge: targeted drug delivery, detection of early diagnosis, cancer treatment, diabetes monitoring, dentistry, surgery, etc. We come to the question of training new staff to be able to use and implement nanorobots in medicine: future medical nanotehnologists who will perform a treatment using nanorobots at a cellular level. The latest research and theoretical discussions of nanorobots involve specific issues such as: communication capability, navigation capability, manipulation, and nanorobot design itself. Here we must take into account the typical size of a nanorobot, as the size that can pass through capillaries is limited. We have to be careful here because it would not be good that nanorobots self-replicate inside the human body, and it would not be good to have any self-replica or reparation within the human body. Nanorobots must be manufactured carefully, regulated with extreme precision, and with the possibility to monitor and control them. Nanorobots will be small enough so they can be inserted within the cell so that they do not impede its functioning performing a number of functions. It is expected that there will be a revolution in the medical industry i. e. in nanorobotic in the future. Nanorobotics is a field of nanomedicine, which is a very active area of research in nanotechnology, because nanorobots are the basis in enabling future applications. Most of the natural molecular devices (machines) are based on proteins, because nature distributes the proteins to perform various tasks of a cell, whereas the DNA is information carrier. It is understandable that most of natural machines are built of proteins. In order to understand better all obstacles encountered by researchers in nanorobotics, as well as manners in which they are trying to find solutions to power nanorobots, let's analyze a natural nanorobot or nano-device. Molecular devices can be divided into three broad categories: protein-based, DNA-based, and chemical molecular motors. Due to space limitations, we will try to explain a molecular device (i. e. a rotary engine) based on protein, i. e. ATP synthase. The ATP synthase is based on two engines which work together, as shown in Figure 4. The biological catalyst enzyme, a protein, is made up of a proton unit F0 and F1 unit (catalytic). The F0 proton unit has three different protein molecules A, B, C. The F1 unit consists of 33αβγδε subunits which are fixed to the B subunit of F0 and are therefore moveable.

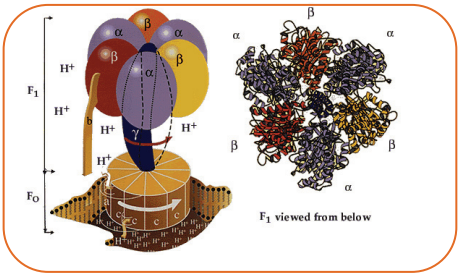


Figure 4. A rotational engine based on protein – a basic structure of ATC synthasis [2]

We have presented the flow of protons from the outer membrane towards the inside through the F0 engine. This proton motive force is responsible for the synthesis of ATP in F1. When it comes to the powering of nanorobots, the research goes in this direction and more information can be found in [2]. All this helps to discover mysteries associated with molecular devices and to pave the way for the production and application of these miniature devices– the nanorobots– in various fields, including medicine, space research, electronics, military industry, etc.

4. THE POSSIBILITIES OF NANOROBOTS APPLICATION IN MEDICINE

As it is known, the methods of conventional medicine aim to remove the cells that threaten man's health (we can say bad cells) from the body surgically, by radiotherapy or by "poisoning" them. However, nanotechnology i. e. nanomedicine is trying to remove those same cells using nanorobots and to repair them one cell at a time. When it comes to reparation i. e. treatment of an individual cell, the quantity of drug can be controlled for the corresponding cell. These include tumour cells, as well as all others that may disturb the balance in the human body. Let's mention some concrete applications of nanorobots in the treatment and improvement of human health, i. e. how the development of nanorobots will come into use in the near future [4.15-24]. One of the applications is the individual treatment of a bad cell so that it is dosed adequate amount of medication which would recover it and make it functional. A nanorobot will have a container in which an appropriate cure will be set in an appropriate amount. Moving through the bloodstream, it will reach the diseased cells and deliver the cure via cell gripper. Certain constructive visions of these robots are shown in Figure 5.

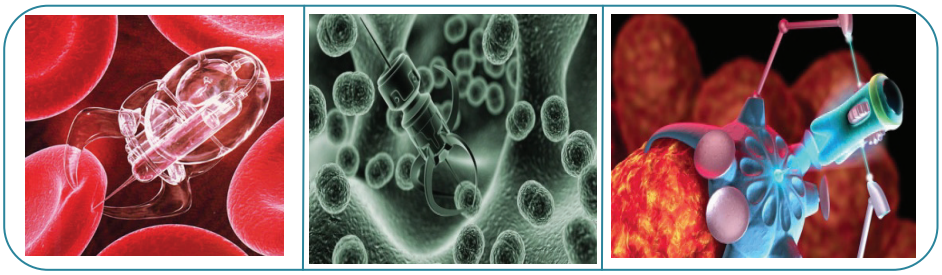


Figure 5. Different design possibilities of nanorobots for drug delivery into a cell [15]

Many theoretical predictions of nanotechnology application are related to dentistry, with different levels of optimism, even though the capabilities of nanotechnology have become a reality for oral health in the last decade. However, many of these applications are still in the research phase. One of the applications of nanotechnology in dentistry is to improve the structure of teeth with nanocomposites. Nanotechnology has a bright future in dentistry, because each procedure will be performed using equipment and devices based on nanotechnology. Nanostructured composite material will increase durability and hardness of a tooth, which is 100 to 200 times higher than the ceramics used nowadays.

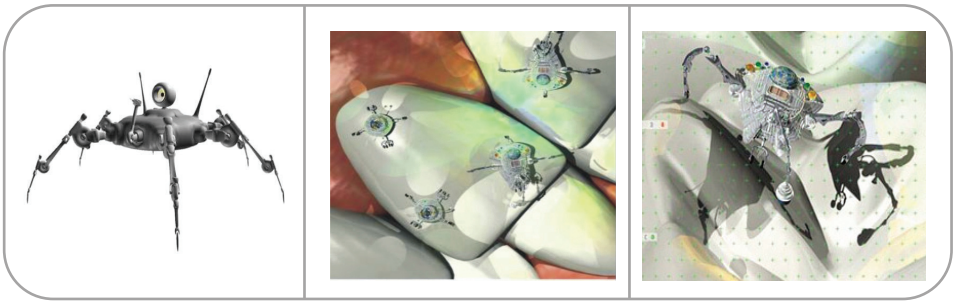


Figure 6. A nanorobot for scaling and caries removal in teeth [17,19]

These nanomaterials used in dentistry are superior to conventional composites, and their mixtures with natural tooth structure is far better. Growing interest in nanorobotics applications in the future will take us in a new field called nanodentistry. Nanorobots will cause a revolution in dentistry, so will be able to perform oral analgesia using nanorobots in a way that we will eliminate pain, reduce sensitivity and feel free to do teeth restoration. Using nanorobots, we will be able to exert continuous teeth cleaning, tissue manipulation, caries removal, as well as reparation with nanomaterial. A conceptual design of nanorobots for use in dentistry is shown in Figure 6.Nanorobots will enable us to carry out the harmonization and alignment of a set of teeth as preventive, restorative procedures on a tooth. They will also enable us to develop and replace a tooth through the inclusion of mineral and cellular components which lead to a complete replacement due to the eruption of a new tooth. The next application of nanorobots in medicine is for arteriosclerosis of blood vessels. Nanorobots would be assigned to patrol the blood vessels and remove the accumulated fat, thus cleaning the vessels and making them passable for the bloodstream. An example of nanorobots construction is shown in Figure 7.

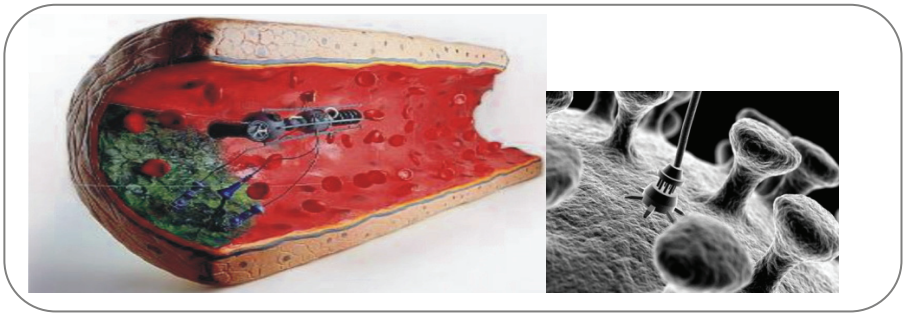


Figure 7. A conceptual constructive solution to resolve atherosclerosis of blood vessels [18]

When it comes to nanorobotics, intensive research and development is carried put for nanorobots for the destruction of cancer cells. The development of nanotechnology has contributed to the fact that it is already being used for the treatment of certain cancers. Thus, the U.S. scientists from Stanford University have developed a method with which the cancer cell is inserted into nano tubes made of carbon and their size is one-half the diameter of DNA molecule, so that several thousand of them fits into a cancer cell. After placing nano tubes in a cancer cell, they are exposed to laser light and heated to a temperature of 70ºC for two minutes, which results in the death of a cancer cell. The advantage of this cancer treatment method in comparison to the standard cancer treatment method by chemotherapy is that the chemotherapy treatment destroys healthy cells and tissues as well as cancer cells. Another example is offered by the Canadian scientists at the University of Alberta who have developed nanoparticles which destroy lung cancer cells successfully in the laboratory.

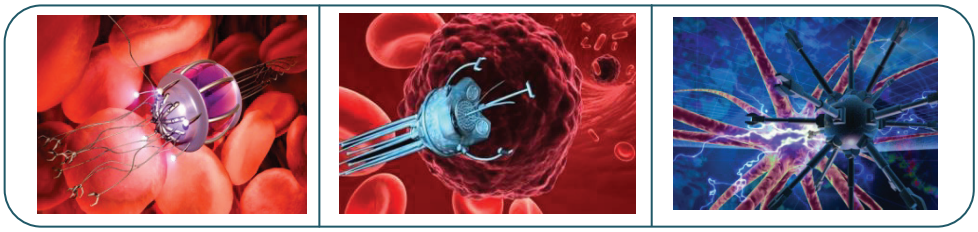


Figure 8. Preliminary nanorobots construction solutions [16, 20, 23]

Once nanoparticles to destroy lung cancer cells have been developed, we can continue with the research on animals and then on humans. Nanoparticles could be introduced into the human body using the inhaler similar to that used in the treatment of asthmatics by standard methods. The development of nanotechnology goes in the direction of developing a variety of nanorobot constructions which will have sensors able to recognize a cancer cell, determine its characteristics, and be programmed to destroy such cells. Several preliminary constructions of nanorobots are shown in Figure 8.We will be able to programme nanorobots using algorithms, to track i. e. monitor and manipulate with them, set them tasks and change tasks. Nanorobot must recognize a cancer cell using sensors, monitor and destroy it, as it is shown in Figure 9.

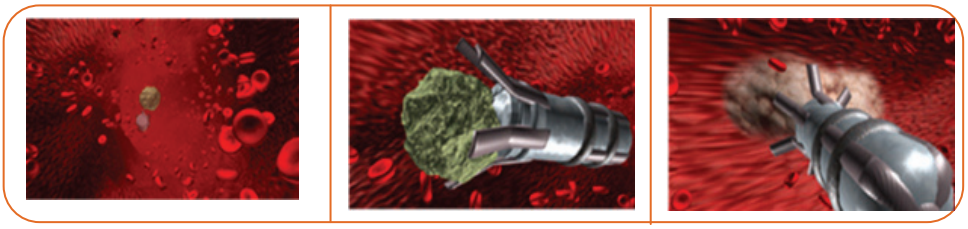


Figure 9. The destruction of a cancer cell with a nanorobot [24]

Research in nanorobots, especially nanomedicine, led to significant discoveries as well as applications of nanorobotics in medicine– whether in diagnostics, targeted drug delivery, dentistry, or treatment of certain diseases. The development of engines, sensors and bioinformatics led to the development of nanorobots that will be used in the treatment of severe diseases, where classic methods of treatment are powerless nowadays.

5. CONCLUSION

Investments in nanotechnology in the past decade have led to the development of new materials and products, and such products must be ever more present in the national economies in any branch concerned. When it comes to medicine, nanotechnology application is also present in the stage of intensive development and research, so that its intensive application is expected soon. Scientists are currently working on the development of nanorobots that will be used for the destruction of diseased cells. Engines that will power nanorobots are already in an experimental phase. Furthermore, monitoring and control of nanorobots are also being developed and researched, which includes assets such as: ultrasound, MMR/MR, radioactive colour, x-rays, TV cameras, etc. Nanorobots in medicine will play a very important role in the future. It can be claimed that they will start a revolution in medicine. When it comes to the use of nanorobots, we have to be careful because there are certain disadvantages. A great drawback for broad application of nanorobots will be their complex design and manufacturing that requires high costs. Another disadvantage relates to potential anti-social antiprogrammes that go together with every new scientific discovery. Despite the drawbacks, nanorobots will have a bright future– they will help cure severe diseases, they will create a revolution in health care, and most importantly they will make human life better, as well as prolong lifespan.

6. LITERATURA

[1] Hill, C., Amodeo, A ., Joseph, J.V. & Patel, H.R.H. 2008. "Nano- and microrobotics: how far is the reality?". Expert Review of Anticancer Therapy **8** (12): 1891–1897.
[2] http://www.fractal.org/Bio-Nano-Robotics/Nanorobotics.pdf (9.10.2015.)
[3] http://www.nobel.se/chemistry/educational/poster/1997/boyer-walker.html; (11.10.2015.)
[4] D.Nagal,S.Mehta,S.Sharma,2012,"Nanorobots and theit application in Biomedical Engineering",International Conference on Advance in Electronics, Electrical and Computer Engineering,EEC 2012, India,pp.215-219.
[5] Howard J. 1997. Molecular motors: structural adaptations to cellular functions. Nature 389: 561-7
[6] Vale RD, Milligan RA. 2000. The way things move: looking under the hood of molecular motor proteins. Science 288: 88-95
[7] Vale R. 1996. Switches, latches, and amplifiers: common themes of G proteins and molecular motors. J. Cell Biol. 135: 291-302
[8] Farrell CM, Mackey AT, Klumpp LM, Gilbert SP. 2002. The role of ATP hydrolysis for kinesin processivity. J Biol Chem 277: 17079-87
[9] Itoh H, Takahashi A, Adachi K, Noji H, Yasuda R, Yoshida M, Kinosita K, Jr.2004: Mechanically driven ATP synthesis by F_1-ATPase. Nature 427: 465 – 468.
[10] Finer JT, Simmons RM, Spudich JA. 1994. Single myosin molecule mechanics: piconewton forces and nanometre steps. Nature 368: 113-9
[11] M. & Kretly, L.C. (2008). "Nanorobot Hardware Architecture for Medical Defense". Sensors **8** (5):2932–2958.
[12] Cavalcanti, A. (2009). "Nanorobot Invention and Linux: The Open Technology Factor - An Open
Letter to UNO General Secretary". CANNXS Project **1**
[13] Vaughn JR. (2006). "Over the Horizon: Potential Impact of Emerging Trends in Information and Communication Technology on Disability Policy and Practice". National Council on Disability,Washington DC.: 1–55.
[14] Wang, J. (2009). "Can Man-Made Nanomachines Compete with Nature Biomotors?". ACS Nano **3** (1): 4–9.
[15] http://www.nuviun.com/content/nanorobots;(11.10.2015.)
[16] http://www.blog.tauedu.org;(14.10.2015.)
[17] http://www.foresight.org;(16.10.2015.)
[18] http://www.indiafuturesociety.org;(16.10.2015.)
[19] http://www.ticzai.blogspot.com;(18.10.2015.)
[20] http://www.ipj.quintessenz.de;(20.10.2015.)
[21] http://www.imalab.net;(20.10.2015.)
[22]http://www.ilicv.on.neobee.net;(27.10.2015.)
[23] http://www.slideshare.net;(30.10.2015.)
[24]http://phys.org/news/2015-10-nanotechnology-next-generation-dental-materials.html#jCp;(30.10.2015.)

POBOLJŠANJE KONSTRUKCIJE UTOVARNOG TRAKASTOG TRANSPORTERA ROTORNOG BAGERA SRs-220

ENHANCING THE CONSTRUCTION OF LOAD BELT CONVEYOR OF A BUCKET WHEEL EXCAVATOR SRs-220

Denijal Sprečić[1], Ferid Mulahalilović[2], Boris Jerman[3]
[1]Univerzitet u Tuzli, Mašinski fakultet, Univerzitetska 4, esprecic@bih.net.ba
[2]Elektroprivreda Federacije BiH u Sarajevu, Rudnici „Kreka" d.o.o. Tuzla
ferid.mulahalilovic@yahoo.com
[3]Univerzitet u Ljubljani, Mašinski fakultet, Aškerčeva 6, boris.jerman@fs.uni-lj.si

---

SAŽETAK:
U radu je razmatran problem centričnog kretanja gumene trake trakastog transportera GTK-1000 postavljenog na konstrukciji prijemne katarke rotornog bagera. Kako bi se riješio problem bočnog skretanja trake sa trakastog transportera, prethodno je predstavljen stari sistem odnosno konstrukcija trakastog transportera sa svim vitalnim elementima. Analizom starog sistema i uočenih nedostataka, pristupilo se njegovoj rekonstrukciji, pri čemu je predstavljeno originalno rješenje samoregulacije centričnog kretanja trake na trakastom transporteru utovarnog sistema rotornog bagera SRs-220. Komparacijom značajnih parametara starog i inoviranog rješenja te praćenjem rada poboljšanog sistema u toku eksploatacije, potvrđena je opravdanost i uspješnost izvršene rekonstrukcije trakastog transportera GTK-1000 ugradnjom uređaja za samoregulaciju centričnog kretanja gumene trake.

Ključne riječi: *konstrukcija utovarnog transportera, kretanje gumene trake, rotorni bager*

ABSTRACT:
In this paper the movement centric rubber belts belt conveyor GTK-1000 set the construction of the receiving mast bucket wheel excavator. In order to solve the problem of the side turn lane with belt conveyor, previously introduced the old system or the construction of a belt conveyor with all the vital elements. The analysis of the old system and the identified deficiencies, access to his reconstruction, in which presented an original solution of self-regulation centric movement belts on the belt conveyor loading system bucket wheel excavator SRs-220. Comparing the relevant parameters of the old and innovated solutions, and monitoring the performance of an improved system during operation, confirmed the validity and success of the reconstruction belt conveyor GTK-1000 installation of devices for self-regulation movement centric rubber belts.

Keywords: *construction of unloading transporter, moving rubber belt, bucket wheel excavator*

---

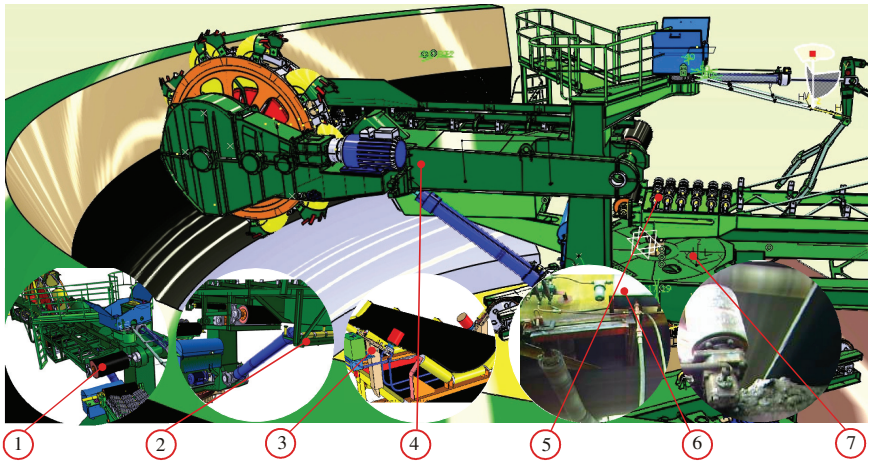
1. UVOD

Rotorni bager SRs-220 (slika 1), kao otkopna mašina izuzetnih performansi i kapaciteta predstavlja bitan segment BTO sistema površinske eksploatacije. U okviru pripreme za preseljenje rotornog bagera SRs-220 9,5/0,5 sa Rudnika „Šikulje" u Lukavcu na Rudnik „Dubrave" u

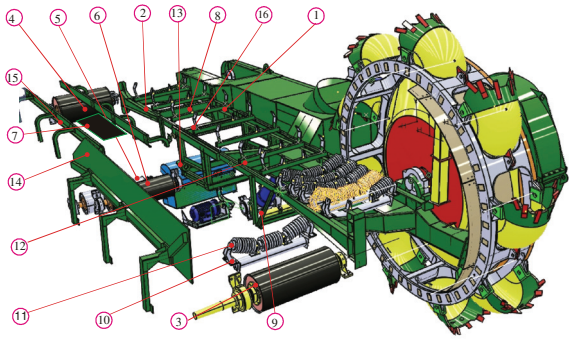
Dubravama, istaknuta je potreba da se izvrši njegova revitalizacija i na taj način da se osposobi ne samo za pouzdan rad u uslovima novog kopa gdje dolazi do povećanja otpora rezanja, već i za postizanje projektovanog kapaciteta. Izvršena je defektaža opreme i predložen je model organizovanja procesa revitalizacije kao kompleksnog skupa aktivnosti. Otkazi na transportnim sistemima pomenutih klasa mašina (slika 2.), osim direktne materijalne štete, prouzrokuju i indirektnu štetu nastalu zastojem sistema. Mašine za kontinuirani iskop lignita ili otkrivke, izložene su dejstvu opterećenja izrazito dinamičkog karaktera, što je, prije svega, posljedica; periodičnog ulaska/izlaska kašika/vedrica iz zahvata sa tlom, neuravnoteženosti pogonskih mehanizama, zahvatnih uređaja i obrtnih dijelova trakastih transportera i udara komada koji mogu da se jave tokom pražnjenja kašika/vedrica. Noseća konstrukcija trakastog transportera (izuzimajući traku) konektovana je za druge konstruktivne grupe i svodi određene statičke sile na tijelo katarke, odnosno u odgovarajuće oslonce. Pored toga, ona je izložena dinamičkim opterećenjima i oscilacijama trake, usljed neizbalansiranosti valjaka i bubnjeva odnosno udara materijala na mjestu usipanja.

2. REKONSTRUKCIJA DIJELA STRUKTURE UTOVARNOG SISTEMA ROTORNOG BAGERA SRs-220

Sve aktivnosti na rekonstrukciji dijela strukture utovarnog sistema rotornog bagera SRs-220 bazirane su na redizajnu pojedinih članova mehanizma, aktivnih sistema zaštite i pogonskih mehanizama s ciljem dobivanja pouzdanijeg, savremenijeg i jeftinijeg utovarnog sistema. Na slici 1. prikazan je model rotornog bagera, a na slici 2. prikazana je struktura utovarnog trakastog transportera GTK-1000.



Slika 1: Model rotornog bagera SRs-220 sa predstavljenim detaljima uređaja za samoregulaciju; 1-presipno mjesto, 2-regulaciona stolica, 3-model uređaja za samoregulaciju , 4-utovarni sistem, 5-istovarni trakasti transporter, 6-redizajnirani uređaj za samoregulaciju, 7-GGB SRs-220

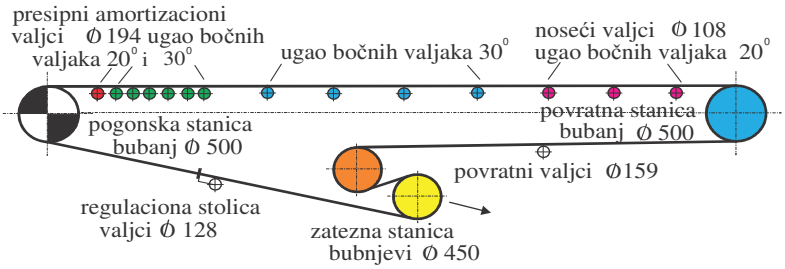


Slika 2: Struktura trakastog transportera GTK-1000; 1-lijevi nosač konstrukcije transportera, 2- desni nosač konstrukcije transportera, 3-pogonski bubanj Ø 415x1150, 4-povratni bubanj Ø500x1150, 5-otklonski bubanj Ø415x1150, 6-zatezni bubanj Ø415x1150, 7-gumena traka B=1000, 8-nosač valjaka, 9-regulaciona stolica, 10-nosač valjaka, 11-amortizirajući valjci, 12-nosač valjaka gumene trake, 13-konstrukcija zatezne stanice, 14-presipni lim, 15-nosači sa bočnim stranicama

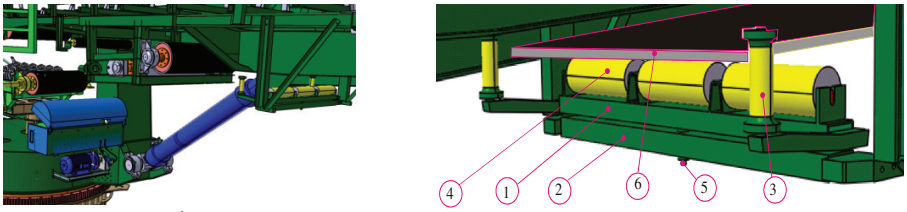
Rekonstrukcija je provedena na onim elementima konstrukcije utovarnog trakastog transportera koji su se u analizi rada bagera pokazali kao nepouzadani. Tako je izvršena rekonstrukcija sistema zaštite konstrukcije trakastog transportera i regulatora centričnog kretanja gumene trake po slogovima valjaka. Primjena novog sistema zaštite pogonskog mehanizma trakastog transportera, podrazumijeva zamjenu postojećeg sigurnosnog uređaja novim naprednijim rješenjem koje uključuje samoregulaciju pri kretanju gumene trake na trakastom transporteru.

2.1. Opis postojećeg rješenja trakastog transportera GTK-1000

Trakasti transporter utovarnog sistema rotornog bagera SRs-220 pogonjen je klizno – kolutnim motorom koji svoju snagu prenosi preko konzolno uležajenog reduktora sa konično – ravnim zubima na vratilo pogonskog bubnja. Uključivanje motora može se izvesti samo u smjeru transporta, iz kabine vozača. Pogon je opremljen dvočeljusnom kočnicom koja se aktivira pri uključenju motora. Dotezanje transportne trake vrši se vretenom za natezanje koje je smješteno na donjoj konstrukciji transportera. Za centriranje toka trake na donjem dijelu konstrukcije ugrađena je regulaciona stolica koja sprečava bočno skretanja trake.

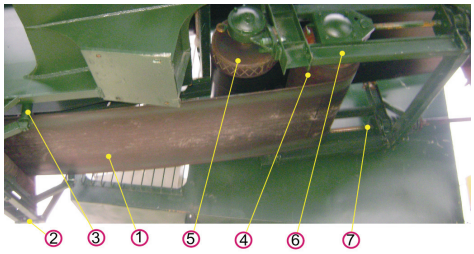


Slika 3: Šematski prikaz utovarnog sistema GTK-1000



a) b)

Slika 4: a) Lokacija regulacione stolice na utovarnom sistemu i b) model regulacione stolice; 1-obrtni nosač valjaka, 2-nosač regulacione stolice, 3-bočni valjci, 4-noseći valjci gumene trake, 5-osovinica



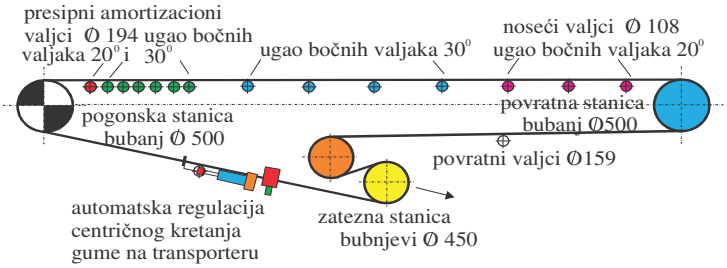
Slika 5: Zatezna stanica na utovarnom sistemu bagera SRs-220; 1-beskonačna gumena traka B=1000, 2-regulaciona stolica, 3-bočni valjci, 4-zatezni bubanj Ø 415x1150, 5-otklonski bubanj Ø415x1150, 6-noseća konstrukcija zatezne stanice, 7-vijci za zatezanje bubnja

U pomoćne uređaje utovarnog sistema ubrajaju se uređaji usipanja, isipanja i čistači trake. Stabilni koš usipanja ima također nagib kako bi materijal mogao sigurno kliznuti svojom težinom. Koš je tako formiran da materijal direktno ne pada na traku. Struja materijala koja dospije na traku ima manju brzinu i veći profil nego iza linije ubrzanja. Zatezni uređaj mora stvoriti potrebnu silu u traci. Potrebnom silom u traci mogu se također spriječiti prekomjerni provjesi trake između nosećih valjaka trake. Kod pokretanja a tako i kod otkočenja opterećene trake, obodna sila na pogonskom bubnju povećava vrijednost za oko 50%, pa je pri tome korisno povećanje zatezne sile.Transporter na katarci radnog točka predstavlja veoma važan element transportnog puta. Njegova uloga je da otkopani materijal iz presipa u radnom točku transportuje do presipa u centru obrtanja bagera. Prijemni transporter u procesu rada stalno mijenja svoj položaj. Kružno kretanje gornje gradnje permanentno mijenja uslove pod kojima se materijal predaje presipu u centru obrtanja bagera. Navedene promjene položaja transportera u prostoru su veoma česte, tako da dodatna podešavanja transportera ili presipa ne dolaze u obzir. Podužna osa konstrukcije transportera se ne poklapa sa podužnom osom katarke bagera. Navedene ose se sijeku u obrtnoj osi gornje gradnje kako bi se obezbijedilo da transportovani materijal pada u centar odložnog transportera. Kapacitet transportera zavisi u osnovi od širine trake, njene brzine i ugla nagiba bočnih valjaka. Kapacitet transportera treba da je usklađen sa teoretskim kapacitetom radnog točka.

3. INOVIRANO RJEŠENJE UREĐAJA ZA SAMOREGULACIJU CENTRIČNOG KRETANJA TRAKE TRAKASTOG TRANSPORTERA GTK-1000

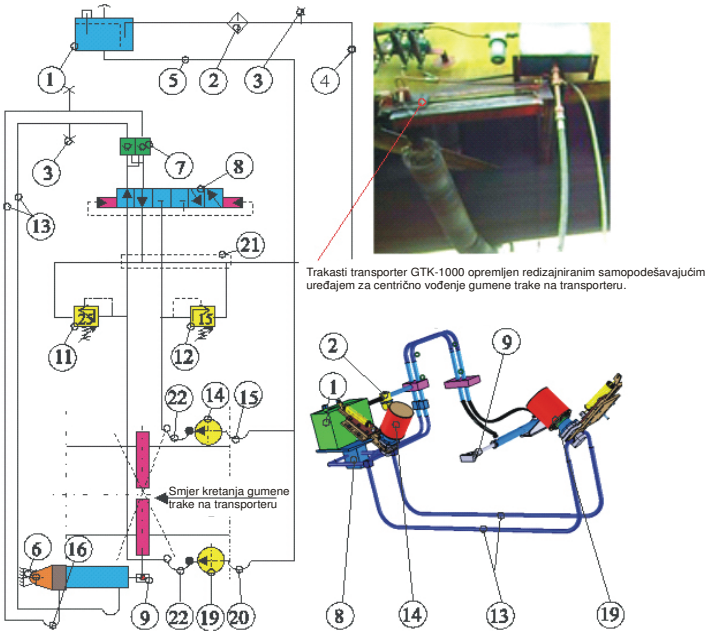
Pri bočnom skretanju trake lijevo ili desno moguće je ostvariti tri moguća stanja: kontakt bubnja lijeve zupčaste pumpe i ruba trake dok desna zupčasta pumpa miruje, kontakt bubnja desne

zupčaste pumpe i ruba trake dok lijeva zupčasta pumpa miruje i bezkontaktno stanje kada miruju obje pumpe –kretanje trake je centrično (slika 6). Udio otpora kretanja trake nastao sprečavanjm njenog bočnog skretanja se predaje na pogonskom bubnju lijeve ili desne zupčaste pumpe zavisno na koju stranu traka skreće.



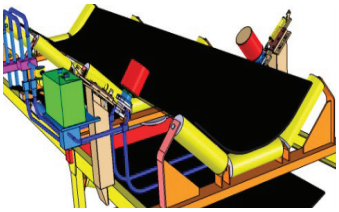
Slika 6: Trakasti transporter GTK-1000 na utovarnom sistemu rotornog bagera SRs-220 opremljen sa redizajniranim samregulirajućim uređajem centričnog kretanja trake

Kontaktom bubnja zupčaste pumpe i ruba pokretne trake ostvaruje se pokretanje zupčaste pumpe. U zupčastoj pumpi se mehanička energija pogonskog vratila transformiše u kinetičku energiju fluida.

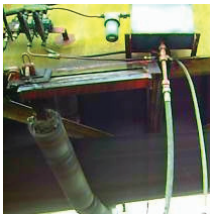


Slika 7: Šema sistema za hidraulično upravljanje uređaja za centriranje gumene trake trakastog transportera; 1-rezervoar ulja V=5l, 2-filter povratnog hoda, 3-mjerne tačke, 4-bešavna cijev Ø12x2, 5-bešavna cijev Ø16x2, 6-postolje dna klipa, 7-blokirajući ventil, 8-hidraulični razvodnik, 9-glava klipnjače, 10-bešavna cijev Ø10x2, 11-ventil ograničenja pritiska ,12- ventil ograničenja pritiska, 13-bešavna cijev Ø10x1,5, 14-zupčasta pumpa-desna, 15, 16, 18, 20 i 22-hidraulična crijeva, 17-hidraulični cilindar, 19-zupčasta pumpa, 21-sabirnica.

Kinetička energija fluida se putem hidrauličnih armaturnih vodova i ostalih hidrauličnih komponenti prenosi do dvostranog hidrauličnog cilindra - aksijalnog motora. Smjer djelovanja klipnjače hidrauličnog cilindra na slog valjaka je u zavisnosti od kontaktnog stanja. Pomjeranjem klipnjače hidrauličnog cilindra dolazi do pomjeranja sloga valjaka oko ose naprijed ili nazad čime se postiže regulacija. U momentu kada je nastupilo bezkontaktno stanje obezbijeđeno je centrično kretanje trake.

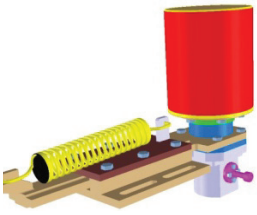


a)



b)

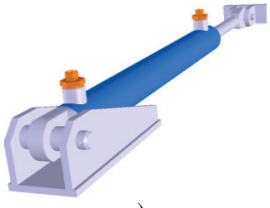
Slika 8: a) Model uređaja za samoregulaciju centričnog kretanja gumene trake trakastog transportera GTK-1000 i b) samoregulirajući uređaj instaliran na trakasti transporter



a)



b)



c)

Slika 9: a) Mehanizam sa pogonom za regulaciju, b) mehanizam u funkciji samopodešenja c) dvostrani cilindar za pomjeranje regulacionog sloga

4. ZAKLJUČAK

U radu je predstavljen model rotornog bagera SRs-220 9,5/0,5, otkopne mašina izuzetnih performansi i kapaciteta koja predstavlja bitan segment BTO sistema površinske eksploatacije. Pored toga predstavljeni su i podsistemi utovarnog sistema rotornog bagera. U radu je razmatran problem centričnog kretanja gumene trake trakastog transportera GTK-1000 postavljenog na konstrukciji prijemne katarke rotornog bagera. Kako bi se riješio problem bočnog skretanja trake sa trakastog transportera, prethodno je predstavljen stari sistem odnosno konstrukcija trakastog transportera sa svim vitalnim elementima. Analizom starog sistema i uočenih nedostataka pristupilo se njegovoj rekonstrukciji, pri čemu je predstavljeno originalno rješenje uređaja za samoregulaciju centričnog kretanja trake na trakastom transporteru utovarnog sistema rotornog bagera SRs-220. Komparacijom značajnih parametara starog i inoviranog rješenja te praćenjem rada poboljšanog sistema u toku eksploatacije, potvrđena je opravdanost i uspješnost izvršene rekostrukcije trakastog transportera GTK-1000 ugradnjom uređaja za samoregulaciju centričnog kretanja gumene trake. Činjenica da nabavka nove opreme za površinsku eksploataciju uglja iziskuje znatna materijalna sredstva, upućuje na zaključak da revitalizacija, shvaćena u širem smislu, predstavlja racionalan put očuvanja i podizanja performansi teške rudarske mehanizacije na površinskim kopovima. Iskustva stečena rješavanjem ovakvih i sličnih problema sanacije i rekonstrukcije rotornih bagera predstavljaju solidnu osnovu za izradu projekata revitalizacije razmatrane klase mašina.

5. LITERATURA

[1] H Grathof, Design (Constructional Characteristics) of Large Bucket Wheel Excavators. *Journal of Mines, Metals, and Fuels*, 34(4), 204-213. 1986.

[2] D. Sprečić, F. Mulahalilović, F. Mrkaljević; Identification of Stress on the Working Wheel Carrier of the Loading System the Bucket-Wheel Excavator Srs (H) 220 9.5/0.5, The 4th International Conference. INTELLIGENT TECHNOLOGIES IN LOGISTICS AND MECHATRONICS SYSTEMS ITELMS' 2010, *Kaunas University of Technology Proceedings*, ISBN 978-9955-25-836-0, pp. 63-66, Panevežys, Lithuania, June 03-04, 2010.

[3] B. Schlecht, Simulation of the Bucket Wheel Drive of a Compact Bucket Wheel Excavator, Krupp Foerdertechnik GmbH, Germany.

[4] D. Sprečić, F. Mrkaljević, F. Mulahalilović, Analysis of Stress and Deformations the Rotating Platform Structure of the Bucket-Wheel Excavator Srs (H) 220 9.5/0.5, The 4th International Conference. INTELLIGENT TECHNOLOGIES IN LOGISTICS AND MECHATRONICS SYSTEMS ITELMS' 2010, *Kaunas University of Technology Proceedings*, ISBN 978-9955-25-836-0, pp. 59-62, Panevežys, Lithuania, June 03-04, 2010.

[5] N. Chironis, Bucket Wheel Excavators of Compact Design Growing Popular. Coal Age, 84(10), 84-91. 1984.

[6] D. Schröder, Economic and technologic aspects of Bucket-wheel Excavator – and Crusher/Conveyor-Systems, Krupp Fördertechnik GmbH, Essen, Germany.

[7] www.thyssenkrupp.com

[8] www.miningandconstruction.sandvik.com

[9] www.takraf.com

MJERENJE POVRŠINSKE I UNUTRAŠNJE TEMPERATURE ČVRSTIH TIJELA

MEASURING SURFACE AND INTERNAL TEMPERATURE OF SOLID BODIES

Edin Terzić[1], Univerzitet u Zenici, Metalurški institut „Kemal Kapetanović" Zenica
edin.terzic.2@gmail.com
Nermina Zaimović-Uzunović[2], Univerzitet u Zenici, Mašinski fakultet
nzaimovic@mf.unze.ba
Narcisa Jarović-Bajramović[3], Univerzitet u Zenici, Metalurški institut „Kemal Kapetanović" Zenica, 72narcisa@gmail.com

---

SAŽETAK:

Jedan od najčešće naglašavanih problema kod mjerenja temperature je mjerenje temperature čvrstih tijela na njihovoj površini koja je u kontaktu sa okolnim gasnim ili tečnim medijem. U radu je analiziran slučaj mjerenja temperature čvrste površine kontaktnim termometrom nakon ostvarenog kontakta termometra sa površinom čija se temperatura mjeri. Jasno je da se prenos toplote između zagrijane površine i okružujećeg gasnog medija odvija konvekcijom dok se prenos topline između površine tijela čiju temperaturu mjerimo i površine sonde kontaktnog termometra odvija provođenjem sa narušenim izotermama u okolini priljubljenog senzora. To uzrokuje pojavu narušavanja termičke ravnoteže što u konačnici otežava tačno mjerenje temperature površine poznatu kao prva parcijalna greška mjerenja.

Istovremeno pri prenosu toplote provođenjem između poprečnog presjeka mjernog spoja termometra i površine uvjek se javlja kontaktni termički otpor W_C zbog neidealnog kontakta i to se naziva druga sistemska parcijalna greška. U ovisnosti od konstrukcije osjetilnog dijela termometra, pojavljuje se treća sistemska parcijalna greška čija vrijednost zavisi od dizajna sonde.

Određivanjem vrijednosti parcijalnih sistemskh greški u radu će se analizirati temperaturno polje čvrstog tijela u kontaktu sa senzorom i toplotni tok između referentne površine čija se temperatura mjeri i priljubljenog termometra koji tu temperaturu treba pokazivati.

Ključne riječi: *mjerenje temperature čvrste površine, kontaktna metoda, greška mjerenja, termički otpor, konvekcija, provođenje*

ABSTRACT:

One of the most commonly-emphasized the problems of measuring the temperature of the temperature measurement of solids on the surface thereof which is in contact with the surrounding gaseous or liquid medium. This paper analyzes the case of temperature measurement of solid surface contact thermometer of obtaining contact thermometer with the surface whose temperature is measured. It is clear that the heat transfer between the heated surface and ambient air convection, takes place for the transfer of heat from the body surface, whose temperature is measured and the surface of the probe

contact thermometer, takes the implementation of the disturbed isotherms around conncating sensor. This causes the appearance of compromising thermal equilibrium, which ultimately makes it difficult to accurately measure the surface temperature known as the first partial measurement error. At the same time the heat transfer by conduction between the cross-section of the measurement circuit of the thermometer and the surface still occurs contact thermal resistance toilet because of nonideal contact, and it is called the second partial system error. Depending on the structure of sensory part of the thermometer, appears the third partial system error the value of which depends on the design of the probe. By determining the value of partial sistematic mistaces will analyze the temperature field of solid body in contact with the sensor and the heat flow between the reference surface whose temperature is measured and connected thermometer that the temperature should be showing.

Keywords: *temperature measurement of solid surface, the contact method, the error of measurement, thermal resistance, convection, conduction*

---

1. UVOD

Jedan od najčešće naglašavanih problema kod mjerenja temperature je mjerenje temperature čvrstih tijela na njihovoj površini koja je u kontaktu sa okolnim gasnim ili tečnim medijem. Ovo mjerenje se može izvoditi kontaktnom ili bezkontaktnom (pirometričkom) metodom ili također sa polukontaktnom metodom koja do sada nije često primjenjivana. Bezkontaktne ili pirometričke metode jednako kao i senzori, indikatori i tehnike koriste se za grubu procjenu vrijednosti temperature površine te neće biti obuhvaćene razmatranjem u ovom radu. Problem mjerenja unutrašnjih temperatura čvrstih tijela je sličan mjerenju temperatura na površini te obzirom na zastupljenost mjerenja temperaturnih gradijenata i metodu ekstrapolacije po debljini tijela i izohipsi na različitim udaljenostima od izvora topline predstavlja značajan problem koji će biti razmatran.

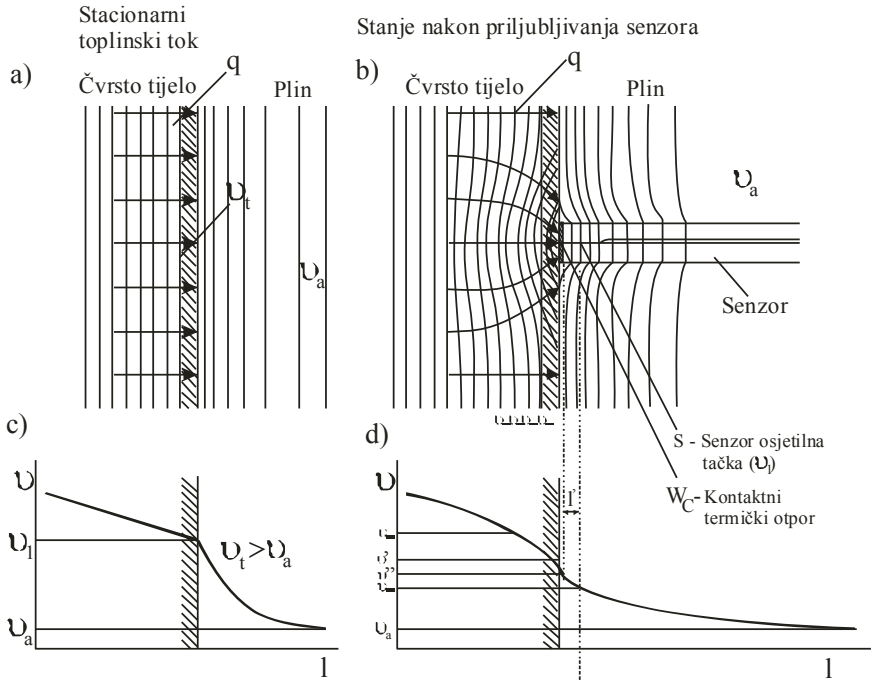
2. TEORIJA KONTAKTNE METODE

Jasno je da kruto tijelo u kontaktu sa okružujućim plinskim medijem, kao što je prikazano na slici 1., teži stacionarnoj termičkoj ravnoteži. Površinski izvor toplote je smješten unutar krutog tijela čija je stvarna površinska temperatura ϑ_1 veća od ambijentne temperature okružujećeg plina ϑ_a. Površinska temperatura ϑ_1 će biti izmjerena sa kontaktnim senzorom – termoelement sa „flat-cut" mjernim spojem u kontaktu sa površinom. Nenarušene izoterme u krutom tijelu, slika 1. (a), se pod uticajem kontaktnog senzora, slika 1. (b), deformiraju. Jasno je da se prijenos topline između zagrijavane površine i okružujućeg gasnog medija odvija konvekcijom i provođenjem sa narušenim izotermama u okolini priljubljenog senzora. Odgovarajuća distribucija temperature u pravcu normalnom na površinu za oba slučaja je prikazana na slici 1. (c i d).

U momentu priljubljivanja senzora na površinu, senzor kao hladno tijelo uzrokuje intenzivni toplotni tok od površine, što rezultira u opadanju temperature na dijelu kontakta sa senzorom od njene stacionarne temperature q_1 na novu temperaturu q', slika 1. (d). Razlika u temperaturi iznosi $\Delta\vartheta_1 = \vartheta'-\vartheta_1$ i naziva se prva parcijalna greška mjerenja, uzrokovana deformacijom homogenog temperaturnog polja. Između poprečnog presjeka mjernog spoja termoelementa i referentne površine uvjek se javlja kontaktni termički otpor W_c zbog neidealnog kontakta. Pad temperature $\Delta\vartheta_2 = \vartheta''-\vartheta'$ zbog efekta kontaktnog otpora, se zove druga parcijalna greška.

Iz ovoga se može pretpostaviti da je kod svih senzora osjetljiva tačka kontakta senzora i površine i da ona značajno utiče na očitavanje termometra υ_T. Iz slike 1 (b), ova tačka kontakta

termoelementa, S, je smještena na rastojanju l', od referentne površine. Temperatura ϑ_T u tački S je različita od ϑ'' za vrijednost $\Delta\vartheta_2 = \vartheta_T - \vartheta''$ i naziva se treća parcijalna greška čija vrijednost zavisi od dizajna senzora. Sve ove razlike $\Delta\vartheta_1, \Delta\vartheta_2$ i $\Delta\vartheta_3$ su sistematske greške kontaktne metode mjerenja temperature čvrste površine u stanju termičke ravnoteže. Određivanjem ovih vrijednosti će se analizirati temperaturno polje krutog tijela u kontaktu sa senzorom i toplotni tok između referentne površine i priljubljenog senzora [1].



Slika 1. Mjerenje temperature površine krutog tijela kontaktnim senzorom: (a i b) predstavljaju izoterme i linije gustine toplotnog toka q; (c i d) predstavljaju temperaturnu raspodjelu uzduž okomitog pravca na površinu; q_t je referentna temperatura površine; q' temperatura površine nakon priljubljivanja senzora; q'' temperatura senzora na frontalnom području; q_T temperatura senzora u njegovoj osjetilnoj tački

2.1. Narušeno temperaturno polje

Istraživanje temperaturnog polja krutog tijela u kontaktu sa senzorom, mogu se posmatrati kao superpozicija dva polja [2]. Prvo polje je orginalno temperaturno polje u tijelu bez priljubljenog senzora, koje se može opisati sa diferencijalnom jednađbom $\Theta_b = f(x,r)$ i drugo narušeno temperaturno polje $\Theta_d = f(x,r)$. Narušavanje temperaturnog polja je uzrokovano narušavanjem toplotnog toka, do kojeg dolazi zbog razlika između gustine q_T, toplotnog toka provođenja kroz senzor i gustine q_b, toplotnog toka prenesenog iz krutog tijela u njegovo ambijentno okruženje. Gustina q_d, narušenog toplotnog toka je data sa jednadžbom:

$$q_d = q_T - q_b \tag{1}$$

Koristeći polu beskonačno tijelo kao primjer, objasniti će se način određivanja nivoa narušavanja toplinskog toka i također pokazati površinska raspodjela temperature. Srednja vrijednost narušene temperature Θ_{dm}, između senzora i tijela uzrokuje prvu parcijalnu grešku Δq_1 koju je potrebno odrediti.
Diferencijalna jednadžba prenosa topline provođenjem, opisuje narušeno temperaturno polje u polu-beskonačnom tijelu kao:

$$\frac{\partial^2 \Theta_d}{\delta r^2} + \frac{l}{r} \cdot \frac{\partial \Theta_d}{\delta r} + \frac{\partial^2 \Theta_d}{\delta x^2} = 0 \tag{2}$$

Sa graničnim uvjetima:

$$\left[\frac{\partial \Theta_d}{\partial x} - \frac{\alpha_b}{\lambda_b} \cdot \Theta_d\right]_{x=0} = -\frac{q_d}{\lambda_b}\Big|_{r \le R_T} \tag{3}$$

$$\Theta_d|_{x=0} < \infty, \Theta_d|_{x=\infty} = 0, \Theta_d|_{r=\infty} = 0$$

gdje je λ_b termička provodnost tijela, i α_b je koeficijent prenosa toplote na površini tijela.
Rješenje jednadžbe (2) sa graničnim uvjetima datim u jednadžbi (3) je:

$$\Theta_d = -\frac{q_d R_T}{\lambda_b} \int_0^\infty \frac{e^{k_x \nu} I_1(\nu) I_0(k_r \nu)}{\nu + B} d\nu \tag{4}$$

gdje je:

ν-varijabla integriranja, $k_x = \frac{x}{R_T}, k_r = \frac{r}{R_T}$, B= $\frac{\alpha_b R_T}{R_T}$,

$I_0(\nu)$ *i* $I_1(\nu)$ su Bessel-ove funkcije prve vrste, nultog i prvog reda pojedinačno.
Iz jednadžbe (4) rješavanjem integrala u funkciji k_x, k_r, i B; F (k_x, k_r, i B) dobije se rješenje:

$$\Theta_d = -\frac{q_d R_T}{\lambda_b} F(k_x, k_r, B) \tag{5}$$

Za izračunavanje vrijednosti prve parcijalne greške, $\Delta\vartheta_1$, koja je jednaka srednjoj vrijednosti narušene temperature, $q_{d,m}$, na kontaktnoj površini između referentnog tijela i senzora, funkcija H mora biti poznata za k_r koji varira u opsegu $0 \le k_r \le 1$ ($0 \le r \le R_T$) i za k_x=0.
Kada bi funkcija H zavisila od nekoliko parametara, to bi bilo teško grafički prikazati na univerzalan način. Zbog toga se u praksi koriste podaci dobijeni eksperimentalnim određivanjem uticajnih parametara za odabrane slučajeve.
U Laboratoriji za tehnička mjerenja obavljeni su eksperimenti sa dvije vrste materijala istih dimenzija referentnih tijela [2,3] .

2.2. Toplotni tok priljubljenog senzora [1,2,]

Kako slijedi iz relacije (1) određivanje gustine, (q_d), narušenog toplotnog toka, zahtjeva poznavanje i gustine, (q_T), toplotnog toka priljubljenog senzora. Pretpostavlja se da koeficijenti prenosa toplote imaju iste vrijednosti, da je temperaturno polje u poprečnom presjeku ploče ravnomjerno, sa ravnomjernom gustinom toplotnog toka preko cijelog fronta kontaktne površine senzora. Dodatno se usvaja da su sonde beskonačno duge [1,2].
Za model priljubljenog senzora toplotnog tok ϕ_T, kao gustina toplotnog toka, q_T, na površini senzora, A_T, u kontaktu sa referentnim tijelom iznosi:

$$q_T = \frac{\phi_T}{A_T} \tag{6}$$

Također termički otpor senzora,W_T, senzora određen je u skladu sa definicijom Mackiewicz-a [2] u relaciji sa temperaturom površine senzora u kontaktu sa referentnim tijelom kao:

$$W_T = \frac{\Theta_T}{\phi_T} \tag{7}$$

Pojednostavljeni problem diska, podrazumjeva da referentna ploča prenosi toplotu u okolinu jedino sa gornje površine ($l_p < 2R_p$) odnosno da je $\upsilon_{p1} = \upsilon_{p2} = \upsilon_T$ što odgovara tankom disku, sa velikom vrijednosti koeficijenta termičke provodnosti λ_p.

Termički otpor diska senzora, prema jednadžbi (9) je:

$$W_T = \frac{l}{\pi R_p^2 \alpha_p} \tag{8}$$

Slijedeći jednadžbu (8), termički otpor W_T šipke daje se jednadžbom:

$$W_T = \frac{1}{\pi R_c \sqrt{2\alpha_c \lambda_c R_c}} \tag{9}$$

2.3. Metodske greške [3,4,5]

Prva parcijalna greška, Δq_1, u skladu sa definicijom iz podpoglavlja 2.1. je:

$$\Delta q_1 = q' - q_t \tag{10}$$

Ova greška jednaka je srednjoj vrijednosti narušene temperature $\Theta_{d.m}$ na kontaktnoj površini između senzora i tijela . Za polu-beskonačno tijelo, slijedeći jednadžbu (5), greška $\Delta\upsilon_1$, je opisana sa:

$$\Delta\upsilon_1 = \Theta_{d.m}\Big|_{\substack{x=0 \\ 0\le r\le R_T}} = -\frac{q_d R_T}{\lambda_b} F_m\Big|_{\substack{x=0 \\ 0\le r\le R_T}} \tag{11}$$

Gustina q_d, narušenog toplinskog toka u jednadžbi (12), se izračunava iz jednadžbe (1) kao:

$$q_d = q_T - q_b \tag{12}$$

Za izračunavanje greške Δq_1 također se koristi i pogodna formula. Ona je derivacija za polu-beskonačno tijelo u kojoj je uzet u obzir termički kontaktni otpor kao:

$$\Delta\Theta_1 = \frac{(W_T + W_c)/W_a - 1}{1 + (\pi R_T \lambda_b / F_m)(W_T + W_c)} \Theta_c \tag{13}$$

gdje je:
λ_b toplotna provodnost referentnog tijela,
W_T je termički otpor senzora,
W_c toplotni kontaktni otpor između senzora i referentnog tijela,
W_a je toplotni otpor prijenosu toplote sa površine referentnog tijela na okolinu, prije priljubljivanja senzora. Ovaj otpor je definiran formulom:

$$W_a = \frac{1}{\alpha_b R_T^2 \pi} \tag{14}$$

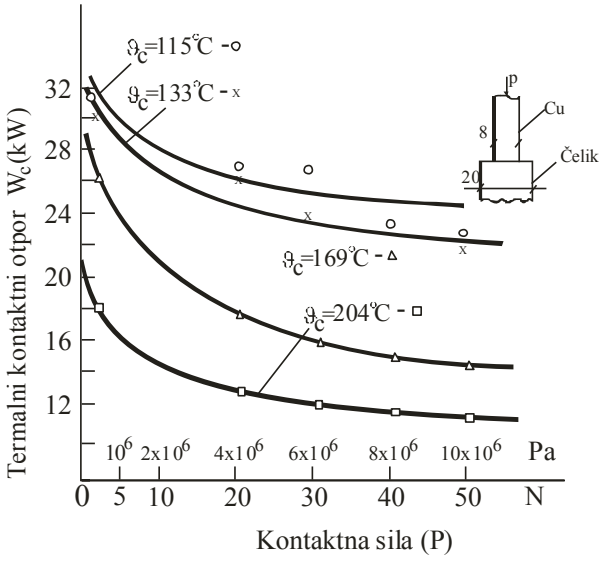
Smanjivanje vrijednosti greške $\Delta\upsilon_1$ može biti provedeno smanjivanjem toplotnog toka provedenog od mjerne tačke uzduž senzora ili njegovih provodnika. Eksperimentalno je potvrđeno [1] da ukupno eliminiranje greške Δq_1 može biti provedeno primjenom senzora sa tankim diskom, izrađenog od materijala visoke toplotne provodnosti i slične emisivnosti kao referentno tijelo i čvrsto pričvršćenim na njega. U tom slučaju gustine toplotnog toka q_b i q_T su jednake ($q_b=q_T$) kao što su i toplotni otpori ($W_a=W_T$) odnosno ($\alpha_b=\alpha_p$). Za disk koji je konstantno čvrsto spojen na površinu, toplotni kontaktni otpor, između senzora i referentne površine, je približno jednak nuli ($W_c=0$). Iz jednađbi (13) i (14) slijedi da je $\Delta q_1 \cong 0$ što vrijedi za gore opisani slučaj.
Druga parcijalna greška Δq_2 je definirana , u odnosu na sliku 1. kao:

$$\Delta q_2 = q'' - q' \tag{15}$$

On može biti posmatran kao pad temperature kroz otpornik W_c pod uticajem toplotnog fluksa ϕ_T, priljubljenog senzora. Prema tome, Δq_2 je data sa:

$$\Delta q_2 = -\phi_T \cdot W_c \tag{16}$$

Jasno da je teško računati toplotni kontaktni otpor W_c, koji zavisi od toliko mnogo faktora kao što su glatkoća i čistoća površine, sila sa kojom pritišćemo senzor na referentno tijelo, elastičnost senzora i vrsta materijala referentnog tijela, itd. U laboraroriju za tehnička mjerenja MI „Kemal Kapetanović" Zenica ove vrijednosti su dobijene eksperimentalno i numerički a jedan primjer je ilustriran na slici 2. Ovdje je definiran toplotni kontaktni otpor između bakrenih žica i čelične referentne površine kao funkcija sile kontakta na različitim kontaktnim temperaturama q_c.



Slika 2: Toplotni kontaktni otpor W_c bakar-čelik kontakta u odnosu na kontaktnu silu P na različitim temperaturama

Na bazi ovih rezultata predložena je primjena sile pritiskanja od oko 30 N za disk termoelement senzore sa bakrenim diskom prečnika 8 mm. Smanjivanje toplotnog kontaktnog otpora je moguće čišćenjem kontaktne površine otklanjanjem oksidne presvlake, masti i drugih nečistoća u toku eksploatacije.
Treća parcijalna greška, $\Delta\upsilon_3$ je definirana u skladu sa slikom 1. kao:

$$\Delta q_3 = q_T - q'' \tag{17}$$

Za njen proračun, potrebno je poznavati raspodjelu temperature uzduž senzora. Svakako za vrlo mala rastojanja između spoja žica termoelementa i njegove frontalne površine, toplotni tok sa površine na senzor, na dužini l', može se zanemariti. Dakle treća parcijalna greška se izražava kao:

$$\Delta\upsilon_3 = -q_T \frac{l'}{\lambda_T} \tag{18}$$

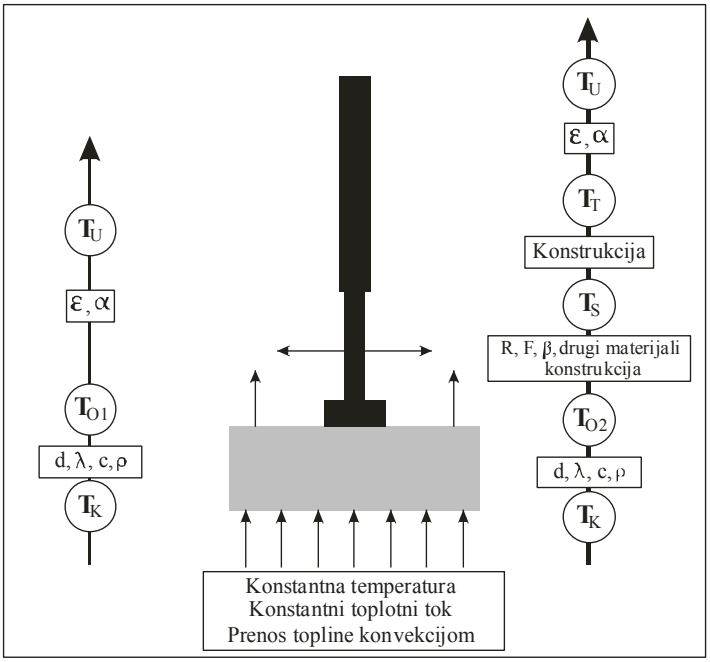
gdje je λ_T termička provodnost materijala senzora.

Za smanjivanje treće parcijalne greške, $\Delta\upsilon_3$, rastojanje l', slika 1, treba biti što je manje moguće. Ovo se može obezbijediti korištenjem tankih pločastih termoelemenata, tankih ploča izrađenih od materijala koji dobro provode toplinu ili korištenjem termoelemenata sa utisnutim spojem, koji također mogu biti korišteni na metalnim površinama.
Kod kontaktnih mjerenja temperature površine, posebno kada se koriste prenosivi (hand – held) senzori, potrebno je razmatrati i dinamičke greške. Ove greške se javljaju kada se očitavanja temperature senzora vrši prije nego se dostigne stacionarno stanje u sistemu referentnog tijela i priljubljenog senzora i detaljno su date u [1].
Ova greška se može izbjeći produžavanjem vremena kontakta prije očitavanja.Dinamičke greške je moguće smanjiti primjenom uređaja za kontrolirano priljubljivanje senzora na referentnu površinu pri ćemu je moguće kontrolirati i podešavati silu pritiskanja i vertikalnost senzora u odnosu na površinu [2]. Teorija dinamičkih grešaka pri kontaktnom mjerenju temperature krute površine prvi put je razvijena kroz radove Mackiewich-a (1971) a praktično testirana u okviru doktorske disertacije [1].

2.4. Uticaj toplotnih osobina tijela na greške [1,6,7,8]

Osnovna fizička osobina tijela, čiju temperaturu mjerimo, je njegova specifična toplotna provodnost λ_b. Sa povećanjem λ_b smanjuje se narušavanje temperature, q_d, u suglasnosti sa jednadžbom (5) a time se smanjuje i prva parcijalna greška Δq_1.
Kao što je opisano stanje površine referentnog tijela utiče na kontaktni toplotni otpor, W_c, koji se javlja između senzora i referentnog tijela ali također i preciznost očitavanja. Greške, koje rezultiraju iz navedenog kontaktnog toplotnog otpora i efekta izvođača kalibracija spadaju u drugu parcijalnu grešku Δq_2 [1].

Na slici 3. su šematski prikazani svi doprinosi koji se specificiraju u grupu statičkih doprinosa pri kalibraciji senzora za mjerenje temperature površine krutih tvari. Iz ovog prikaza je jasno da su statički doprinosi uglavnom vezani za karakteristike aparature u najširem smislu. Na lijevoj strani slike nalazi se flow dijagram doprinosa koji karakteriziraju mjernu nesigurnost aparature, a na desnoj strani se nalazi flow dijagram statičkih doprinosa mjernoj nesigurnosti koji se specificiraju za mjerilo koje se priljubljuje na referentnu površinu.



Slika 3. Šematski prikaz doprinosa koji utiču na statičku toplotnu grešku mjerenja

U svakom slučaju svaka metoda u dijelu definiranja varijabli procesa zahtjeva postavljanje adekvatnog matematičkog modela.

3. ZAKLJUČCI

Rezultati mjerenja svake fizičke veličine pa tako i temperature, bez navođenja nekog kvantitativnog pokazatelja o njegovoj pouzdanosti skoro uvijek dovodi u dilemu onoga tko ga treba koristiti, procjenjivati ili uspoređivati. Sa druge strane i za rezultat dobijen pod skoro idealnim uvjetima mjerenja temperature i korigovan na sve poznate izvore grešaka preostaje sumnja u njegovu korektnost i dilema koliko dobro predstavlja vrijednost temperature koja se mjeri. Postignut je međunarodni konsenzus o metodu ocjene i izražavanju nesigurnosti rezultata mjerenja.
Metod je univerzalan i primjenjiv za sve vrste mjerenja i sve tipove korištenih podataka, ima unutrašnju konzistentnost tj. vrijednost nesigurnosti mjerenja zavisi samo od stvarnih izvora nesigurnosti u konkretnom mjerenju, a ne od toga kako će se oni razmatrati, eventualno grupisati, podgrupisati ili dalje dekomponovati. Metod zadovoljava uslov prenosivosti, tj moguće je nesigurnost dobijenu za jedan rezultat direktno koristiti pri ocjeni mjerne nesigurnosti drugog rezultata.
Mjerna nesigurnost se može izraziti u obliku apsolutne, relativne i kombinovane mjerne nesigurnosti. Apsolutna mjerna nesigurnost je istih dimenzija kao i mjerna veličina.
Često se mjerna nesigurnost, posebno kod digitalnih uređaja izražava kombinovanjem apsolutne i relativne nesigurnosti obzirom da njena vrijednost zavisi od nesigurnosti očitavanja i opsega na kojem se vrši mjerenje.
U zavisnosti od metode i vrste mjerenja odabire se jedan od načina prikazivanja rezultata mjerenja. U doktorskoj disertaciji detaljno su, eksperimentalno na protoipu, definirani i kvantificirani

doprinosi mjernoj nesigurnosti ove metode, te na taj način obezbjeđen olakšan pristup kod izvođenja mjerenja i kalibracija kontaktnim termometrima za mjerenje čvrste površine uz značajno reduciranje greške mjerenja i mjerne nesigurnosti ove metode.

4. LITERATURA

[1] E. Terzić: *Razvoj prototipa aparature za kalibracije kontaktnih senzora za mjerenje temperature površine*; Doktorska disertacija; Univerzitet u Zenici; Mašinski fakultet

[2] Michaelski L., Eckersdorf K., McGhee J: *Teperature measurement*; John Wiley & Sons; Chichester; New York; Brisbane 1991.

[3] T. D. McGee (1988) *Principles and Methods of Temperature Measurement*, John Wiley, New York.

[4] T. W. Kerlin and R L Shepard (1982) *Industrial Temperature Measurement*, Instrument Society of America, Research Triangle, NC.

[5] H. S. Carslaw and J C Jaeger (1973) *Conduction of Heat in Solids*, 2nd Edition, Oxford University Press, London.

[6] F. P. Incropera and D. P. DeWitt (1996) *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 4th Edition, John Wiley, New York.

[7] M. Kutz (1968) *Temperature Control* , John Wiley, New York.

[8] Peter R.N, Childs: *Practical temperature measurement*, ISBN 0 7506 5080 X; University Sussex; Buterworth&Heinemann; Great Britain; First edition 2001.

REGRESIONA ANALIZA REZULTATA ISPITIVANJA TVRDOĆE KOD ČELIKA 17-7PH MODIFIKOVANOG HEMIJSKOG SASTAVA

REGRESSION ANALYSIS OF HARDNESS TESTING RESULTS AT STEEL 17-7PH WITH MODIFIED CHEMICAL COMPOSITION

B. Fakić [1] , Diana Ćubela[2] , Mirsada Oruč[2] , Adisa Burić [1]
[1] Univerzitet u Zenici, Metalurški institute Kemal Kapetanović Zenica, miz@miz.ba
[2] Univerzitet u Zenici, Fakultet za metalurgiju i materijale

---

SAŽETAK:
Tvrdoća je važno svojstvo metalnih materijala, koje daje dosta informacija o materijalu, na osnovu kojih se mogu odrediti ostala mehanička svojstva. U ovom radu su predstavljeni rezultati ispitivanja tvrdoće precipitaciono ojačanog nehrđajućeg čelika 17-7PH sa modifikovanim hemijskim sastavom u stanju nakon termičkih tretmana TH1050 i RH950. Regresiona analiza je pokazala koje su varijable statistički značajne za predviđanje vrijednosti tvrdoće HV10 u čeliku 17-7PH sa modifikovanim hemijskim sastavom.

Ključne riječi: *čelik 17-7PH, tvrdoća, regresija, precipitaciono ojačavanje*

ABSTRACT:
Hardness is an important property of metallic materials, which gives a lot of information about the material on the basis of which to define other mechanical properties. In this paper is presented the results of hardness testing of precipitation hardened stainless steel 17-7PH with modified chemical composition, heat treated in conditions TH1050 and RH950. Regression analysis showed which variables are statistically significant in predicting the value of the hardness HV10 of the steel 17-7PH chemically modified composition.

Keywords: *steel 17-7PH, hardness, regession, precipitation hardening*

---

1. UVOD

Precipitaciono ojačani (PH) nehrđajući čelici su legure željezo-krom–nikl dodatkom jednog ili više precipitaciono ojačavajućih elemenata kao što su aluminij, titan, bakar, niobij i molibden. Važno svojstvo metalnih materijala je tvrdoća, koja daje dosta informacija o materijalu, na osnovu kojih se mogu odrediti ostala mehanička svojstva.Precipitaciono ojačani nehrđajući čelik 17-7PH modifikovanog hemijskog sastava je termički tretiran u stanju TH1050 i modifikovanom stanju RH950. Provedeno je ispitivanje tvrdoće uzoraka kod 16 talina, urađenih u skladu s planom eksperimenta. Regresiona analiza je pokazala koje su varijable statistički značajne za predviđanje vrijednosti tvrdoće HV10 u čeliku 17-7PH modifikovanog hemijskog sastava.

2. HEMIJSKA ANALIZA ISPITIVANIH TALINA

Standardni hemijski sastav za čelik 17-7PH dat je u tabeli 1.

Tabela 1.Standardni hemijski sastav čelika 17-7PH

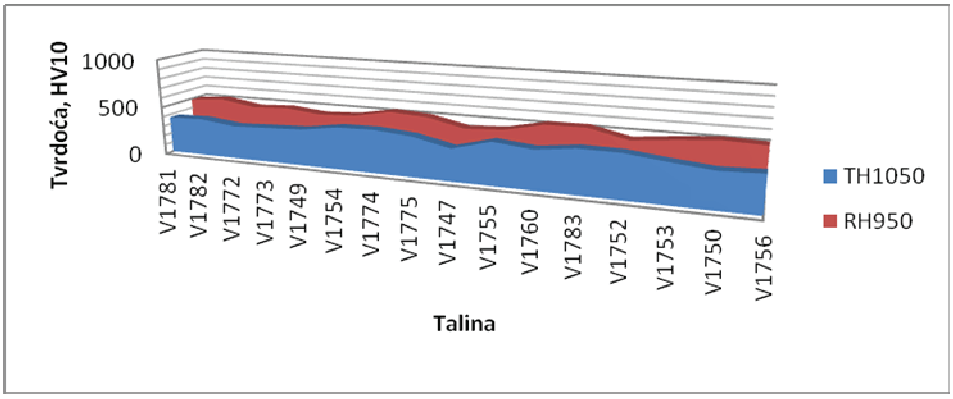
Standard	Hemijski sastav, [mas %]							
	C, max	Mn, max	Si, max	P, max	S, max	Cr	Ni	Al
BAS EN 10088-5 [1]	0,09	1,0	0,7	0,040	0,015	16,0-18,0	6,5-7,8	0,7-1,5
ASTM A564/A564M[2]	0,09	1,0	1,0	0,040	0,030	16,0-18,0	6,5-7,75	0,75-1,5

Hemijska analiza ispitivanih talina se u odnosu na propisani hemijski sastav čelika 17-7PH razlikuje u sadržaju kroma, nikla i aluminija, dok je sadržaj pet osnovnih elemenata (C, Si, Mn, P i S) u granicama koje propisuju standardi.Sadržaj kroma se u talinama modifikovanog hemijskog sastava čelika 17-7PH kretao od 13,8 do 15,7%, nikla od 7,3 do 9,1%, dok je sadržaj aluminija bio od 0,61 do 1,53%[3].

2.2. Ispitivanje tvrdoće

Ispitivanje tvrdoće provedeno je na Metalurškom institutu „Kemal Kapetanović" u Zenici, na uređaju za ispitivanje tvrdoće i mikrotvrdoće ZWICK. Primijenjena je standardna ispitna metoda BAS EN ISO 6507-1: 2007. Opterećenje kod ispitivanja je 10 kg, a temperatura okoline od 19 do 24 °C. Rezultati ispitivanja tvrdoće HV10 [3] i literaturne vrijednosti za precipitaciono ojačano stanje TH1050 i modifikovano stanje RH950 dati su u tabeli 2.

Dijagramski prikaz rezultata ispitivanja tvrdoće HV10 za stanja TH1050 i RH950 su dati na slici 1.



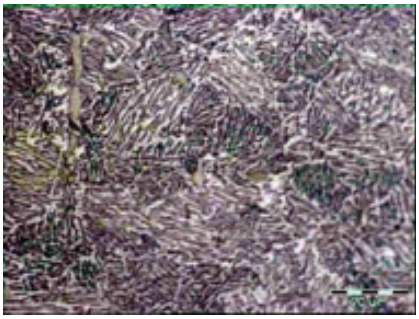
Slika 1: Dijagramski prikaz vrijednosti tvrdoće za stanja TH1050 i RH950

Tabela 2.Rezultati ispitivanja tvrdoće

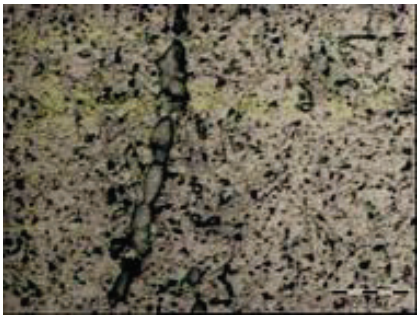
Literaturni izvor /Talina	TvrdoćaHV 10	
Metals handbook [4]	255-361	438
V1781	372	492
V1782	382	521
V1772	340	464
V1773	357	483
V1749	373	446
V1754	429	466
V1774	437	535
V1775	406	512
V1747	324	429
V1755	427	453
V1760	389	536
V1783	437	541
V1752	433	455
V1753	390	495
V1750	354	528
V1756	370	514

2.3. Ispitivanje mikrostrukture

Mikrostruktura na svih šesnaest talina je ispitana na optičkom mikroskopu OLYMPUS PMG3. Metalografska analiza uzoraka u precipitaciono ojačanom stanju TH1050 i modifikovanom stanju RH950 pokazala jemikrostrukturu martenzita i austenita te prisustvo delta ferita. Uzorci su nagriženi u reagensu Vilella. Reprezentativni izgled mikrostrukture za stanja TH1050 i RH950 dat je na slikama 2 i 3.



a) TH1050



b) RH950

Slika 2: Mikrostruktura, nagriženo u reagensu Vilella, povećanje pri posmatranju 500 puta

3. REGRESIONA ANALIZA REZULTATA ISPITIVANJA

Regresionom analizom rezultata dobivenih ispitivanjem tvrdoće HV10 utvrđena je korelaciona zavisnost između sadržaja kroma, nikla, aluminija i njihovih interakcija sa zavisno promjenljivom varijablom - HV10. Vrijednosti koeficijenata korelacije i međusobna povezanost nezavisno promjenljivih Cr, Ni i Al, te njihovih interakcija za stanje TH1050i RH950 dati su u tabeli 2.

Tabela 2: Koeficijenti korelacije za stanje TH1050 i RH950

Stanje	Varijabla	Cr	Ni	Al	CrNi	CrAl	NiAl	CrNiAl	HV10
TH1050	HV10	-0,224	-0,135	0,4265	-0,282	0,4064	0,3504	0,3344	1
	Indeks varijable	x6	x7	x1	x5	x2	x3	x4	-
RH950	HV10	0,1776	-0,47	0,743	-0,413	0,793	0,58	0,639	1
	Indeks varijable	x7	x5	x2	x6	x1	x4	x3	-

Regresiona analiza rezultata ispitivanja tvrdoće na uzorcima kod 16 talina modifikovanog hemijskog sastava u stanju TH1050 i RH950 provedena je u aplikaciji MINITAB. Dobiveni regresioni modeli su:

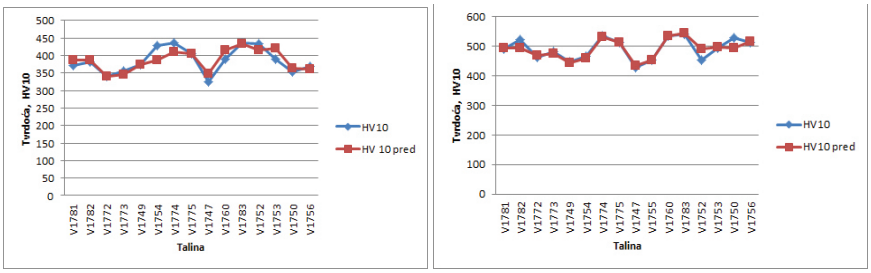
a) stanje TH1050

$$HV10 = -7989,3Al + 558,9CrAl + 914,1NiAl - 63,6CrNiAl - 13,3CrNi + 25,6Cr + 189,2Ni \quad (1)$$

b) stanje RH950

$$HV10 = 182,6CrAl - 3059,2Al - 17,1CrNiAl + 309,7NiAl + 128,3Ni - 14,73CrNi + 74,3Cr \quad (2)$$

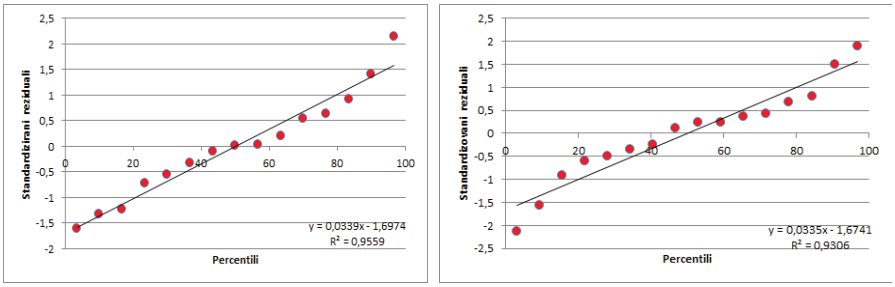
Dijagrami slaganja izmjerenih i predviđenih vrijednosti tvrdoće HV10 dati su na slici 3.



a) stanje TH1050 b) stanje RH950

Slika 3: Dijagram slaganja izmjerenih i predviđenih vrijednosti tvrdoće HV10 za a) stanje TH1050 i b) stanje RH950

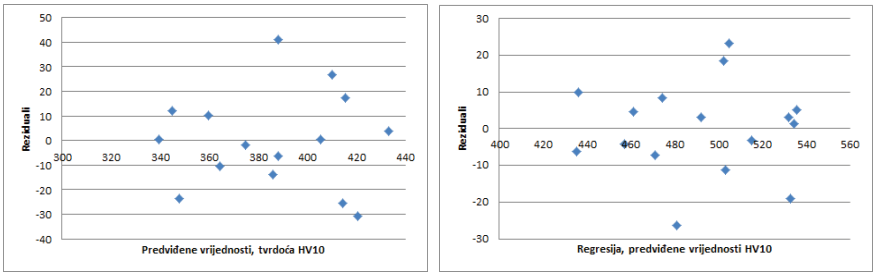
Dijagrami standardizovanih reziduala u odnosu na percentile za stanja TH1050 i RH950 dati su na slici 4.



a) stanje TH1050 b) stanje RH950

Slika 4: Dijagram standardizovanih reziduala u odnosu na percentile za a) stanje TH1050 i b) stanje RH950

Dijagrami rasporeda reziduala u odnosu na regresijuza stanja TH1050 i RH950 dati su na slici 5.



a) stanje TH1050 b) stanje RH950

Slika 5: Dijagram rasporeda reziduala u odnosu na regresiju za a) stanje TH1050 i b) stanje RH950

4. ZAKLJUČAK

Analiza rezultata ispitivanja tvrdoće u precipitaciono ojačanom stanju TH1050 pokazala je da se vrijednosti tvrdoće HV10 kreću od 324 do 437, a kod modifikovanog stanja RH950 od 429 do 528 HV10.Mikrostruktura kod oba stanja je martenzit, austenit i neznatna količina delta ferita.

Vrijednosti koeficijenata u regresionim modelima (1) i (2) pokazuju za stanja TH1050 i RH950 da krom, nikl i interakcije CrAl i NiAl imaju pozitivan utjecaj, dok aluminij i interakcije CrNi i CrNiAl imaju negativan utjecaj na tvrdoću HV10.
Na osnovu vrijednosti Studentovog t-testa može se zaključiti da su za predviđanje vrijednosti tvrdoće HV10 statistički značajne sadržaj Al i interakcije CrAl, NiAl i CrNiAl u stanju TH1050, odnosno sadržaji Cr, Ni, Al te interakcije CrAl, NiAl i CrNi za stanje RH950.

Adekvatnost izabranih modela potvrdile su vrijednosti F-testa, vrijednosti koeficijenta determinacije R^2, korigovanog koeficijenta determinacije R^2adj.i vrijednost standardne greške S.Na osnovu izgleda dijagrama slaganja vrijednosti dobivenih ispitivanjem ipredviđenih vrijednosti može se zaključiti da model s uključenim interakcijama dobro predviđa i ocjenjuje tvrdoću HV10 za precipitaciono ojačano stanje TH1050 i modifikovano stanje RH950. To znači da su dobiveni modeli statistički značajni i pouzdani, te se na osnovu njih mogu predvidjeti vrijednosti za tvrdoću za stanja TH1050 i RH950.

4. LITERATURA

[1] *BAS EN 10088 - 5: 2010 -Nehrđajući čelici – Tehnički uslovi isporuke za šipke, žicu, profile i svijetle proizvode od koroziono otpornih čelika za konstrukcione namjene*
[2] *ASTM A564 / A564M Standard Specification for Hot-Rolled and Cold-Finished Age-Hardening Stainless Steel Bars and Shapes*
[3] B. Fakić, Modifikacija sadržaja kroma, nikla i aluminija u precipitaciono ojačanom čeliku 17-7ph namijenjenog za proizvodnju komponenti automobilskih motora, decembar *2015*.
[4] Metals handbook: *Properties and Selection: Iron, Steels and High-Performance*, *10th Edition, Vol.1*, ASM American Society for Metals, 199

UPOTREBA NOVIH PROGRAMA ZA ANALIZU SAOBRAĆAJNIH NEZGODA

USAGE OF THE MODERN COMPUTER PROGRAMS FOR TRAFFIC ACCIDENTS ANALYSIS

Asmir Selimi[1], Nedim Moranjkić[2], Zlatko Kovačević[3], Alija Karić[4]

[1]JU Mješovita srednja saobraćajna škola Tuzla, asmir222@yahoo.com
[2]JU Mješovita srednja saobraćajna škola Tuzla, nedim.moranjkic@gmail.com
[3]Inspekcija Grada Tuzla,
[4]Univerzitet u Tuzli, Mašinski fakultet Tuzla, ena.k@bih.net.ba

---

SAŽETAK:
U praksi se često susrećemo sa problemom analize nastanka saobraćajnih nezgoda u cestovnom saobraćaju. Do pojave savremenih računarskih programa za analizu toka nastanka saobraćajnih nezgoda stručno vještačenje se izvodilo samo na osnovu analitičkih metoda uključujući nauku, struku i stečenu vještinu. U ovom radu je na konkretnom primjeru prikazana mogućnost upotrebe računarskog programa za analizu saobraćajne nezgode, kao i komparacija sa analitičkom metodom. Da bi se kvalitetno i pouzdano obavila analiza saobraćajne nezgode, neophodno je da se sa lica mjesta snime i utvrde određeni podaci koji će biti ulazni parametri za računarski program.

Ključne riječi: *saobraćajna nezgoda, analiza, računarski program.*

ABSTRACT:
In practice, it is very common to face with the problems when analyzing the cause of accidents in traffic. Before the usage of new modern computer programs, the analysis of the cause of accident was performed by professional expertise on the basis of his/her analytical methods including the science, profession and aquired skills. In this paper it is shown on (simple) common example the possibility of using the computer program for accidents analysis, as well as comparison with the analytical method. For establishing the quality and reliable accident analysis, it is necessary to have photos taken on spot and to get certain data which would be the input parameters for computer program.

Keywords: *accident, analysis, computer program.*

---

1. UVOD

U slučaju saobraćajne nezgode predviđeno je obavezno postupanje učesnika nezgode i svjedoka u skladu sa odredbama Zakona o osnovama bezbjednosti saobraćaja na putevima u Bosni i Hercegovini. Jedna od obaveza odnosi se na prijavu učešća u nezgodi. Kada dežurna služba nadležne policijske uprave primi izveštaj o saobraćajnoj nezgodi, ona u zavisnosti od težine i posljedica nezgode preduzima mjere za obezbjeđenje pružanja pomoći učesnicima nezgode, obezbjeđenje saobraćaja i mjesta nezgode, te vršenje uviđaja ako se radi o nezgodi sa većom materijalnom štetom ili nezgodi u kojoj ima poginulih i povrijeđenih lica.

Podaci koji se prikupljaju uviđajem saobraćajne nezgode koriste se za izradu ekspertiza odnosno analizu saobraćajnih nezgoda koje najčešće rade stalni sudski vještaci saobraćajne struke. Za rad vještaka veoma su značajni podaci pribavljeni pri uviđaju. Od obima i kvaliteta tih podataka zavisit će i kvalitet vještačenja. Za izradu nalaza i mišljenja neophodno je prethodno proučavanje, izbor i analiza svih relativninih materijalnih podataka i činjenica koje će vještak koristiti za definisanje mogućih verzija nastanka nezgode.
Veoma često oštećeni i optuženi imaju suprotne stavove o uzroku i okolnostima pod kojima je nastala nezgoda. Te suprotne ili različite verzije vještak obrađuje analizom materijalnih podataka i za svaku izvodi zaključke o mogućem ili nemogućem toku nastanka nezgode po njoj. Ako se analizom ne dolazi do konačnog i argumentovanog stava o odvijanju saobraćajne nezgode po jednoj verziji već postoji mogućnost da se ona odvija na više načina, tada bi vještak trebalo da definiše pitanja koja proizilaze iz svake verzije i da u zavisnosti od dobijenih ili uslovljenjih odgovora, primjenom određenih postupaka u obradi, grafoanalitičkim proračunima izvršenim po određenom redoslijedu, dođe do rezultata. Na osnovu analize tih rezlutata, vještak definiše svoje mišljenje i zaključak.
Osnovni cilj ekspertize saobraćajne nezgode jeste utvrđivanje uzroka nastanka saobraćajne nezgode i okolnosti u kojima je došlo do nezgode. Pored klasičnih metoda rada i analiza danas postoje računarski programi – softveri za analizu saobraćajnih nezgoda koji s obzirom na razvoj novih tehnologija u svijetu postaju neophodan alat kojim se unapređuje rad vještaka.
Pokazat ćemo kako se primjenom savremenih softvera za vještačenje saobraćajnih nezgoda može znatno unaprijediti rad vještaka i doći do transparentnijih i objektivnijih rezultata vještačenja.

2. PRIMJENA SOFTVERA ZA ANALIZU SAOBRAĆAJNIH NEZGODA

Danas na tržištu postoji nekoliko programskih paketa namijenjenih analizama saobraćajnih nezgoda. Iako svaki od programskih softvera ima određene prednosti, svima je zajednička osobina princip rada pri analizi i rješavanju saobraćajne nezgode.
Osnova svakog softverskog programa je simulacijski model koji je morao proći stroge verifikacije od strane nadležnih institucija, a zasnovani su na matematičkim, fizičkim i empirijskim zakonitostima i karakteristikama.
Predmet naše analize na konkretnom primjeru saobraćajne nezgode je programski softver PC Crash pomoću kojeg će se dokazivati odgovornost nastanka saobraćajne nezgode.
PC Crash je programski paket čijom upotrebom je moguće preciznije analizirati elemente na osnovu kojih je moguće utvrditi uzroke i okolnosti pod kojima se dogodila neka saobraćajna nezgoda. Za pravilnu upotrebu programa PC Crash, neophodno je stručno znanje iz oblasti saobraćaja, posebno analize saobraćajnih nezgoda, kao i poznavanje rada na računaru. PC Crash predstavlja samo pomoć pri analizi saobraćajnih nezgoda, a kvalitet ulaznih podataka na osnovu kojih program vrši proračune zavisi od kvaliteta rada vještaka i kvaliteta prikupljenih materijalnih dokaza.
Programom PC Crash moguće je precizno provjeriti parametre utvrđene konvencionalnim metodama, kao i preciznije odrediti one parametre koji nisu mogli biti precizno utvrđeni klasičnim metodama. [6]

Mogućnosti softvera PC Crash [7]

- PC Crash je softver za simulaciju sudara i kretanja automobila, autobusa, kamiona, skupova vozila, radnih mašina i uopšte vozila svih dimenzija i dinamičkih karakteristika.
- PC Crash ima podprogram za sudare sa pješacima promjenljivih dimezija sa vozilima konkretnih karakterističnih dimenzija.

- Prikaz praktično svih vrsta podloga na kojima se može izvoditi i prevrtanje vozila.
- Implementiran je podprogram za komunikaciju sa softverom mjernog uređaja za mjerenje ubrzavanja XL Meter.
- Mogućnost simulacije kretanja tijela putnika u putničkom prostoru Madymo.
- Dobar dvodimenzionalni i trodimenzionalni prikaz.
- Sačinjavanje kratkih AVI animacija.
- Priprema detaljnog plana mjesta sudara, kao i skeniranih bitmapa podloge sa detaljnim planom raskrsnice u horizontalnoj ravni i pod nagibom, najviše 8 vozila odjednom.
- Kretanje vozila se veoma lako vrši u funkciji vremena i prostora.
- Analiza samog sudarnog procesa poluautomatski i automatski
- Vremensko-prostorna analiza se u okviru ovog softvera izuzetno jasno može prikazati u više oblika.
- Nedostatak je izvođenje vremensko-prostorne analize unazad tj. ulaz u sudarni proces uz prikazivanje više uzastopnih sinhronizovanih položaja učesnika u sudaru.
- Sudarni proces se izvodi u dvije ili tri faze.

Dobre strane softvera [7]

- Jasan vremenski i prostorni prikaz
- Tačnost
- Provjerljivost
- Veoma dobar prikaz dimanike kretanja vozila nakon sudara i vremensko-prostorne analize
- Jasni dijagramski prikazi
- Izvođenje kretanja i sudara svih vrsta vozila
- Bogato logističko okruženje (PC Rect; XL Meter, bitmape, EES...)
- Sudari sa pješacima
- Trodimenzionalno kretanje vozila (prevrtanja, padovi sa mostova, ulijetanja u kanale, provalije)
- Pojednostavljeno izvođenje sudarnog procesa

3. PRIMJER ANALIZE SAOBRAĆAJNE NEZGODE UPOTREBOM SOFTVERA

U narednom poglavlju objasnit ćemo na konkretnom primjeru analizu vještačenja saobraćajne nezgode uz primjenu softverskog programa koji značajno unapređuje i poboljšava ekspertizu. U prvom dijelu ćemo u tabeli prikazati osnovne podatke neophodne za analizu saobraćajne nezgode, a zatim i analitički dio ekspertize nakon čega ćemo sve prikazati u softverskom programu PC Crash pomoću kojeg se ilustracijom prikazuje stanje prije i poslije nezgode.

Tabela 1. Osnovni podaci neophodni za vještačenje saobraćajne nezgode [1]

Vrsta nezgode:	-ekscentrični čeoni sudar putničkog automobila i teretnog motornog vozila
Mjesto nezgode:	-regionalni put P-463 Obudovac-Gradačac u mjestu Obudovac II
Dan i sat nezgode:	-22.07.2014.godine oko 06:45h
Vremenski uslovi.	-dan, oblačno bez padavina
Vidljivost:	-normalna za dnevne uslova voznje
Preglednost:	-normalna dnevna preglednost
Vrsta i stanje kolovoza:	-asfalt, ravan neoštećen, mokar , kolovozom ukupne širine 6,90 m. sačinjenom od dvije kolovozne-saobraćajne trake za odvijanje dvosmjernog saobraćaja koje su odvojene punom linijom, s tim da je horizontalna signalizacija na ovom dijelu puta vidna.
Ograničenje brzine	50 km/h- naseljeno mjesto
Učesnici u nezgodi:	1. **K.K. –VOZAČ** rođen 20.07.1992. godine u Brčkom, nastanjen u Brčkom ,, po zanimanju veterinar, nezaposlen,posjeduje vozačku dozvolu izdata u Brčkom, sa upisanom „B"kategorijom, državljanin BIH, sa vlalstitim p.a „VW GOLF", posjeduje polisu „Sarajevo osiguranje" iz Brčkog, sa rokom važenja do 24.10.2014. godine. 2. **S.Z. - VOZAČ** rođen 26.09.1942. godine u opština Tuzla, po zanimanju samostalni prevoznik, posjeduje vozačku dozvolu izdatu u Tuzli , sa upisanom „B" i „C"kategorijom , državljanin BIH, sa vlasništvom teretnom motornog vozila marke „TAM" – posjeduje polisu „Jahorina"osiguranja iz Tuzle, sa rokom važenja do 22.10.2014. godine
Orjentacioni smjer kretanja vozila.:	-Smjer kretanja t.m.v. marke „TAM " – kojim je upravljao S.Z. je **Obudovac- Gradačac** -Smjer kretanja p.a. marke „VW GOLF" kojim je upravljao K.K. je suprotan odnosno **Gradačac- Obudovac**
Stanje učesnika nezgodi	Vršeno je ispitivanje vozača S.Z. na prisustvo alkohola u organizmu, pri čemu je isti alkotestiran i alkometar marke „Alcoquant 6020", je registrovao 0,00 promila alkohola u organizmu!
Stanje tehničke ispravnosti vozila	Nije bilo primjedbi na tehničku ispravnost vozila, te će se u daljoj analizi smatrati da su vozila koja su učestvovala u saobraćajnoj nezgodi bila tehnički ispravna.
Povrede lica	Prema podacima u spisu, u ovoj saobraćajnoj nezgodi lakše tjelesne povrede zadobio je S.Z.- vozač, učesnik u saobraćajnoj nezgodi

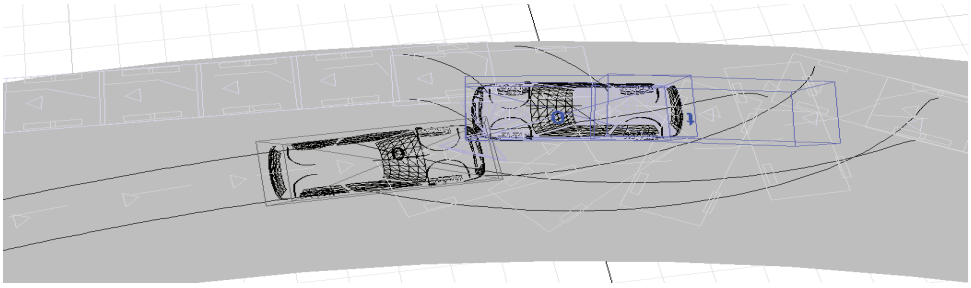
Određivanje brzine putničkog automobila „VW GOLF"

Na osnovu deformacije i oštećenja putničkog automobila, PC CRASH Softver Informer najpribližniju brzinu neposredno pred kontakt određuje **70 km/h**, a brzinu nakon kontakta 40,05 km/h.
Po istom osnovu simulacioni program Virtual CRASH određuje brzinu neposredno prije kontakta da je p.a. imao **69,92 km/h**, a brzinu nakon kontakta 39,91 km/h.
Prema dijagramu zavisnosti izgubljene brzine automobila u sudaru od dubine deformacije čeonog dijela je **AV 1=30 km/h**
Analizirajući razlike brzina na osnovu izračuna u dva programa netačnosti su sljedeće: za brzinu neposredno pred kontakt 0,08 km/h i za brzinu nakon kontakta je 0,09 km/h.
Komparacijom brzina nakon kontakta dobijenih metodom simulacije i dijagrama izgubljene brzine autora Prof.dr. Radoslava Dragača **70km/h- 30km/h =40km/h**, a što je po simulaciji **40,05km/h**, izražena razlika je **0,09 km/h.** [1]

Određivanje brzine teretnog motornog vozila „TAM"

Na osnovu deformacije i oštećenja teretnog motornog vozila,"TAM" PC CRASH Softver Informer najpribližniju brzinu neposredno pred kontakt određuje **50 km/h**, a brzinu nakon kontakta **24,21 km/h** [1]
Po istom osnovu simulacioni program Virtual CRASH određuje brzinu neposredno prije kontakta da je t.m.v. imalo 44,49 km/h, a brzinu nakon kontakta 20,08 km/h
Analizirajući razlike brzina vrijednosti razlike na osnovu izračuna u dva programa netačnosti su sljedeće: za brzinu neposredno pred kontakt **5,41 km/h** i za brzinu nakon kontakta je **4,21. km/h** [1]

Pozicije učesnika u saobraćajnoj nezgodi neposredno prije kontakta vozila
Pozicija plavo osjenčenog vozila je t.m.v. "TAM"
Pozicija crno osjenčenog vozila je p.a. "VW GOLF" [1]

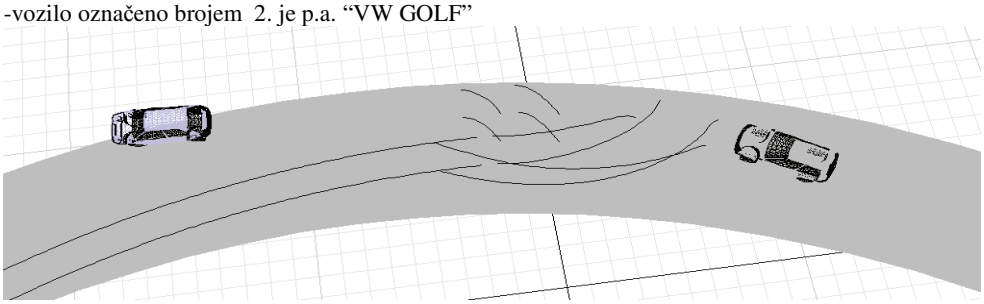


Slika 1. Pozicije učesnika u saobraćajnoj nezgodi neposredno prije kontakta vozila

Situacija neposredno prije potpunog zaustavljanja učesnika u saobraćajnoj nezgodi:

Osnovni i jedini uzrok zbog kojeg je p.a. "VW GOLF" u simulaciji zauzeo nešto dužu putanju je to da je vozilo u konkretnom slučaju imalo deformisan upravljački sistem te blokiran prednji lijevi točak što se može jasno ustanovit sa priloženih fotografija. Upravo iz tog razloga putnički automobil "VW GOLF" zauzima nešto dužu putanju u simmulaciji nego što je to na skici lica mjesta nezgode. [1]

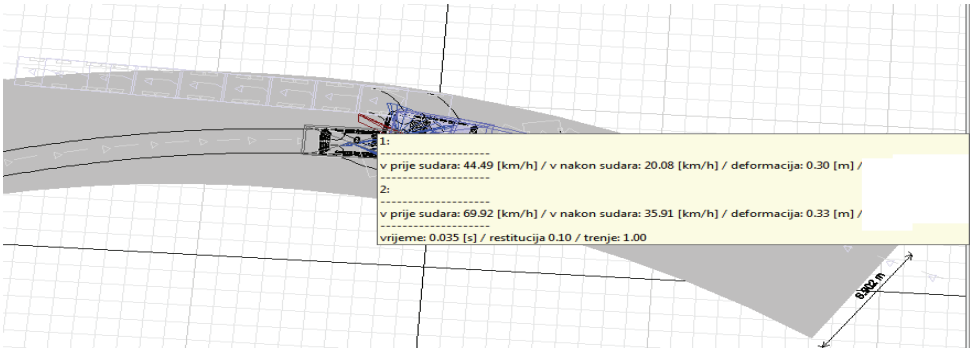
-vozilo označeno brojem 1. je teretno vozilo "TAM"
-vozilo označeno brojem 2. je p.a. "VW GOLF"



Slika 2. Situacija neposredno prije potpunog zaustavljanja učesnika u saobraćajnoj nezgodi[1]

Označeno mjesto kontakta sa referencama

Prema PC CRASH Softver Informeru na osnovu rasprostranjenosti deformacija nastalih na vozilima koja su učestvovala u saobraćajnoj nezgodi predstavljene su sljedeće brzine neposredno prije kontakta: Vt_v=50km/h a Vp_a=70km/h
Na osnovu skice sačinjene od strane službenika PS Šamac i foto dokumentacije o vidnim deformacijama vozila uslijed saobraćajne nezgode ,Prema simulacijskom programu Virtual CRASH 2.2. imamo sljedeće brzine: Vt_v=44,49km/h, a Vp_a=69,92km/h [1]



Slika 3. Označeno mjesto kontakta sa referencam [1]

4. ZAKLJUČAK

Rad uz pomoć softvera za vještačenje saobraćajnih nezgoda može, a ne mora, da bude transparentan. Česta je pojava da se nalazi izrađuju ručno i da se onda u jednoj rečenici naglasi da je situacija provjerena programskim paketom bez da se išta prikaže, osim slike dva vozila kako statički stoje u sudarnom položaju, što nije simulacija. Rad softverima, ako se izrađuje cjelokupna situacija je neuporedivo sporiji i detaljniji od klasičnog ručnog rada na osnovu nauke, struke i vještine u izradi analiza nastanka saobraćajne nezgode. Najvažniji faktor pri analizi je ipak čovjek.

Međutim, ako sistem istakne standarde rada, zahtijeva kvalitet, sankcioniše netačnost i pravilno vrednuje nizak kvalitet, i ako čovjek vrijedno i iskreno radi mogu se izraditi veoma kvalitetni nalazi. Zbog toga danas upotreba softvera postaje masovna pojava.
Generalni zaključak nakon upotrebe softvera je da je rad na izradi nalaza duži, da su rezultati neuporedivo tačniji, vizuelno jasni, i čine posebno zadovoljstvo u radu i sigurnost prilikom obrazlaganja, ali traže neuporedivo veće znanje posebno prilikom interpretacije tj. prevođenja dinamike kretanja vozila na klasično shvatanje stvari.

5. LITERATURA

[1] EKSPERTIZA u predmetu broj: 86 0 Pr 034500 14 Osnovni sud u Modriči, Nalaz i mišljenje vještaka Selimi Asmir, Tuzla 2014.
[2] Osman Lindov, Sigurnost u cestovnom saobraćaju, Fakultet za saobraćaj i komunikacije Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo 2008.
[3] Miroslav Busarčević i dr: Osnovi Kriminalističkih veštačenja-priručnik; MUP, Beograd 2001.
[4] Hrvatska obrtnička komora, Pučko otvoreno učilište Zagreb: Tehnika Motornih vozila, Zagreb, 2006.
[5] Thomas R.Giapponi: Tire forensic Investigation- Analyzing tire failure, SAE, 2008.
[6] http://www.tsgserbia.com/delatnosti/edukacija/obuka-za-upotrebu-programa-pc-crash/
[7] http://www.pc-crash.com/pc-crash-details/
[8] http://www.vestacenja.co.rs/saobracajnenezgode.php

PRIMJENA DUALNIH ALATA U AUTOMATIZACIJI ROBOTSKOG ZAVARIVANJA

APPLICATION OF DUAL TOOLS IN AUTOMATION OF ROBOT WELDING

Prof. dr. Miroslav Rogić, Predrag Milovanović, Dragan Erceg
Univerzitet u Banjoj Luci, Masinski fakultet,
S. Stepanovica 71, 78000 Banjaluka, rogicmiroslav@gmail.com

SAŽETAK:
U automatizaciji procesa zavarivanja robotom koriste se specijalni automati, kooperirajući roboti ili roboti sa izmjenjivačem alata. U ovom radu je prikazan postupak zasnovan na primjeni jednog robota sa dualnim alatom (integrisana hvataljka i MIG/MAG pištolj). Aplikacija, razvijena i testirana u laboratoriji za mehatroniku i robotiku Mašinskog fakulteta u Banjaluci, omogućava da se pripremni radovi montaže (slaganje) pozicija i samo zavarivanje ostvare korištenjem samo jednog robota. Time se ostvaruju uštede u vremenu i resursima, te omogućava primjena robota u integrisanim ili separatnim operacijama montaže i zavarivanja

Ključne riječi: *robot, zavarivanje, automatizacija, dualni alat*

ABSTRACT:
In automation of robot welding process uses special machines, collaborative and cooperative robots or robots with tool changers. This paper presents a method based on the use of one robot with dual tool (integrated gripper and MIG/MAG gun). The application, developed and tested in the Laboratory of mechatronics and robotics, Faculty of Mechanical Engineering in Banja Luka, provides that the preliminary assembly work (stacking) positions and a welding exercise using only one robot. This provides savings in time and resources, and enables the robot application in integrated or separate operations of assembly and welding.

Keywords: *robot, welding, automation, dual end effector*

---

1. UVOD

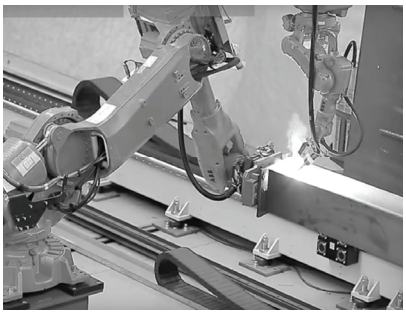
Zavarivanje je prva oblast u kojoj je primijenjena moderna robotika i još uvijek je od primarne važnosti u automobilskoj industriji. Generalno, montažne linije, na kojima se sastavljaju automobili, su zasnovane na korištenju usklađenih tehnologija s visokim stepenom usavršenosti. Rješenja postaju sve složenija ako se automatizacija koristi na globalnom nivou, tj. ako su u istom postrojenju uključene operacije koje prethode i slijede nakon operacija zavarivanja, a u kojima se koristi robotika, od montaže do rukovanja pozicijama, od procesnih operacija do paletizacije, što u osnovi dovodi do stvaranja integrisane linije za zavarivanje. Nivo složenosti još više raste kada proizvodne linije moraju biti dovoljno fleksibilne da bi se prilagodile stalnim promjenama moderne proizvodnje, sa ciljem da se, s jedne strane, permanentno smanjuju zalihe i, s druge strane, prilagođavaju proizvodu koji se često izrađuje u desecima familija i modela.

2. ROBOTSKI ALATI ZA MULTIFUNKCIONLNE ZAHVATE

Razvoj robotskih rješenja koja kombiniraju zavarivanje i montažu u istoj robotskoj ćeliji je tehnički vrlo zahtjevan zbog složenosti poslova koji se obavljaju u vrlo kratkim vremenskim ciklusima. Njihov razvoj mora uzeti u obzir strategiju firme, organizaciju toka proizvodnje i industrijske logističke faktore, kako bi se osiguralo smanjenje troškova i isporuka proizvoda s visokom, stalnim i ponovljivim kvalitetom.

Postoje različiti modeli automatizacije montaže i zavarivanja u istoj robotskoj ćeliji. Obično se može primijeniti:

a. kolaborativni model, kada čovjek i robot u jednoj robotskoj ćeliji realizuju montažu i zavarivanje;
b. kooperativni model, kada dva ili više robota realizuju montažu i zavarivanje u istoj robotskoj ćeliji;
c. brza izmjena alata na robotu korištenjem automatskih izmjenjivača alata.
d. korištenje dualnih alata

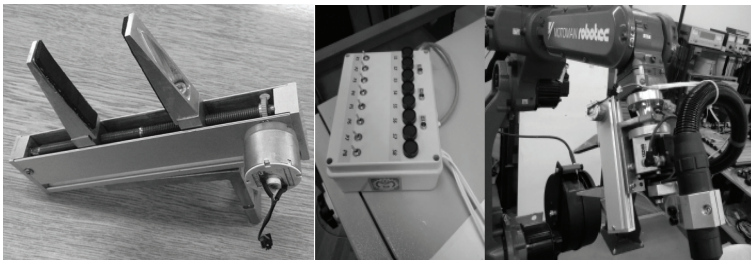


Slika 1: Kooperativni rad robota pri zavarivanju

Kolaborativni rad čovjeka i robota, obezbjeđuje manuelnu montažu i automatsko zavarivanje. Primjenom kooperativnog modela ostvaruje se potpuna automatizacija procesa zavarivanja, pri čemu jedan robot postavlja i pridržava pozicije u položaju zavarivanja, sa mehaničkom ili magnetnom hvataljkom, dok drugi robot, sa MIG/MAG sistemom za elektrolučno ili tačkasto zavarivanje, realizuje proces spajanja materijala zavarivanjem. Model brze izmjena alata korištenjem automatskih izmjenjivača je danas široko zastupljen u mnogim multifunkcionalnim operacijama, ali se kod gasnog zavarivanja teško ostvaruje zbog komplikovanosti instalacije dovoda gasa i žice. U robotskim ćelijama sa jednim robotom moguće je, za određeni spektar proizvoda, implementirati dualne alate, kojima se automatizuju operacije montaže, zavarivanja i rukovanja materijalom (*handling*).

2.1. Razvoj dualnog alata za automatizaciju zavarivanja osnosimetričnih sklopova

U cilju potpune automatizacije zavarivanja osnosimetričnih sklopova (slika 3) u robotskoj ćeliji koju čine: robot Yaskawa Motoman HP6, dvoosni pozicioner DK250, Fronius TPS3200 sistem za MIG zavarivanje sa Abicor Binzel gorionikom (pištoljem) za robotsko zavarivanje, projektovali smo dvoprsnu električnu hvataljku prikazanu na slici 2.



Slika 2: Električna dvoprsna hvataljka a), relejni modul b), hvataljka montirana na robotu c)

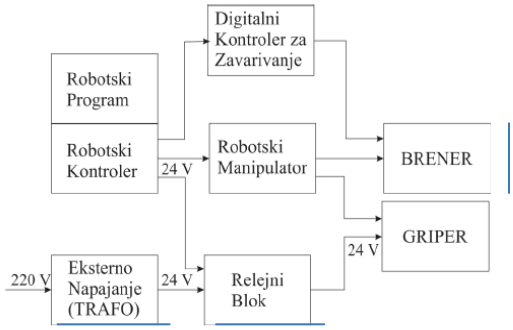


Slika 3: Osnosimetrični proizvodi za montažu i zavarivanje

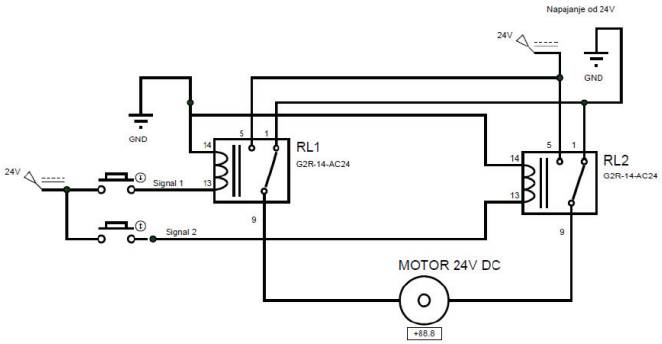
Hvataljka je pogonjena 24V DC motorom, sa pužnim reduktorom, te navojnim vretenom M8x1, sa lijevim i desnim navojem. Izlazni broj obrtaja motora reduktora od 180min^{-1} obezbjeđuje brznu otvaranja/zatvaranja hvataljke od 6mm/s. Hvataljka je montirana između prirubnice i šok senzora gorinika za zavarivanje, na njegovoj konveksnoj strani (slika 2c). Prsti hvataljke su izmjenjivi, tako da smo pored pravih prstiju (držanje predmeta silom), izradili i prste hvataljke sa sa konkavnim prihvatom (prihvat sa geometrijskim graničenjem), slika 6.

2.2. Električno napajanje i upravljanje hvataljkomn

Šema upravljanja dualnim alatom – hvataljka/gorionik je data na slici 4. Motor hvataljke se napaja sa eksternog izvora (ispravljač 220VAC/ 24VDC), uz promjenu smjera rotacije motora putem komutacije smjera struje koja se ostvaruje sa dva releja RL1 i RL2 (slika 5). Relejni komutator se upravlja sa dva izlazna signala RC kontrolera Motoman NX100.



Slika 4: Šema upravljanja dualnog alata hvataljka/gorionik (brener)



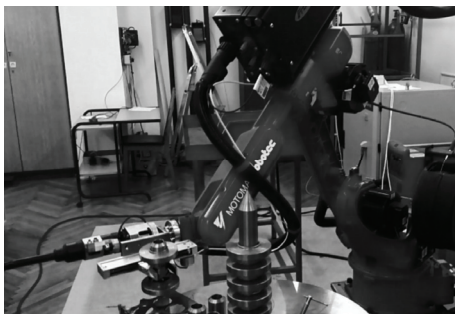
Slika 5: Šema relejnog bloka za upravljanje motorom hvataljke

U robotskom programu kretanje hvataljke se upravlja vremenskom varijablom (tajmer) koja odražava put kretanja prstiju hvataljke . Npr. za otvaranje i zatvaranje hvataljke za 6 mm koriste se sljedeće naredbe robotskog jezika INFORM III.

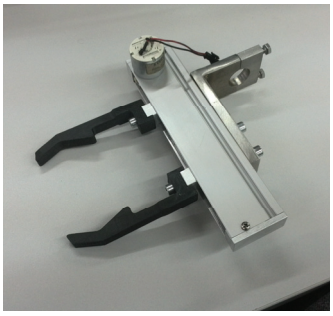
Otvaranje hvataljke:	Zatvaranje hvataljke:
0021 DOUT OT#(2) ON	0029 DOUT OT#(1) ON
0022 TIMER T = 2.00	0030 TIMER T = 2.00
0023 DOUT OT#(2) OFF	0031 DOUT OT#(1) OFF

2.3 Testiranje dualnog alata

Testiranje efikasnosti dualnog alata za automatizaciju procesa montaže i zavarivanja je izvedeno za sklop sastavljen od vratila na koje je potrebno zavariti dva diska (slika 3) . Dovoljan broj pripremaka je postavljen na odgovarajuće šaržere na pozicioneru robota. Zadatak robota je da redom postavlja pozicije u položaj za zavarivanje, izvrši zavarivanje prvog spoja, potom zavareni sklop okrene i postavi u odgovarajući položaj preme drugom disku, izvrši drugo zavarivanje, a potom završeni sklop odloži u sandučastu paletu.



Slika 6: Dualni alat u eksploataciji



Slika 7: Hvataljka sa konkavnim prstima

U praktičnim testovima dualni alat je ostvario dobre rezultate i pokazao opravdanost koncepta integracije montaže i zavarivanja korištenjem jednog robota.

3. ZAKLJUČAK

Automatizacija sistema montaže i zavarivanja sa gore opisanim dualnim alatom donosi znatne uštede u proizvodnim vremenima i troškovima. Integracija različitih tehnologija omogućava ostvarenje proizvodnih ćelija koje, za razliku od konvencionalnih sistema, više nisu projektovane samo za jednu operaciju, npr zavarivanje, već za različite i kompleksne operacije zavarivanja, montaže i *handlinga-*

4. LITERATURA

[1] M Ozaki, Y. Adachi, Y. Iwahori, and N. Ishii, Application of fuzzy theory to writer recognition of Chinese characters, *IOSR Journal of Engineering, 2(2),* 2012, 112-116.

[2] A.Wolf, Rsteinmann, H.Schunk*, Grippers in Motion, The Fascination of Automated Handling Tasks*, *Springer Verlag – Berlin Heidelberg 2005*.

[3] P.O. Bishop, Neurophysiology of binocular vision, in J.Houseman (Ed.), *Handbook of physiology,* 4 (New York: Springer-Verlag, 1970) 342-366

EDGE DETECTION FOR MOBILE ROBOT USING CANNY METHOD

DETEKCIJA IVICA ZA MOBILNE ROBOTE KORISTEĆI CANNY METOD

Boris Crnokić[1], Snježana Rezić[2]
[1]Sveučilište u Mostaru, Fakultet strojarstva i računarstva,
Matice Hrvatske b.b., 88000 Mostar boriscrnokic@hotmail.com
[1]Sveučilište u Mostaru, Fakultet strojarstva i računarstva,
Matice Hrvatske b.b., 88000 Mostar, snjezana.rezic@gmail.com

ABSTRACT:
This paper presents application of Canny edge detection method for detecting of obstacles in the environment of mobile robot. Detection and avoidance of obstacles, collisions and hazardous situations, is a very important part of reliable and secure navigation of mobile robots. Edge detecting method represent one way to extract only the most important details of obstacles. This paper will present a Canny edge detection method on examples of obstacles detection in different conditions.

Keywords: *mobile robot, canny method, edge detection*

SAŽETAK:
Ovaj rad predstavlja primjenu Canny metode za detekciju ivica za detektiranje prepreka u okruženju mobilnih robota. Detekcija i izbjegavanje prepreka, kolizija i opasnih situacija je veoma važan dio pouzdane i sigurne navigacije mobilnih robota. Metoda detekcije ivica predstavlja jedan način da bi se izvukli samo najvažniji detalji prepreka. Ovaj rad će predstaviti Canny metodu detekcije ivica na primjerima detekcije prepreka u različitim uslovima.

Ključne riječi: *mobilni robot, canny metoda, detekcija ivica*

---

1. INTRODUCTION

Robot navigation requires guidance of mobile robot through desired path to the desired goal avoiding obstacles and hazards encountered in an unknown environment. Detection and avoidance of obstacles, collisions and hazardous situations is in the first place, however, path planning and arrival at the desired goal is also a very important part of reliable and secure navigation of mobile robots. Planning the optimal path requires optimization of specific performance of navigation, such as minimum time until robot reaches desired goal with a minimum of control, but also requires to comply with certain restrictions in robot motion, such as avoiding obstacles with the maximum speed of the robot.
To avoid collision with obstacles in the environment, robots should be equipped with sensor system that will enable the detection of these obstacles. Informations obtained from sensors are used in obstacle avoidance strategies, or in strategies for finding best solution in case of emergency stop of robot before collision.

There are many different types of sensors for obstacles detection such as, infra-red sensors, ultrasonic sonar sensors, LIDAR (Light Detecting and Ranging), RADAR (Radio Detection and Ranging), vision sensor (camera) etc. Obstacle detection can be classified into two types [1]:

- *Ranged-based obstacle detection.*
- *Appearance-based obstacle detection.*

In range-based systems, obstacles are objects that protrude a minimum distance from the ground. In appearance-based systems, obstacles are objects that differ in appearance from the ground.[2] In case of range-based obstacle detection, sensors scan the area and detect any obstacle within the range, also sensors calculate the range between the robot and the obstacle. In appearance based obstacle detection, the physical appearance of the obstacle is detected from the environment, usually by image processing [3].

2. CANNY EDGE DETECTION METHOD

Edge detection is one of the most important parts in the image processing systems of mobile robots navigation. It allows the extraction and display of features such as curves, lines and angles for the purposes of identifying images from the environment. Images represented by edges are widely used to simplify the process of identifying and interpreting images to the navigation systems of mobile robots which use camera as primary sensor.[4] Main idea in edge detection process is based on an abrupt change in the intensity of pixels between adjacent pixels in the image. The edge represents a location that forms the border between the pixels of high and low intensity. Abrupt transition in the intensity of pixels requires the application of derivative operators to create a gradient images.[5] The edge detector can be defined as a mathematical operator that corresponds to spatial variations and discontinuities in the grayscale pixel set in the image. The edge is indicated with a rapid changes within the picture that shows the characteristic features and can therefore be characterized as a set of pixels whose intensity of environmental follows continuous variation.[6]

The Canny edge detector is known as the optimal edge detector. John F. Canny in 1986 introduced a multi-stage algorithm for detecting a wide range of edges. He discussed a mathematical problem of derivation of optimal smoothing filter with respect to the criteria of detection, localization and minimization of multiple responses of one edge.[7] Canny saw the edge detection problem as a signal processing optimization problem, so he developed an objective function to be optimized. The solution to this problem was a rather complex exponential function, but Canny found several ways to approximate and optimize the edge-searching problem. Steps in the canny edge detector are as follows [8], [9], [10]:

1. Smoothing: Blurring of the image to remove noise.
2. Finding gradients: The edges should be marked where the gradients of the image has large magnitudes.
3. Non-maximum suppression: Only local maxima should be marked as edges.
4. Double thresholding: Potential edges are determined by thresholding.
5. Edge tracking by hysteresis: Final edges are determined by suppressing all edges that are not connected to a very certain (strong) edge.

The block diagram of Canny edge detection algorithm is shown in Figure 1.

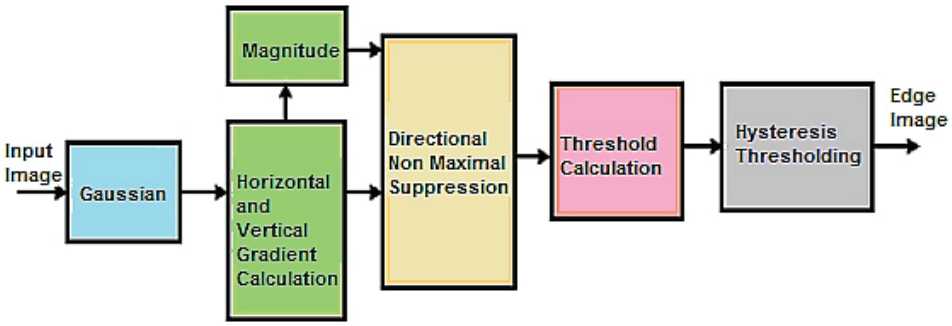


Figure 1. Block diagram of Canny edge detector [9]

3. METHODOLOGY

Hardware used in this paper includes a mobile robot Robotino 2 (Fig. 2.) and a laptop, while the application algorithms were implemented in MATLAB/Simulink programming environment. Robotino is a fully functional, high quality mobile robotic system with omnidirectional wheel drive. The system can work independently but also linked to an external computer system (Wi-Fi connection). Robotino possesses different types of sensors. Some of these sensors are built-in as standard equipment, such as: VGA camera, infrared sensors, incremental encoder and bumper. Other sensors come as an upgrade, such as: analog inductive distance sensor, gyroscope or a navigation system.

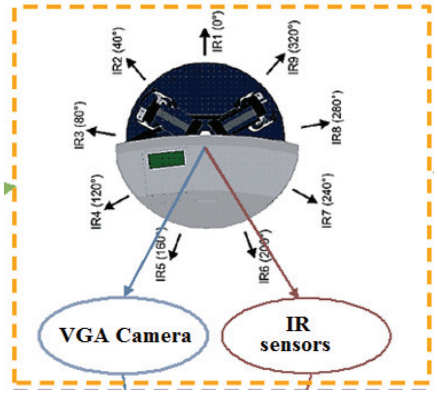


Figure 2. Mobile robot Robotino 2 equiped with sensors

Canny edge detection algorithms are implemented using MATLAB Simulink models by using Video and Image Processing Blocksets from Simulink of MATLAB 7.10 (2010a). Manufacturer (Festo) of mobile robot Robotino has provided an upgrade for MATLAB/Simulink. This also includes Simulink Blockset with blocks for connecting to Robotino and to control all its components, including the camera, motors, sensors, etc.

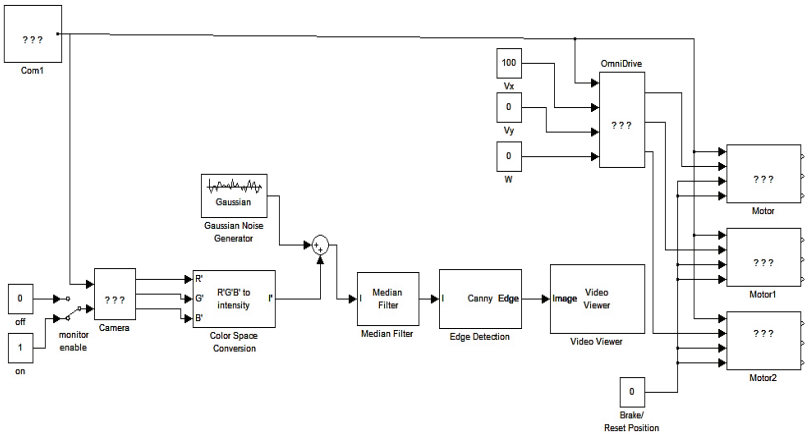


Figure 3. Canny edge detection Simulink model for Robotino

Canny edge detector Simulink model is shown on figure 3. Fixed-point input is not supported for Canny edge method in Simulink. "Gaussian Noise Generator" and "Median Filter" blocks are used. It is necessary to add noise to the image using a Gaussian noise generator in the order to test the model in noisy environment. "Median Filter" is used to reduce the effect on noise present in the image. For Canny method, the "Edge Detection" block finds edges by looking for the local maxima of the gradient of the input image. It calculates the gradient using the derivative of the Gaussian filter. The Canny method uses two thresholds to detect strong and weak edges. It includes the weak edges in the output only if they are connected to strong edges. As a result, the method is more robust to noise, and more likely to detect true weak edges [11].

4. RESULTS

Results of edge detection of some characteristic obstacles are presented in this section. First of all, the Simulink model of Canny edge detector is tested with different parameters, under different lighting conditions, and thereafter edge detection was performed with the best configuration for this model. Canny model was tested with different values of "*Approximate percentage of weak edge and nonedge pixels*" (***APP***), which is used to automatically calculate threshold value. Values of Approximate percentage of weak edge and nonedge pixels were *from 70 to 99*. Value of "*Standard deviation of Gaussian filter*" whole time of the testing was set to 1, because in the previous use of these tools it has been proved that this is the most appropriate value. Figure 4. shows testing of edge detecting method on the example of detecting edges while the robot passes through the narrow passage between the wall and the desk.

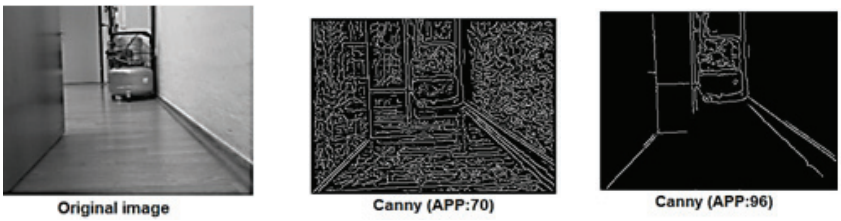


Figure 4. Testing of edge detecting methods – Obstacle: passage between the wall and the desk; Room: poorly illuminated

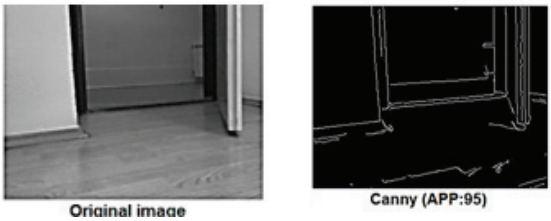


Figure 6. Edge detection - Obstacles: door, wall, doorstep; Room: very illuminated

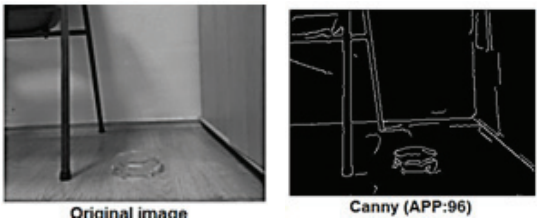


Figure 7. Edge detection - Obstacles: chair, closet, glass ashtray; Room: poorly illuminated

Analysing examples of the previous images it can be concluded that the Canny method gave the best results, lines of edges are continuous and clear. It has been shown that the best settings for edge detection, compared to environmental conditions, are as follows Canny edge detector showed consistent results in both cases, whether it is a poor or increased illumination. The results are very similar, compared to lighting conditions, when the Approximate percentage of weak edge and nonedge pixels is in the range 95-97.

5. CONCLUSION

For mobile robot navigation and detection of obstacles, it is very important that obstacles are visible, respectively, lines of edges must be clear without false edges. Since edge detection is the initial step in obstacles detection and recognition, it is very important to choose a method that will provide greatest number of correct data with least computational complexity. As shown through the examples in this paper, Canny edge detector has the good results and it is able to provide sharp and clear obstacle edges, with continuous and clear lines. Disadvantage of Canny method is computational complexities, so it is necessary that robot has a powerful computer system in order to detect obstacles in the real time. Future work will be focused on development of mobile robot navigation algorithm, which will be based on Canny edge detector.

6. REFERENCES

Journal Papers:

[1] B. K. A. Muraka, M. Sridahan, "Detecting Obstacles and Drop-offs using Stereo and Motion Cues for Safe Local Motion," *Intell. Robot. Syst. 2008. IROS 2008. IEEE/RSJ Int. Conf.*, pp. 702 – 708, 2008.

[2] F. Shahdib and H. Mahmud, "Obstacle Detection and Object Size Measurement for Autonomous Mobile Robot using Sensor," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 66, no. March 2013, pp. 28–33, 2013.

[3] I. Ulrich and I. Nourbakhsh, "Appearance-Based Obstacle Detection with Monocular

Color Vision," *Artif. Intell.*, no. August, pp. 866–871, 2000.
[4] Festo Didactic, "Robotino-Workbook With CD-ROM Festo Didactic 544307 en." Denkendorf, p. 124, 2012.
[5] W. Lee, D. Kim, and I. Kweon, "Automatic edge detection method for the mobile robot application," *Intell. Robot. Syst. 2003. (IROS 2003). Proceedings. 2003 IEEE/RSJ Int. Conf.*, vol. 3, pp. 2730 – 2735, 2003.
[6] N. H. Seng, "A comparison of various edge detection methods," Seberang Perai, 2013.
[7] E. Nadernejad, S. Sharifzadeh, and H. Hassanpour, "Edge Detection Techniques: Evaluations and Comparisons," *Appl. Math. …*, vol. 2, no. 31, pp. 1507–1520, 2008.
[8] P.H. Pawar R.P. Patil, "Image Edge Detection Techniques using MATLAB Simulink," *Int. J. Eng. Res. Technol.*, vol. 3, no. 6, pp. 2149–2153, 2014.
[9] M.R. Rakesh, "Design and Simulation of Matlab / Simulink Model for Edge Detection Techniques in Image Segmentation," *Int. J. Adv. Res. Electr. Electron. Instrum. Eng.*, vol. Vol. 2, no. Issue 12, pp. 5828–5834, 2013.
[10] R. Maini and H. Aggarwal, "Study and comparison of various image edge detection techniques," *Int. J. Image Process. …*, vol. 147002, no. 3, pp. 1–12, 2009.
[11] N. M. Chaithra and K. V. R. Reddy, "Implementation of Canny Edge Detection Algorithm on FPGA and displaying Image through VGA Interface," no. 6, pp. 243–247, 2013.

Books:

[1]S. Saini, B. Kasliwal, and S. Bhatia, "Comparative Study Of Image Edge Detection Algorithms," *eprint arXiv:1311.4963*, 2013.
[2]Ma, Yi. *An Invitation to 3-D Vision: From Images to Geometric Models.* s.l. : Springer, 2004.
[3]Szeliski, Richard**.** *Computer Vision: Algorithms and Applications.* s.l. : Springer, 2010.

EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA KINEMATIČKIH PARAMETARA U NAPREDNIM MEHATRONIČKIM SISTEMIMA S CILJEM POVEĆANJA SIGURNOSTI PRI VOŽNJI VOZILA

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF KINEMATIC PARAMETERS IN ADVANCED MECHATRONIC SYSTEMS IN ORDER TO INCREASE SAFETY WHEN DRIVING A VEHICLE

Semir Mehremić[1], Safet Isić[2], Isak Karabegović[3]
[1]Univerzitet „Džemal Bijedić" u Mostaru, Mašinski fakultet u Mostaru, Maršala Tita b.b.,
semir.mehremic@bih.net.ba
[2]Univerzitet „Džemal Bijedić" u Mostaru, Mašinski fakultet u Mostaru, Maršala Tita b.b.,
safetisic@gmail.com
[2]Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet Bihać, dr. Irfana Ljubijankića bb.,
isak1910@hotmail.com

SAŽETAK:
U radu je prikazano eksperimentalno istraživanje na sistemu koji se sastoji od ploče sa senzorima brzine i ubrzanja smještenim unutar vozila zajedno sa ostalim komponentama mjernog lanca, tako da se varijacijom kinematskih parametara kretanja vozila (putanja, pomak, brzina, ubrzanje) omogući njihovo praćenje i mjerenje u realnim uslovima. Varijacija kinematskih parametara uključuje scenarije pravolinijske ubrzane/usporene vožnje i vožnje po zakrivljenoj putanji. Izvršena je analiza eksperimentalnih mjerenja i njihova sinteza u napredne mehatroničke sisteme za pomoć pri vožnji vozila (ADAS). Analiziran je uticaj dobijenih rezultata na pomoć pri vožnji vozila s akcentom na povećanje kontrole nad vozilom, kao i uticaj na poboljšanje sigurnosti pri vožnji.

Ključne riječi: *vozilo, kinematski parametri, mehatronički sistem, sigurnost.*

ABSTRACT:
This paper presents experimental research on a system that consists of a plate with speed and acceleration sensors located inside the vehicle together with the other components of the measurement chain, so that the variation of kinematic parameters of the vehicle (path, shift, speed, acceleration) to enable their monitoring and measurement in real terms. Kinematic parameters variation's including scenario straight fast/slow driving and driving on a curved path. The analysis of experimental measurements and their synthesis in the advanced mechatronic systems for driving assistance vehicles (ADAS) is done. The impact of the results on driving assistance vehicles is analized with emphasis on increasing vehicle control as well as the impact on improving safety when driving.

Keywords: *vehicle, kinematic parameters, mechatronic systems, safety.*

---

1. UVOD

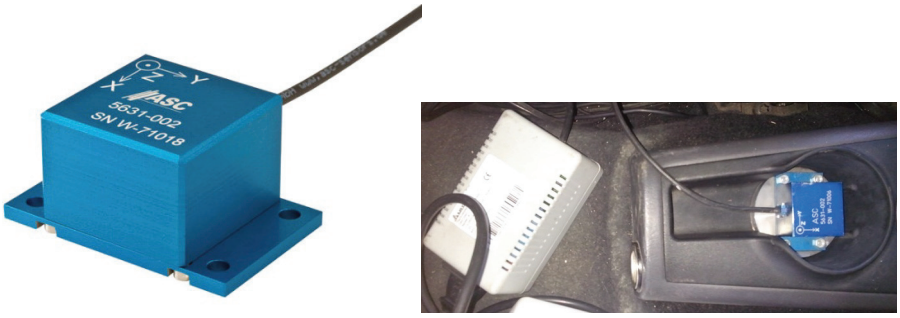
Visoko automatizovana putnička vozila, integrisana u inteligentno okruženje će u budućnosti imati ključnu ulogu u poboljšanju sigurnosti na cestama. Inteligentni sistemi za pomoć pri vožnji postali su trend u ponudi dodatne opreme kod proizvođača vozila širom svijeta. Sve veći broj proizvođača ulaže u razvoj senzorskih sistema koji mogu preuzeti kontrolu nad vozilom u sve većem broju situacija ali i pomoći pri izbjegavanju saobraćajnih nezgoda.
Smanjenje broja nesreća i težine je jedan od najvećih prioriteta u skladu sa ciljevima EU, no to je ujedno i globalni problem. Statistike pokazuju da širom svijeta svake godine gotovo 50 miliona ljudi se ozlijedi i 1,2 miliona ljudi smrtno strada u saobraćajnim nesrećama. Prognoze ukazuju na to da, bez značajnog poboljšanja u sigurnosti na cestama, saobraćajne nesreće će biti drugi najveći uzrok smrtnosti do 2030. godine [1].
Nerealno je da se u Evropi dodatno unaprijedi postojeća cestovna infrastruktura, a eventualna rješenja problema se moraju suočiti i sa porastom potražnje za transportom. Zato će visoko automatizovana putnička vozila, integrisana u inteligentno okruženje, imati ključnu ulogu u poboljšanju sigurnosti na cestama.

1. EKSPERIMENTALNO ISTRAŽIVANJE

Eksperimentalno istraživanje je izvršeno na mehatroničkom sistemu koji se sastoji od senzora kinematičkih parametara kretanja smještenim unutar vozila zajedno sa ostalim komponentama mjernog lanca. Vršene su varijacije kinematičkih parametara kretanja vozila (putanja, pomak, brzina, ubrzanje) te njihovo praćenje i mjerenje u realnim uslovima. Za potrebe ovog rada praćena je i mjerena promjena kinematičkih parametara pri kretanju vozila na ograničenoj pravolinijskoj putanji. Izvršena je analiza rezultata eksperimentalnih mjerenja i uticaj dobijenih rezultata na pomoć pri vožnji vozila.

1.1. Mjerna oprema

Za mjerenje kinematičkih parametara kretanja korišten je kapacitivni triaksijalni akcelerometar ASC 5631 [6], proizveden od strane ASC Sensors (slika 1).
Ovaj akcelerometar ima konstrukciju predviđenu za robusne aplikacije kao što su vozovi, automobili i sl. Kapacitivni triaksijalni akcelerometri se povezuju na mjerna pojačala sa analognim ulazom (+/-10V). Senzor je linearan za niže vrijednosti frekvencija, što ga čini pogodnim za mjerenje ubrzanja pri kretanju vozila.
Na slici 1 je prikazano i pozicioniranje akcelerometra ASC 5631 u eksperimentalni sistem za mjerenje kinematskih parametara kretanja vozila.



Slika 1. Kapacitivni triaksijalni akcelerometar ASC 5631

Za prihvat (akviziciju) signala korišten je mjerno-pojačivački uređaj SPIDER 8 (slika 2), proizvođača Hottinger Baldwin Messtechnick (HBM) iz SR Njemačke.
Uređaj je optimiziran za rad sa računarom. Posjeduje osam nezavisnih mjernih kanala na koje se mogu spajati različiti senzori zasnovani na principu promjene električnih veličina: puni most, polumost i četvrtina mosta mjernih traka; induktivni davači; naponske davači i termoparovi; potenciometri; brzina i moment.
SPIDER 8 ima tačnost od 0.1 i brzinu čitanja podataka od 9600 vrijednosti/s, može koristiti interfejse: LPT, COM i RS-232. Za procesiranje signala koristi low-pass filter sistem.



Slika 2. Mjerno-pojačivački uređaj SPIDER 8 [7]

Ostali elementi mjernog lanca za mjerenje kinematičkih parametara kretanja vozila i način njihovog povezivanja, prikazani su na slici 3.
Mjerno-pojačivački uređaj „SPIDER 8" je povezan sa senzorima, a na drugom kraju je spojen sa računarom koristeći LPT port. Svi ulazni podaci sa senzora će se memorisati u svrhu kasnije analize.



Slika 3. Ostali elementi mjernog lanca za mjerenje kinematskih parametara kretanja vozila

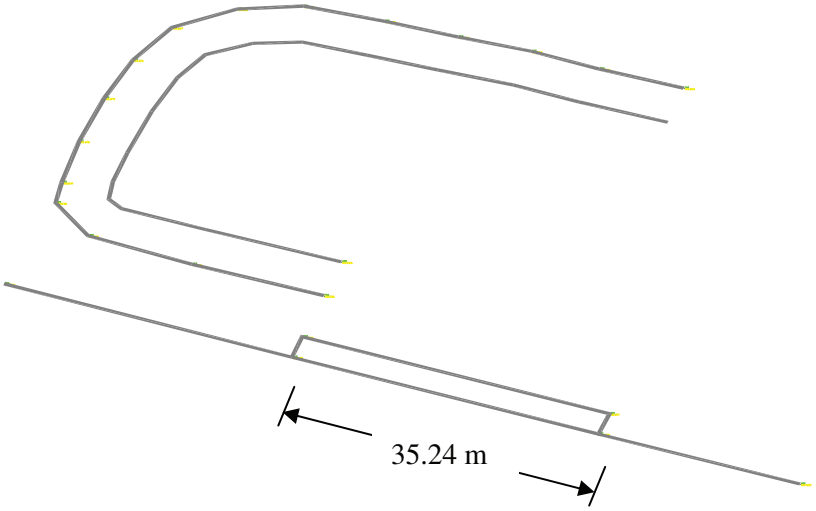
1.2. Putanje kretanja vozila

Mjerenja kinematičkih parametara vršena su na poligonu čiji je tlocrt prikazan na slici 5. Tlocrt putanja dobijen je na osnovu geodetskih mjerenja.
Na slici 4. je prikazan stvarni izgled dijela poligona sa obilježenom putanjom unutar koje se vozilo kreće pravolinijski i eksperimantalno istražuju kinematički parametri kretanja vozila.



Slika 4. Stvarni izgled pravolinijske putanje kretanja vozila

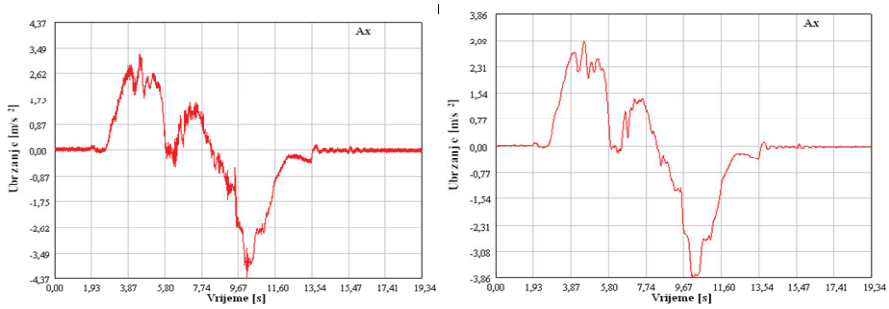
Pravolinijska putanja sa slike 4 je obilježena na tlocrtu poligona prikazanom na slici 5.
Na osnovu geodetskih mjerenja utvrđeno je da je obilježena pravolinijska putanja dužine 35,24 m.



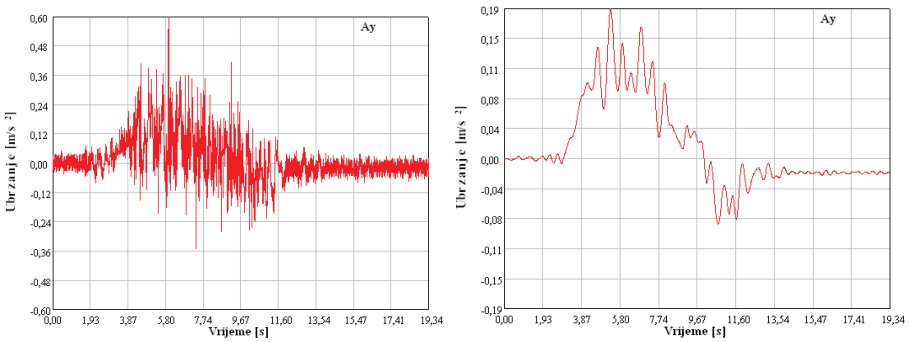
Slika 5. Tlocrt poligona na kome je izvršen eksperiment

2. REZULTATI MJERENJA I ANALIZA

Originalni i filtrirani akcelerogrami pravolinijskog kretanja vozila prikazani su na slikama 6 i 7. Filtriranjem su uklonjene komponente ubrzanja veće od 2 Hz.
Na slici 6 su dati dijagrami ubrzanja u pravcu kretanja vozila što odgovara x osi, dok su na slici 7 dati dijagrami ubrzanja u pravcu bočnom na pravac kretanja vozila što odgovara y osi.

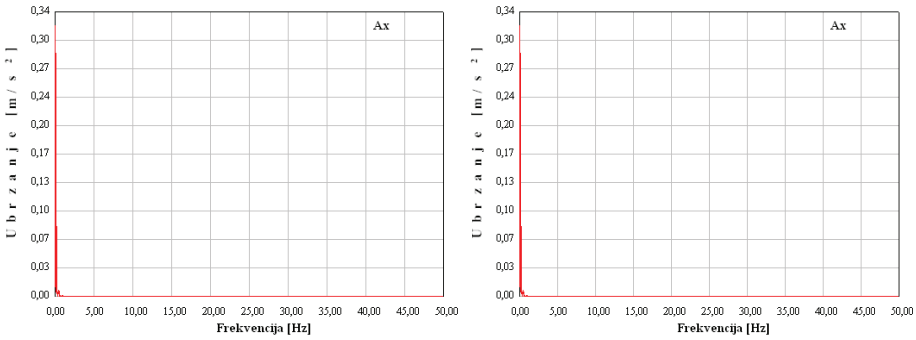


Slika 6. Originalni i filtrirani dijagram ubrzanja u pravcu kretanja vozila (*x* osa)

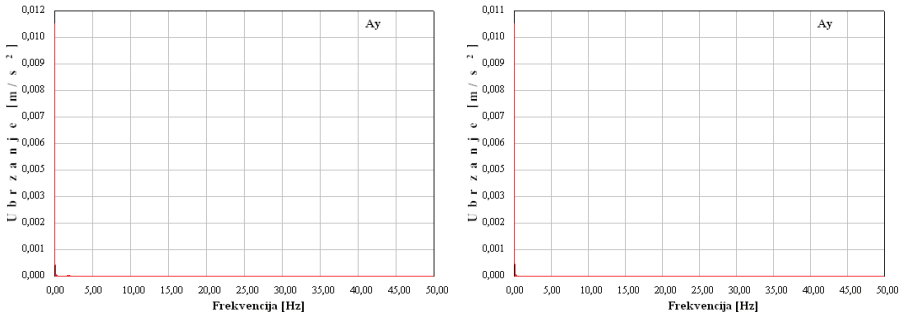


Slika 7. Originalni i filtrirani dijagram ubrzanja bočno na pravac kretanja vozila (*y* osa).

Na slikama 8 i 9 prikazani su frekventni spektri neobrađenih i filtriranih akcelerograma, sa kojih je vidljivo da komponente ubrzanja viših frekvencija nemaju značajan uticaj na vrijednost ubrzanja. Kao i na slikama iznad, možemo pratiti akcelerograme u pravcu osa x i y.

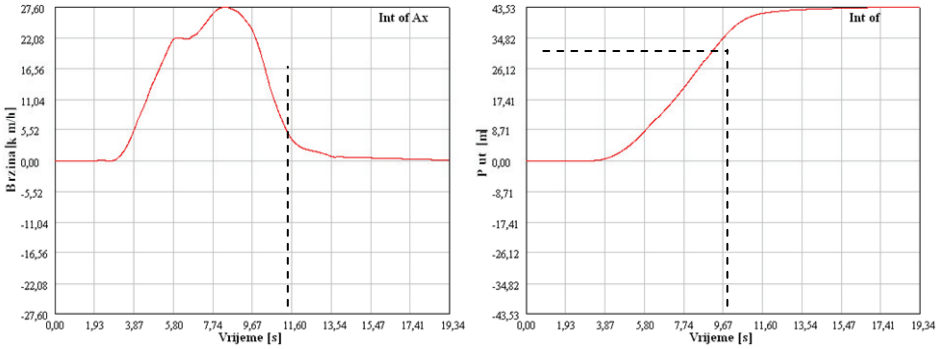


Slika 8. Frekventni spektar originalnog i filtriranog akcelerograma kretanja po *x* osi.



Slika 9. Frekventni spektar originalnog i filtriranog akcelerograma kretanja po *y* osi.

Na slici 10 prikazani su rezultati određivanja brzine i pređenog puta u toku kretanja vozila. Rezultati su dobijeni numeričkom integracijom izmjerenih akcelerograma



Slika 10. Promjena brzine i pređenog puta vozila.

Iz dobijenih rezultata je vidljivo da je do 5.8 sekundi vožnje konstantno povećavana brzina i da na nju nisu značajno uticale oscilacije ubrzanja. U narednom vremenu reda 1 sekunde brzina je bila konstantna, što odgovara otpuštanju papučice gasa vozila. Narednim ubrzanjem dostignuta je maksimalna brzina u toku kretanja od 27.60 km/h, nakon čega je započelo zaustavljanje vozila zbog približavanja završetku obilježene staze za kretanje (vrijeme i pređeni put obilježeni crtkanom linijom). Nakon nailaska na kraj obilježenog dijela staze automobil je nastavio da se kreće malom brzinom do konačnog zaustavljanja. Promjena brzine i ubrzanja u toku provedenog eksperimenta nema izraženu karakteristiku promjenljivosti unatoč brzim promjenama ubrzanja.

3. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazan je prilično jednostavan mehatronički sistem baziran na kapacitivnom akcelerometru i mjerno - pojačivačkom uređaju povezanom sa računarom, koji mjeri promjene kinematičkih parametara kretanja vozila. Senzorski sistem daje precizne podatke o kinematičkim parametrima kretanja vozila iz kojih je vidljivo da promjena brzine i ubrzanja u toku provedenog eksperimenta nema izraženu karakteristiku promjenljivosti unatoč brzim promjenama ubrzanja kao i da komponente ubrzanja viših frekvencija nemaju značajan uticaj na vrijednost ubrzanja.

Eksperimentalni mehatronički sistem koji je izložen u radu jeste jedan od primjera kako se mogu koristiti inteligentni sistemi (senzori, računar, kontroleri i sl.) za automatizaciju bilo kojeg procesa, ne samo u auto-industriji, a s ciljem smanjivanja faktora ljudskog odlučivanja na minimum.

Savremeni mehatronički sistemi za pomoć pri vožnji vozila (ADAS) razvijaju se u smjeru integracije mreža ovakvih senzora koji čine sistem koji kontinuirano mjeri i snima stanje u saobraćaju i sve informacije šalje mikroprocesoru koji donosi odluke šta uraditi u tom trenutku kako bi se osigurala sigurna vožnja vozilom.

4. LITERATURA

[1] United Nations Economic Commission For Europe. Consolidated Resolution On Road Traffic. 2010.
[2] prof. dr. Ivan Bošnjak: Inteligentni transportni sustavi 1, Sveučilište u Zagrebu, 2006.
[3] Thomas D. Gillespie: Fundamentals of the Vehicle Dynamics, Society of Automotive Engineers, Inc., 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096-0001
[4] S. Mehremić, I. Karabegović: "Mechatronics Systems for Driver Assistance Overview", 2nd International Conference „NEW TECHNOLOGIES NT-2015" Development and Application, 24-25 April 2015., Tehnološki park INTERA, Mostar, Bosna i Hercegovina
[5] L. Palkovics and A. Fries. Vehicle System Dynamics, vol. 35 pp. 227–289. Intelligent electronic systems in commercial vehicles for enhanced traffic safety. 2001.
[6] http://www.asc-sensors.de/en/products/accelerometers.html
[7] http://www.hbm.com/en/2313/spider-8-easy-and-reliable-pc-based-data-acquisition/

PRILOG EKSPERIMENTALNOJ IDENTIFIKACIJI DINAMIČKOG PONAŠANJA MEHANIZMA POMOĆNOG KRETANJA KRUŽNE PILE KLIZNOG TIPA KOD ODSIJECANJA PROFILA U VRUĆEM STANJU

EXPERIMENTAL IDENTIFICATION CONTRIBUTION OF THE DYNAMIC BEHAVIOR LOWFULNESS OF AUXILIARY MOTION CIRCULAR SAW SLIDING TYPE WITH CUTTING OFF PROFILES IN HOT STAND

Raif Seferović[1], Edin Aganović[2]
[1]Univerzitet u Zenici, Metalurški institut "Kemal Kapetanović" Zenica
Travnička cesta 7, rseferovic@yahoo.com
[2]CIMOS TMD CASTING d.o.o. Zenica, edin.aganovic2@gmail.com

SAŽETAK:
U radu su prikazani rezultati eksperimentalne analize mehanizma pomoćnog kretanja kružne pile kliznog tipa u stacionarnim i nestacionarnim uslovima rada tokom odsijecanja profila u vrućem stanju. Identificirana je zakonitost promjene otpora translatornom pomjeranju pile bitnog za proračun i optimalno projektovanje ovakvog tipa mehanizama.U stacionarnom radu pile vršena su kontinualna mjerenja promjene pritiska u tlačnom vodu hidrocilindra pri različitim brzinama pomoćnog kretanja i definisana je zakonitost te promjene. Tokom eksperimentalnih ispitivanja ustanovljeno je da se otpor pomoćnom kretanju mijenja u obliku opće kubne parabole prilikom odsijecanja različitih vrsta profila. U radu je postavljen dinamički model mehanizma pomoćnog kretanja pile i dato rješenje osnovne dinamičke jednačine kretanja uzimajući u obzir eksperimentalno izmjereni otpor kod odsijecanja kvadratnog profila 115x115 mm zagrijanog na temperaturi valjanja 800^0C.Rezultati pokazuju da se radi o prinudnom prigušenom kretanju sa malim oscilacijama.

Ključne riječi: *odsijecanje kružnom pilom, otpor pomoćnom kretanju, vibracije sistema.*

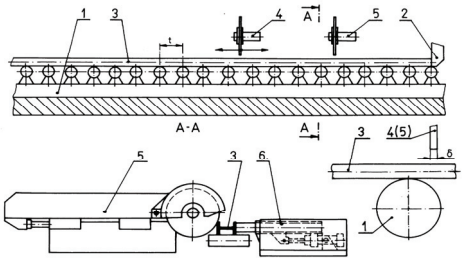
ABSTRACT:
The paper presents the results of an experimental analysis of the auxiliary motion sliding type circular saws mechanism in stationary and non-stationary conditions during the cut-off profile in the hot state. The legality of changes resistance translational moving the saw is identified, which is essential for the calculation and the optimal design of this type of mechanisms. In the stationary work blade it was carried out continuous measurements of pressure changes in the hydraulic cylinder at the different speeds auxiliary motion and defined the legality of these changes. During the experimental tests it was found that the auxiliary movement resistance is changed in the form of a general cubic parabola when clipping the different types of profiles. The paper is set dynamic model of the mechanism of auxiliary motion blade and given solution for the basic dynamic equations of motion taking into account experimentally the resistance at cutting off a square profile 115x115mm rolling heated at a temperature of 800^0 C. The results show that it is a forced damped motion with small fluctuations.

Keywords: *cutting off with circular saw, additional resistance motion, vibration system.*

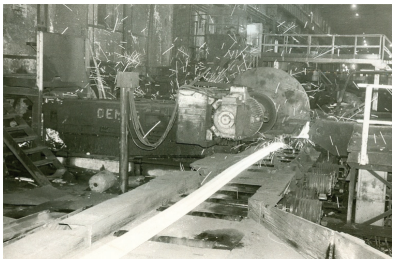
---

1. UVOD

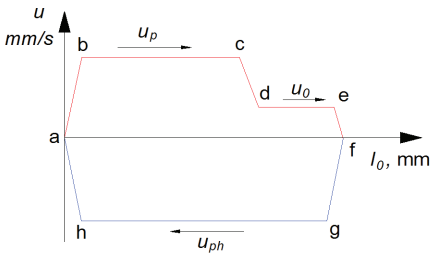
Piljenje je postupak obrade odvajanjem čestica koji se upotrebljava kod odsijecanja ili dijeljenja materijala. Prema načinu kretanja alata, piljenje može biti translatorno i kružno. Kružna pila sa pilnim diskom, kao najizrazitijim modelom tankog homogenog kružnog tijela, posebno mjesto zauzima u postupcima odsijecanja materijala u hladnom stanju, kao i materijala koji se odsijecaju kada su zagrijani na vrlo visokim temperaturama.
Prije samog procesa odsijecanja vrši se priprema izvaljanog profila na kotrljači, podešava na potrebnu dužinu, priteže, odsijeca, a potom transportuje kotrljačom sa obradnog centra na hladnjak. Centar za odsijecanje profila (slika 1) obično sačinjavaju [6]:
- jedna, dvije ili više pila od kojih je najmanje jedna stacionarna (5), a druga ili više njih pokretne, tzv. nonijus pile (4)
- transportna kotrljača (1)
- pokretni odbojnik (2)
- mehanički ili hidraulički stacionarni stezač profila (6)
- sistem za uklanjanje okrajaka i strugotine
- upravljačka platforma sa kabinom
- prevlačnici.



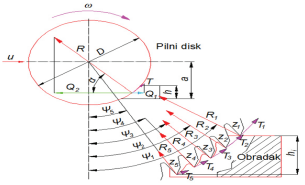
Slika 1: Centar za odsijecanje profila


Slika 2: Trenutak odsijecanja profila izvaljanog u vrućem stanju

Izvaljani profil (3) doprema se do centra za odsijecanje transportnom kotrljačom (1), a potom vozi do spuštenog pokretnog odbojnika (2) o kojeg udari i umiri na kotrljači. Stezači (6) fiksiraju profil uz bočnu stranu pokrivnih ploča transportne kotrljače, čime je obezbijeđena ortogonalnost odsijecanja. Potom se pila (5) pokreće i vrši odsijecanje (slika 2), a potom se vraća u početni položaj. Odbojnik se podiže, a stezač oslobađa profil. Kotrljača se pokreće u pogon i transportuje profil do hladnjaka aŧustaže. Prevlačnici sklanjaju profil sa kotrljače i odlažu ga na hladnjak. Po konstrukciji mehanizma pomoćnog kretanja, klizne pile mogu biti pneumatske, hidrauličke, zupčaste, kulisne, pužnovijčane...
Rad mehanizma pomoćnog kretanja pile može se predstaviti kinematskim dijagramom na slici 3. Proces odsijecanja praćen je pojavom otpora kretanju pilnog diska kroz materijal profila (slika 4), [5].



Slika 3: Kinematski dijagram promjene brzine mehanizma pomoćnog kretanja pile



Slika 4: Otpori odsijecanja profila

U početnom položaju pile (tačka a) pilni disk se obrće brzinom oko 100 m/s, dok je pogon pomoćnog kretanja isključen. Poslije zaustavljanja obratka na kotrljači, daje se komanda za odsijecanje prema kojoj se uključuje pogon pomoćnog kretanja. Potom saonice pile ubrzavaju svoje kretanje (odsječak ab) do zadane brzine u_p (max 300 mm/s) kojom se primiču profilu konstantnom brzinom (odsječak bc). Neposredno u blizini profila (odsječak cd) saonice usporavaju kretanje do brzine u_0 kojom se pilnim diskom vrši odsijecanje (odsječak de) pri čemu brzina saonica ostaje konstantna. Po završetku odsijecanja saonice se zaustavljaju (odsječak ef). Automatski potom slijedi komanda za vraćanje saonica u početni položaj (odsječak fgha), pri čemu se iste kreću povratnom brzinom u_{ph} do max 500 mm/s konstantnog iznosa. U zavisnosti od dimenzije i oblika profila, zatezne čvrstoće i temperature na kojoj se vrši odsijecanje, grafikon ciklusa može da se mijenja. Potrebna brzina pomoćnog kretanja je ona pri kojoj se u jednakim vremenskim intervalima vrši odsijecanje uvijek jednakih površina [3, 4]. Ovaj princip je moguće primijeniti kod ″hladnog″ odsijecanja, jer se taj proces odvija u dužem vremenskom periodu. To, međutim, nije slučaj kod "vrućeg" odsijecanja, jer se odvija veoma brzo (nekoliko sekundi). Zbog toga se ne mogu registrovati tako nagle promjene brzine i pored primjene hidraulike, a razlog je u djelimičnoj tromosti elektro-hidrauličkih komponenti (0,10±0,15 s).

Otpori obrade po nekom i-tom zubu pilnog diska prečnika D (slika 4) definišu se kao:

T_i - glavni otpor odsijecanja koji je kolinearan sa brzinom odsijecanja i ima tangencijalni pravac u odnosu na pilni disk

R_i - otpor prodiranju koji ima radijalan pravac u odnosu na pilni disk

Q_i - otpor pomoćnom kretanju, odnosno sila posmaka s kojom pilni disk pritišće profil i iznosi

$$Q_i = p_{efi} \cdot \frac{d_k^2 \pi}{4} \tag{1}$$

gdje je: p_{efi} - efektivni pritisak u tlačnoj instalaciji hidrocilindra, d_k - prečnik klipa hidrocilindra.

Iz plana sila (slika 4) može se izvesti srednja vrijednost otpora pomoćnom kretanju pile [1, 2]

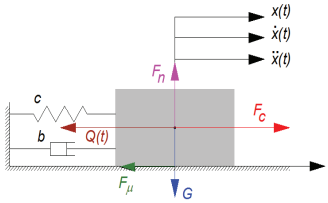
$$Q = Q_2 - Q_1 = R\cos\alpha - T\sin\alpha \tag{2}$$

gdje je α - srednji ugao kontakta pilnog diska sa profilom.

2. DINAMIČKI MODEL MEHANIZMA POMOĆNOG KRETANJA PILE

Kod kružnih pila kliznog tipa saonice se kreću po podmazivanim vođicama, pri čemu ovaj model kretanja odgovara kliznom frikcionom paru (slika 5). Pri tome, najvažniji parametri dinamičkog sistema su: masa saonica pile (G), krutost izvršnog organa pogonskog pneumatskog ili hidrauličkog sistema (c) koja proizlazi iz uljnog stuba pod pritiskom (zatvoren u jednom prostoru

uljni stub može se aproksimirati sa mehaničkom oprugom), prigušivač sistema sa prigušenjem (*b*), poremećajna niskofrekventna sila *Q(t)* koja nastaje kao rezultat periodično promjenljivih sila otpora pomoćnom kretanju pile u toku procesa odsijecanja profila i eventualne neizbalansiranosti rotirajućih dijelova mehanizma glavnog kretanja pile, elastična sila hidrauličkog izvršnog organa $F_c = c\,x$, sila trenja, odnosno sila otpora kretanju saonica pile $F_\mu = b\,\dot{x}$, normalna sila F_n, pomjeraj *x(t),* brzina $\dot{x}\,(t)$ i ubrzanje $\ddot{x}\,(t)$.



Slika 5: Dinamički model mehanizma pomoćnog kretanja pile

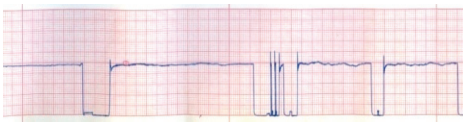
Primjenom II Newton-ovog zakona, osnovna dinamička jednačina kretanja modela mehanizma pomoćnog kretanja pile glasi [6].

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + cx = Q(t) \tag{3}$$

Rješavanjem ove diferencijalne jednačine uz poznavenje opterećenja *Q(t)*, određuje se zakonitost pomoćnog kretanja pile u nestacionarnim uslovima rada.

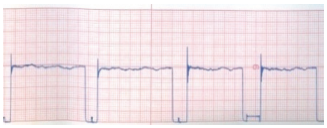
3. EKSPERIMENTALNA IDENTIFIKACIJA KRETANJA

U cilju određivanja zakonitosti pomoćnog kretanja pile u nestacionarnim uslovima rada, neophodno je bilo izvesti ekperimentalna istraživanja u industrijskim uslovima. U radu [5] detaljno je izložen postupak izvođenja eksperimenta. Sam proces odsijecanja je tipično dinamički proces koji odgovara nestacionarnom stanju (n ≠ const), sa promjenljivim opterećenjima u fazi odsijecanja. U praznom hodu, pri različitim brzinama translatornog pomjeranja saonica pile, mijenja se pritisak u tlačnom vodu hidrocilindra mehanizma pomoćnog kretanja (slika 6). Brzine pomoćnog kretanja varirane su u opsegu *u* = (10 - 100) mm/s. Zapaža se da se sa povećanjem brzine pomoćnog kretanja pile (*u*) povećava pritisak (p_0), koji u periodu startanja ima izražen oscilatorni karakter sa povećanim amplitudama (dijagrami c i d).



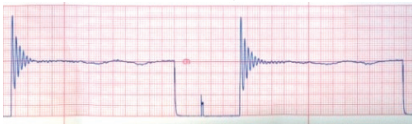
u = 10 mm/s u = 20 mm/s

a)



u = 25 mm/s u = 40 mm/s

b)



u = 50 mm/s

c)

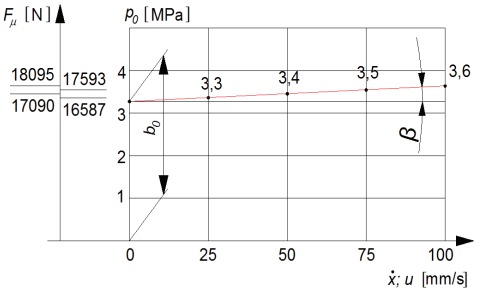


u = 75 mm/s u = 100 mm/s

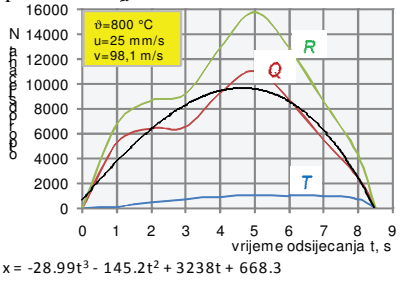
d)

Slika 6: Promjene pritiska u tlačnom vodu HC mehanizma pomoćnog kretanja pile za vrijeme praznog hoda (razmjera 1,6 bar/podiok)

Više je uzroka ovoj pojavi. Sila potrebna za pokretanje sistema iz stanja mirovanja u stanje jednolikog kretanja veća je od sile koja je potrebna za održavanje ovog kretanja (koeficijent trenja mirovanja veći je od koeficijenta trenja kretanja). U slučaju trenja između podmazanih površina, sila trenja ne zavisi od materijala tijela koji se dodiruju, već od viskoznosti maziva i brzine kretanja i proporcionalna je navedenim veličinama. Sila trenja između kliznih površina, otpor vazduha i unutrašnje trenje usljed nepotpune elastičnosti materijala prigušuju vibracije saonica pile u fazi pokretanja. Primjenom proporcionalne hidraulike, finom regulacijom hidrauličkog sistema moguće je otkloniti ove vibratorne pojave. Usljed sila prigušenja period vibriranja sistema je kratak i saonice pile se sa p_o = const. primiču profilu za odsijecanje. Otpor pomoćnom kretanju pile $Q = Q(t)$ predstavlja poremećajnu silu koja se javlja u ciklusima zbog kontinuiranog procesa valjanja. Kako je prečnik klipa HC-a d_k = 80 mm, a p_0 izmjerena veličina pritiska u HC pri praznom hodu i različitim brzinama pomoćnog kretanja u = (25, 50, 75, 100) mm/s, iz obrasca $F_\mu = \left(p_0 \cdot d_k^2 \pi / 4\right)$ izračunaju se konkretne vrijednosti sila trenja: $F_{\mu\,25}$ = 16587 N; $F_{\mu\,50}$ = 17090 N; $F_{\mu\,75}$ = 17 593 N i $F_{\mu\,100}$ = 18095 N (slika 7). Pošto je faktor proporcionalnosti $tg\beta = \left(\Delta p_0 / \Delta u\right)$ = const., to je $F_\mu(u) = bu + b_o$ polinom prvog stepena ili linearna funkcija, pri čemu je $b = tg\beta$ gradijent pravca, faktor proporcionalnosti ili koeficijent otporne sile F_μ.



Slika 7: Promjena pritiska (p_0) u tlačnom vodu HC u funkciji brzine pomoćnog kretanja pile (u)



Slika 8: Otpori kod odsijecanja kvadratnog profila 115 x115 mm

Kada je na ordinati p_0 odsječak $b_0 = 0$, linearna funkcija prima oblik $F_\mu(u) = bu = b\dot{x}$. To znači da je sila otpora kretanju saonica pile pri manjim brzinama direktno proporcionalna prvom stepenu brzine. Kako je $b = tg\beta$, slijedi da je koeficijent sile otpora

$$b = \frac{\Delta p_0}{\Delta u} = \frac{\Delta F_\mu}{\Delta u} = \frac{503}{25} = 20{,}12 \quad \frac{Ns}{mm} \tag{4}$$

Pregled značenja ostalih pojedinih veličina:

- konstanta opruge (hidrauličkog sistema); $c_R = \left(A_k^2 \cdot E_u\right) / V_R$
- uljna zapremina na strani klipa HC; $V_R = A_k \cdot H_k + V_{LK}$, gdje je H_k = 92 cm – hod klipa HC
- površina klipa; $A_k = \left(d_k^2 \pi / 4\right)$
- zapremina hidrauličkih vodova na strani klipa; $V_{LK} = \left(d_n^2 \cdot \pi / 4\right) \cdot L_k$, gdje je L_K = 100 cm – dužina hidrauličkog cjevovoda na strani klipa, a d_n = 25,4 mm – nazivni prečnik hidrauličkog cjevovoda
- $E_u = 1{,}4 \cdot 10^7$ kg/(cm·s^2) – modul elastičnosti ulja.

Kako krutost opruge ima vrijednost $c = c_R = 0{,}7 \cdot 10^7$ *N/m*, to je sopstvena kružna frekvencija sistema

$$\omega = \sqrt{\frac{c_R}{m}} = \sqrt{\frac{0{,}7 \cdot 10^7}{12\,500}} = 23{,}6\,s^{-1} \tag{5}$$

Za sve forme profila graf funkcije $Q = Q(t)$ mijenja se u obliku opšte kubne parabole, pri čemu je za kvadratni profil 115x115 mm sa zateznom čvrstoćom materijala R_m = 1000 N/mm^2 na sobnoj temperaturi (slika 8) promjena ove sile data izrazom

$$Q(t) = -28{,}99t^3 - 145{,}2t^2 + 3238t + 668{,}3 \tag{6}$$

koja napisana u opštem obliku polinoma glasi

$$Q(t) = \alpha t^3 + \beta t^2 + \gamma t + \eta \tag{7}$$

Diferencijalna jednačina kretanja saonica pile (3) može se transformisati u slijedeće forme

$$m\ddot{x} = Q(t) - cx - b\dot{x} \tag{8}$$

$$\ddot{x} = \frac{1}{m}Q(t) - \frac{c}{m}x - \frac{b}{m}\dot{x} \tag{9}$$

$$\ddot{x} + 2\delta\dot{x} + \omega^2 x = hQ(t) \tag{10}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{c}{m}} \;\; ; \;\; \delta = \frac{b}{2m} \;\; ; \;\; h = \frac{1}{m} \tag{11}$$

S obzirom da masa saonica pile (uključujući i mehanizam glavnog kretanja) iznosi m = 12500 kg (utvrđeno vaganjem), to je koeficijent prigušenja (amortizacije)

$$\delta = \frac{b}{2m} = \frac{20{,}12 \cdot 10^3}{2 \cdot 12500} = 0{,}8\ s^{-1} \tag{12}$$

Recipročna vrijednost mase saonica pile iznosi

$$h = \frac{1}{m} = \frac{1}{12500} = 8 \cdot 10^{-5}\,kg^{-1} \tag{13}$$

Kada su poznate veličine δ i ω, može se odrediti koeficijent rasipanja ξ, u literaturi poznat i kao bezdimenzionalni koeficijent prigušenja dinamičkog sistema

$$\xi = \frac{b}{2\sqrt{c_R m}} = \frac{\delta}{\omega} = \frac{0{,}8}{23{,}6} \approx 0{,}03 \tag{14}$$

Rezultati proračuna ukazuju da se radi o slučaju malog otpora kretanju ($\delta < \omega$), tj. sistem ima opadajuće harmonijsko kretanje. Opšte rješenje diferencijalne jednačine (10) ima oblik

$$x = x_h + x_p \tag{15}$$

gdje je: x_h - opšte rješenje odgovarajuće homogene jednačine

$$\ddot{x} + 2\delta\dot{x} + \omega^2 x = 0 \tag{16}$$

a x_p - partikularno rješenje nehomogene jednačine. Karakteristična jednačina izraza (16) je oblika

$$\lambda^2 + 2\delta\lambda + \omega^2 = 0 \tag{17}$$

sa korijenima $\lambda_{1,2} = -\delta \pm \sqrt{\delta^2 - \omega^2}$. Kako je $\delta < \omega$, to su korijeni konjugovano kompleksni

$$\lambda_{1,2} = -\delta \pm i\sqrt{\omega^2 - \delta^2} \tag{18}$$

Opšte rješenje homogene jednačine (16) glasi

$$x_h = e^{-\delta t}\left(C_1 \cos\sqrt{\omega^2 - \delta^2}\ t + C_2 \sin\sqrt{\omega^2 - \delta^2}\ t \right) \tag{19}$$

Kako izraz (10) predstavlja diferencijalnu jednačinu drugog reda, to se partikularno rješenje može tražiti u obliku

$$x_p = A + Bt + Ct^2 + Dt^3 \tag{20}$$

gdje su *A*, *B*, *C* i *D* nepoznate konstantne veličine. Diferenciranjem jednačine (20) po *t* i uvrštavanjem u izraz (10) slijedi:

$$2C + 6Dt + 2\delta(B+2Ct+3Dt^2) + \omega^2(A+Bt+Ct^2+Dt^3) = h(\alpha t^3+\beta t^2+\gamma t+\eta)$$

Izjednačavajući koeficijente uz jednake stepene od t, nalazi se da je

$$\left.\begin{aligned} \omega^2 A + 2\delta B + 2C &= h\eta \\ \omega^2 B + 4\delta C + 6D &= h\gamma \\ \omega^2 C + 6\delta D \ldots\ldots &= h\beta \\ \omega^2 D \ldots\ldots\ldots\ldots &= h\alpha \end{aligned}\right\} \tag{21}$$

Dobijeni sistem jednačina sadrži onoliko nepoznatih (*A*, *B*, *C*, *D*) koliko ima jednačina, što omogućava da se nepoznate veličine izraze preko zadanih koeficijenata (α, β, γ, η) i nađe partikularni integral x_p . Nakon sređivanja dobiju se

$$D = \frac{h\alpha}{\omega^2}; \quad C = \frac{h\beta - 6\delta D}{\omega^2}; \quad B = \frac{h\gamma - 6D - 4\delta C}{\omega^2}; \quad A = \frac{h\eta - 2C - 2\delta B}{\omega^2} \tag{22}$$

Kada se uvrste eksperimentalno određene veličine u izraze (22), dobiju se vrijednosti konstanti

$$A = 9{,}47\cdot 10^{-5}; \qquad B = 4{,}65\cdot 10^{-4}; \qquad C = -2{,}08\cdot 10^{-5}; \qquad D = -4{,}16\cdot 10^{-6} \tag{23}$$

pa partikularno rješenje glasi

$$x_p = 9{,}47 \cdot 10^{-5} + 4{,}65 \cdot 10^{-4} t - 2{,}08 \cdot 10^{-5} t^2 - 4{,}16 \cdot 10^{-6} t^3 \tag{24}$$

Koristeći formule (19) i (24), opšte rješenje diferencijalne jednačine (15) može se napisati u obliku

$$\left.\begin{aligned} x = e^{-\delta t}\left(C_1 \cos\sqrt{\omega^2 - \delta^2}\; t + C_2 \sin\sqrt{\omega^2 - \delta^2}\; t \right) + \\ + 9{,}47 \cdot 10^{-5} + 4{,}65 \cdot 10^{-4} t - 2{,}08 \cdot 10^{-5} t^2 - 4{,}16 \cdot 10^{-6} t^3 \end{aligned}\right\} \tag{25}$$

Da bi se odredile integracione konstante C_1 i C_2, izračuna se

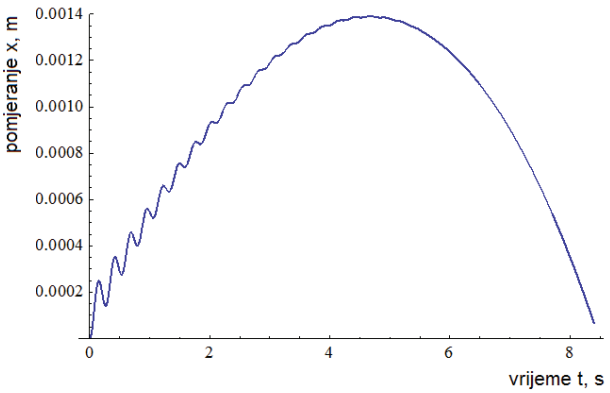
$$\left.\begin{aligned} \dot{x} = \frac{dx}{dt} = -\delta e^{-\delta t}\left(C_1 \cos\sqrt{\omega^2 - \delta^2}\; t + C_2 \sin\sqrt{\omega^2 - \delta^2}\; t \right) + \\ + \sqrt{\omega^2 - \delta^2}\; e^{-\delta t}\left(-C_1 \sin\sqrt{\omega^2 - \delta^2}\; t + C_2 \cos\sqrt{\omega^2 - \delta^2}\; t \right) + \\ + 4{,}65 \cdot 10^{-4} - 2 \cdot 2{,}08 \cdot 10^{-5} t - 3 \cdot 4{,}16 \cdot 10^{-6} t^2 \end{aligned}\right\} \tag{26}$$

Kada se izvrši smijena u jednačini (25): $t = 0$, $x = 0$, a u jednačini (26): $t = 0$, $\dot{x} = 0$, slijedi

$$0 = C_1 + 9{,}47 \cdot 10^{-5}; \qquad 0 = -\delta C_1 + \sqrt{\omega^2 - \delta^2} \cdot C_2 + 4{,}65 \cdot 10^{-4}$$

Na taj način se dobivaju vrijednosti integracionih konstanti: $C_1 = -\ 9{,}47 \cdot 10^{-5}$ i $C_2 = -\ 2{,}29 \cdot 10^{-5}$. Njihovim uvrštavanjem u jednačinu (25), dobija se tražena zakonitost kretanja mehanizma pomoćnog kretanja kružne pile u konkretnim uslovima rada, tj. za vrijeme odsijecanja kvadratnog profila

$$\left.\begin{aligned} x = -e^{-0{,}8t}\left(9{,}47 \cdot 10^{-5} \cos 23{,}58t + 2{,}29 \cdot 10^{-5} \sin 23{,}58t \right) + \\ + 9{,}47 \cdot 10^{-5} + 4{,}65 \cdot 10^{-4} t - 2{,}08 \cdot 10^{-5} t^2 - 4{,}16 \cdot 10^{-6} t^3 \end{aligned}\right\} \tag{27}$$



Slika 9: Grafički prikaz promjene pomoćnog kretanja pile
za zadane eksperimentalne uslove rada

4. ZAKLJUČAK

- Pri translatornom kretanju pile za vrijeme odsijecanja profila javljaju se prinudne prigušene oscilacije opisane diferencijalnom jednačinama (3), odnosno (10);

- Eksperimentalnim ispitivanjem utvrđeno je da je $\delta < \omega$, odnosno $\xi < 1$, te mehanizam pomoćnog kretanja pile predstavlja dinamički sistem sa opadajućim harmonijskim kretanjem;

- Prvi sabirak u izrazu (27) definiše slobodno prigušeno oscilatorno kretanje saonica pile sa kružnom frekvencijom slobodnih oscilacija koje se prigušuju zahvaljujući prigušnom množitelju $e^{-0,8t}$. Ostali članovi navedenog izraza definišu kretanje sa prinudnim oscilacijama saonica pile pri postojanju otpora *Q* pomoćnom kretanju pile;

- Kako se sa porastom vremena prinudne oscilacije smanjuju, može se zaključiti da mehanizam pomoćnog kretanja pile sa hidrauličkim pogonom radi u dinamički stabilnim uslovima rada.

5. LITERATURA

[1] M. Čaušević, *Obrada metala valjanjem*, Veselin Masleša, Sarajevo, 1983.
[2] A. I. Celikov, *Mehanizmi prokatnih stanov*, Mašgiz, Moskva, 1946.
[3] B. Ivković, *Teorija rezanja - Osnovi mehanike, termodinamike, tribologije i ekonomije procesa rezanja*, Biblioteka Nauka i tehnologija, Kragujevac, 1991.
[4] P.Stanković, *Mašinska obrada-I knjiga - Obrada metala rezanjem, šesto izda*nje, Građevinska knjiga Beograd, 1976.
[5] R. Seferović, *Prilog određivanju stabilnosti pilnog diska velikih dimenzija*, doktorska disertacija, Univerzitet u Zenici, Mašinski fakultet Zenica, Zenica 2014.
[6] R. Seferović, *Izrada modela algoritma za izbor dinamičkih konstrukcionih veličina pila za vruće rezanje*, Magistarski rad, Zenica, 1997.

EKONOMSKI ASPEKTI PRIMJENE ZAVARIVANJA TRENJEM SA MIJEŠANJEM U INDUSTRIJI

ECONOMICAL ASPECTS OF INDUSTRIAL FSW APPLICATION

Petar Tasić[1], Adi Pandžić[2], Ismar Hajro[3]
[1]Mašinski fakultet Sarajevo, Vilsonovo šetalište 9, tasic@mef.unsa.ba
[2]Mašinski fakultet Sarajevo, Vilsonovo šetalište 9, pandzic@mef.unsa.ba
[3]Mašinski fakultet Sarajevo, Vilsonovo šetalište 9, hajro@mef.unsa.ba

---

SAŽETAK:
Iako je zavarivanje trenjem sa miješanjem relativno nov postupak spajanja, kojem nije u potpunosti objašnjena fenomenologija nastanka spoja, našao je mnogostruku primjenu u industriji. Pokazao je veliku upotrebljivost pri zavarivanju lakih metala, a posebno često se koristi za spajanje aluminijskih legura u različitim oblicima i konfiguracijama. Pri ovome se značajnim prednostima, u odnosu na konvencionalne postupke spajanja istih legura, smatraju mogućnost zavarivanja profila složene geometrije, debljine i do 50 mm, izvrstan metalurški kontinuitet i mogućnost izbjegavanja upotrebe predgrijavanja i naknadne termičke obrade. Međutim, veliki nedostatak ovog postupka je teško postizanje optimalnih parametara, budući da ne postoje tačne matematičke relacije koje opisuju njihovu međusobnu zavisnost. Ovo vodi potrebi ispitivanja uzoraka probne serije. U ovom radu je dat pregled glavnih ekonomskih prednosti i nedostataka ovog postupka, te dato poređenje sa konvencionalnim postupcima koji se koriste za zavarivanje aluminija i njegovih legura. Na taj način je izvršena procjena opravdanosti upotrebe ovakvog postupka spajanja u slučaju kada postoji alternativa.

Ključne riječi: *FSW, aluminij, industrija, efikasnost*

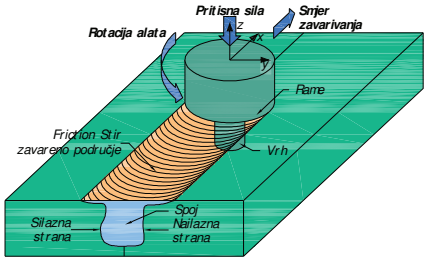
ABSTRACT:
Although FSW is relatively new joining technique, with still unexplained phenomenology of joint creation, it has been widely used in industry. Great applicability has been demonstrated, in particular for welding of various aluminium alloys in many different configurations. As a main advantages, over conventional joining techniques for such alloys, are considered possibility of welding profiles with complex geometries with thickness up to 50 mm, excellent metallurgical continuity, as well as possibility to avoid preheating and post weld heat treatment. However, main disadvantage of this process is inability to easily achieve optimal welding parameters, simply because there are no exact mathematical equations describing their mutual relations. This leads to necessity of test series examination. This paper giver overview of main economic advantages and disadvantages of this welding process, as well as comparison with conventional welding processes used for aluminium and its alloys. In this way, it has been estimated whether or not is justified to use FSW when alternative welding process is available.

Keywords: *FSW, aluminium, industry, efficiency*

---

1. UVOD

Spajanje, odnosno zavarivanje, upotrebom toplote nastale trenjem osigurava nekoliko značajnih prednosti u poređenju sa konvencionalnim procesima spajanja topljenjem. Kako je to postupak spajanja u čvrstom stanju, nema štetnih transformacija mikrostrukture koje se obično povezuju sa zavarivanjem topljenjem, a nema ni poroznosti u zavarenom spoju. Zbog manjeg unosa toplote u zavareni spoj, dio materijala koji je zahvaćen je značajno manji nego kod toplotno intenzivnih procesa spajanja sa topljenjem. Izostankom topljenja, energija potrebna za nastanak zavarenog spoja se dodatno smanjuje, jer nema potrebe da se ulaže toplota potrebna za njega (latentna toplota).
Suštinski, radi se o tome da se materijal zagrijava na temperaturu na kojoj ostaje u čvrstom stanju, ali se lako plastično deformiše (teče), te se u takvom stanju miješa upotrebom alata koji rotira (slika 1). Na taj način se ostvaruje nastanak zavarenog spoja, koji može biti različitih konfiguracija.



Slika 1: Princip rada pri sučeonom zavarivanju trenjem sa miješanjem [1]

Zasada je FSW proces našao upotrebu pretežno za aluminij i njegove legure, te legure lakih metala (magnezij, titan i slično). Za čelik se još uvijek relativno rijetko koristi, budući da je teško pronaći adekvatne materijale za izradu alata koji se mogu nositi sa uslovima pri zavarivanju čelika. [1]
Bitno je spomenuti da je jedan od najvažnijih, ako ne i najvažniji, parametar ovog procesa zapravo alat, odnosno njegova geometrija [2]. Od alata zavisi kako će se odvijati proces zavarivanja, kako će izgledati zavareni spoj, ali i kako će se stvarati toplota potrebna za nastanak zavarenog spoja. Alat igra tako značajnu ulogu jer kod konvencionalnih procesa se toplota potrebna za zavarivanje dovodi sa vanjskog izvora (električni luk, laser, elektronski mlaz), dok se kod FSW procesa ona stvara na mjestu zavarenog spoja [3]. Raznolikost geometrijâ i oblikâ alata, kao i mogućnosti upotrebe različitih konfiguracija alata (više alata redno ili paralelno), osiguravaju FSW procesu ključne prednosti nad ostalim postupcima zavarivanja.
Međutim, iako na prvi pogled izgleda jako jednostavno objasniti proces nastanka zavarenog spoja, to u stvarnosti izgleda bitno drugačije. Još uvijek je teško osigurati relativno jednostavno predviđanje osobina nakon zavarivanja, kao i preporuke parametara za zavarivanje.

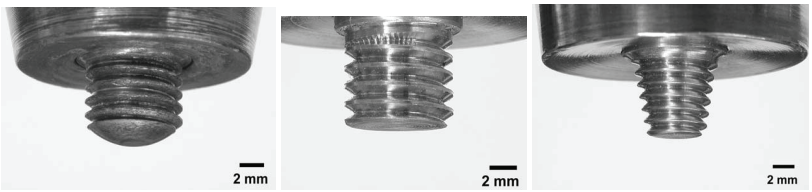
2. EKONOMSKE PREDNOSTI PRIMJENE

Sa aspekta primjene FSW procesa spajanja u industriji, postoje neke značajne prednosti u odnosu na konvencionalne postupke spajanja. To se prije svega odnosi na uštede u energiji potrebnoj za nastanak zavarenog spoja, mogućnostima primjene za različite konfiguracije spojeva i brojne geometrije alata koje omogućavaju širok spektar prednosti (od spajanje limova debljine 50 mm u jednom prolazu do potpunog izostanka bilo kakve naknadne obrade zavarenog spoja).
Opće prednosti. Postoje neke općenite prednosti primjene FSW procesa zavarivanja u industriji. Proces se smatra zelenim procesom zavarivanja zbog svoje energetske efikasnosti i malog uticaja na okoliš [2]. Jedina energija koja se troši za proces je električna energija, koja se putem motora

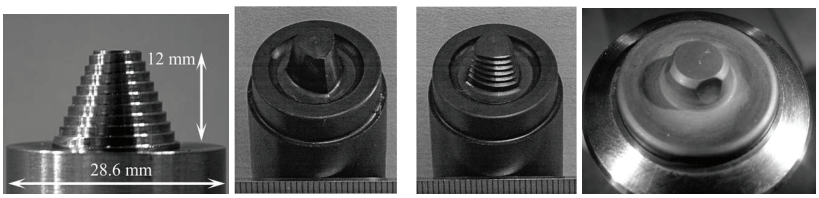
pretvara u obrtno i translatorno kretanje alata. Ne vrši se sagorijevanje ili topljenje, nema emisije svjetlosti i zvuka, te se zbog toga smatra da ovaj postupak zavarivanja troši značajno manje energije u poređenju sa konvencionalnim postupcima, kada se koristi za istu konfiguraciju spoja i uslove zavarivanja. Ne koriste se zaštitni gasovi i dodatni materijal, nema dima koji nastaje prilikom zavarivanja. Zbog izostanka topljenja, bilo koje legure aluminija se mogu bez problema spajati, a da pri tome nema problema sa njihovom kompatibilnošću ili nastankom toplih pukotina [4].

Konfiguracije spojeva. FSW nudi i niz prednosti za spajanje različitih konfiguracija zavarenih spojeva. Suprotno uobičajenom zavarivanju trenjem, što je proces ograničen samo na male rotacione dijelove koji se obrću i na čije se kontaktne površine prilikom obrtanja vrši pritisak, FSW se može koristiti za većinu dijelova različitih geometrijskih oblika. Takvi spojevi mogu biti preklopni, sučeoni, T-spojevi, ugaoni i slično, ali su najpogodniji preklopni i sučeoni spoj.

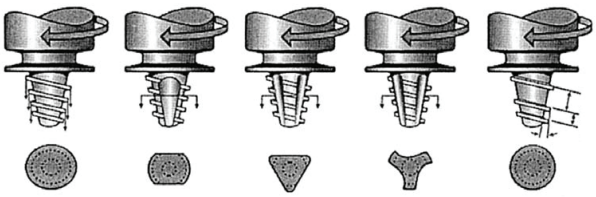
Geometrija alata. Jedna od najvećih prednosti FSW procesa spajanja u odnosu na sve ostale procese je alat, koji je istovremeno vjerovatno i njegov najvažniji parametar. Izuzetno veliki broj oblika i dimenzija alata je razvijen tokom zadnjih dvadesetak godina, uključujući različite elemente na čelu i vrhu alata. Geometrijski elementi koji se dodaju na alate imaju različite uloge, od prihvatanja viška materijala, poboljšanja njegovog strujanja, ali i omogućavanja lakšeg strujanja materijala čak i pri nižim temperaturama. [1] Neke primjere različitih geometrija alata prikazuju slike 2, 3 i 4.



Slika 2: Različite izvedbe vrha alata sa navojem [2]



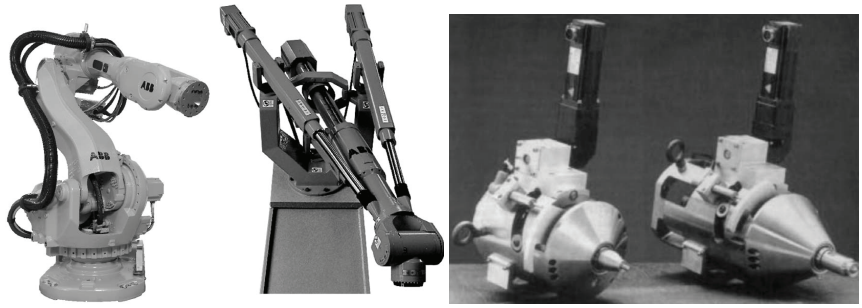
Slika 3: Različite izvedbe vrha alata sa i bez navoja [2]



Slika 4: Šematski prikaz varijacije geometrije vrha Whorl™ alata, uključujući onu sa promjenjivim korakom i uglom navoja (desno) [2]

Oblik alata je usko povezan sa materijalom od kojeg je alat i napravljen, budući da odgovarajući oblik onemogućava ili potpuno zaustavlja trošenje alata u specifičnim tačkama.

Više alata. Pored varijacija geometrije alata, zabilježene su i različite konfiguracije upotrebe više alata. To znači da se odjednom koristi nekoliko alata, koji su u nekom ranije definisanom rasporedu. Na ovaj način je moguće postići predgrijavanje materijala prije zavarivanja, izvršiti zavarivanje i završno obraditi zavareni spoj, sve odjednom, odnosno u jednom prolazu. Ovakve kombinacije su ipak rijetke, jer iako imaju veliku prednost, rijetko su isplative. [1,2]
Automatizacija i robotizacija. Uobičajeno, FSW se može izvoditi na tri načina: ručno, poluautomatski i robotski. Ručni FSW se rijetko koristi zbog velikih sila koje su potrebne za ostvarivanje nastanka zavarenog spoja, ali je i dalje ponegdje prisutan. Uobičajeno se odluka o tome koji će se način izvođenja zavarivanja koristiti bazira na ekonomskim i tehničkim faktorima. Ekonomski uključuju cijenu, produktivnost i kapacitet. Tehnički uključuju zahtjeve za odgovarajućom krutošću sistema, zahtjeve za senzorima i upravljanjem, kao i potrebni nivo fleksibilnosti (1D, 2D ili 3D). Pri ovome se tehnički zahtjevi mogu značajno razlikovati u zavisnosti od namjene, i uticati na to da se cijena FSW mašina kreće od 100.000 dolara pa do više miliona dolara. Stoga je u zadnje vrijeme prisutan trend da se namjenski građeni FSW sistemi mijenjaju sa robotskim. Kao i kod ostalih primjena robota, povećana je fleksibilnost uz značajno manje troškove proizvodnje [2,5]. Kao primjer uticaja robotske fleksibilnosti, uzmimo na primjer dio koji ima zavarene spojeve sa više strana. Primjena robota omogućava zavarivanje sa različitih strana, i to jednostavno odabirom odgovarajuće postavke. Ovo smanjuje manipulaciju predmetom (koja ne povećava njegovu vrijednost) i povećava produktivnost, što vodi smanjenju troškova. FSW je tek nedavno postao robotizovan proces, i to zbog toga što ranije nisu mogli biti ispunjeni zahtjevu u vezi sa odgovarajućim silama stezanja i krutosti sistema. Međutim, sada su dostupni roboti koji imaju mogućnost ostvarivanja sile stezanja i do 4,5 kN, što ih čini pogodnim za izvođenje zavarivanja na dijelovima malih i srednjih debljina. Prilično je jasno da se može očekivati da će roboti postati dominantno rješenje za FSW proces.



Slika 5: Različite izvedbe robota i dijelova robotskih sistema za FSW [2]

3. EKONOMSKI NEDOSTACI PRIMJENE

Kako postoji čitav niz prednosti, postoje i neki od ključnih nedostataka upotrebe FSW postupka spajanja u industriji. Navedeni nedostaci se odražavaju direktno na ekonomsku isplativost, čak i mnogo više nego prednosti. Postoje neki opći nedostaci, kao i oni koji uslovljavaju ograničenost upotrebe FSW samo za egzotične primjene ili tamo gdje alternativa ne postoji.
Opći nedostaci. FSW je još uvijek nedovoljno istražen i opisan proces spajanja. Za razliku od konvencionalnih procesa zavarivanja, gdje su za svaki materijal i konfiguraciju spoja poznate preporuke i provjerene kombinacije parametara (jačina struje, napon, brzina zavarivanja, zaštitni gas, vrsta elektrode i mnogi drugi), kod FSW procesa tako nešto još uvijek ne postoji. Također, tek se vrše intenzivna istraživanja o ponašanju FSW spojeva izloženih različitim vrstama korozije, zamora i puzanja. Slično stvari stoje i sa ispitivanjem FSW zavarenih spojeva bez razaranja.
Materijal alata. Budući da se zavarivanje vrši na i do 80% temperature topljenja, alat mora izdržati velika termička opterećenja, a pri tome da ne gubi čvrstoću i da zadržava geometriju i dimenzije.

Alat trpi, dakle, intenzivno termo-mehaničko opterećenje, i ovo je naročito izraženo tokom faze ulaska alata u materijal (na početku zavarivanja). Postoji čitav niz osobina koje materijal alata mora da ispuni da bi se mogao koristiti za zavarivanje, a najvažnije su čvrstoća na povišenim temperaturama, otpornost na habanje i žilavost [1,2].
Naravno, većina alata koji se koriste za FSW su čelici (alatni, ali nekada čak i niskolegirani). Tako je jer je najveći dio obavljenih istraživanja u vezi FSW vršen za aluminij i njegove legure. Čelik koji se najčešće koristi je AISI H13 [6], koji je Cr-Mo toplo valjani čelik sa odličnom čvrstoćom na povišenim temperaturama i velikom otpornošću na habanje i zamor. Za zavarivanje čelika i metala sa visokom tačkom topljenja se koriste alati od vatrootpornih metala (W, Mo, Nb, Ta) [7]. Oni su u stanju da zadrže osobine skoro do temperature svog topljenja, što je značajno više od temperatura koje se postiži prilikom zavarivanja (tipično do 1300 °C). Veliki im je nedostatak cijena i mala dostupnost, te se uglavnom koriste alati napravljeni presovanjem metalnog praha. Moguće je koristiti i alate presvučene karbidima ili kompozitima sa metalnom matricom [2], što ima svoje vlastite prednosti i nedostatke. PCBN se koristi za FSW spajanje feritnih, dvofaznih i austenitnih čelika, sivog livenog gvožđa, kao i legura nikla i bakra [2,8]. Cijena ovakvog alata je veoma visoka, budući da se proces njegove proizvodnje odvija pod uslovima izuzetno visokih pritisaka i temperatura. PCBN se koristi samo za izradu dijela alata koji će biti u kontaktu sa materijalom, dok se za izradu ostalih dijelova koristi WC, i sve spaja posebnim prstenom od superlegure. Zasada se kao materijali za alate koriste relativno skupi materijali, koji su navedeni u tabeli 1.

Tabela 1: Pregled materijala koji se koriste za izradu alata za FSW [2]

Materijal	Debljina materijala, mm	Materijal alata
Legure aluminija	<12	Alatni čelici, WC-Co
	<26	MP159 (Ni-Co-Cr)
Legure magnezija	<6	Alatni čelici, WC
Bakar i legure bakra	<50	Legure nikla, PCBN, legure volframa
	<11	Alatni čelici
Legure titanija	<6	Legure volframa
Nehrđajući čelik	<6	PCBN, legure volframa
Niskolegirani čelik	<10	WC, PCBN
Legure nikla	<6	PCBN (polikristalni kubni bor-nitrid)

Predviđanje parametara. Možda i najveći problem u vezi sa FSW procesom su zapravo parametri. Glavnim parametrom se može smatrati alat, budući da od njega, njegovog oblika i materijala zapravo zavise svi ostali parametri, odnosno način stvaranja toplote potrebne za zavarivanje. Do sada su ponuđeni različiti načini objašnjenja vezâ između geometrije, brzine rotacije, brzine kretanja i dubine ulaska alata. Tu su nekada uključeni i drugi parametri, poput nagiba alata oko osa, brzine poprečnog ili planetarnog kretanja. Svi oni direktno utiču na izgled zavarenog spoja i njegovu mikrostrukturu, odnosno osobine. Ipak, nema pouzdane veze između na primjer brzine rotacije i brzine kretnja alata, već to zavisi od slučaja do slučaja. Situacija se dodatno usložnjava ukoliko se radi o tehnici zavarivanja koja uključuje više alata, ili obostrano zavarivanje.
Pogonska energija. Neke od prvobitnih ideja su bile da se toplota stvara samo trenjem [1], a smatralo se da samo dio toplote potiče od plastične deformacije [9,10,11]. Danas se smatra da se sigurno dio toplote stvara plastičnom deformacijom, a kod složenih geometrija alata i izrazito plastičnih materijala da je to čak i dominantan način stvaranja toplote [12]. Pri ovome i dalje ostaje velika nepoznanica od čega zapravo zavisi količina toplote koja se stvara, odnosno od čega zavisi pogonska energija. Alat i brzine kretanja alata se smatraju najznačajnijim u njenom definisanju, međutim kako ni relacije između njih nisu sasvim utvrđene, već zavisi od slučaja do slučaja, slična

je situacija i sa pogonskom energijom. Posebni izrazi za pogonsku energiju su razvijeni za alate pravilne poligonalne osnove [12], gdje je pokazano da pogonska energija iznosi između 120 i 170 J/mm. Postoji i pristup koji uzima u obzir udio klizanja materijala tokom plastične deformacije pri zavarivanju [3], kao i oni koji podržavaju značajne udjele plastične deformacije i unutrašnjeg trenja u materijalu kao dominantnog mehanizma stvaranja toplote [13]. Svi ti različiti pristupi su bazirani na razmatranju samo jedne, specifične, geometrije koja je uzeta u obzir. Ne postoji univerzalan način opisivanja vrijednosti pogonske energije. Dodatno, svaki pristup traži eksperimentalnu potvrdu da bi se pokazalo da je ispravan. To je dugotrajan proces, u kojem se najčešće upotrebom statističkih metoda dokazuje ta veza.
Osobine spoja. Kako je teško predvidjeti pogonsku energiju, teško je odrediti i širinu zone uticaja toplote i zone termomehaničkog uticaja. Samim time je relativno teško predvidjeti i osobine zavarenog spoja. Osobine spoja su izuzetno zavisne od geometrije alata i ostalih parametara. [1,2]

4. POREĐENJE I DISKUSIJA

Kako je pokazano, FSW proces spajanja ima velike ekonomske prednosti u odnosu na konvencionalne postupke spajanja. Postupak je energetski efikasan kada se poredi sa konvencionalnim postupcima zavarivanja, i omogućava manju specifičnu upotrebu energije (u kWh/kg). Nema dodatnih materijala i zaštitnih gasova, te se troši značajno manje energije za njihov transport i pripremu. Ukupno gledano, vrijeme za zavarivanje je značajno manje, potrošnja energije je višestruko manja, što vodi jeftinijim zavarenim spojevima. Pored svega ovoga, proces je moguće robotizovati, i time dodatno smanjiti operativne troškove, povećati kvalitet zavarenog spoja i njegovu ponovljivost, te smanjiti troškove i energiju potrebne za ispitivanje gotovog proizvoda.
Ovo, međutim, vrijedi isključivo samo za već uspostavljen i ispitan set parametara, određen i provjeren alat, kao i već utvrđenu proizvodnu tehnologiju. Nedostaci ovog procesa su ono što ga čini zapravo ekonomski privlačnim samo u slučajevima kada nema alternative. Cijena alata može biti izuzetno visoka, pogotovo ako se radi o alatu za zavarivanju čelika, legura nikla ili bakra. Pored toga, geometrija alata mora biti odgovarajuća za namjenu, a ona zavisi od materijala koji se zavaruje i materijala alata. Problem se dodatno usložnjava kada se uzme u obzir da alat direktno utiče na pogonsku energiju (stvorenu toplotu), stanje materijala i njegovo strujanje prilikom zavarivanja. Na taj način se dobijaju tri međusobno povezane grupe koje utiču jedna na drugu: geometrija alata, materijal alata i parametri zavarivanja. Za uspješno zavarivanje je potrebno naći odgovarajuću kombinaciju ove tri grupe. To je relativno teško uraditi analitičkim, pa čak i numeričkim putem, jer tako uspostavljena kombinacija vrijedi samo pod određenim uslovima. Čak i kada se utvrdi, još uvijek ju je potrebno verifikovati eksperimentalnim putem, što su u suštini dodatni troškovi. Ono što se zapravo u industriji mnogo češće vrši je eksperimentalno utvrđivanje optimalnog seta parametara, bez da se traži opis njihove međusobne povezanosti. Naravno, ovo predstavlja dodatne materijalne troškove, međutim postoje statističke metode koje omogućavaju da se broj eksperimenata svede na minimum.

5. ZAKLJUČAK

FSW proces spajanja je postupak koji ima mnogo energetskih prednosti, koje se odražavaju na smanjenje troškova uslijed potrošnje energije. Tu su i smanjenja troškova uslijed izostanka upotrebe zaštitnih gasova i dodatnog materijala, a indirektno i troškova povezanih sa njihovom manipulacijom. Međutim, za industrijsku primjenu je mnogo bitniji ekonomski efekt, odnosno finansijska efikasnost. Činjenica da razvoj alata uzima mnogo vremena i novca, a i da traženje optimalnog seta međusobno povezanih parametara traži mnogo vremena, čine ga relativno neprivlačnim tamo gdje postoji već gotova i provjerena alternativa.

Ukoliko bi se mogao razviti jedan sveobuhvatan, fleksibilan i dovoljno tačan matematički model za predviđanje ili seta parametara ili pogonske energije ili, u krajnjem slučaju, osobina zavarenog spoja, to bi FSW učinilo i energetski i finansijski efikasnim procesom.
Do tada, FSW se može smatrati ekološki i energetski, ali ne i finansijski efikasnim. Vrijeme implementacije postupka u proizvodnju ga čini neprivlačnim tamo gdje postoje provjerene i pouzdane alternative.

6. LITERATURA

[1] R. S. Mishra, Z. Y. Ma, Friction stir welding and processing, *Materials Science and Engineering R*, No. 50, 2005, 1-78
[2] R. S. Mishra, M. W. Mahoney, *Friction Stir Welding and Processing*, ASM Intl., 2007
[3] Z. Zhang, W. Li, J. Li, Estimating Friction Coefficient and Fraction of Sliding in Friction Stir Welding, *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 7 (3), 2014, 192-195
[4] Y. Li, E. A. Trillo, L. E. Murr, Friction-stir welding of aluminum alloy 2024 to silver, *Journal of Materials Science Letters*, Vol 19, 2000, 1047-1051
[5] J. Thompson, FSW for Cost Savings in Contract Manufacturing, Proceedings of the 2nd International Symposium on FSW, June 2000 (Gothenberg, Sweden), TWI
[6] M. A. Sutton, et al, Mixed Mode I/II Fracture of 2024-T3 Friction Stir Welds, *Eng. Fract. Mech.*, Vol 70, 2003, 2215-2234
[7] T. J. Lienert, et al, Friction Stir Welding Studies on Mild Steel, *Welding Journal*, Jan 2003, 1-9
[8] Y. S. Sato, T. W. Nelson, C.J. Sterling, Recrystallization in Type 304L Stainless Steel During Friction Stirring, *Acta Mater.*, Vol 53, 2005, 637-645
[9] P. Colegrove, 2000, 3 Dimensional Flow and Thermal Modelling of the FSW process, Proceedings on the 2nd International Symposium on FSW, Gothenburg, Sweden, 27-29 June 2000
[10] P. Vilaça, L. Quintino, J. F. dos Santos, iSTIR – Analytical Thermal model for FSW, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 169, 2005, 452-465
[11] J. C. Yuh, X. Qi, W. Tang, Heat Transfer in FSW - Experimental and Numerical Studies, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Vol. 125, 2003, 138-145
[12] V. S. Gadakh, A. Kumar, G. J. V. Patil, Analytical Modelling of the FSW process using different pin profiles, *Welding Journal*, Vol. 93, April 2015, 115-124
[13] S. Pellegrino, et al, Modeling of the plastic characteristics of AA6082 for the friction stir welding process, *Key Engineering Materials*, Vol. 639, 2015, 309-316

MOGUĆI TIPOVI OPTIMIZACIJE ELASTIČNIH SISTEMA

POSSIBLE OPTIMIZATION TYPES OF ELASTIC SYSTEMS

Ermin Husak[1], Isak Karabegović[1], Safet Isić[2]
[1]Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet Bihać,
dr. Irfana Ljubijankića bb., 77 000 Bihać, erminhusak@yahoo.com, isak1910@hotmail.com
[2]Univerzitet „Džemal Bijedić" u Mostaru, Mašinski fakultet u Mostaru
USRC „Mithad Hujdur Hujka", 88104 Mostar, safet.isic@unmo.ba

SAŽETAK:
U ovom radu je dat način kako se mogu dobiti različiti tipovi optimizacije elastičnih sistema. Traženjem optimalnih vrijednosti geometrijskih varijabli koje opisuju geometriju elastičnog sistema uzrokuju moguća tri tipa optimizacije: optimizaciju dimenzija, optimizaciju oblika i optimizaciju topologije. Ova tri tipa optimizacije su predstavljena u ovom radu na jednostavnom primjeru optimizacije cijevnog poprečnog presjeka. Na kraju rada su dati rezultati istraživanja optimizacije topologije rešetke nelineranim programiranjem, genetskim algoritmom i optimizacijom rojem čestica.

Ključne riječi: *optimizacija dimenzija, optimizacija oblika, optimizacija topologije.*

ABSTRACT:
Modus to obtain different types of elastic system optimization is given in this paper. By looking for the optimal value of geometric variables that describe the geometry of the elastic system causing possible three types of optimization: optimization of dimensions, shape optimization and topology optimization. These three types of optimization are presented in this paper on example of tubular cross section optimization. At the end of the paper investigation results of truss topology optimization by nonlinear programming, genetic algorithm and particle swarm optimization is given.

Keywords: *optimization of dimensions, size optimization, topology optimization.*

---

1. UVOD

Optimizacija elastičnih sistema, kao i njihovih složenijih oblika, u ovom trenutku je jedna od najpopularnijih oblasti istraživanja, a naročito u području mašinstva, građevine, aeronautike, rudarstva, nuklearnog inženjeringa kao i nekim drugim inženjerskim disciplinama.
Danas projektant u toku razvoja elastičnih struktura mora razmišljti o sistemima sa minimalnom mogućom masom, jer će ga to voditi do minimalno mogućih troškova, ili maksimalne krutosti sistema, što će dovesti do maksimalne moguće funkcionalnosti ili maksimalne moguće produktivnosti projektiranog sistema itd. To znači da se mora poslužiti optimizacijskim metodama za pronalaženje minimalnih ili maksimalnih vrijednosti koje postoje kod takvih sistema kao i optimalnih parametara koji ih čine. Kada se vrši optimizacija elastičnih struktura u većini slučajeva funkcija cilja je definisana preko geometrijskih varijabli. Traženjem optimalnih vrijednosti geometrijskih varijabli moguća su tri tipa optimizacije: optimizaciju dimenzija, optimizaciju oblika i optimizaciju topologije.

2. OPTIMIZACIJA ELASTIČNIH STRUKTURA I MOGUĆI TIPOVI

Opća matematička forma pod koju se mogu podvesti svi problemi optimizacije kako iz područja ovog rada tako i iz nekih drugih kao što je tehnologija, transport itd., predstavlja se kako slijedi [1,2]:

Minimizirati (maksimizirati) funkciju cilja:

$$min\ f(x)=f(x_1, x_2, \ldots, x_n) \tag{3.1}$$

koja moža biti podvrgnuta ograničenjima jednakosti:

$$h_j(x)=h_j(x_1, x_2, \ldots, x_n)=0; \quad j=1, ..., p \tag{3.2}$$

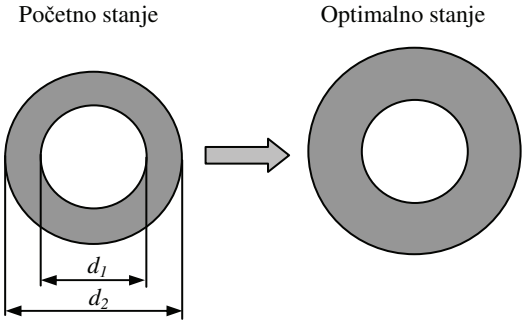
i ograničenjima nejednakosti:

$$g_i(x)=g_i(x_1, x_2, \ldots, x_n)\leq 0; \quad i=1, ..., m \tag{3.3}$$

Ako funkcija cilja ovisi od geometrijskih varijabli onda su moguća sljedeća tri tipa optimizacije elastičnih sistema i struktura.

2.1. Optimizacija dimenzija

Optimizacija dimenzija najjednostavniji je oblik optimizacije elastičnih sistema. Ovisno od tog šta definišemo kao funkciju cilja, potrebno je dimenzije elastičnog sistema prikazati kao varijable funkcije cilja, kao i moguća ograničenja, što bi nakon provođenja optimizacije trebalo rezultirati optimalnim vrijednostima dimenzija elastičnog sistema. Kod optimizacije dimenzija (najčešće poprečni presjeci) potrebno je oblik i topologiju elastičnog sistema držati konstantnim, tj. vrijednosti varijabli koje bi opisivale oblik i topologiju trebaju biti konstantne ili, jednostavnije rečeno, moraju biti poznate.



Slika 1. Optimizacija dimenzija (poprečnog presjeka)

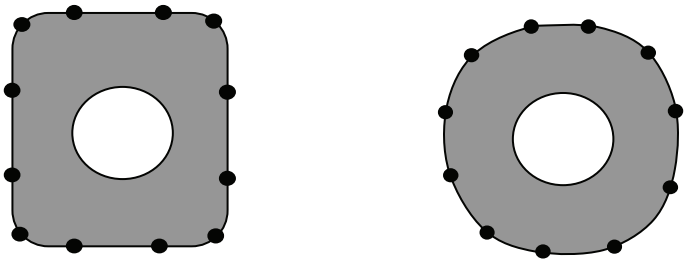
Primjeri optimizacije dimenzija su optimizacija poprečnih presjeka greda, štapova rešetkastih nosača, debljina ploče, poprečni presjek stuba itd. Na slici 1 se vidi poprečni presjek cijevi definisan sa dvije varijable koje defnišu dimenziju cijevi. Da bi se dobile optimalne vrijednosti varijabli, potrebno je definisati funkciju cilja za konkretan elastični sistem, a potom

neke konstantne parametre kao što su modul elastičnosti, Poissonov koeficijent i ograničenja kao što su. Npr., maksimalni ugib ili minimalno naprezanje [2,3,4].

2.2. Optimizacija oblika

Optimizacija oblika postiže se definisanjem optimalne konture nekog poprečnog presjeka elastičnog sistema ili strukture. U ovom pocesu topologija sistema je unaprijed definisana, te se ne mijenja, dok se oblik i dimenzije mijenjaju.

Početno stanje Optimalno stanje



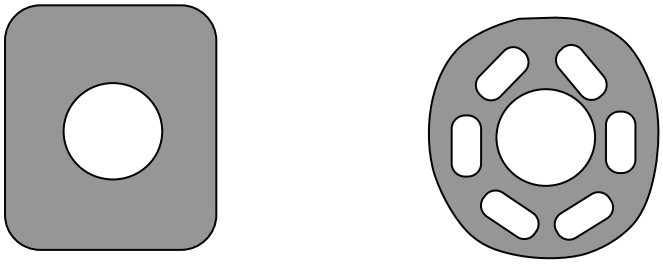
Slika 2. Optimizacija oblika (poprečnog presjeka)

Oblik i dimenzije se mijenjaju na osnovu pomjeranja specifičnih koordinata, na slici 2 predstavljenim tačkama sistema koje kontrolišu oblik, ali i dimenzije sistema. Varijable u funkciji cilja i ograničenima upravo predstavljaju spomenute koordinate, tj. koliko varijabli toliko koordinata. Kontura se najčešće definiše preko grupe B-splina i Bazierovoh krivih. Primjeri optimizacije oblika su određivanje pozicije čvora u rešetkastom nosaču, optimalni radijus kod prelaza sa različitih dimenzija, optimalan oblik nosača itd. [4,5].

2.3. Optimizacija topologije

Optimizacija topologije je najkompleksniji oblik optimizacije elastičnog sistema. Dok se optimizacija dimenzija i oblika vrši optimizacijom određenih varijabli koje su im dodijeljene, optimizacija topologije je mnogo zahtjevnija.

Početno stanje Optimalno stanje



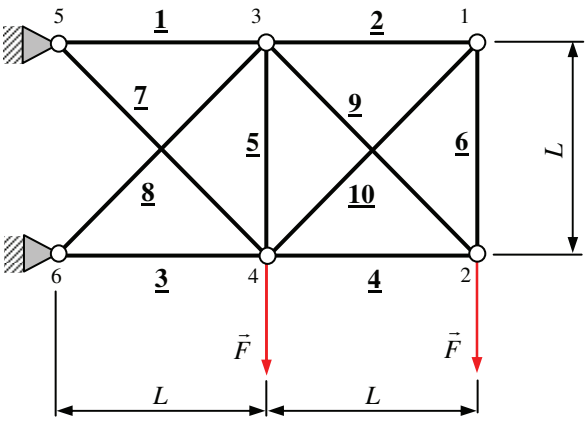
Slika 3. Optimizacija topologije (poprečnog presjeka)

Optimizacija topologije elastičnih sistema može se podijeliti na optimizaciju preko diskretnih elemenata i optimizaciju kontinuiranih sistema. Kod optimizacije preko diskretnih elemenata, područje rješenja predstavljeno je prethodno određenim mogućim lokacijama članova diskretne konstrukcije kao što su rešetke, okviri i paneli. Kod kontinualnog pristupa, područje rješenja se predstavlja kao kontinuum praznine ili materijala s veoma niskom gustoćom. Varirajući raspodjelu praznina/materijal ili gustoću materijala sa beskonačno malom mikrostrukturom, na svakoj lokaciji u kontinuumu strukture moguće je prikazati različite topologije.

Sva tri tipa optimizacije su tema mnogih naučnoistraživačkih radova [6,7,8]. Osim ova tri tipa optimizacije, poznat je još jedan karakterističan tip optimizacije a to je optimizacija materijala. Optimizacija materijala se bavi traženjem specifičnih sastava materijala, kao što su kompoziti, sa željenim karakteristikama. Kao primjer se može navesti sastav materijala sa negativnim Poissonovim odnosom, tj. materijal koji se poprečno širi dok je opterećen na istezanje [7].

3. OPTIMIZACIJA TOPOLOGIJE REŠETKE

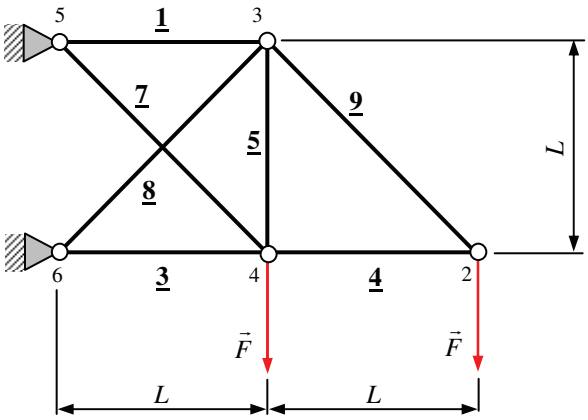
U ovom primjeru bilo je potrebno minimizirati težinu rešetkastog nosača sa deset štapova koji je prikazan na slici 4. Pošto se radi o diskretnom sistemu dali smo mogućnost da neke od varijabli poprime vrijednost nula što je prouzrokovalo mijenjanje topologije rešetke.



Slika 4. Aluminijski rešetkasti nosač sa deset štapova

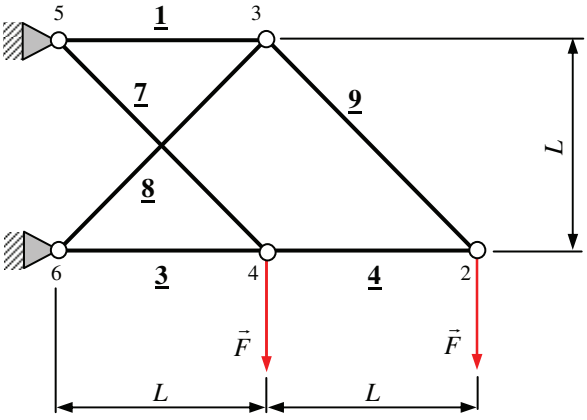
Veoma je bitno da nakon optimizacije topologije rešetkastih nosača dobijemo zadovoljavajuće rješenje u smislu statičke određenosti. Poznato je iz statike da se na osnovu broja štapova i broja čvorova mogu formirati statički određena, statički neodređena i labilna (mehanizam) rešetka. Zadovoljavajućim rješenja smatramo statički određenu i statički neodređenu rešetku, dok labilna rešetka ne zadovoljava. Rešetkasti nosač prikazan na slici 4 optimizirali smo sa klasičnim i savremenim metodama optimizacije. Za klasičnu metodu optimizacije uzeli smo nelinearno programiranje dok za savremene metode smo uzeli: genetske algoritme i optimizaciju rojem čestica [9,10] . Moguće topologije koje smo doboli optimizacijama vidimo na slici 5 i slici 6.

Na osnovu dobijenih reultata optimizacijom topologije nelinearnim programiranjem, možemo vidjeti da su sa rešetke nestala tri štapa, i to 2, 6, i 10, na osnovu čega dobijamo novi rešetkasti nosač sa sedam štapova, što vidimo na slici 5.



Slika 5. Rešetka dobijena optimizacijom topologije nelinearnim programiranjem

Dobijenu topologiju rešetkaste strukture, dobijenu optimizacijom genetskim algoritmom, možemo vidjeti na slici 6.



Slika 6. Rešetka dobijena optimizacijom topologije genetskim algoritmom

Optimizacija topologije rešetkastog nosača rojem čestica dala je slične rezultate kao i metoda optimizacije nelinearnim programiranjem.

4. ZAKLJUČAK

Od posebnog je značaja utvrditi i opredijeliti se na koji način modelirati i analizirati elastične sisteme. Ovisno od složenosti problema i optimizacijske metode, za jednu optimizaciju složenog elastičnog sistema broj provedenih analiza može varirati od nekoliko stotina do nekoliko miliona. Modeliranje i analiza mogu se raditi analitički ili numerički i potrebno se unaprijed odlučiti na koji način modelirati i analizirati određeni složeni elastični sistem. Osim odluke o načinu modeliranja elastičnog sistema veoma je bitno ispravno definisati i postaviti optimizacijski problem. Optimizacije elastičnih sistema u većini slučajeva su problemi optimizacije sa ograničenjima. Broj ograničenja može ići do nekoliko desetina ograničenja. Definisanje geometrijskih varijabli je usko vezano koji tip optimizacije će se koristiti. Kod optimizacije topologije diskretnih sistema kao u našem primjeru potrebno je da varijabla ima mogućnost poprimiti vrijednost nula da bi se određeni štap mogao isključiti iz strukture.

5. LITERATURA

[1] J. Arora ,*Introduction to optimal design*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1989.
[2] U. Kirsch: "*Structural Optimization—Fundamentals and Applications*", Springer, Berlin 1993.
[3] K. Saitou, K. Izui, S. Nishiwaki, P. Papalabros: *"A Survey of structural optimization in mechanical product development"*, Journal of computing and information science in engineering, Vol. 5, September, 2005. pp. 214-226
[4] P.W. Christensen, A. Klarbring: "*An introduction to structural optimization*", Springer science, 2009.
[5] D. Wang: "*Optimal shape design of a frame structure for minimization of maximum bending moment*", Engineering structures, Vol. 29. 2007. pp.1824-1832.
[6] M.P. Bendsoe, A. Diaz, N. Kikuchi: "*Generating optimal topologies in structural topologies using homogenization method*", Computer methods in applied mechanics and engineering" vol. 71, n.2, 1988. pp. 197-224.
[7] M. Stolpe: "*On models and Methods for global optimization of structural topology*", Doctoral Thesis, Stockholm, 2003.
[8] N. Lyu, K. Saitou: "*Topology optimization of multicomponent beam structure via decomposition-based assembly synthesis*" Journal of mechanical design, Vol. 127, March, 2005. pp. 170-183
[9] Ermin Husak, I. Karabegović, S. Isić, (2015), Uporedna analiza gradijentnih i heurističkih metoda kod optimizacije konzole, Proceedings: New Technologies, NT 2015, Mostar, pp. 193 – 200.
[10] Ermin Husak, E. Karabegović, Miran Brezočnik, (2015), Korištenje heurističkih metoda u optimizaciji elastičnih struktura, Proceedings: New Technologies, NT 2015, Mostar, pp. 186 – 192.

KALIBRACIONO ISPITIVANJE RADA I NELINEARNE KRUTOSTI VUČNIH I ODBOJNIH NAPRAVA ŠINSKIH VOZILA

CALIBRATION TEST WORK AND NONLINEAR STIFFNESS THE PULLING AND BUFFERS DEVICES ROLLING STOCK

D. Blagojević[1], M. Todić[2], Valentina G. Bugarski[3], Radomir Cvijić[4]
[1] Univerzitet u Banja Luci, Mašinski fakultet, e-mail: drago.blagojevic@unibl.rs
[2] Univerzitet u Banja Luci, Mašinski fakultet, e-mail: mladentodic@unibl.rs
[3] Univerzitet u Banja Luci, Mašinski fakultet, e-mail: valentina.gb@unibl.rs
[4] Univerzitet u Banja Luci, AGF, e-mail: rcvijic@agfbl.org

SAŽETAK:
Krutost i radna sposobnost odbojnih i vučnih elastičnih naprava pri opterećenju i rasterećenju imaju normirane vrijednosti, zavisno od eksploatacionih uslova tehničkog sistema na kome su ugrađeni. U radu se daju rezultati ispitivanja nelinearne krutosti i ostvarenog rada na odbojnicima, kapaciteta 30 kJ, hoda 105^{-5} mm, sa 7 elastomerskih i 6 distantnih čeličnih prstenova. Vučna naprava je kapaciteta 20 kJ, hoda 60 mm, sa ugrađena tri elastomerska i dva distantna čelična prstena. Intenzitet akumulirane i absorbovane energije je funkcija radnog hoda. Krutost pri opterećenju ima progresivni, a pri rasterećenj degresivni karakter. Rezultati su predstavljeni i komparirani za 3 sukcesivna ispitivanja, što omogućuje uvid u energetsku disipativnost elastomerskih setova.

Ključne riječi: *odbojnik, vučna naprava, elastomer, nelinearna krutost, apsorbovana i akumulirana energija, brzina opterećivanja*

ABSTRACT:
Stiffness and operation of pulling and buffer elastic devices (bumpers) during load and relaxation processes are standardized values, depending on service conditions of technical system in which they are installed. This paper shows results of investigation and testing of the nonlinear stiffness and actual work of bumpers type A, capacity of 30 kJ and stroke of 105^{-5} mm. The bumper is mounted with 7 elastomer rings and 6 spacing steel rings. Pulling device has capacity of 20 kJ, stroke of 60 mm, with built-in 3 elastomer rings and two spacing steel rings. Intensity of accumulated and absorbed energy is the function of operating stroke. Stiffness under load has progressive character, but during relaxation has digressive character. Results are presented and compared for three successive tests, which provides overview of the energy dissipation of elastomer sets.

Keywords: *bumper, pulling device, elastomer, nonlinear stiffness, apsorbed and accumulated energy, load spied*

---

1. UVOD

Krutost i radna sposobnost vučnih i odbojnih elastičnih naprava šinskih vozila, kao elastičnih posrednika pri opterećenju i rasterećenju (relaksaciji), imaju normirane vrijednosti zavisno od eksploatacionih uslova tehničkog sistema (vozila) na kome su ugrađeni. Odgovarajuće dinamičke

karakteristike takvih sistema, u koje se kao reprezenti ubrajaju odbojnici i tegljenici šinskih vozila, moraju se održati u dužem vremenskom periodu. Elastični (opružni) elementi od čelika, koji se ugrađuju u ove uređaje, u zadnje vrijeme sve više se supstituišu setovima prstenova od elastomera koji ispunjavaju normirane dinamičke zahtjeve (sila prednaprezanja, sila opterećenja, apsorbovana energija, akumulirana energija, brzina opterećivanja). Pri tome se često ne vrše provjere i ispitivanja novonastalih statičkih i dinamičkih karakteristika elastične naprave, što može čitav sistem dovesti u neregularan radni režim. U radu je data metodologija sa rezultatima ispitivanja odbojnika i vučnih naprava standardnih karakteristika za teretne vagone.

2. KONSTRUKCIJA I ISPITIVANJE ODBOJNE NAPRAVE

U odbojnik su ugrađeni setovi elastomera „TecsPack" typ 30 sa 7 prstenova i 6 čeličnih distantnih prstenova koji su kompaktna cjelina. Preporučena montažna dužina elastomerskog seta je 302 mm. U tabeli 1. date su normirane karakteristike elastomerskog seta koji je ugrađen u odbojnik [1].

Tabela 1. Normirane karakteristike elastomera sa 7 prstenova i 6 čeličnih distantnih diskova

Nazivna veličina	1. radni ciklus	3. radni ciklus
Montažna sila	15 kN	9 kN
Akumulirana energija, We	21,8 kJ	17,7 kJ
Odnos absorbovane i akumulirane energije, Wa/We	0,55	0.47

Na slici 1. dat je prikaz radnog elastomerskog sklopa i odbojnika na ispitnom stolu laboratorijske prese.



a)



b)

Slika 1. Sklop odbojnika: a. radni elastomerski sklop, b. odbojnik na ispitnom pultu

Postupak ispitivanja statičkih karakteristika odbojnika sa elastomerom, hoda 105 mm za teretne vagone, izvršen je na 4 uzorka sa po 3 mjerenja, brzinom opterećivanja od 0.016 m/s. Dijagram ostvarenog rada pri 1. mjerenju dat je na slici 2. Komparativni prikaz nazivnih fizikalnih veličina

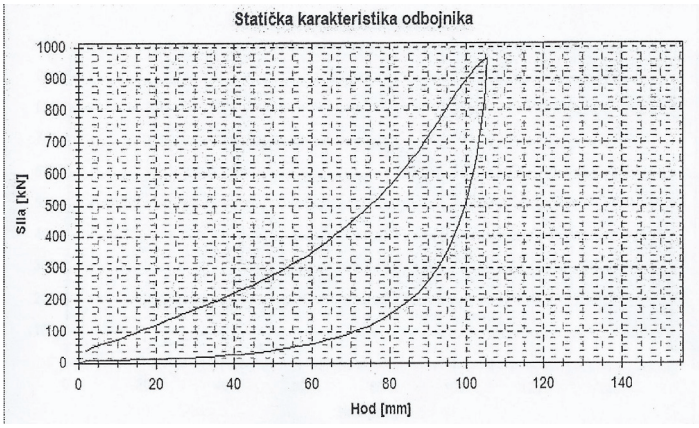
prema zahtjevima UIC 526-1 i izmjerenih vrijednosti tih veličina za 4 ispitana odbojnika dat je u tabeli 2.

Tabela 2. Komparativni prikaz nazivnih veličina prema zahtjevima UIC 526-1 i izmjerenih vrijednosti tih veličina za 4 ispitana odbojnika

Nazivna veličina	Vrijedn. po UIC 526-1	Izmjerene vrijednosti											
		Uzorak 1			Uzorak 2			Uzorak 3			Uzorak 4		
		1. mj.	2. mj.	3. mj.	1. mj.	2. mj.	3. mj.	1. mj.	2. mj.	3. mj.	1. mj.	2. mj.	3. mj.
Sila prednapr (hod 0 mm)	10-50 kN	42,3	19,9	17,9	40,1	19,5	15,4	45,1	17,4	15,7	41,1	18,5	17,4
Sila za hod 25 mm	30-130 kN	130	60	56,0	130	60	42	130	50	50	130	60	50
Sila za hod 60 mm	100-400 kN	348	210	200	325	210	175	340	200	185	330	200	180
Sila za hod 100 mm	350-1000 kN	900	820	780	880	820	750	900	820	770	880	810	780
Sila za hod 105 mm	$\geq$750N	961	960	790	960	950	760	977	960	800	953	950	795
Akumulirana energija, We	$\geq$12,5 kJ (nom. 30 kJ)	39,1	27,9	21,4	37,2	27,8	19,8	38,8	26,8	21,3	37	27,1	20,8
Apsorbovana energija, Wa	$\geq$0,5 We	26,1	15,2	9,7	24,3	15,1	9,5	25,5	13,7	10,5	23,3	14,5	8,8

Rezultati ispitivanja odbojne naprave pokazuju:

- sila prednaprezanja elastomernog seta u 2. ciklusu opterećenja opada oko 55%, dok taj pad u 3. ciklusu u odnosu na početnu vrijednost iznosi oko 60%,
- sila pri hodu 25 mm u 2. ciklusu smanjuje se oko 54%, dok taj pad u 3. ciklusu u odnosu na početnu vrijednost iznosi oko 57%,
- sila pri hodu 60 mm u 2. ciklusu smanjuje se oko 40 %, dok taj pad u 3. ciklusu u odnosu na početnu vrijednost iznosi oko 57 %,
- sila pri hodu 100 mm u 2. ciklusu smanjuje se oko 1%, dok u 3. ciklusu taj pad u odnosu na početnu vrijednost iznosi oko 18 %,
- akumulirana energija u 2.ciklusu opterećenja se smanjuje oko 28%, dok u 3. ciklusu se smanjuje za oko 45% u odnosu na polazno stanje,
- apsorbovana energija u 2.ciklusu opterećenja se smanjuje oko 38%, dok u 3. ciklusu se smanjuje za oko 60% u odnosu na polazno stanje,
- krivulja rasterećenja u dijagramu rada se ne mijenja tokom ponovljenih ciklusa ispitivanja, dok krivulja opterećenja kolabira prema dole.



Slika 2. Radni dijagram odbojnika, pri 1. mjerenju

3. KONSTRUKCIJA I ISPITIVANJE VUČNE NAPRAVE

U vučnu napravu su ugrađeni elastomeri „TecsPack ST-9-2'' sa tri prstena i dva čelična distantna diska. Na slici 3. dat je prikaz elastomernog seta i vučnog uređaja na ispitnom stolu laboratorijske prese. Preporučena montažna dužina elastomerskog seta je 160 mm. U tabeli 3. date su normirane karakteristike vučnog uređaja sa tri elastična prstena i dva čelična distantna diska [2].



a.

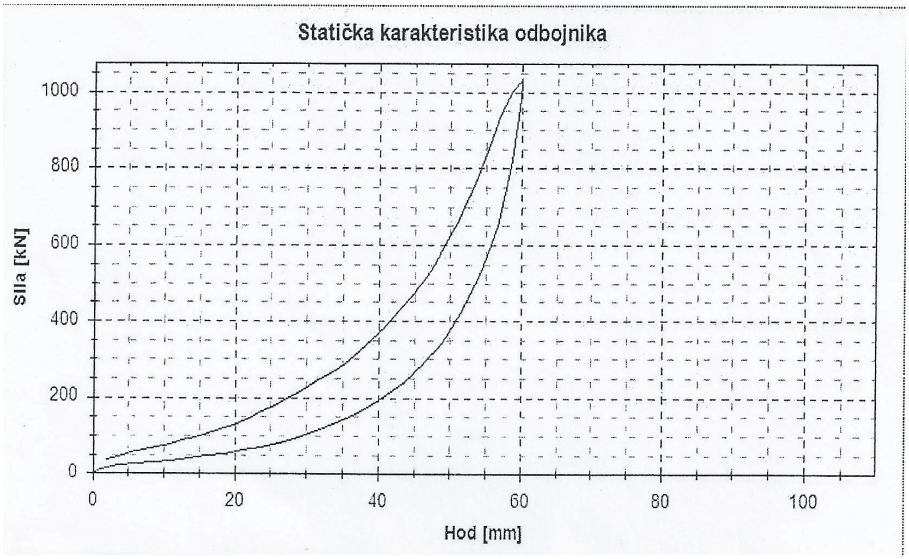


b.

Slika 3. Sklop vučne naprave: a. radni elastomerski sklop, b. vučna naprava na ispitnom pultu

Tabela 2. Normirane karakteristike elastomera „TecsPack Springs ST-9-2'' sa 3prstena i 2 čelična distantna diska

Nazivna veličina	2. radni ciklus	3. radni ciklus
Montažna sila	51 kN	46 kN
Akumulirana energija, We	24 kJ	21 kJ
Odnos absorbovane i akumulirane energije, Wa/We	0,51	0.43



Slika 4. Radni dijagram vučne naprave, pri 1. mjerenju

Komparativni prikaz standardnih nazivnih fizikalnih veličina [3] i izmjerenih vrijednosti tih veličina za 2 ispitane vučne naprave dat je u tabeli 4.

Tabela 4. Komparativni prikaz standardnih nazivnih veličina i izmjerenih vrijednosti istih veličina za 2 ispitane vučne naprave

Nazivna veličina	Vrijednosti po UIC 520	Izmjerene vrijednosti					
		Uzorak 1			Uzorak 2		
		1. mj.	2. mj.	3. mj.	1. mj.	2. mj.	3. mj.
Sila prednaprezanja(hod= 0)	10-20 kN	36.6	39,1	37,6	39.3	36,8	35,8
Sila za hod 20 mm		130	140	140	128	125	150
Sila za hod 40 mm		375	390	380	370	355	350
Sila za hod 50 mm		630	640	640	615	580	580
Sila za hod 50-60 mm	400-550 kN	1026	1025	1025	1001	1001	1001
Akumulirana energija, We	8-10 (nom. 20kJ)	19.3	19,9	19,4	19.1	18,7	18,3
Apsobonovana energija, Wa	$\geq$0,3 We	7.7	8,1	7,4	7.5	6,9	6,5

Rezultati ispitivanja vučnih naprava pokazuju:

- sila prednaprezanja elastomernog seta u višim ciklusima opterećenja se neznatno mijenja, što vrijedi i za sile pri različitim hodovima, sve do maksimalnog hoda od 60 mm,
- vrijednost apsorbovane i akumulirane energije ne mijenja se bitno u sva tri ciklusa opterećenja,
- krivulja rasterećenja u dijagramu rada se ne mijenja tokom ponovljenih ciklusa ispitivanja, dok krivulja opterećenja kolabira prema dole, kao i kod odbojnih naprava.

Supstitucija čeličnih materijala elastomerima vrši se danas u svim oblastima tehničke prakse [4].

4. ZAKLJUČAK

Rezultati ispitivanja statičkih karakteristika odbojnih i vučnih naprava sa ugrađenim elastomerima pokazuju da oni ispunjavaju zahtjeve standarda i mogu uspješno supstituirati čelične opružne elemente. Pri višim ciklusima opterećenja odbojnika, sila elastomernog seta pri svim hodovima značajno opada, kao i vrijednost akumulirane i apsorbovane energije, dok kod vučnih naprava ove veličine se neznatno mijenjaju. Krivulja rasterećenja u dijagramu rada, kako kod odbojnih tako i kod vučnih naprava, ne mijenja se tokom ponovljenih ciklusa ispitivanja, dok krivulja opterećenja kolabira prema dole. Pri montaži naprava posebnu pažnju treba posvetiti izboru optimalne vrijednosti sile prednaprezanja elastomerskog seta. Elastomerski set koji je prilikom ispitivanja ili u eksploatacionim uslovima poprimio maksimalnu dozvoljenu deformaciju, nije podoban za ugradnju u odbojnik, a može se sparvati samo sa onim setovima koji imaju analogne karakteristike.

5. LITERATURA

[1] Blagojević D., Todić M., i dr, Verifikaciona ispitivanja čaurastog odbojnika za teretne vagone, Mašinski fakultet Banja Luka, 2012.
[2] Blagojevic D., Todic M., i dr., Verifikaciona ispitivanja vučnog uredjaja za teretne vagone, Mašinski fakultet Banja Luka, 2012.
[3] UIC 526, Standard međunarodne željezničke unije, Pariz
[4] Tobias Engelke, Einfluss der Elastomer-Schmierstoff-Kombination auf das Betriebverhalten von Radialwellendichtringen, Fakultaet fuer Maschienenbau, Leibniz, dissertation, 2011.

MODELIRANJE SILE AKSIJALNOG TISKAČA U PROCESU HIDROOBLIKOVANJA RAČVE

MODELING OF AXIAL PUNCHER FORCE IN HYDROFORMING PROCESS OF CROSS TUBE

Mehmed Mahmić[1], Edina Karabegović[2]
[1,2]Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet Bihać
dr. Irfana Ljubijankića bb
[1]mmahmic@gmail.com, [2]edina-karabeg@hotmail.com

SAŽETAK:
Modernizacija i unapređenje procesa plastičnog oblikovanja nemože se uspješno provesti bez analize koja se bazira na rezultatima koji su dobiveni eksperimentalnim istraživanjima. U radu je prikazano matematičko modeliranje sile aksijalnog tiskača u procesu hidrooblikovanja krstaste račve pri čemu su varirani sljedeći ulazni parametri: hod/pomak aksijalnog tiskača, pritisak fluida u cijevi i sila predstezanja alata.

Ključne riječi: *modeliranje, plastično oblikovanje, tiskač, hidrooblikovanje, eksperiment*

ABSTRACT:
Modernization and improvement of metal forming processes can't be successfully done without analysis based on results that are obtained in experimental investigations. In this paper mathematical modeling of axial puncher force in hydroforming process of cross tube is given. Following input parameters were varied: stroke of axial puncher, fluid pressure in tube and clamping die force.

Keywords: *modeling, plastic forming, punch, hydroforming, experiment*

---

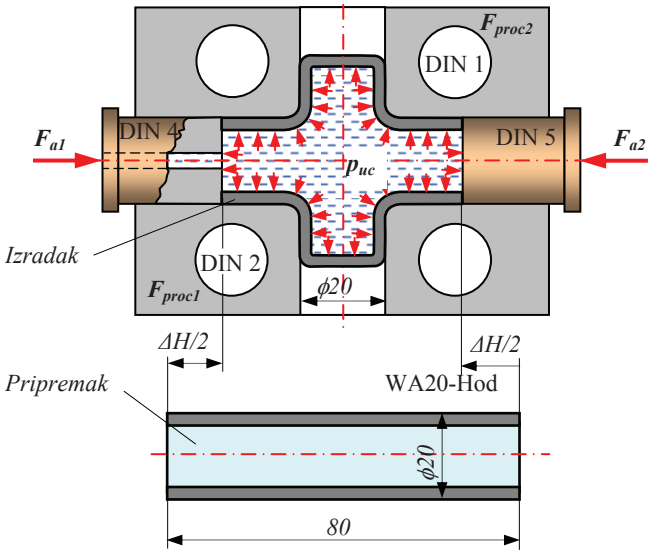
1. UVOD

Alati za plastično oblikovanje su izloženi visokim opterećenjima u procesu oblikovanja koja su u direktnoj vezi s vijekom trajanja i postignutim kvalitetom dobijenih izradaka. U procesu hidrooblikovanja sile aksijalnih tiskača se ne zadaju kao parametri procesa nego su posljedica pomjeranja/hoda tiskača i procesa oblikovanja. U analizama koje se odnose na uspješnost procesa hidrooblikovanja sila aksijanog tiskača, pored pritiska fluida u cijevi, predstavlja jedan od važnijih podataka.

U toku eksploatacije na alatu se mogu javiti odstupanja koja imaju direktan utjecaj na kvalitetu proizvoda i postojanost samog alata, kao i na energetsku iskoristivost obradnog sistema i procesa obrade. Zahtjevi tržišta za kvalitetom i povećanjem produktivnosti stalno rastu, što dovodi do stalne potrebe za boljim tehničko-tehnološkim rješenjima u proizvodnji koja se odnose na povećanje postojanosti alata i smanjenje ukupnih troškova proizvodnje[1-5].

2. MJERENJE SILE AKSIJALNOG TISKAČA

Eksperimentalna istraživanja u ovom radu podrazumijevala su hidrooblikovanje račve uz primjenu laboratorijske mjerne opreme, koja se sastoji iz: uređaja za hidrooblikovanje i opreme za mjerenje. Na slici 1 prikazane su osnovne dimenzije pripremka i izradka – račve kao i mjesta gdje su postavljeni senzori za mjerenje na alatu za hidrooblikovanje.



Slika 1. Geometrijske karakteristike pripremka i izradka

Alat za hidrooblikovanje račve, slika 2, sastoji se iz[2,3]:

- donjeg dijela alata, u koji se postavlja pripremak,
- gornjeg dijela alata, s kojim se osigurava zatvaranje alata,
- aksijalnih tiskača za zaptivanje i sabijanje cijevi,
- radijalnih pridrživača za formiranje izbočine,
- vijaka za spajanje dijelova alata.



Slika 2. Alat za hidrooblikovanje



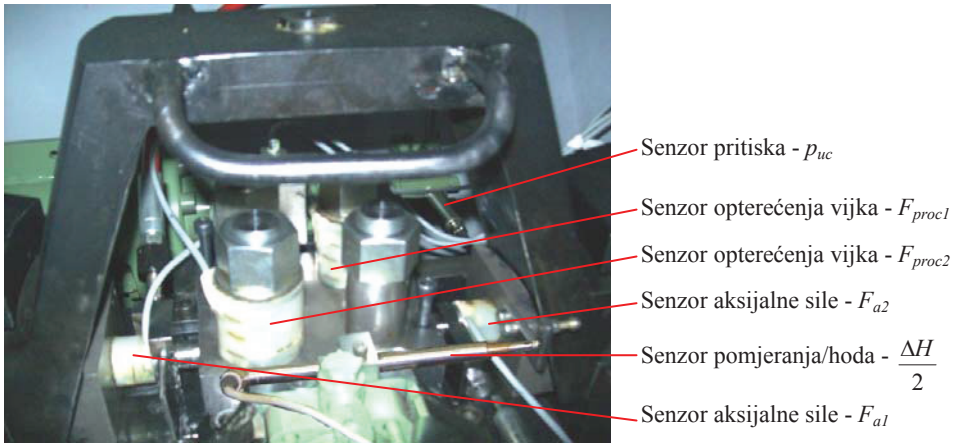
Slika 3. Račva - izradak

Oblik i dimenzije račve, slika 3, su definisani geometrijom radne zone alata za hidrooblikovanje i hodom aksijalnih tiskača. Bočni pridržívači, nisu korišteni jer bi se dodatno opteretio alat za oblikovanje. Za odabrani oblik i dimenzije račve i pripremka, materijal izradka uspješno se izvodi proces oblikovanja i bez korištenja bočnih pridržívača. Materijal pripremka je čelik Č.1212, vanjski prečnik cijevi 20 mm, dužina 80 mm i debljina stjenke 2 mm.

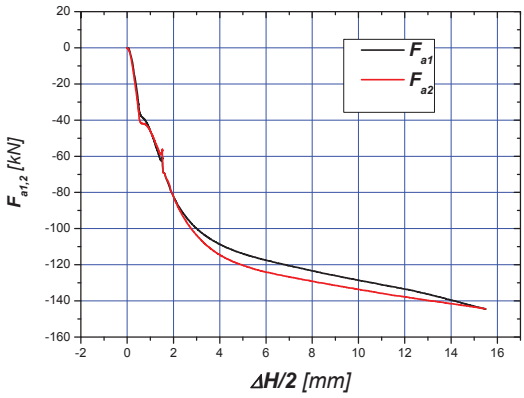
Oprema za mjerenje se sastoji se od:

1. senzora za mjerenje pritiska fluida u cijevi,
2. dinamometra za mjerenje aksijalne sile (2 kom.),
3. senzora za mjerenje pomjeranja/hoda aksijalnog tiskača,
4. dinamometra za mjerenje sile na vijcima za spajanja alata (2 kom.).
5. mjerno-pojačivačkog uređaja (Spider) i
6. računara.

Mjerna mjesta[2,3], odnosno položaj senzora za mjerenje u radnom prostoru uređaja za hidrooblikovanje dati su na slici 4.



Slika 4. Raspored senzora u radnom prostoru uređaja



Slika 5. Sile na aksijalnim tiskačima F_{a1} i F_{a2} u zavisnosti od skraćenja izradka

U tabeli 1 je prikazana srednja vrijednosti eksperimentalnih rezultata mjerenja vrijednosti sila aksijalnih tiskača F_{a1} i F_{a2} u procesu oblikovanja jer je izradak simetričan, prema obrazcu:

$$F_a = \frac{F_{a1} + F_{a2}}{2}. \quad (1)$$

Na slici 5 date su vrijednosti sila aksijalnih tiskača u procesu oblikovanja za silu predstezanja vijaka za spajanje alata F_s=85 kN i pritisak fluida u cijevi p_{uc}=1350 bar. Na dijagramu su prikazane negativne vrijednosti aksijalne sile jer su senzori za mjerenje opterećeni na pritisak.

3. MATEMATIČKO MODELIRANJE SILE AKSIJALNOG TISKAČA

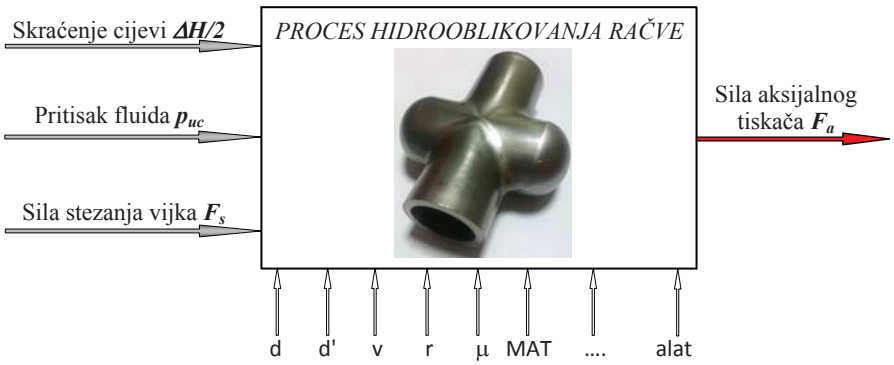
Modeliranje sile aksijalnog tiskača svodi se na određivanje njene zavisnosti od ulaznih varijabli. Pretpostavljeni parametri procesa hidroblikovanja cijevi u krstastu račvu[1,2]:

a) Ulazne / nezavisno promjenljive veličine:
   - skraćenje cijevi odnosno hod aksijalnog tiskača, ***ΔH/2*** [mm],
   - pritisak fluida u cijevi, $\boldsymbol{p_{uc}}$ [bar],
   - sila predstezanja alata, na jednom vijku, $\boldsymbol{F_s}$ [kN],

b) Izlazne / zavisno promjenljive veličine:
   - Sila na tiskaču/aksijalna sila, $\boldsymbol{F_a}$ [kN].

U procesu hidrooblikovanja u ovom eksperimentalnom istraživanju uzete su konstante: prečnik cijevi i izdanka, brzina oblikovanja-hod aksijalnih tiskača, prelazni radijus u radnoj zoni alata, trenje, materijal izradka, alat, …

Grafički prikaz ulazno – izlaznih parametara kod hidrooblikovanja račve dat je na slici 6.



Slika 6. Ulazno – izlazne veličine procesa hidrooblikovanja krstaste račve

Aksijalna sila odnosno sila na aksijalnom tiskaču u procesu hidrooblikovanja račve može se prikazati u obliku izraza:

$$F_a = C \cdot \left(\frac{\Delta H}{2} \right)^x \cdot {p_{uc}}^y {F_s}^z \quad (2)$$

gdje su:

- $\frac{\Delta H}{2}$, p_{uc}, F_s – osnovni varirani faktori,
- *C, x, y, z* – konstante koje treba odrediti.

Za utvrđivanje koeficijenata-konstanti predloženog matematičkog modela primijenjen je eksperimentalno analitički metoda[1]. Fizikalni matematički model aksijalne sile u konačnom obliku:

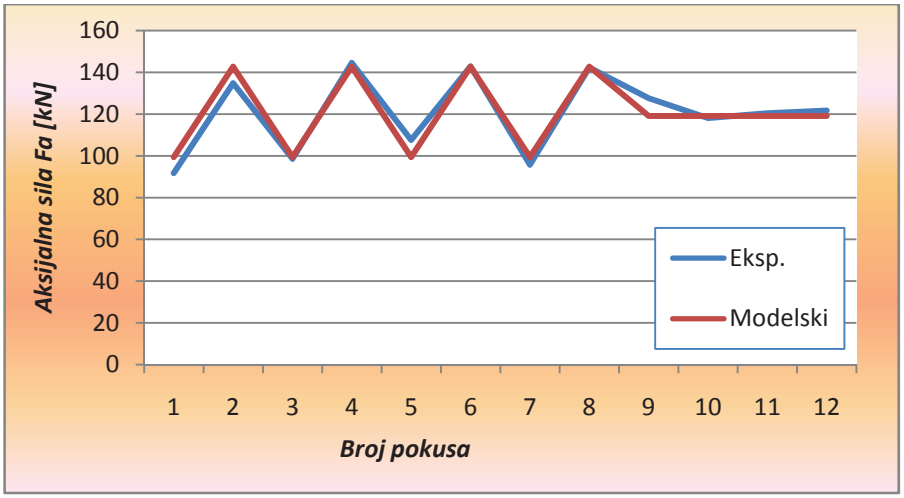
$$F_a = 71{,}6218 \cdot \left(\frac{\Delta H}{2}\right)^{0{,}2612} \tag{3}$$

Za analizu su uzete usporedne vrijednosti eksperimentalnih i fizikalnih vrijednosti aksijalne sile.

Tabela 1. Usporedne vrijednosti eksperimentalnih i fizikalnih vrijednosti

Broj eksp.	*Ulazni parametri*			*Rezultati eksp. mjerenja*	*Računske vrijednosti fizikalnog modela*
	ΔH/2	p_{uc}	F_s	F_a	$F_a^R(3)$
	mm	bar	kN	kN	kN
1	3,5	895	33	91,68	99,35
2	14	895	33	134,75	142,70
3	3,5	1350	33	98,52	99,35
4	14	1350	33	144,50	142,70
5	3,5	895	85	107,56	99,35
6	14	895	85	142,85	142,70
7	3,5	1350	85	95,70	99,35
8	14	1350	85	142,22	142,70
9	7	1100	53	127,55	119,07
10	7	1100	53	118,06	119,07
11	7	1100	53	120,35	119,07
12	7	1100	53	121,67	119,07

Grafički prikazi dobivenih eksperimentalnih vrijednosti i fizikalnih vrijednosti dobivenih modeliranjem dati su na slici 7.



Slika 7. Usporedne eksperimentalne i modelirane vrijednosti sile na aksijalnom tiskaču

Za provedeni eksperiment hidrooblikovanja račve koeficijent višestruke regresije za silu aksijalnog tiskača je R=0,966 > 0,90, što znači da model zadovoljavajuće opisuje rezultate eksperimenta. Vrijednost koeficijenta R^2=0,932 znači da se 93,2% varijabiliteta pripisuje djelovanju definiranih ulaznih/nezavisnih varijabli na silu aksijalnog tiskača.

3. ZAKLJUČAK

Alat za plastično oblikovanje je važan parametar troškova proizvodnje, kvaliteta dobivenog izradka, vremena izrade, te ukupnog stepena iskoristivosti obradnog sistema. Opterećenje kojim su izloženi alati za plastično oblikovanje, pa tako i alat za hidrooblikovanje, direktno utiče na vijek trajanja alata, postignuti kvalitet dobivenih izradaka, energetsku efikasnost obradnog sistema, iskorištenje, ...

Sila aksijanog tiskača predstavlja jedan od značajnijih parametara opterećenje alata i na uspješnost procesa hidrooblikovanja. Pretpostavljeni su ulazni parametri od utjecaja na silu aksijalnog tiskača: pritisak fluida u cijevi, hod-pomjeranje aksijalnog tiskača i intenzitet predstezanja vijaka za spajanje alata. Provjerom adekvatnosti fizikalnog modela i koeficijenta višestruke regresije (R=96,6%), potvrđeno je da na silu aksijalnog tiskača imaju utjecaj pretpostavljeni parametri, s tim da najveći utjecaj ima hod-pomjeranje aksijalnog tiskača, dok parametri pritisak fluida u cijevi i intenzitet predstezanja alata nisu značajni. Dobiveni fizikalni model (3) adekvatno opisuje vrijednosti sile aksijalnog tiskača u zavisnosti od jednog parametra, hoda-pomjeranja tiskača, za eksperimentalne rezultate dobivene izvedenim eksperimentom.

4. LITERATURA

[1] Jurković, M.: Matematičko modeliranje inženjerskih procesa i sistema, 1- 402, Mašinski fakultet Univerziteta u Bihaću, 1999. ISBN 9958-642-04-4.

[2] Mahmić M.: Modeliranje i optimizacija alata za plastično oblikovanje primjenom eksperimenta i baza znanja, Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet Bihać, doktorska disertacija, 2012.

[3] E. Karabegović, M. Jurković, M. Brezočnik, M. Mahmić: Modeling and Optimization of Axial Force in Tube Hydroforming Process, RIM 2009, 7th International Scientific Conference on Production Engineering Development and Modernization of Production, Cairo, Egypt, 2009, ISBN 978-9958-624-29-2, p.105-106.

[4] Mahmić M., Karabegović E., Jurković M., Karabegović I.: Analitički model određivanja koeficijenta trenja kod hidrooblikovanja, 16th International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Mashinery and Associated Technology", TMT2012, 10-12. September 2012, Dubai, United Arab Emirates, ISSN 1840-4944, pp. 55-58.

[5] Altan, T. and Jirathearanat S.: Successful tube hydroforming:Watching parameters, accurately simulating the process yield good results, TPJ-The Tube&Pipe, 2001.

DIZAJN MEHATRONIČKOG SISTEMA ZA EKSPERIMENTALNO HIDROOBLIKOVANJE TANKOSTJENIH ELEMENATA

DESIGN OF MECHATRONIC SYSTEM FOR EXPERIMENTAL HYDROFORMING OF A THIN ELEMENTS

Edin Šemić[1], Edina Karabegović[2]

[1]Univerzitet „Džemal Bijedić" u Mostaru, Mašinski fakultet u Mostaru, Maršala Tita b.b.,
[2]Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet Bihać, Dr. Irfana Ljubijankića bb
edin.semic@bih.net.ba

SAŽETAK:

Proces hidrooblikovanja tankostjenih elemenata daje mogućnost izrade dijelova vrlo složenog oblika od lima i cijevi. Pored ove prednosti, neophodno je poznavanje optimalnih parametara bitnih za uspješnost izvođenja procesa. Za određivanje optimalnih parametara procesa potrebno je izvršiti mjerenje definisanih veličina u toku izvođenja eksperimentalnog oblikovanja. Za analizu procesa hidrooblikovanja u ovom radu dat je primjer hidrooblikovanja spojenih/zavarenih limova. Pored neophodne opreme za izvođenje eksperimenta (alata, pripremka, pumpe, fluida i sistema za njegov dovod) i mjerne opreme (senzora, uređaja za mjerenje i računara) potrebno je dizajnirati mehatronički sistem koji bi omogućio upravljanje i kontrolu procesa hidrooblikovanja. Dizajn mehatroničkog sistema sa softverom urađen je za uslove eksperimentalnog hidrooblikovanja zavarenih limova definisanog oblika radnog komada. Šema instalacije mehatroničkog sistema i dijagrama toka realizacije eksperimenta navedeni su u radu.

***Ključne riječi**: hidrooblikovanje, dizajn, mehatronički sistem,senzori, pritisak, pomak.*

ABSTRACT:

The hydroforming process of thin-walled elements gives the possibility of making parts very complex form of sheet metal and tubes. In addition to these benefits, it is necessary to know the optimal parameters relevant to the performance of the process. To determine the optimum process parameters, it is necessary to measure the defined values during the execution of the experimental design. For the analysis of hydroforming process, in this paper was given an hydroforming example of connected/welded sheets. Besides the necessary equipment to perform the experiment (tools, of preparation, pump, fluid and system for its supply) and measuring equipment (sensors, measuring devices and computer) it is necessary to design a mechatronic system that would allow management and process control of hydroforming. The design of mechatronic system with software was developed for the hydroforming experimental conditions of welded metal sheets with defined shape of the workpiece. Installation scheme of mechatronic systems and flow chart of realization of the experiment are specified in the work.

***Keywords:** hydroforming, design, mechatronic system, sensors, pressure, feed.*

---

1. UVOD

Proces hidrooblikovanja jetehnološki proces oblikovanja lima i cijevi od značaja za automobilsku, avionsku i raketnu industriju, kao i za izradu proizvoda široke potrošnje (posuđa, limenki pića i sl.). Proces je nekonvencionalan i kao medij za prijenos energije primjenjuje fluid (ulje) pod pritiskom. Primjenjuje se za oblikovanje tankostijenih elemenata (limova i cijevi), kao i za zapreminsko oblikovanje kompaktnih tijela. Izvođenje procesa je najčešće u jednoj fazi, dvodjelnog ili višedjelnog alata. Hidrooblikovanje karakteriše niska cijena, fleksibilnost i jednostavan rad, smanjeno trenje i nizak nivo habanja alata, bolje naponsko stanje i kvaliteta površine komada. Iz tog razloga je hidrooblikovanje zastupljeno sve više u modernoj industriji [1-13].

2. DIZAJN EKSPERIMENTALNOG MEHATRONIČKOG SISTEMA

Analizom parametara koji utiču na uspješnost izvođenja procesa hidrooblikovanja zavarenih limova određenog oblika, može se pretpostaviti da najveći uticaj na uspješnost oblikovanja ima pritisak fluida sa kojim se vrši oblikovanje. Veličina potrebnog pritiska fluida za oblikovanje zavisi, u najvećem obimu, od vrste i debljine materijala koji se oblikuje. Za izvođenje eksperimenta neophodno je obezbjediti tehnološku opremu koja podrazumijeva pripremak definisanog oblika, alat, fluid, sistem dovoda fluida, pumpu za postizanje radnog pritiska fluida i dr. Za mjerenje pritiska fluida i pomaka potrebni su odgovarajući senzori, mjerno –pojačivački uređaj i računar.
Osnovni cilj ovog rada je dizajnirati mehatronički sistem za upravljanje i kontrolu procesa eksperimentalnog hidrooblikovanja zavarenih limova definisanog oblika. U toku procesa oblikovanja se planira vršiti mjerenje radnog pritiska fluida i pomaka. Dobiveni eksperimentalni podaci bi, zatim bili primijenjeni u fazi modeliranja i optimizacije.

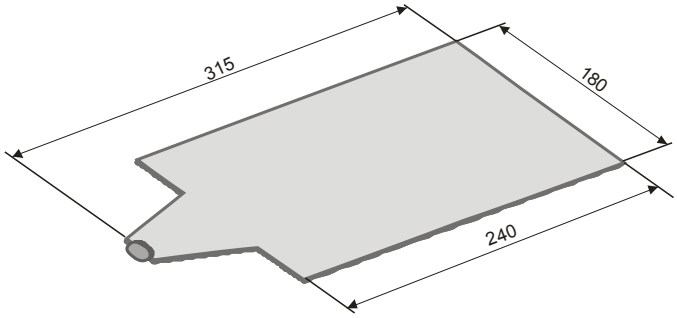
2.1. Elementi za dizajniranje mehatroničkog sistema u procesu hidrooblikovanja

Za dizajniranje mehatroničkog sistema, neophodno je poznavati proces oblikovanja i karakteristike opreme potrebne za izvođenje i mjerenja u toku procesa. Pored toga neophodno je i dizajnirati softver pomoću kojeg će se upravljati i kontrolisati procesom oblikovanja.
Za realizaciju eksperimenta i mjerenja definisanih veličina potrebni su:

- pripremci,
- alat,
- fluid za hidrooblikovanje,
- hidraulična pumpa,
- senzor pritiska,
- senzor pomaka,
- sistem za kontrolu procesa,
- mjerna oprema,
- računar.

2.1.1. Pripremci

Geometrijski oblik i dimenzije radnog komada (pripremak) dat je na slici 1 [6]. Dizajn radnog komada podsjeća oblikom i dimenzijama na konstrukciju rebra radijatora.

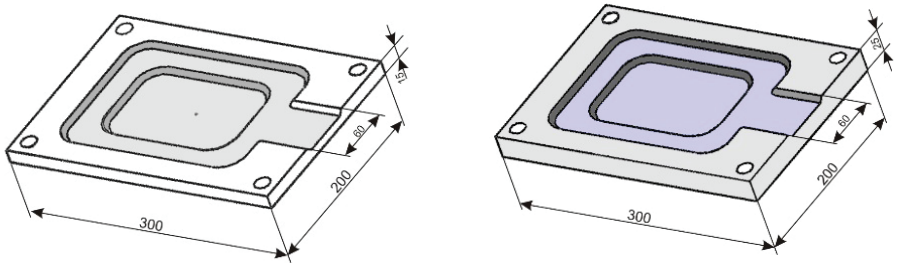


Slika 1. Geometrijski oblik pripremka

Pripremak je sastavljen od dvije identične ploče lima koje su zavarene po obodu i imaju na jednoj strani priključak za sistem (hidraulično crijevo). Za zavarivanje pripremaka je primijenjen MIG postupak zavarivanja, jer se izvodi u zaštitnoj atmosferi inertnog plina (argon ili mješavine argona i helija) i osigurava kvalitetan nepropustan šav. Zavareni limovi-pripremci mogu biti od hladno valjanog čeličnog lima, aluminijuma i drugih materijala sa dobrim mehaničkim i tehnološkim osobinama.

2.1.2. Alat za hidrooblikovanje

Alat se sastoji iz dva dijela koji se sastavljaju vijcima. Materijal za izradu alata je konstrukcijski čelik sa mehaničkim osobinama koje osiguravaju izdržljivost pri radu sa visokim pritiscima fluida. Za izradu alata korišten je postupak glodanja, a potom završna obrada brušenjem sa kvalitetom radne površine N3 [3]. Debljina donje matrice je 25 mm, a gornje matrice 15 mm. Na slici 2. date su dimenzije dijelova alata [6].



Slika 2. Gornji i donji dio alata za hidrooblikovanje

2.1.3. Fluid za hidrooblikovanje

Ulje za hidrooblikovanje, pored viskoznosti i postojanosti pri radu na visokim pritiscima, treba da zadovolji i ekološke standarde.

2.1.4. Hidraulična pumpa

Za postizanje radnog pritiska fluida koristi se pumpa maksimalnog pritiska p_{max}=300 bar. Povezivanje pumpe i ostatka sistema se izvodi gumiranim crijevima koja su predviđena za rad u uslovima visokih pritisaka.

2.1.5. Senzor pritiska

Senzor pritiska koji će se koristiti u procesu hidrooblikovanja je senzor P8AP proizvođača „HBM" i radi na principu mjernih traka. Mjerni obim senzora jeste 0...500 bar, a nominalna osjetljivost je 2mV/500 bar [8]. Na slici 3. dat je senzor pritiska.



Slika 3. Senzor pritiska P8AP [4]

2.1.6. Senzor pomaka

Senzor pomaka koji će biti primijenjen za mjerenjeu toku izvođenja eksperimenta je senzor WA20 proizvođača „HBM". Radi na induktivnom principu. Mjerni opseg senzora je 0...20 mm. Nominalna osjetljivost senzora je 80 mV/20 mm [9]. Na slici 4. dat je senzor pomaka.



Slika 4. Senzor pomaka WA20 [5]

2.1.7. Sistem za upravljanje i kontrolu procesa

Elektronički uređaj koji treba da upravlja električnom pumpom, prekretnim hidrauličnim ventilom i ostalim dijelovima sistema konstruisan je na način da upravljanje i komunikaciju sa vanjskim uređajima vrši putem paralelnog (LPT) porta računara. Ovaj elektronički uređaj ima 8 nezavisnih releja i sa njim se može nezavisno kontrolisati do 8 uređaja. Priključuje se na LPT port računara (laptopa) i ima svoje vanjsko napajanje. Elektroničkim komponentama će upravljati softver koji je urađen tako da zadovolji dijagram toka planiranog eksperimenta.



Slika 5. Elektronički uređaj za upravljanje i kontrolu procesa hidrooblikovanja

2.1.8. Mjerna oprema

Za mjerenje radnog pritiska fluida i pomaka lima pri hidrooblikovanju, u eksperimentu, koristit će se mjerno-pojačivački uređaj „SPIDER 8" proizvođača „HBM". Uređaj je optimiziran za rad sa računarom. Posjeduje 8 nezavisnih mjernih kanala na koje se mogu spajati različiti senzori, zavisno od potrebe konkretnog mjerenja koje se izvodi [10]. Izgled uređaja dat je na slici 6.



Slika 6. Mjerno-pojačivački uređaj „SPIDER 8" [6]

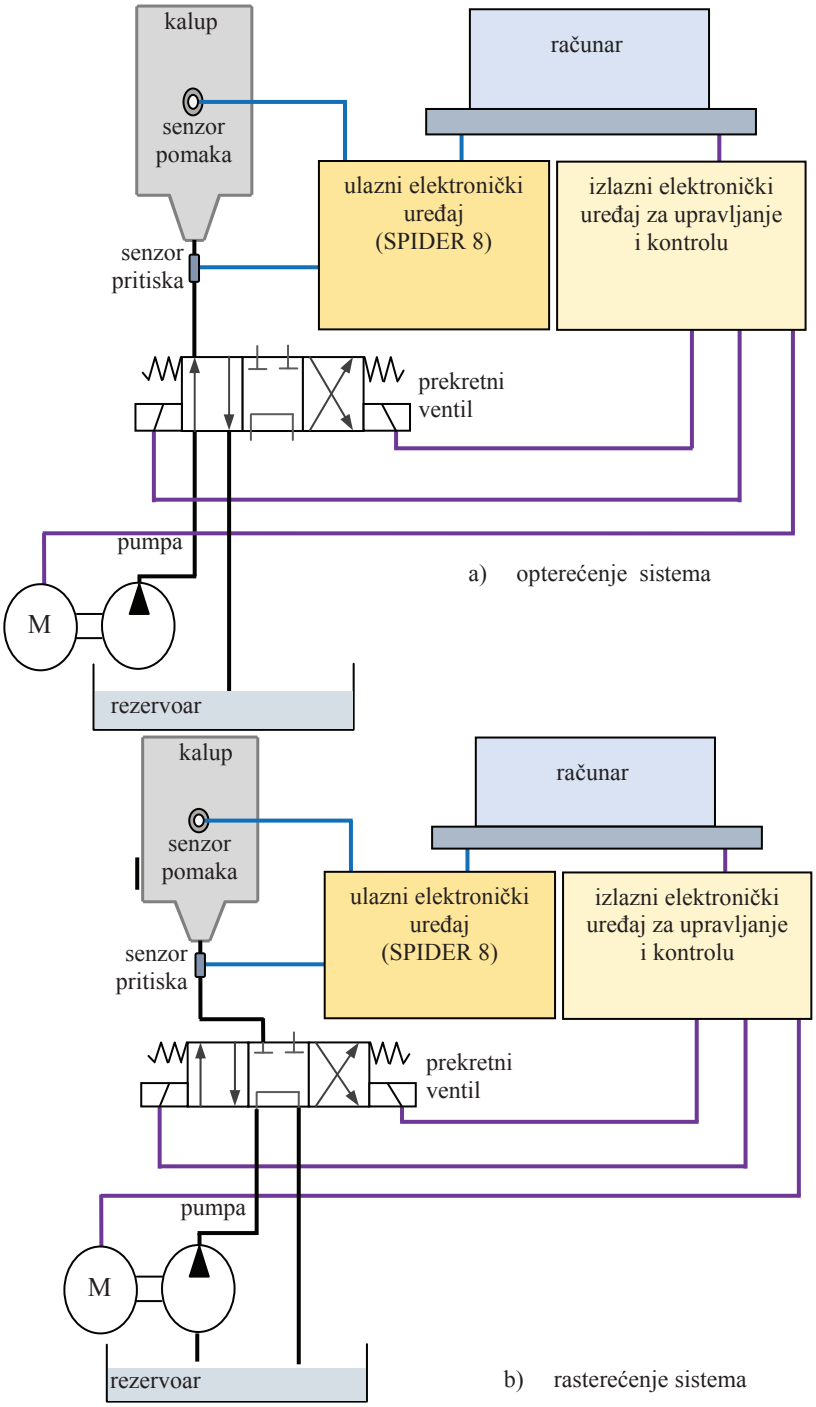
Osnovne karakteristike uređaja date su u tabeli 1.

Tabela 1. Karakteristike uređaja „SPIDER 8"

Senzori koji se mogu koristiti	Puni most, polumost i četvrtina mosta mjernih traka; induktivni davači; naponski davači i termoparovi; potenciometri; brzina i moment
Tačnost	0.1
Dizajn kućišta	Optimiziran za rad sa računarom
Maksimalan broj mjernih kanala / senzora	8
Interfejs	LPT, COM (RS-232 protocol)
Procesiranje signala	Low-pass filter
Brzina čitanja podataka	9600 bit/s

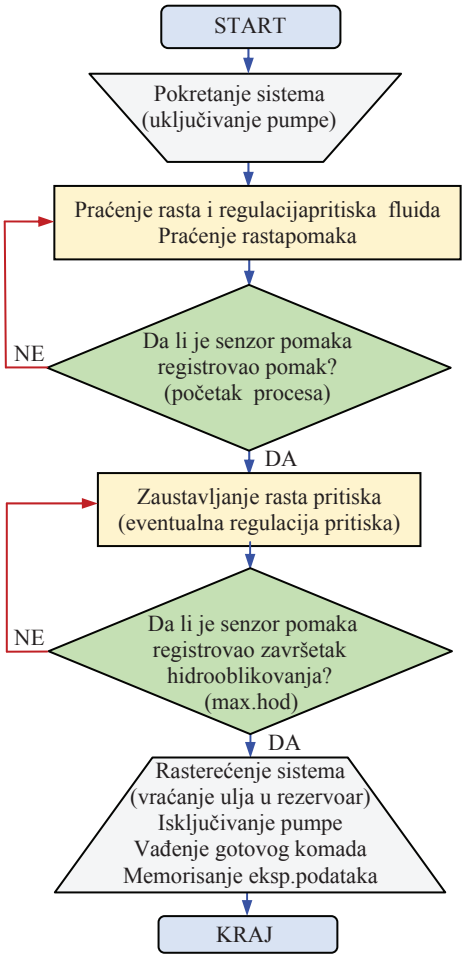
2.2. Šema mehatroničkog sistema i dijagram toka za hidrooblikovanje lima

U mehatroničkom sistemu upravljanje cjelokupnim procesom hidrooblikovanja se vrši pomoću računara. Računar mora na sebi imati serijski (RS232) port, paralelni (LPT) port i USB port. Komunikaciju sa uređajem „SPIDER 8", odnosno dobivanje informacija sa senzora obavljat će putem serijskog ili USB porta, dok će nakon obrade podataka, uređajima (pumpa, ventil i sl.) upravljati putem paralelnog (LPT) porta koristeći izlazni elektronički uređaj u tu svrhu. Takođe, sve ulazne podatke sa senzora će memorisati u svrhu kasnije analize. Na slici 7. data je uproštena šema mehatroničkog sistemaza eksperimentalno hidrooblikovanje zavarenih limova.
Komunikacijske veze u sistemu za hidrooblikovanje su postavljene, prema slici 7, tako da je hidraulična pumpa za postizanje radnog pritiska fluida spojena je na jednom kraju sa rezervoarom za ulje, a na drugom kraju sa kalupom/alatom preko prekretnog ventila koji ima tri položaja. Ventil može propustiti fluid u jednom ili drugom smjeru, a srednji položaj je rasteretni položaj (prazan hod). Ventilom upravljaju dva elektromotora koji ga mogu pomjerati u jednom ili drugom smjeru. Senzor pritiska je postavljen na dolazni hidraulički vod ispred pripremka. Senzor pomaka se pomoću magneta pričvrsti za alat i postavi okomito u odnosu na pripremak kroz rupu koja je već izbušena u alatu. Mjerno-pojačivački uređaj „SPIDER 8" je povezan sa senzorima, a na drugom kraju je spojen sa računarom koristeći serijski (COM) port. Elektronički uređaj je pomoću paralelnog (LPT) porta spojen na računar, a na drugom kraju je spojen sa elektromotorima ventila, te sa elektromotorom hidraulične pumpe.



Slika 7. Uproštena šema mehatroničkog sistema za eksperimentalno hidrooblikovanje

Princip rada mehatroničkog sistema za proces hidrooblikovanja zavarenih limova je slijedeći:
Kad je ventil u položaju 1 (slika 7.a), ulje pod pritiskom se uvodi u unutrašnjost pripremka. Senzor pritiska detektuje rast i veličinu pritiska radnog fluida, te informaciju šalje u računar preko mjerno-pojačivačkog uređaja (SPIDER 8). Kada se pomoću senzora pomaka registruje promjena u veličini pomaka znači da je proces hidrooblikovanja komada počeo. Brzina oblikovanja direktno je u vezi sa brzinom povećavanja pritiska. Pomoću postavljenih senzora se mogu u određenim vremenskim razmacima memorisati vrijednosti radnog pritiska i pomaka. Zabilježene funkcije odnosa veličina se mogu iskazati grafički pomoću dijagrama i služiti za daljnju analizu. Kad se hidrooblikovanje završi, računar će preko senzora pomaka detektovati prekid rasta pomaka (maksimalni hod) i preko elektroničkog uređaja za upravljanje i kontrolu procesa dati signal za promjenu položaja ventila (slika 7.b). U ovom rasteretnom položaju ulje se vraća nazad u rezervoar. Izlazni elektronički uređaj se može primjeniti za zaustavljanje rada hidraulične pumpe, kako bi se izvadio gotov komad iz kalupa. Najvažniji segment ovog mehatroničkog sistema je softver, zadužen za upravljanje sistemom i kontrolu parametara u toku procesa izvođenja eksperimenta, prema dijagramu toka, slika 8.



Slika 8. Dijagram toka izvođenja eksperimenta

3. ZAKLJUČAK

Istraživanja iz područja hidrooblikovanja izvode se eksperimentalnim mjerenjima i najčešće se odnose na parametre procesa oblikovanja. Iz tog razloga je bilo potrebno dizajnirati mehatronički sistem kojim bi se proces hidrooblikovanja upravljao i kontrolisao. Dizajn mehatroničkog sistema za eksperimentalno hidrooblikovanje izložen u radu jedan je od primjera kako se mogu koristiti senzori, mikrokontroler, računar i druge komponente mehatroničkog sistema za automatizaciju bilo kojeg proizvodnog procesa, ne samo hidrooblikovanja.

4. LITERATURA

[1] Harjinder Singh: Fundamentals of Hydroforming, Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, Michigan , USA, 2003.
[2] M. Bakhshi-Jooybari, A. Gorji and M. Elyasi (2012). Developments in Sheet Hydroforming for Complex Industrial Parts, Metal Forming - Process, Tools, Design, Dr. Mohsen Kazeminezhad (Ed.), ISBN: 978-953-51-0804-7, InTech, DOI: 10.5772/48142. Available from:http://www.intechopen.com/books/metal-forming-process-tools-design/developments-in-sheet-hydroforming-for-complex-industrial-parts
[3] Branko Grizelj, Josip Cumin, Todor Ergić: Application of Hydroforming Process sin Sheet Metal Formation, Sveučilište u Osijeku, Strojarski fakultet Slavonski Brod, 2009.
[4] Edin Šemić, Edina Karabegović: Razvoj mehatroničkog sistema za hidrooblikovanje cijevi, 2nd International Conference „NEW TECHNOLOGIES NT-2015 „Development and Application, april 2015, Mostar.
[5] Edina Karabegović, Isak Karabegović: Strain Zones and Attrition Influential Zones in Tybe Hydroforming process, International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering IJMME-IJENS, 2013.
[6] Jasmir Poljak: Matematičko modeliranje i optimizacija pritiska fluida kod hidrooblikovanja limova, Master rad, Tehnički fakultet Bihać, 2014.
[7] http://www.dpm.ftn.uns.ac.rs/dokumenti/katedra0155/Merenje%20i%20kvalitet/Drugi%20kolokvijum/10%20HRAPAVOST.pdf
[8] http://www.hbm.com.pl/pdf/b0521.pdf
[9] http://www.hbm.com.pl/pdf/a0549.pdf
[10] http://www.hbm.com.pl/pdf/b0405.pdf
[11] http://ccd.uns.ac.rs/aus/autIND/sau_doc/Za%20sajt/07_Meraci_pritiska.pdf
[12] http://www.tsrb.hr/meha/index.php?option=com_content&task=view&id=51&Itemid=1
[13] http://www.slideshare.net/tehnologije/senzori

PRIMJENA TERMOGRAFIJE U PROIZVODNIM TEHNOLOGIJAMA

APPLICATION OF THERMOGRAPHY IN MANUFACTURING TECHNOLOGY

Mirna Nožić
[1]Univerzitet „Džemal Bijedić" , Mašinski fakultet Mostar, mirna.nozic@unmo.ba

---

SAŽETAK:
Infracrvena termografija predstavlja jednu od najzastupljenijih metoda za dijagnostiku termičkog stanja industrijskih postrojenja. Prednost metode ogleda se u mogućnosti njenog provođenja u toku rada postrojenja, bez zaustavljanja ili ometanja funkcionisanja proizvodnog procesa. U radu su date teoretske postavke infracrvene termografije i mogućnosti njene primjene u proizvodnim tehnologijama: za analizu parametara procesa, praćenje energetskog toka i preventivno održavanje.

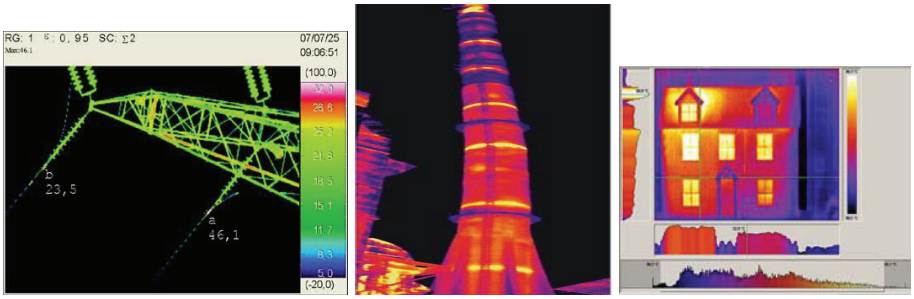
Ključne riječi: *IC termografija/termovizija, temperatura, proizvodne tehnologije*

ABSTRACT:
Infrared thermography is one of the most common method for thermal state diagnosing of industrial plants. The advantage of the method lies in the possibility of its implementation during the plant operation, without stopping or disturbing the functioning of the production process. The paper provides the theoretical basis of infrared thermography and the possibility of its application in production technologies: analysis of process parameters, energy flow monitor and preventive maintenance.
Keywords: *Infrared thermography/thermal imaging, temperature, manufacturing technology*

1.UVOD

Infracrvena termografija je metoda beskontaktnog mjerenja temperature, koja se pojavila i razvila u drugoj polovini 20. vijeka. Zasniva se na registraciji toplotnog zračenja površine nekog objekta i prevođenju tog zračenja u vidljivu sliku, koja se naziva termogram. Termogram je 2D prikaz temperaturnog polja površine objekta u određenom vremenskom trenutku, na kome su različitim bojama predstavljene površine koje emituju različite količine IC zračenja, Slika 1.
Konverzijom temperature u boju, uz odgovarajuću softversku podršku, termogram može biti prikazan na računaru. Personalni računari za prikaz slike u boji koriste kombinaciju tri boje: crvene, zelene i plave. Najčešće su u upotrebi "palete boja" koje višu temperaturu predstavljaju svjetlijom bojom.
Glavne prednosti ove metode u odnosu na ostale metode mjerenja temperature su: beskontaktnost, brzina i dvodimenzionalnost. Upravo zbog navedenih prednosti, termografija ima vrlo širok dijapazon primjene i koristi se u: proizvodnji i distribuciji električne energije (termografski pregledi generatora, transformatora, prekidača, naponskih regulatora, releja, …), u nadzoru mehaničkih dijelova (kontrola pregrijavanja ležajeva, spojnica, pumpi, …), u građevinarstvu (mjerenje toplotnih gubitaka na objektima, otkrivanje mjesta sa vlagom, …), u proizvodnim

procesima (za praćenje, kontrolu i otkrivanje grešaka), u medicini (za dijagnostiku), posebnim namjenama (npr. vojne potrebe).



Slika 1: Termogrami

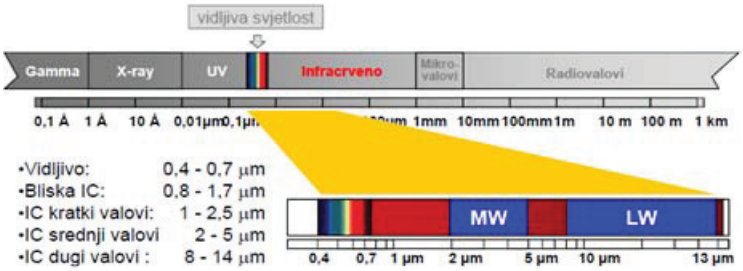
Termografski nadzor omogućava otkrivanje nepravilnosti i grešaka u ranoj fazi, što znači da: povećava bezbjednost, poboljšava pouzdanost u radu sistema, smanjuje broj nepredviđenih ispada i troškova popravki, smanjuje troškove održavanja, produžava životni vijek, poboljšava kontrolu kvaliteta. U ovom radu je dat osvrt na primjenu termografije u proizvodnim tehnologijama.

2. TEORETSKE POSTAVKE TERMOGRAFIJE

Pri objašnjenju principa IC termografije polazi se od mehanizama prenosa toplote. Prenos toplote predstavlja spontani proces razmjene toplotne energije između dva tijela (sistema) različitih temperatura. Proces razmjene prestaje, kada se uspostavi termička ravnoteža.
Izučavanje prenosa toplote ima za cilj određivanje kvantitete toplotne energije, koja se može razmijeniti i predviđanje brzine i intenziteta prenosa toplote pod određenim uslovima. Razlikuju se tri osnovna mehanizma prenosa toplote:

- provođenje (kondukcija);
- konvekcija (prenošenje ili prelaz) i
- zračenje (radijacija).

Zračenje je mehanizam razmjene toplote elektromagnetnim talasima između tijela različitih temperatura, odvojenih nekim propusnim medijem. Odvija se bez posredstva materije i na daljinu i po tome se razlikuje od provođenja i konvekcije. Nastanak zračenja vezan je za pojave unutar atoma materije i može imati različite uzroke. U ovom radu će se razmatrati temperaturno zračenje, koje je određeno prirodom materije i njenom temperaturom. Neke druge vrste zračenja (kao što su npr. fluorescencija, radioaktivno zračenje i sl.) nisu potpuno određeni temperaturom tijela. Iako na visokim temperaturama užarena tijela svijetle, vidljiva svjetlost nije jedino zračenje koje ona emituju, Slika 2.



Slika 2: Elektromagnetno zračenje

Intenzitet emitovane energije sa površine posmatranog objekta zavisi od temperature i talasne dužine zračenja. Ako je temperatura niža od 500ºC emitovano toplotno zračenje je u potpunosti unutar granica infracrvenog područja talasnih dužina.
Svako tijelo, bez obzira na njegovu temperaturu, zrači, odnosno emituje elektromagnetne talase, koji prenose energiju. Iznos emitovane energije s površine tijela zavisi od: temperature tijela, vrste materijala i stanja površine. Zračenje nekog tijela potiče od tri izvora:

1) emitovano- uzrokovano promjenom unutrašnje energije tijela;
2) reflektovano- kao rezultat zračenja nekog drugog tijela koje se odbija od površine posmatranog tijela i
3) propusno- dio zračenja koje tijelo propušta, a potiče od nekog drugog tijela.

Sjaj ili svjetloća površine je ukupno zračenje koje dolazi s površine posmatranog tijela, a ono se sastoji od vlastite emisije (izvor zračenja je posmatrano tijelo) i reflektovanog i propusnog zračenja (izvor zračenja su druga tijela iz okoline).
ε je koeficijent emisije (zračenja) i predstavlja odnos energije koju emituje posmatrano tijelo u odnosu na energiju crnog tijela (pokazuje odstupanja realnog tijela od crnog tijela). Emisivnost tijela je njegova sposobnost da zrači termalnu energiju u zavisnosti od njegove temperature. Emisivnost apsolutno crnog tijela, kao teoretske idealizacije je 1, dok sva ostala siva tijela imaju manju emisivnost. Emisivnost zavisi od vrste i izrade materijala, ugla mjerenja, temperature i talasne dužine.
Za objašnjenje i primjenu termografije potrebno je odrediti količinu toplotne energije koja se zračenjem sa objekta prenosi u okolinu, odnosno snimi termografskom kamerom.
Stefan-Boltzmannov zakon uspostavlja vezu između temperature i energije zračenja tijela u obliku:

$$E_c = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \qquad \left[W/m^2\right] \tag{1}$$

gdje su:

ε - koeficijent emisivnosti,

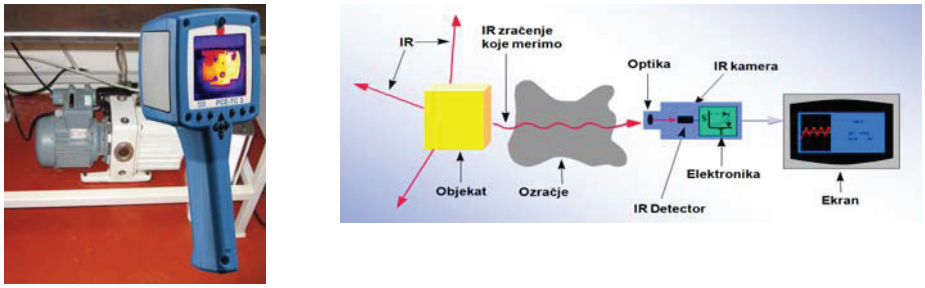
$\sigma = 5{,}768 \cdot 10^{-8} \ \left[W/m^2K^4\right]$ - Stefan-Boltzmann-ova konstanta,

T- temperatura tijela.

Ako se na termografskoj kameri unese tačna vrijednost emisivnosti posmatranog objekta, iz Stefan-Boltzmannovog zakona se dobija vrijednost temperature objekta na određenom m jestu u određenom vremenskom trenutku.

2.1. Mjerenje termografskom kamerom

Za registraciju i snimanje zračenja emitovanog sa površine objekta koriste se prenosne kamere, koje slike iz IC dijela spektra mogu zapisivati na digitalne memorijske medije, Slika 3.a. Shematski prikaz mjerenja termografskom kamerom predstavljen je na Slici 3.b.



a. b.

Slika 3: Mjerenje termografskom kamerom

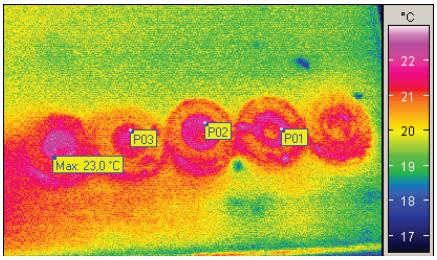
Osnovni dijelovi termovizijske kamere su: IR detektor, optika i elektronika. IR detektor pretvara zračenje preko optike u električne signale. Optika omogućava prenos slike na detektor, dok elektronika služi za obradu električnih signala detektora. Na LCD ekranu dobija se prikaz termograma. Većina kamera posjeduje programe za kvantitativnu analizu, koji omogućavaju određivanje temperature u bilo kojoj tački termograma.
Parametri koji utiču na tačnost mjerenja i koje treba uzeti u obzir pri mjerenju termovizijskom kamerom su: emisivnost, reflektovana temperatura, temperatura okoline, relativna vlažnost i rastojanje.

3. TERMOGRAFIJA U PROIZVODNIM TEHNOLOGIJAMA

Termovizija ili infracrvena termografija, kao metod beskontaktnog mjerenja temperature, u posljednje vrijeme nalazi veliku primjenu u inžinjerskoj praksi. Zbog specifičnosti procesa obrade, brzine njihovog odvijanja, problema koji se javljaju uslijed kretanja alata i nepristupačnosti mjerenja, klasičnim metodama nije moguće odrediti temperature u procesu obrade.
Termovizijskim snimanjem može se dobiti temperaturna slika u procesu dubokog izvlačenja sa redukcijom debljine zida na višestepenim alatima. Eksperimentalna istraživanja su provedena u proizvodnim uslovima na horizontalnim mehaničkim presama, na petostepenim alatima [1].
Toplota u procesu se generiše deformisanjem radnog predmeta.Obzirom da se proces odvija velikom brzinom (srednja brzina deformisanja je 1.2 m/s), vrijeme jednog izvlačenja je kratko (približno 0.1 s), proces je posmatran kao idealizirani slučaj zatvorenog sistema, izolovanog u odnosu na okolinu. Snimanje i registracija temperaturnih polja u toku procesa izvršeni su za sve elemente sistema: izvlakač, prstenove za izvlačenje, pripremke, izratke i rashladno sredstvo za dva posmatrana referentna stanja. Za snimanje je korištena kamera tipa Varioscan 3022, sa mjernim područjem koje obuhvata temperaturni interval od -10°C do 1200°C. Izgled prstenova za izvlačenje u višestepenom alatu i prikaz snimljenih termograma za dva stanja sistema (na početku procesa i na kraju procesa izvlačenja) dati su na Slici 4.

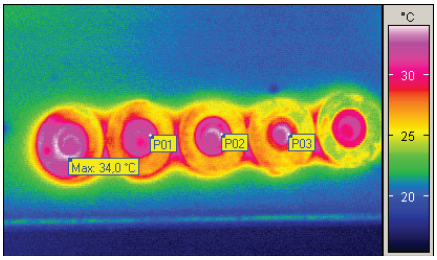


a.



Pmax=23,4°C, P01=22,0°C, P02=21,8°C, P03=21,3°C

b.

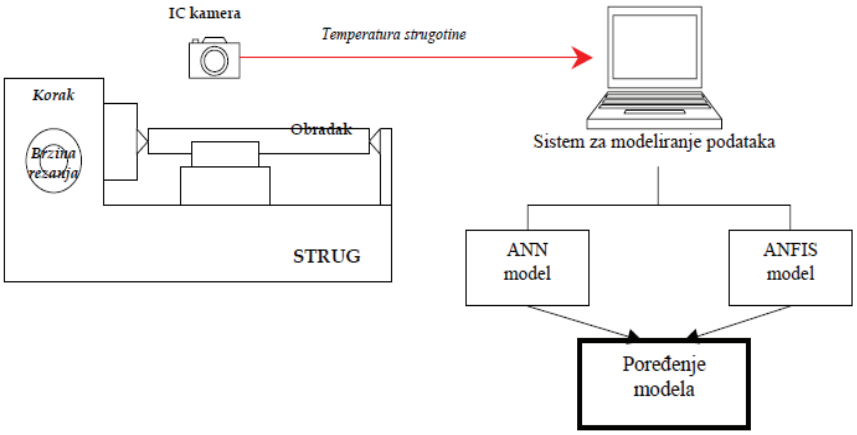


Pmax=34,0°C, P01=30,1°C, P02=30,6°C, P03=30,8°C

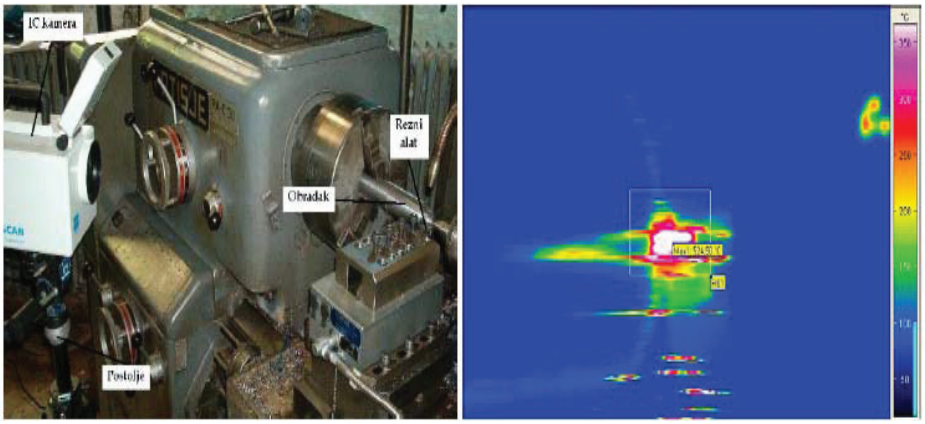
c.

Slika 4: Prstenovi za izvlačenje i snimljeni termogrami [1]

U radu [4] dati su rezultati termovizijskog mjerenja temperature u procesu struganja s ciljem modeliranja temperature strugotine za različite režime obrade. Određivanje temperature u procesu rezanja ima veliki značaj, jer ona direktno utiče na strukturu obrađivanog materijala, habanje alata i stabilnost procesa rezanja. Za analizu procesa neophodno je odrediti maksimalnu temperaturu koja se javlja na površini strugotine. Eksperimentalna istraživanja su realizovana u laboratorijskim uslovima. Za termovizijsko snimanje je korištena kamera tipa Varioscan, visoke temperaturne rezolucije od 0,03K i opsega mjerenja temperature od -40° C do +1200° C.
Trenutna generacija Varioscan high resolution kamera ima maksimalnu rezoluciju slike od 360x240 piksela. Mjerni lanac prikazan je na Slici 5, a postavka eksperimenta i snimljeni termogram na Slici 6.

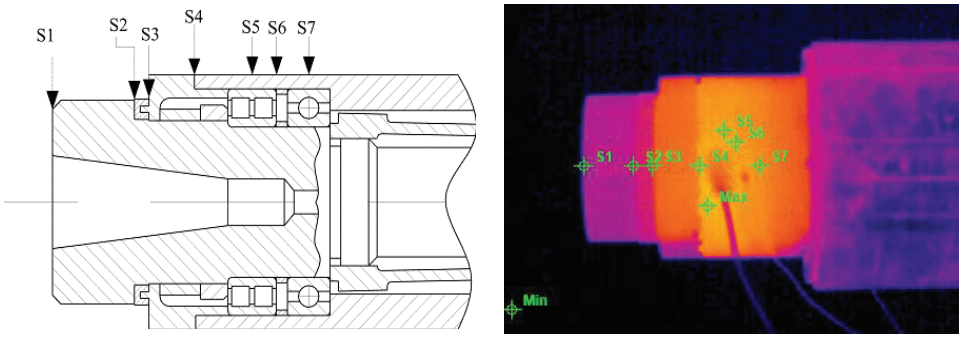


Slika 5: Mjerni lanac [4]



Slika 6: Postavka eksperimenta i snimljeni termogram [4]

Termovizijskim mjerenjem temperature mašinskih sistema u eksploataciji dobijaju se informacije o stanju tih sistema bez njihove demontaže, a praćenje povišenja temperature na karakterističnim mjestima omogućava određivanje trenutka zamjene elemenata sistema, prije nego što dođe do otkaza.
Mjerenje temperature sklopa glavnog vretena mašine alatke u određenim karakterističnim tačkama izvršeno je termovizijskom kamerom [5], s ciljem određivanja stacionarnog temperaturnog stanja sklopa glavnog vretena mašina alatki.
Prije samog mjerenja neophodno je definisati vremenski interval snimanja u kome se prate temperature, a zatim karateristične tačke u kojim sa vrši mjerenje. Temperature tih tačaka direktno zavise od njihove udaljenosti od izvora toplote.
Na Slici 7. dat je prikaz karakterističnih tačaka sklopa glavnog vretena i izgled snimljenog termograma.



a. b.

Slika 7: Sklop glavnog vretena sa karakterističnim tačkama za snimanje temperature i termogram [5]

3. ZAKLJUČAK

Termovizija se u proizvodnim tehnologijama može koristiti za: analizu parametara procesa, praćenje energetskog toka procesa i preventivno održavanje. Za praćenje energetskog toka procesa dubokog izvlačenja sa redukcijom debljine zida na višestepenim alatima i određivanje procentualnog odnosa toplotne i deformacione energije u procesu neophodno je dobiti temperaturnu sliku procesa. Ona se ne može se dobiti klasičnim metodama, zbog specifičnosti procesa i problema koji se javljaju uslijed kretanja alata i nepristupačnosti mjerenja. Termovizija omogućava brzo, lagano i jednostavno dobijanje temperaturne slike svih elemenata sistema.
Termovizijsko mjerenje temperature može se koristiti u modeliranju parametara procesa, što je pokazano na procesu struganja i modeliranja temperature strugotine za različite režime obrade.
Mjerenje temperature sklopa glavnog vretena mašine alatke u određenim karakterističnim tačkama omogućava određivanje stacionarnog temperaturnog stanja sklopa glavnog vretena mašina alatki.
Pored navedenih primjera, termovizijsko snimanje može se koristi u preventivnom održavanju, jer omogućava praćenje razvoja toplote na ključnim tačkama posmatranog objekta i pravovremeno otkrivanje i predviđanje grešaka i nepravilnosti u radu mašine, odnosno postrojenja.

4. LITERATURA

[1] M.Nožić, H.Đukić: "Eksperimentalno određivanje temperaturnih polja metodom termovizije", *MATRIB´06 International Conference MATERIALS, FRICTION, WEAR*, Vela Luka, 2006, Croatia.

[2] G.Mandić, Osnovni principi infracrvene termografije, *INTEGRITET I VEK KONSTRUKCIJA, Vol.6, br.1-2,* 2006, 15-23.

[3] V. A. Blagojević , M. M. Stojiljković, P. LJ. Janković, Mogućnosti korišćenja infracrvene termografije u industrijskim sistemima, Mašinski fakultet Niš, *rad predstavlja dio istraživanja u okviru projekta Nacionalnog programa energetske efikasnosti: "Povećanje energetske efikasnosti pneumatskih sistema u industriji" (EE-232016), finansiranog od strane Ministarstva nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije.*

[4] D.Tanikić, M.Manić, G. Devedžić, Modeliranje temperature strugotine korišćenjem metoda veštačke inteligencije, *TEHNIČKA DIJAGNOSTIKA, broj 4, 2008.*

[5] V.Blanuša, M.Zeljković, A.Živković, B.Štrbac, M.Hadžistević, Primena savremenih metoda za merenje temperature, *INFOTEH-JAHORINA, Vol.11, mart 2012.*

[6] D.Lacmanović, D.Dobrilović, Ž.Stojanov, D.Radosav, Primena termovizijske kamere u sistemima za praćenje energetske efikasnosti, *INFOTEH-JAHORINA, Vol.13, mart 2014.*

[7] J.Kurai, B.Aleksić, Termografija u kontroli opreme u eksploataciji, *INTEGRITET I VEK KONSTRUKCIJA, Vol.6, br.1-2,* 2006, 25-30.

SEMANTIČKE WEB TEHNOLOGIJE ZA POTPORU AUTONOMNIM KIBERNETSKO-FIZIČKIM RADNIM SISTEMIMA

SEMANTIC WEB TECHNOLOGIES FOR AUTONOMOUS CYBER-PHYSICAL WORK SYSTEMS SUPPORT

Elvis Hozdić[1], Zoran Jurković[2]
[1]University of Ljubljana, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Control and Manufacturing Systems, Aškerčeva ulica 6, SI -1000 Ljubljana, Slovenia, ehozdic@yahoo.com
[2]University of Rijeka, Faculty of Engineering, Vukovarska 58, HR -51000 Rijeka, Croatia
zjurkovic@riteh.hr

SAŽETAK:
Sveobuhvatna globalizacija i brzi razvoj informacijsko-komunikacijskih tehnologija (IKT) i interneta omogućio je ulazak u novu eru proizvodnih aktivnosti. U domenu proizvodne industrije strukturiraju se proizvodni sistemi koji povezuju tradicionalne fizičke strukture sa kibernetskim svijetom gradeći pri tome forme u vidu kibernetsko-fizičkih struktura proizvodnih sistema. U takvim strukturama Internet i Internet tehnologije, sa posebnim akcentom na semantičke tehnologije, igraju neprikosnovenu ulogu.
U radu je dat prikaz semantičkih web tehnologija koje zauzimaju važnu ulogu u strukturiranja novih kompleksnih adaptivnih distribuiranih proizvodnih sistema kroz koncept mrežnih sistema i njihovih temeljnih sudionika autonomnih socijalno-kibernetsko-fizičkih radnih sistema.

Ključne riječi: *autonomni radni sistem, elementarni socijalno-kibernetsko-fizički radni sistem, semantičke web tehnologije*

ABSTRACT:
Extensive globalization, rapid development of information-communication technologies(ICT) and the Interne, made it possible to enter into a new era of production activities. In the field of manufacturing industry production systems that connect traditional physical structure and cyberspace world are structured, building at the same time torms are cyber-physical structures of production systems. In such structures Internet and Internet technologies, with special emphasis on semantic technologies., play an unrivaled role.
The paper presents the semantic web technologies that have an important role in structuring the new compex adaptive distributed production system through the concept of network systems and their fundamental actors of autonomous social-cyber-physical work systems (ASCPWS).

Keywords: *autonomous work system, elementari socio-cyber-physical work system, semantic web technologies*

---

1. UVOD

Na pragu nove industrijske revolucije proizvodna preduzeća su pred izazovima da svoje proizvodne sisteme i aktivnosti prilagođavaju zahtjevima savremenog tržišta. Savremeno tržište zahtjeva brze promjene i prilagodbe u načinu proizvodnje. Odgovori na takve zahtjeve leže u primjeni naprednih informacijsko-komunikacijskih tehnologija (IKT) i Interneta u domenu

proizvodnih aktivnosti. Od svog začetka do danas Internet se razvijao rapidnim koracima i danas ga je moguće identificirati iz vidika Semantičkog Web-a (Semantic Web – SW). SW je nastao kao dopuna postojećeg Web-a u potrazi za efikasnijim rješenjima za pronalaženje informacija. Trenutno najveća potreba SW je integracija, standardizacija, razvoj alata, kao i usvajanje od strane korisnika. Njegov napredak je usko povezan sa tehnološkim napretkom. Sve češće, tehnologije SW nalaze primjenu u izgradnji sistema baziranih na znanju, posebno u domenu prikupljanja i integracije resursa znanja, kao i za pretraživanje i prezentovanje znanja na Web-u. Semantičke Web tehnologije (SWT) podstiču i nove trendove u razvoju softverskih aplikacija, kao što su npr. razvoj novih alata otvorenog koda , ponovna upotreba već gotovih ontologija, korišćenje besplatnih Web servisa i aplikacija.
U ovom radu dat je osvrt na razvoj naprednih proizvodnih sistema, iz vidika kibernetskih struktura, te opisane one Semantičke Web tehnologije koje igraju važnu ulogu u strukturiranju, kontroli i upravljanju takvim autonomnim strukturama.

2. AUTONOMNE STRUKTURE NAPREDNIH PROIZVODNIH SISTEMA

Proizvodna industrija se je počela razvijati krajem osamnestog stoljeća, što predstavlja začetak prve industrijske revolucije. Od tad, pa sve do danas, proizvodna industrija doživjela je nekoliko revolucionarnih preobrazbi. Te preobrazbe bile su izazvane promjenama i zahtjevima tržišta i ekonomije, te promjenama društvenih potreba, a koje proizlaze iz promjena ponašanja kupaca [1]. S promjenom zahtjeva tržišta i društvenih potreba posljedično dolazi do razvoja novih tipova sistema za proizvodnju industrijskih proizvoda i novih poslovnih modela. Integracija novih proizvodnih sistema s novim proizvodnim modelima i arhitekturama proizvoda stvaraju novu proizvodnu paradigmu [1],[2].

Razvoj nove paradigme je uslovljen uvođenjem novih tehnologija koje omogućavaju razvoj novih tipova proizvodnih sistema. Evolucija proizvodnih sistema kroz proizvodne paradigme je prikazana kroz radove [3], [4], [5], [6], [2]. Za svaku novu paradigmu razvijen je odgovarajući tip proizvodnog sistema koji se temelje na novim tehnologijama i koji omogućavaju imperative paradigme.

Danas je moguće identificirati pet glavnih proizvodnih paradigmi koje su obilježile proizvodnju industrijskih proizvoda u zadnjih dvijesta godina: (1) obrtnička proizvodnja, (2) masovna proizvodnja, (3) fleksibilna proizvodnja, (4) masovno prilagođavanje i personalizacija, te (5) otvoreni kompleksni i adaptivni sistemi [7].

U domeni kompleksnih i adaptivnih proizvodnih sistema pojavile su se proizvodne mreže (PM), koje se temelje na komunikacijskim mrežama, a koje predstavljaju važan organizacijski oblik koji se pojavljuje u proizvodnji. Mreže predstavljaju pravi izazov za projektovanje i upravljanje proizvodnim sistemima [8]. Upotreba modernih komunikacijskih tehnologija u području mrežnih sistema omogućilo je strukturiranje novih proizvodnih sistema.
PM predstavlja osnovu za konkurentnost, inovativnost, agilnost i prilagodljivost i omogućava međusobno povezivanje partnera, da (1) oblikuju dugoročne poslovne koalicije, (2) razvijaju međusobno razumjevanje i povjerenje, (3) zajednički reaguju na poslovne mogućnosti, (4) sa sudjelovanjem ostvaruju sinergijske učinke i (5) dijele informacije, znanja, resurse, kompetencije i rizike [9].

Na drugoj strani, zbog velikog broja komunikacijskih kanala i ravni donošenja odluka, mreže predstavljaju kompleksne hijerarhične strukture. Za obvladavanje strukturne kompleksnosti PM predložen je koncept autonomnog radnog sistema (ARS), kao osnovni gradivni element mreže sa relativno jednostavnom strukturom i autonomnim ponašanjem [9]. ARS raspolaže s funkcionalnostima i kompetencijama koje su potrebne za upravljanje i operiranje njegovih ključnih proizvodnih procesa.

Temeljem brzog razvoja informacijsko-komunikacijskih tehnologija (IKT) i Interneta stvorene su osnove za uvođenje takvih naprednih tehnologija u domenu proizvodnje. Primjenom IKT i Interneta u proizvodnoj domeni omogućeno je strukturiranje proizvodnih sistema na

principu povezivanja kibernetskog i fizičkog svijeta u proizvodnom okruženju koje danas u značajnoj mjeri predstavlja pametno proizvodno okruženje. Povezivanjem socijalnih elemenata proizvodnog sistema sa fizičkim i kibernetskim elementima strukturiran je novi tip proizvodnog sistema u vidu socijalno-kibernetsko-fizičkog proizvodnog sistema (SKFPS) [10]. Za osnovni gradivni element takvog sistema predložen je elemntarni socialno-kibernetsko-fizički radni sistem (ESKFRS).

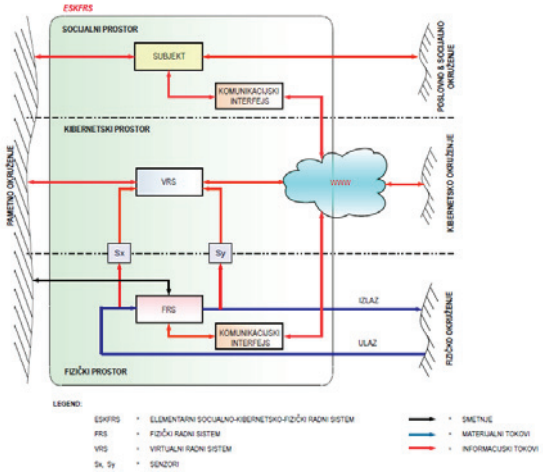
2.1. Elementarni socijalno-kibernetsko-fizički radni sistem

Koncept strukturiranja SKFPS proizlazi iz prethodnih istraživnja i postavljenih koncepta elementarnog radnog sistema (ERS) [11], preko virtualnog radnog sistema (VRS) [12] i konceptiranog B2NM sistema [13]. Za strukturiranje novog koncepta, poslužila je generička osnova elementarnog virtualnog radnog sistema [12]. Takav sistem danas je moguće prestrukturirati u ESKFRS, slika 1.

Ovakav radni sistem, koji smo prikazali na slici 1, se sastoji iz tri osnovne cjeline:

- fizički sistem kao elementarni radni sistem (obradni centar ili više njih, sistemi pozicioniranja, automatizovani stezni pribori, mjerni sistemi i sl.),
- kibernetski (apstraktni) sistem koji u osnovi čine agentski sistemi (upravljački sistemi, oprema za koordiniranje senzorskih sistema i sl.),
- socijalni sistem u kom se nalaze radnici, operateri koji upravljaju i nadziru rad proizvodnog sistema u cjelini.

Fizički sistem predstavlja funkcionalnu cjelinu koja se sastoji od procesa, naprave za izvođenje procesa (NIP), kontrolera i komunikacijskog interfejsa preko kojeg se povezuju druge dvije komponente ESKFRS. Komunikacijski interfejs koji povezuje fizičku i kibernetsku komponentu ESKFRS ima ulogu mapiranja stanja ERS, dok inteligentni komunikacijski interfej ima ulogu povezivanja ljudske komponente ESKFRS sa druge dvije komponente novog sistema. Fizički sistem predstavlja sistem aktuatora i senzora, što ga čini pametnim sistemom, a što mu omogućuje komunikaciju sa kibernetskim svijetom.



Slika 1: Elementarni socijalno-kibernetsko-fizički radni sistem [10]

Kibernetski svijet čine agenti preko kojih se vrši upravljanje, nadzor i kontrola procesa koji se odvijaju u fizičkom sistemu. U kibernetskom svijetu stvaraju se platforme za multi-agentske sisteme (MAS) koji imaju zadaću:

- konfiguratora fizičkog sistema koji omogućava rekonfigurabilnost fizičkog sistema,
- planera i koordinatora radnih aktivnosti fizičkog sistema,

inteligentnih interfejsa koji ostvaruju spregu između kibernetskog i humanog svijeta s jedne, i kibernetskog i fizičkog svijeta sa druge strane.

Sociološka komponenta novog koncepta sistema je novi dodatak na koncept kibernetsko-fizičkih proizvodnih sistema (KFPS) i iziskuje potrebu za opsežnijim elaboriranjem i opisivanjem. Za opis uloge subjekta u SKFPS nužno je početne stavove utemeljiti na teoriji socio-tehničkih sistema koja je svoje mjesto zauzimala u svakom ranijem konceptu.

Za adekvatno strukturiranje, upravljanje i kontrolu novog koncepta proizvodnih sistema neophodno je razumijevanje i implementacija IKT i Interneta u domeni proizvodnih sistema. Važnu ulogu iz tog aspekta imaju SWT koje su prikazane i opisane u slijedećem poglavlju.

3. SEMANTIČKE WEB TEHNOLOGIJE

Semantički Web je nastao kao dopuna postojećeg Web-a u potrazi za efikasnijim rješenjima za pronalaženje informacija. Osnovna ideja SW je da se sve informacije koje se pojavljuju na Web-u označe posebnim oznakama čime bi se dobilo to da računari mogu automatizovano da povezuju podatke jednog tipa sa podacima nekog drugog tipa. Sve je više istraživačkih napora da se poveća efikasnost pretraživanja na Web-u kako bi se došlo do što relevantnijih informacija. Primarnu ulogu u razvoju standarda i tehnologija, kao i u kreiranju preporuka i specifikacija koje bi obezbjedile dugoročni razvoj Web-a u pravcu SW ima *World Wide Web Consortium2* (W3C), međunarodno tijelo za standardizaciju Web-a.

Definiciju SW dao je Berners-Li [14]: *Semantički Web je nastavak, ekstenzija postojećeg Web-a gdje je informaciji dodijeljeno precizno definisano značenje i koji bolje omogućava saradnju između računara i korisnika.*

Dakle, SW je vizija Web-a sljedeće generacije, koja omogućava aplikacijama da automatski prikupljaju Web dokumente iz različitih izvora, integrišu i procesiraju informacije i sarađuju sa drugim aplikacijama da bi izvršile sofisticirane zadatke u korist ljudi [15]. SW je proširenje postojećeg Web-a u kom su podaci definisani i povezani na način koji omogućava da ih mašine koriste ne samo za potrebe prikazivanja, već i za automatizaciju, integraciju i ponovno korištenje u raznovrsnim aplikacijama. Vizija SW je da podaci koji se nalaze bilo gdje na Web-u budu dostupni i razumljivi, kako ljudima, tako i mašinama. Hyper Text Markup Language - HTML je dominantno jezik na kome su zapisane Web stranice. Ovakav način prikaza informacija je zadovoljavajući kada su u pitanju ljudi ali nije razumljiv i dostupan mašinama. SW pristupa rješavanju ovog problema kroz ideju da se HTML zamjeni jezicima koji bi omogućili da Web stranice pored oblikovanih informacija čitljivih za ljude sadrže i semantičke metapodatke – mašinski čitljive podatke o izvorima informacija, njihovim relacijama sa drugim resursima, i razlozima za međusobno povezivanje tih izvora [16].

Temeljni izazov SW je upravo da obezbedi jezik koji bi ujedno nudio podatke, pravila za rezonovanje o podacima i koji bi omogućavao da pravila iz bilo kojeg postojećeg sistema za predstavljanje znanja mogu biti izvezena na Web. Ovakav pristup se razlikuje od tradicionalnih sistema za prezentovanje znanja, koji su bili centralizovani i koji su imali svaki svoj uzak skup pravila za donošenje zaključaka o podacima.

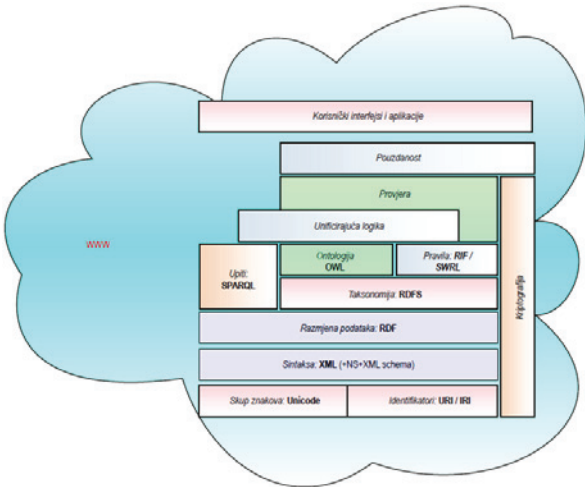
Slojevita arhitektura SW je prikazana na slici 2. U daljem tekstu će pojedinačno biti opisane tehnologije za implementaciju SW.

Prvi sloj arhitekture, URI i Unicode prate najvažnije osobine postojećeg Web-a. Unicode je standard koji omogućuje da se različiti jezici mogu koristiti na Web-u upotrebljavajući standardizovane forme. *Uniform resource indentifier* (URI) predstavlja niz karaktera standardizovanih na način da omoguće jedinstvenu identifikaciju na Web-u. *Uniform Resource Locator* (URL) koji je podskup URI sadrži pristupni mehanizam i mrežnu lokaciju dokumenta. Drugi podskup URI je *Uniform Resource Notation* (URN). URN omogućuje identifikaciju dokumenata bez navođenja lokacije dokumenta. Upotreba URN je važna za distribuirane internet

sisteme i pruža razumljivu identifikaciju izvora dokumenta. Internacionalna verzija URI je *Internationalized Resource Identifier* (IRI) koji omogućava korišćenje Unicode karaktera pri opisivanju lokacije dokumenta na Web-u.

Sintaksa XML *(Extensible Markup Language)* [17], je meta-jezik koji je standardizovao W3C, 1998. godine, i od tada je XML bio osnova za mnoge druge standarde koji čine okosnicu promena u računarskom svetu.

XML je format koji omogućuje zapis polu-strukturiranih podataka, s mogućnošću definiranja pod-jezika prema želji korisnika u skladu s predloškom koji se naziva XML Schema [18]. XML shema je tehnologija, koju je usvojio W3C kao zvanični predlog 2001. godine sa namjerom da se pruži detaljnija struktura koja se često povezuje sa tipovima podataka u programskim jezicima i koja je korisna u slučajevima kada je poželjno da se provjeri tačnost formata podataka prije nego što procesiranje počne. Neke od karakteristika XML sheme su: XML shema je bazirana na XML-u i samim tim ima mogućnost ponovnog korišćenja i poboljšanja postojećih shema; ona dozvoljava definisanje novih tipova proširivanjem ili restrikcijom već postojećih; ona nudi sofisticiran skup tipova podataka koji se mogu koristiti u XML dokumentima; XML shema ima mogućnost preciznog definisanja kardinalnosti



Slika 2: Današnja slojevita tehnologija Semantičkog Web-a

Razmjena podataka i taksonomije RDF *(Resource Description Framework) je* „jezik", on u osnovi predstavlja „model podataka" - *Web Service Description Language* (WSDL). Njegov osnovni blok je trojka, gde je svaka trojka predstavljena kao subjekat, predikat i objekat proste rečenice. Postoje razni načini za predstavljanje ovih trojki: grafovima, logičkom formulom tipa P(x,y) – gde binarni predikat P povezuje subjekat x sa objektom y, i XML-om. Vizija SW zahtjeva prezentaciju koju mašine mogu da interpretiraju, tako da je prezentacija XML-om najzanimljivija.

3.1. Ontologije na semantičkom webu

Ontologija predstavlja model entiteta i njihovih međusobnih interakcija generalno ili u određenom domenu znanja ili prakse. U domeni vještačke inteligencije (VI) ontologije su omogućile dijeljenje i ponovno korištenje znanja od strane programa i ljudi, ali ontologije predstavljaju i snažan konceptualni alat za modeliranje znanja.

Jedna od prvih definicija ontologije glasi [20]: *Ontologija definira osnovne termine i relacije koje čine rječnik određene domene, kao i pravila za kombinovanje termina i relacija za definiranje proširenja rječnika domena.*

U informatici najčešće citirana definicija ontologije je ona koju je dao Gruber [21]: *Ontologija je eksplicitna specifikacija konceptualizacije.*
Jedno od tumačenja ove definicije bi bilo da se konceptualizacija odnosi na apstraktni model nekog fenomena u svijetu, identificirajući relevantne koncepte tog fenomena. Eksplicitna znači da su eksplicitno definirani tip koncepta koji je korišten, kao i ograničenja njihove primjene.

Pojam ontologije u inženjerstvu se odnosi na predstavljanje znanja. Ako se ima u vidu da se napredni, pametni sistemi bave i predstavljanjem i obradom znanja, javlja se potreba za ponovnim korištenjem znanja nekog domena. Na ovaj način se postiže da se znanje koje je prikupljeno u toku rješavanja jednog problema može ponovo koristi u novim verzijama pametnog sistema. Međutim, pored mogućnosti za ponovnu upotrebu znanja, korisno je omogućiti da se znanje jednog domena može dijeliti između više različitih korisnika.

Za razvoj ontologija danas su razvijene različite metodologije među kojima su najpoznatije [22]:

- Metodologija korištena za razvoj ontologije preduzeća (engl.The Enterprise Ontology – EO) - je razvijena sa ciljem da se obezbjedi kvalitetniju komunikaciju između ljudi i informacionog sistema i između različitih informacionih sistema [23];
- Metodologija korištena za razvoj TOVE ontologije (engl. TOVE- Toronto Virtual Enterprise project) - je razvijena kao dio TOVE projekta [24], [25]. Cilj projekta je bio kreiranje ontološkog modela preduzeća koji može da zaključi koja rešenja odgovaraju postavljenom upitu. Motivacioni scenario ovog projekta je pružanje pomoći razvojnim timovima u razumijevanju pitanja zašto je ontologija potrebna i kako će se koristiti. Na osnovu motivacionih scenarija, nastao je skup pitanja na koje ontologija treba da odgovori. Ova pitanja se nazivaju neformalne kompetencije. Pitanja se koriste za procjenu kreiranih ontoloških veza. Sljedeći korak je da određivanje terminologije ontologije pomoću logike prvog reda;
- Metodologija koja je predložena od strane Sugumaran i Storey - predstavlja heuristički baziran metod za razvoj i kreiranje ontologija [26]. Prvi korak je identifikacija osnovnih izraza a nakon toga se analizom slučajeva korišćenja vrši revizija sinonima i sličnih izraza. U sljedećem koraku se definišu relacije između identifikovanih izraza. Autori definišu tri vrste relacija: generalizacija, sinonimi i asocijacije. Generalizacija odgovara "is -a "- relacijama. Sljedeći korak je identifikacija osnovnih ograničenja. Finalni korak uzima u obzir ograničenja i zavisnosti domena.
- Ontološki bazirano upravljanje znanjem [27] je metodologija za razvoj ontologija, koja pokriva cijeli životni ciklus razvoja ontologije. Autori definišu pet različitih faza: studija izvodljivosti, početna ontologija, preciziranje, fina evaluacija i održavanje i evolucija faza.
- METHONTOLOGY metodologija [28] je metodologija koja se upotrebljava za kreiranje ontologije. Prvi korak je određivanje svrhe ontologije, nivoa formalnosti i obima ontologije. Sljedeći korak je prikupljanje znanja. Postoji nekoliko načina prikupljanja znanja: brainstorming, strukturirani i nestrukturirani intervjui, formalna i neformalna analiza tekstova i znanja pomoću alata za prikupljanje podataka. U fazi konceptualizacije predloženo je kreiranje rječnika pojmova koji sadrži sva eventualno korisna znanja o posmatranom domenu. Nakon toga se izrazi grupišu na osnovu koncepata i glagola i formiraju se tabele formula i pravila. Sljedeći korak je provjera postojećih ontologija koje opisuju definisani domen i njihova mogućnost upotrebe. Rezultat faze implementacije je ontologija kodirana u formalnom jeziku, koja se može ocijeniti i verifikovati. Završni dio modeliranja ontologije se sastoji od kreiranja dokumentacije. METHONTOLOGY je jedna od najstarijih metodologija za kreiranje

ontologija, dovoljno je detaljna, pokriva cijeli životni ciklus i sadrži fazu integracije ontologije.

Metodologija METHONTOLOGY omogućava konstrukciju ontologija na osnovu identifikovanih znanja o domenu za koji se kreira ontologija [29]. Ova metodologija za konstrukciju ontologija je predložena i od strane *Foundation for Intelligent Physical Agents* (FIPA). Aktivnosti definisane ovom metodologijom su: specifikacija, konceptualizacija, formalizacija, implementacija i održavanje ontologije. *Ontology-based software Development Environment* (ODE), WebODE [29] alati su projektovani da pruže tehnološku potporu za METHONTOLOGY metodologiju, ali i drugi alati kao što su *Protégé, OntoEdit* mogu biti korišteni za izgradnju ontologije ovom metodologijom. Specifikacija je aktivnost koja se obavlja na samom početku izgradnje ontologije. Ova aktivnost identifikuje namjenu i krajnje korisnike ontologije. Konceptualizacija je aktivnost koja organizuje i konvertuje neformalnu sliku domena u polu-formalnu specifikaciju koristeći tabelarne i grafičke oznake. Konceptualni model ontologije je rezultat ove aktivnosti. Formalizacija je aktivnost koja vrši transformaciju dobivenog konceptualnog nivoa u formalni model. Implementacijom se kreiraju računarski modeli opisani sa *Resource Description Framework* (RDF), *Web Ontology Language* (OWL). Održavanje ontologije obuhvata aktivnosti dorade i korekcije ontologije u slučajevima kada je to potrebno. U procesu semantičke evaluacije modela podataka, korišteni su različiti softverski alati za potrebe kreiranja domenske ontologije, modela podataka, formalizacije modela i ontologije.

Protégé je *„open source"* ontološki editor koji se koristi i kao razvojni okvir sistema baziranih na znanju [1]. Razvijen je na Stanford univerzitetu, inicijalno kao softver u oblasti medicine i bio-kemijskih nauka i trenutno je jedan od vodećih ontoloških editora u svijetu. Prošao je nekoliko modifikacija i verzija. Baziran je na programskom okruženju Java, omogućuje proširenja, što ga čini pogodnim i kao bazu za brz razvoj prototipa i aplikacija baziranih na znanju. Protégé platforma podržava dva osnovna načina modelovanja ontologija: Protégé okviri – implementira model baziran na znanju kompatibilan sa *Open Knowledge Base Connectivity protocol* (OKBC). Protégé OWL editor – integriran sa Jena i ima *„open source"* API za razvoj komponenti korisničkog interfejsa i rad sa servisima SW.
Protégé OWL editor omogućuje korisnicima da kreiraju, učitavaju i snimaju OWL i RDF ontologije, da vrše izmjene i vizualizaciju klasa i njihovih osobina, zatim da definišu logičke karakteristike klasa i OWL izraza, te pokreću i izvršavaju razne sisteme za rezonovanje. Omogućuje definisanje koncepata (klasa) ontologije, osobina, taksonomija i različitih ograničenja klasa, kao i njihovo instanciranje. Korisnički interfejs se sastoji od podešljivih formi organizovanih preko kartica. Grafičko prezentovanje ontologija se ostvaruje dodacima koji se posebno preuzimaju i instaliraju sa Interneta, kao što su: ezOWL (Visual OWL) Editor, OWL-S editor, Jess, UML, XML Metadata, Interchange (XMI), DAML+OIL i mnogi drugi.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazane su savremene SWT koje omogućavaju strukturiranja, kontrolu i upravljanja naprednim strukturama proizvodnih sistema. Takve strukture, potpomognute savremenim IKT i internetom omogućavaju rad u distribuiranim okruženjima i mrežnim sistemima. Uvođenjem SWT u domen proizvodne industrije omogućena je kibernetizacija vitalnih funkcionalnosti autonomnih radnih sistema kao funkcionalnih cjelina proizvodnog sistema.

Poznavanje temeljnih načela SWT stvara preduslove za bolje razumijevanje, kontrolu i upravljanje sve kompleksnijih proizvodnih sistema, a sa ciljem obvladavanja strukturne kompleksnosti.

5. LITERATURA

[1] F. Jovane, Y. Koren, and C. R. Boer, "Present and future of flexible automation : Towards new paradigms," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 52, no. 1, pp. 543–560, 2003.

[2] Y. Koren, *The Global Manufacturing Revolution Product - Process - Businee Integration*. John Wiley, 2010.

[3] Y. Koren, U. Heisel, F. Jovane, T. Moriwaki, G. Pritschow, G. Ulsoy, and H. Van Brussel, "Reconfigurable Manufacturing Systems," *Ann. CIRP*, vol. 48, no. 2, pp. 527 – 540, 1999.

[4] M. G. Mehrabi, A. G. Ulsoy, Y. Koren, and P. Heytler, "Trends and perspectives in flexibleand reconfigurable manufacturing systems," *J. Intell. Manuf.*, vol. 13, pp. 135 – 146, 2002.

[5] H. A. ElMaraghy, "Flexible and reconfigurable manufacturing systems paradigms," *Int. J. Flex. Manuf. Syst.*, vol. 17, no. 4, pp. 261 – 276, 2006.

[6] H.-P. Wiendahl, H. a. ElMaraghy, P. Nyhuis, M. F. Zäh, H.-H. Wiendahl, N. Duffie, and M. Brieke, "Changeable Manufacturing - Classification, Design and Operation," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 56, no. 2, pp. 783–809, Jan. 2007.

[7] S. Žapčević, *Model samoučečega proizvodnega delovnega sistema*, Doktorsko . Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo Ljubljana, 2013.

[8] L. Monostori, J. Vancza, A. Markus, T. Kis, A. Kovacs, and G. Erdos, "Real - time, cooperative enterprises: management of change sand disturbances on different levels of production," in *Proceedings of the 38th CIRP ISMS*, 2005.

[9] P. Butala and A. Sluga, "Autonomous work systems in manufacturing networks," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 55, no. 1, pp. 521–524, Jan. 2006.

[10] E. Hozdić, R. Vrabič, and P. Butala, "Conceptualization of socio-cyber-physical production systems (unpublished manuscript)," in *Research work: Model of cyber-physical production system*, 2016.

[11] J. Peklenik, "Complexity in Manufacturing Systems," *CIRP J. Manuf. Syst.*, vol. 24, pp. 17 – 25, 1995.

[12] P. Butala and A. Sluga, "Dynamic structuring of distributed manufacturing systems," *Adv. Eng. Informatics*, vol. 16, no. 2, pp. 127–133, Apr. 2002.

[13] V. Zaletelj, A. Sluga, and P. Butala, "The B2MN approach to manufacturing network modeling," in *Proceedings of the 6th International Workshop on Emergent Synthesis IWES '06,* 2006, pp. 9 – 16.

[14] T. Berners-Lee, J. Hendler, and O. Lassila, "The Semantic Web, A new form of Web content that is meaningful to computers will unleash a revolution of new possibilities," *Sci. Am.*, 2001.

[15] C. Anutariya, V. Wuwongse, K. Akama, and V. Wattanapailin, "Semantic Web Modeling and Programming with XDD," in *Semantic Web Working Symposium*, 201AD.

[16] G. Antoniou and F. van Hermelen, *A Semantic Web primer, 2nd ed.*, Cooperativ. Amsterdam: MIT Press, 2008.

[17] T. Gruber, "Every ontology is a treaty-a social agreement-among pople with some common motive in sharing," *For the Official Quarterly Bulleten of AIS Special Interest Group on Semantic Web and Information Systems*, 2004.

[18] World Wide Web Consortium W3C, *W3C XML Schema Definition Language (XSD) 1.1. Part 1: Structures*. 2012.

[19] S. Bratt, "Semantic Web, and Other Technologies to Watch," in *Semantic Technology Conference SemTech 2007*, 2007.

[20] R. Neches, R. Fikes, T. Finin, T. Gruber, R. Patil, T. Senator, and W. R. Swartout, "Enabling Technology for Knowledge Sharing," *AI Mag.*, vol. 12, no. 3, 1991.

[21] T. R. Gruber, "A translation approach to portable ontology specifications," *Knowl. Acquis.*, vol. 5, no. 2, pp. 199–220, Jun. 1993.

[22] S. Arsovski, *Razvoj ontološki baziranog informacionog sistema državnih kreditno-garancijskih fondova*, Doktorska . Nov Sad: Univerzitet u Novom Sadu Fakultet tehničkih nauka, 2015.
[23] M. Uschold and M. King, "Towards a methodology for Building Ontologies," in *Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 1995.
[24] M. Fox, "The TOVE Project Towards a Common-Sense Model of the Enterprise," in *Proceeding IEA/AIE '92 Proceedings of the 5th international conference on Industrial and engineering applications of artificial intelligence and expert systems*, 1992, pp. 25–34.
[25] M. Grüninger and M. Fox, "Methodology for the Design and Evolution of Ontologies," in *Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, International Joint Conference on Artificial Intelligence, 1995*, 1995.
[26] V. Sugumaran and V. C. Storey, "Ontologies for conceptual modeling: their creation, use, and management," *Data Knowl. Eng.*, vol. 42, no. 3, pp. 251–271, Sep. 2002.
[27] S. Staab, R. Studer, H.-P. Schnurr, and Y. Sure, "Knowledge processes and ontologies," *IEEE Intell. Syst.*, vol. 16, no. 1, pp. 26–34, Jan. 2001.
[28] M. Fernández-López, A. Gómez-Pérez, and N. Juristo, "„METHONTOLOGY: From Ontological Art Towards Ontological Engineering"," in *"AAAI-97 Spring Symposium Series,"* 1997.
[29] J. C. Arpirez, O. Corcho, M. Fernandez-Lopez, and A. Gomez-Perez, "WEBODE in a Nutshell," *AI Mag.*, vol. 24, no. 3, pp. 37–47, 2003.

OMOGUĆAVAJUĆE TEHNOLOGIJE ZA STRUKTURIRANJE SOCIJALNO-KIBERNETSKO-FIZIČKIH PROIZVODNIH SISTEMA

ENABLING TEHNOLOGIES FOR STRUCTURING SOCIO-CYBER-PHYSICAL PRODUCTION SYSTEMS

Elvis Hozdić[1], Seid Žapčević[2], Zoran Jurković[3], Peter Butala[1]

[1]University of Ljubljana, Aškerčeva ulica 6, SI-1000, Ljubljana, Slovenia
[2]University of Bihac, Faculty of Technical Engineering Bihac,
Ul. "dr Irfana Ljubijankica"bb, 77 000 Bihac
[3]University of Rijeka, Faculty of Engineering, Vukovarska 58, HR -51000 Rijeka, Croatia

---

SAŽETAK:
U uslovima sveobuhvatne globalizacije i težnje da zadovolje sve veće zahtjeve globalnog tržišta, a da pri tom ostanu konkurentna, proizvodna preduzeća nastoje strukturirati svoje proizvodne sisteme primjenom savremenih informacijsko-komunikacijskih tehnologija. U radu su predstavljene tehnologije koje omogućavaju takva strukturiranja. Na temelju tehnologija vještačke inteligencije (VI) i internet tehnologija strukturiran je socijalno-kibernetsko-fizički radni sistem (SKFRS) kao osnovni gradivni element za izgradnju kibernetsko-fizičkih proizvodnih sistema (KFPS).

Ključne riječi: *Proizvodni sistem, Socijalno-kibernetsko-fizički radni sistemi*

ABSTRACT:
In the conditions of all-embracing globalization and aspirations to meet the increasing demands of the global market, while remaining competitive, manufacturing companies are trying to structure their manufacturing systems using modern information and communication technologies. This paper presents technologies that enable such structuring. Based on the technology of artificial intelligence (AI) and internet technology, socio-cyber-physical work system (SCPWS) is structured as the basic building block for the building of cyber-physical production systems (CPPS).

Keywords: *Manufacturing system, Socio-cyber-physical work systems*

---

1. UVOD

Revolucija u svijetu informacijsko-komunikacijskih tehnologija (IKT) je prouzročila pojavu interneta.
Internet karakteriziraju robusnost i pouzdanost, kvaliteta usluge, skalabilnost i standardizacija. Zahvaljujući internetu danas imamo razvijena pametna okruženja, u vidu pametnih stvari i usluga koja su sposobna komunicirati u cilju postizanja zajedničkih ciljeva, a koji djeluju u sferi kibernetskog svijeta. U domenu industrijskih procesa internet je doprinio stvaranju pametnih tvornica predstavljajući glavni integrativni faktor u proizvodnom okruženju što je omogućilo povezivanje fizičkih i kibernetskih elemenata sistema. Savremena informacijsko-komunikacijska i tehnologija vještačke inteligencije omogućuju izgradnju kibernetsko-fizičkih proizvodnih sistema.

2. SAVREMENE TEHNOLOGIJE ZA STRUKTURIRANJE NAPREDNIH PROIZVODNIH SISTEMA

2.1. Tehnologije vještačke inteligencije

Vještačka inteligencija (*Artificial Intelligence – AI*), predstavlja granu računarske znanosti koja se bavi inteligentnim ponašanjem i pokušava napraviti kompjuterski sistem koji ima znanja za samostalno izvršavanje postavljenih zadataka. Neophodno je odvojiti tradicionalne pristupe od savremenih u pogledu učenja i stvaranja znanja. Znanje je faktor koji definira rješenje zadataka. Računarski sistemi se temelje na dostupnom znanju, a ako znanje nije u redu, posljedično i donošenje odluka bi bilo pogrešno. Vještačku inteligenciju od ostalih računarskih sistema odvaja to što je ona sposobna obavljati pojedine akcije s neizvjesnim ili čak nepotpunim i netačnim znanjem [1]. Te mogućnosti predstavljaju ključne sposobnosti vještačke inteligencije. Danas je razvijeno više metodologija za ostvarivanje tih sposobnosti. Nekoliko ih se uspješno koristi u upravljanju i kontroli distribuiranih proizvodnih sistema, kao što su ekspertni sistemi, vještačke neuronske mreže, genetski algoritmi, fuzzy logika i inteligentni agenti.

Ekspertni sistem (*Expert System - ES)* [2] je inteligentni sistem koji se koristi za rješavanje onih problema koji zahtijevaju znanje, iskustvo i vještinu eksperta u danoj oblasti. Savremeni ekspertni sistemi omogućavaju stvaranje inteligentnih softverskih sistema koji su sposobni da rješavaju problem na isti način kao i ljudski stručnjaci u momentu kada se susreću sa određenim problemima. To je moguće na temelju odgovarajućeg znanja koje je pohranjeno u formatu prikladnom za razumijevanje računaru. Znanje, koje je razumljivo mašinama, odnosno zapisano u odgovarajućem mašinskom jeziku, pohranjuje se u tzv. bazama znanja. Ta znanja ekspertni sistem koristi za donošenje odluke u procesu odlučivanja. Osnovni elementi ekspertnog sistema su komunikacijski međusklopovi, mehanizmi zaključivanja, baza podataka i baza znanja. Značajna primjena ovakvih sistema je u procesima planiranja, kontrole, održavanja, dijagnosticiranja, monitoringa i inspekcija.

Vještačke neuronske mreže (*Artificial Neural Network – ANN*) razvijene su s namjerom da se fizikalnim modelom zamijeni bilo koji biološki sistem. Vještačke neuronske mreže građene su od međusobno povezanih vještačkih neurona (procesora), pri čemu svaki od njih može imati malu lokalnu memoriju. Vještački neuroni predstavljaju programske forme sa osobinama bioloških neurona. Inspirirane su biološkim neuronskim mrežama, te stoga predstavljaju imitaciju visoko paralelne distribuirane računarske strukture ljudskog mozga. Vještačka neuronska mreža je masovni paralelni distribuirani procesor koji posjeduje mogućnost pamćenja iskustvenog znanja [3]. Vještačke neuronske mreže su uglavnom dizajnirane za obavljanje učenja. One mogu generirati nova znanja kroz učenje na temelju primjera iz proizvodnih događaja.

Genetski algoritmi (*Genetic Algorithms – GA*) [4] su heuristička metoda optimizacije koja rješava određene računarske probleme simulirajući mehanizam prirodne evolucije. Genetski algoritmi oponašaju prirodnu evoluciju tako da proces koji se optimizira predstavlja okolinu u kojoj jedinke egzistiraju. Svaka jedinka predstavlja potencijalno rješenje razmatranog problema optimizacije, tj. jednu kombinaciju ulaznih parametara, kodiranih na odgovarajući način. Genetski algoritmi se razlikuju od konvencionalnih optimizacijskih metoda i procedura u temeljnim vidicima kao što su: djelovanje sa kodiranim rješenjima, generiranje rješenja iz populacije rješenja i pojedinačnih rješenja, upotreba troškovne funkcije, upotreba vjerojatnosnih pravila. Značajna primjena genetskih algoritama je u području planiranja i terminiranja, projektovanju radnih naloga, upravljanje transportom i mnogim drugim područjima.

Neizrazita logika (*Fuzzy Logic – FL*) je posebno razvijena metodologija za obradu nesigurnih znanja. Fuzzy logika predstavlja proširenje konvencionalne logike, jer svojom više-vrijednosnim statusom omogućava da složene pojave iz realnog svijeta budu opisane matematičkim fuzzy skupovima. Neke od značajnijih primjena su u klimatizacijskoj tehnici, fuzzy

regulatori temperature u industriji, mikro-kontrolori u procesnoj i automobilskoj industriji, na području robotskih i transportnih sistema [5].

Istraživanje autonomnih agenata je područje koje se nalazi na samom vrhu vještačke inteligencije. Agentska paradigma predstavlja najdosljedniji pristup za implementaciju distribuiranih sistema. Uz pomoć agenata moguće je u potpunosti realizirati koncept autonomnih distribuiranih proizvodnih sistema. Agenti [6] predstavljaju softverske komponente postavljene u distribuirano okruženje, koje su u stanju da autonomno obrađuju velike količine informacija, a da pri tome pružaju izvjesnu količinu inteligencije i sposobnosti komunikacije. Inteligentni agenti su softverski entiteti koji izvršavaju određeni skup operacija u korist korisnika ili drugog programa sa izvjesnim stepenom nezavisnosti, a za to koriste izvjesno znanje ili reprezentaciju korisnikovih želja ili ciljeva [7]. Više-agentski sistem (MAS) [8] je sistem koji se sastoji od skupa inteligentnih agenata koji surađuju pomoću definiranih komunikacijskih protokola te su sposobni utjecati na svoju okolinu. Svaki agent ima definirano područje djelovanja nad kojim ima određenu količinu kontrole tj. količinu utjecaja.

2.2. Internet tehnologije

Internet stvari (*Internet of Things – IoT*) je nova brzo razvijajuća paradigma koja se razvija na području savremenih (bežičnih) telekomunikacijskih tehnologija. U biti ideje je skup minijaturnih i primitivnih računarskih uređaja, tj. stvari kao što su RFID, senzora, aktuatora, mobilnih telefona i drugih, koji se koriste sa odgovarajućom shemom, koji grade internetsku mrežu, sposobni da surađuju jedni s drugima u okruženju s namjerom postizanja zajedničkih ciljeva. Prema klasteru Europskih istraživačkih projekata Internet stvari je [9]: *"Stvari su aktivni sudionici u poslovnom, informacijskom i društvenom procesu u kojem im je omogućeno da komuniciraju međusobno i sa okruženjem razmjenjuju podatke i dobivaju informacije od senzora iz okruženja, dok reagiraju samostalno sa stvarima/fizičkim svijetom, djeluju pokretanjem procesa koji generiraju akcije i usluge, sa ili bez direktne intervencije čovjeka"*. Grubo govoreći, internet stvari znači svjetsku mrežu međusobno povezanih i jednolično povezanih objekata za komunikaciju putem standardnih protokola.

Osnovna ideja internet usluga (*Internet of service – IoS*) je sistemsko korištenje interneta za novi način stvaranja vrijednosti u proizvodnom sektoru. Postoje različiti kutovi iz kojih se može pogledati ovakav pristup. Iz perspektive IKT, uslužno orijentiranih arhitektura (SOA), software-as-a service (SaaS), platform-as-a service (PaaS), i infrastrukture-as-a service (IaaS). SaaS, PaaS, i IaaS su tri najčešće vrste modela pružanja usluga [10]. Ove usluge se obično isporučuju putem standardnih industrijskih interfejsa, kao što su web servisi i servisno orijentirane arhitekture (SOA).

Socijalne mreže (*Social Network – SN*) su jedan od najčešćih pojmova u svijetu Interneta. One virtualno okupljaju ljude i organizacije ovisno o tome za što su specijalizirane. Tako postoje poslovne, organizacijske i druge socijalne mreže. Socijalnu mrežu može se definirati kao socijalnu strukturu koju sačinjavaju skupine socijalnih aktera (osobe ili organizacije) i kompleksni skup između aktera.

3. KIBERNETSKE STRUKTURE UTEMELJENE NA SAVREMENIM TEHNOLOGIJAMA

Proizvodni sistemi su kompleksni tehnološko-ekonomsko-socijalni sistemi, koji obuhvaćaju subjekte-ljude, znanje, proizvodne procese i pripadajuće mašine i uređaje za izvođenje procesa s namjerom transformacije materijala, energije, informacija i znanja u proizvode i usluge, koji imaju upotrebnu i tržišnu vrijednost uz stalni dinamički utjecaj poremećaja, ograničenja i ciljeva, koji djeluju iz okoline. Proizvodni proces se izvršava uz interaktivno djelovanje materijalnih elemenata, kao što su obradne mašine, obraci, alati, transportna sredstva itd., sa nematerijalnim

elementima, kao što su znanje, informacioni tokovi, te također organizacijske i upravljačke strukture [11].

Proizvodne mreže, koje se temelje na komunikacijskim mrežama su prepoznate kao važan organizacijski oblik koji se javlja u proizvodnji. One predstavljaju pravi izazov za planiranje i upravljanje proizvodnim sistemima [12]. Proizvodna mreža pruža osnovu za konkurentnost, inovativnost, agilnost i adaptivnost što omogućava partnerima u mreži međusobnu povezanost kroz (1) oblik dugoročne poslovne koalicije, (2) razvoj međusobnog razumijevanja i sticanja povjerenja, (3) zajedničko reagiranje na poslovne mogućnosti, (4) ostvarenje dobiti sinergijskim učincima koji nastaju kao produkt suradnje i (5) imaju jednak udjel informacija, znanja, resursa, sposobnosti i rizika u poslovnim aktivnostima [12]. Mreže su prepoznate kao kompleksni adaptivni sistemi, koji nastaju na principima geneze a ne kao namjenski projektirane cjeline [13]. Poznata su dva pristupa za strukturiranje proizvodnih mreža: (1) proizvodne mreže kod kojih su čvorovi mreže cjelokupna proizvodna preduzeća [14] i proizvodne mreže kod kojih su čvorovi mreže obilježeni autonomnim jedinicama [12]. Iz koncepta proizvodnih mreža čiji čvor definiraju autonomne jedinice proizašao je koncept autonomnog radnog sistema (ARS). ARS raspolaže s funkcionalnošću i kompetencijama, koje su potrebne za upravljanje i operiranje njegovih ključnih proizvodnih procesa, kao što su komunikacija u mreži.

Koncept adaptivnih distribuiranih proizvodnih sistema (ADPS) je zasnovan na konceptu kompleksnih adaptivnih proizvodnih sistema (KAPS) i konceptu dinamičnih proizvodnih struktura [15]. Osnovni element za izgradnju ovakvog koncepta je elementarni radni sistem (ERS).
ERS je osnovni element za izgradnju svakog proizvodnog sistema. ERS čine proces, naprava za implementaciju procesa (NIP) i subjekt. Da bi se postigla odgovarajuća učinkovitost proizvodnog sistema bitno je njegovo strukturiranje. To znači da ne može postojati samo jedan oblik strukture, koji bi bio optimalan za različite proizvodne zadatke. Dakle, strukturu treba razviti za proizvodnju svakog proizvoda pojedinačno. Kompleksni zadatak je strukturiran s razgradnjom zadataka u manje složene zadatke. Za realizaciju koncepta ADPS potrebno je definirati osnovne blokove za izgradnju sa samoučenjem, koje imaju sposobnosti i vještine za obavljanje određenih proizvodnih postupaka. U ADPS uveden je virtualni radni sistem (VRS) [16], sa ciljem da zastupa ERS distribuiran u okolinu.

VRS je agent koji zastupa ERS u informacijskom domenu kao njegov duplikat. Agent VRS je programski entitet koji ima četiri osnovna funkcionalna elementa: perceptor, procjenitelj, efektor i mehanizam zaključivanja. ERS i VRS su povezani preko sučelja. Sučelje omogućava mapiranje informacije o statusu procesa i drugih elemenata ERS za VRS i operatera – subjekta. Autonomija, osposobljenost za određene zadatke, odzivnost, reaktivnost, fleksibilnost i sposobnost za učenje komunikacija su ključni atributi VRS. S tim je radni sistem stekao funkcionalnost potrebnu za rad u distribuiranom okruženju.

Na temelju razvoja savremene informacijsko-komunikacijske infrastrukture (IKI) i interneta stvoreni su uvjeti za stvaranje novog koncepta savremenih proizvodnih sistema sa ciljem povezivanja kibernetskih i fizičkih komponenti proizvodnih sistema.

3.1. Kibernetsko-fizički sistemi

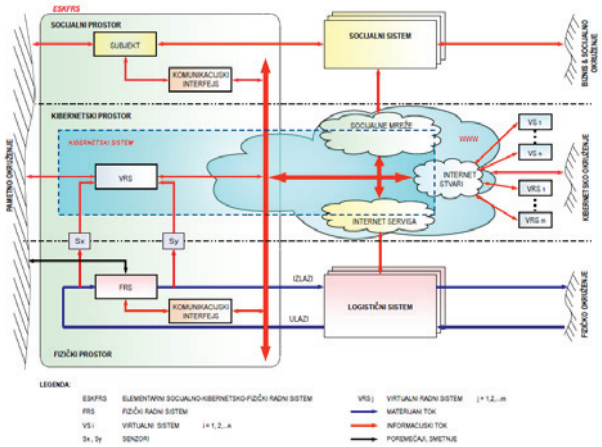
Kibernetsko-fizički sistemi (KFS) su nova generacija sistema koji integriraju računarske i fizičke sposobnosti. Kibernetski sistemi predstavljaju zbir logike i senzorskih jedinica, dok su fizički sistemi zbir aktuatorskih jedinica. Kroz sposobnost za interakciju i proširenje sposobnosti fizičkog svijeta koristeći računarsku snagu, komunikacijske tehnologije i kontrolne mehanizme, KFS omogućuju povratne petlje, poboljšanje proizvodnih procesa i optimalnu podršku ljudima u svim procesima donošenja odluka. Oni postavljaju temelje za pouzdano planiranje proizvodnje prema unaprijed automatizovanim proizvodnim procesima uz mogućnost za razmjenu i prijenos informacija [17]. Korištenjem odgovarajuće senzorske tehnologije, KFS su u mogućnosti primiti izravno fizičke podatke i pretvoriti ih u digitalne. Oni omogućavaju dijeljenje informacija na digitalnim mrežama, tvoreći na taj način Internet stvari. Prva područja primjene KFS u

industrijskoj proizvodnji svakako su područja robotike i mehatronike, te adaptivnih distribuiranih proizvodnih sistema. Implementacija KFS će biti presudna za efikasan razvoj i rad autonomnih, samoupravnih, proizvodnih sistema temeljenih na znanju i senzorima [18].

3.2. Kibernetsko-fizički proizvodni sistemi

Oslanjajući se na najnoviji razvoj računarskih znanosti, informacijskih i komunikacijskih tehnologija, proizvodne znanosti i tehnologije kibernetsko-fizički proizvodni sistemi nedvojbeno mogu dovesti do nove industrijske revolucije, ili često u naučnim krugovima nazvanoj Industrija 4.0. Razvoj KFPS utemeljen je na postojećim instaliranim sistemima, preko umreženih instaliranih sistema integriranih internetom. Temeljna postavka u pogledu KFPS ogleda se u istraživanju i definiranju odnosa kroz prizmu autonomnosti, kooperativnosti, optimizacije i odziva na postavljene zadatke. Integracijom analitičkih i simulacijskih baziranih pristupa moguće je ta predviđanja opisati podrobnije nego bilo kada ranije. Ovakvi sistemi se moraju suočiti sa nizom novih izazova u pogledu operativnih senzorskih mreža, pametnih aktuatora, baza podataka i mnoštva drugih, prije svega, komunikacijskih protokola. Novi način komunikacije između čovjeka i mašina mora biti uspostavljen već pri samoj implementaciji novih kibernetsko-fizičkih proizvodnih sistema [19]. Takav sistem danas je moguće prestrukturirati u SKFPS zahvaljujući ekstremno brzom razvoju inteligentnih tehnologija koje uvodimo svakodnevno u proizvodne sisteme. Za strukturiranje SKFPS potrebno je definirati osnovni gradivni element takvih distribuiranih sistema u vidu elementarnog socijalno-kibernetsko-fizičkog radnog sistema (ESKFRS), slika 1 [20]. Ovakav radni sistem koji smo prikazali na slici 1 se sastoji iz tri osnovne cjeline:

- Fizički sistem kao elementarni radni sistem (obradni centar ili više njih, sistemi pozicioniranja, automatizovani stezni pribori, mjerni sistemi i sl.),
- Kibernetski (apstraktni) sistem koji u osnovi čine agentski sistemi (upravljački sistemi, oprema za koordiniranje senzorskih sistema i sl.),
- Socijalni sistem u kom se nalaze radnici, operateri koji upravljaju i nadziru rad radnog sistema u cjelini.



Slika 1: Elementarni socijalno-kibernetsko-fizički radni sistem [20]

Napredni proizvodni sistemi utemeljeni na integraciji fizičkog i kibernetskog podsistema i podsistema ljudi stvaraju mrežne SKFRS, koje predstavljaju sučelje između proizvodnih mreža s jedne i socijalnih, društvenih mreža s druge strane. Ovakvi mrežni sistemi djeluju u pametnom

proizvodnom okruženju. Pametno okruženje integrira socijalno-kibernetsko-fizičke elemente omogućavajući im međusobne interakcije. Te interakcije se odvijaju između dodijeljenih pametnih agenata. Pametni agenti učinili su da fizičke komponente proizvodnog okruženja postanu pametni elementi koji komuniciraju sa digitalnim svijetom. Pametni agenti se repliciraju u kibernetskom podsistemu i grade više-agentske platforme na kojima komuniciraju razmjenjuju informacije socijalno-kibernetsko-fizički elementi pametnog proizvodnog okruženja [21].

U domenu ovakve platforme djeluje inteligentni agent koji zastupa subjekta. Subjekt sa svojim agentom komunicira preko inteligentnih interfejsa, najčešće preko pametnih aplikacija. Daljnja komunikacija subjekta sa ostalim elementima pametnog okruženja odvija se kroz interakciju pametnog agenta subjekta sa agentima koji zastupaju kibernetske i fizičke elemente pametnog proizvodnog okruženja.Ta komunikacija je kolaborativna što je posljedica sažimanja socijalnih i proizvodnih mreža u pametnom okruženju. Zbog heterogenosti takvih mreža interakcije između agenata unutar platforme su učestale, nepredvidive i sa sobom nose široku lepezu informacija koje utječu na rad sistema. Proizvodni sistemi su izloženi utjecajima koje sa sobom nose proizvodne i socijalne mreže. Ti utjecaji najčešće se impliciraju na karakteristike proizvodnih sistema, kao što su robusnost, proizvodnost, fleksibilnost i pouzdanost. Pametno proizvodno okruženje predstavlja skupni prostor za stvaranje autonomnih radnih jedinica utemeljenih na mrežnom povezivanju osnovnih gradbenih elemenata u vidu SKFRS.

4. ZAKLJUČAK

Kibernetsko-fizički proizvodni sistemi (KFPS), utemeljeni na KFS, se sastoje od autonomnih i kooperativnih elemenata i podsistema, koji se povezuju komunikacijama i interakcijama u različitim situacijama, na svim razinama proizvodnje, od mašina, procesa do proizvodnih i logističkih mreža. Ovakvi mrežni sistemi djeluju u pametnom proizvodnom okruženju. Pametno okruženje integrira socijalno-kibernetsko-fizičke elemente omogućavajući im međusobne interakcije.

5. LITERATURA

[1] L. Benyoucef and B. Grabot, *Artificial Intelligence Techniques for Networked Manufacturing Enterprises Management*. London: Springer London, 2010.

[2] E. Turban and J. E. Aronson, *Decision Support Systems and Intelligent Systems*. Prentice - Hall Int. 6 Sub edition, 2000.

[3] I. Aleksandar and H. Morton, *An Introduction to Neural Computing*. International Thomson Computer Press, 1995.

[4] T. Bach, D. B. Fogel, and Z. Michalewicz, *Evolutionary Computation 1: Basic Algorithms and Operators*. CRC Press, 1st edition, 2000.

[5] F. M. McNeill and E. Thro, *Fuzzy logic: a practical approach*. AP Professional, 1994.

[6] M. Wooldridge and N. R. Jennings, "Intelligent Agents: Theory and Practice," *Knowl. Eng. Rev.*, vol. 10, pp. 115 – 152, 1995.

[7] M. Knopik and J. Johnson, *Developing intelligent agents for distributed systems: exploring architecture, technologies, & applications*. New York, NY, USA: McGraw - Hill, 1998.

[8] L. Monostori, J. Vancza, and S. R. T. Kumara, "Agent - based systems for manufacturing," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 55, no. 2, pp. 697 – 720, 2006.

[9] H. Sundmaeker, P. Guillemin, P. Friess, and S. Woelffle, "Vision and challenges for realising the Internet of Things," *Claster Eur. Res. Proj. Internet Things - CERP IoT*, 2010.

[10] X. Xu, "From cloud computing to cloud manufacturing," *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 28, no. 1, pp. 75–86, Feb. 2012.

[11] S. Žapčević, *Model samoučečega proizvodnega delovnega sistema*, Doktorsko delo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo Ljubljana, 2013.
[12] P. Butala and A. Sluga, "Autonomous work systems in manufacturing networks," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 55, no. 1, pp. 521–524, Jan. 2006.
[13] T. Y. Choi, K. J. Dooley, and M. Rungtusanatham, "Supply networks and compex adaptive systems," *J. Oper. Manag.*, vol. 19, no. 3, pp. 351–366, 2001.
[14] H. P. Wiendahl and S. Lutz, "Production in networks," *Ann. CIRP*, vol. 51, no. 2, pp. 573–586, 2002.
[15] J. Peklenik, "Complexity in Manufacturing Systems," *CIRP J. Manuf. Syst.*, vol. 24, pp. 17 –25, 1995.
[16] P. Butala and A. Sluga, "Dynamic structuring of distributed manufacturing systems," *Adv. Eng. Informatics*, vol. 16, no. 2, pp. 127–133, Apr. 2002.
[17] M. Broy, *Cyber-Physical Systems*. Berlin: Springer, 2010.
[18] D. Spath, S. Gerlach, and S. Schlund, "Cyber-physical system for self-organised and flexible labour utilisation," in *22nd International Conference on Production Research, ICPR 2013*, 2013, p. 6.
[19] L. Monostori, "Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges," in *Procedia CIRP*, 2014, vol. 17, pp. 9–13.
[20] E. Hozdić, R. Vrabič, and P. Butala, "Conceptualization of socio-cyber-physical production systems (unpublished manuscript)," in *Research work: Model of cyber-physical production system*, 2016.
[21] E. Hozdić, S. Žapčević, and P. Butala, "Kibernetsko-fizičke strukture za nove autonomne radne sisteme," in *10th International Scientific Conference on Production Engineering, Development and Modernization of Production*, Dubrovnik, 2015.

KOMPARACIJA POSTUPAKA ZA OCJENU SPOSOBNOSTI MJERNIH SISTEMA PREMA MSA I VDA 5

COMPARISON PROCEDURES OF ASSESSMENT OF CAPABILITY OF MEASUREMENT SYSTEMS ACCORDING TO MSA AND VDA 5

Daut Denjo[1], Senada Pobrić[2], Nermina Zaimović – Uzunović[3], Esad Pobrić[4], Lejla Denjo[5]

[1]Univerzitet „Džemal Bijedić" u Mostaru, Mašinski fakultet u Mostaru
USRC „Mithad Hujdur Hujka", 88104 Mostar, daut.denjo@unmo.ba

[2]Univerzitet „Džemal Bijedić" u Mostaru, Mašinski fakultet u Mostaru
USRC „Mithad Hujdur Hujka", 88104 Mostar, senada.pobrić@unmo.ba

[3]Univerzitet u Zenici, Mašinski fakultet u Zenici
Fakultetska 1", 72000Zenica, nzaimović@mf.unze.ba

[4] JP. Komunalno doo. Mostar,88104 Mostar, pobric.esad@gmail.com

[5] Institut za mjeriteljstvo BiH, Avgusta Brauna 1 71000 Sarajevo", lejla.denjo@gmail.com

---

SAŽETAK:

Za ocjenu sposobnosti mjernih sistema u praksi se uglavnom koristi dokument MSA, kao i Vodić za ocjenu sposobnosti mjernih sistema, koji je rađen na bazi MSA. Drugo dopunjeno izdanje VDA 5 bazirano na normi ISO 22514 -7 od 2010 godine, opisuje zahtjeve u vezi prikladnosti ispitnih procesa, prikladnosti mjernih sistema, mjernih i isptinih procesa, proširene mjerne nesigurnosti mjernog sistema i procesa kao i metodologiju ocjenjivanja prikladnosti mjernih sistema i mjernih procesa. U ovom radu je data komparcija postupaka ocjene sposobnosti prema gore navedenim postupcima

Ključne riječi: Mjerni sistem, proces,sposobnost

ABSTRACT:

For assessment capability of the measurement systems in practice is mainly used document MSA, and a „Measurement System Capability" Reference Manual, which is made on the basis of MSA. Second edition of VDA 5 based on ISO 22514 -7 since 2010, describes the requirements: suitability of the test processes, suitability of measurement systems, measurement and test processes, extended measurement uncertainty of the measurement system and processes and the methodology for assessment of suitability of the measurement systems and measurement processes . This paper presents a comparison procedures of assessment of capability according to these procedures.

Keywords: measurement system, process, capability

---

1. UVOD

U cilju bolje kontrole kvaliteta ali i poboljšavanja proizvodnih procesa potreban je i kvalitetan mjerni sistem koji mjeri karakteristike procesa. Jedan od problema ocjene kvaliteta proizvoda je i

zavisnost o sposobnosti primjenjenog mjernog sistema. Pod mjernim sistemom podrazumjevamo instrument, software, pomoćne naprave, mjernu metodu i kontrolore. Pri mjerenju svi ovi elementi mogu uzrok rasipanju i proizvesti značajne troškove u poslovanju firme.

Ocjena kvaliteta mjernog sistema je preduslov za utvrđivanje stabilnosti i sposobnosti proizvodnog procesa. Ima za cilj identificiranja i kvantificiranja izvora varijacija mjernih sistema, koje su posljedica slučajnih i sistematskih uticaja. Ako je varijacija mjernog sistema značajna u odnosu na varijaciju karakteristike objekta mjerenja u proizvodnom procesu, tada mjerni sistem neće dati pravovaljanu informaciju o kvalitetu .proizvodnog procesa.

Za ocjenu sposobnosti mjernih sistema u praksi se uglavnom koristi dokument MSA, urađen od strane Automative Industry Action Group (AIAG) 1990 godine. Na bazi tog dokumenta, radna grupe automobilskih kompanija (BMW AG, Audi AG, Robert Bosch GmgH, DaimlerChRYler AG, Fiat Auto S.p.a, Ford Werke AG, Adam Opel AG, Q-DAS GmgH, Volkswagen AG) uradila je Leitfaden zum "Fähigkeitsnachweis von Messsystemen" (Vodić za ocjenu sposobnosti mjernih sistema).
Prema vodiću za ocjenu sposobnosti mjernog sistema i MSA postoje tri osnovne metode za analizu mjernog sistema:

- Metoda aritmetičkih sredina
- Metoda raspona
- Metoda ANOVA

Metoda aritmetičkih sredina i raspona pruža procjenu ponovljivosti i obnovljivosti mjernog sistema. Za razliku od metode raspona, ovaj pristup osigurava odvajanje na dvije različite komponente, ponovljivost i obnovljivost, ali ne i njihovu interakciju.
Metoda raspona daje samo općenitu sliku mjernog sistema. Ona ne odvaja varijabilnost na ponovljivost i obnovljivost. Uglavnom se koristi kako bi se brzo ustanovilo dali se R&R mijenjao. Najčešće 2 mjeritelja mjere svaki dio po jednom.

Analiza varijance (ANOVA) je standardna statistička tehnika, a može se koristiti u svrhu analize greške mjerenja ali i drugih izvora varijabilnosti podataka studije mjernog sistema. U analizi varijanse, varijansa se može rastaviti na četiri kategorije: dijelovi, mjeritelji, interakcija između dijelova i mjeritelja, i greška ponavljanja.
Pored gore navedenih metoda u navedenim dokumentima su date i metode ispitivanje tačnosti, linearnosti i stabilnosti mjernog sistema, koje imaju vrlo značajnu ulogu u ocjeni kvaliteta proizvoda.

S obzirom da pojmovi i definicije u MSA i ostalim preporukama imaju manjkavosti, prije svega neusklađenosti sa prvim internacionalnim metrološkim riječnikom (VIM). U prvom izdanju VIM-a od 1994 godine su definirani pojmovi mjerni sistem, mjerni proces i mjerna nesigurnost. Također Vodić za iskazivanje nesigurnosti pri mjerenju (GUM) je objavljen 1995 godine. U četvrtom izdanju MSA dokument se po pitanju pojmova približio internacionalnim normama, ali je zadržao temeljne pojmove, što je i razumljivo na osnovu visokog stepena primjene.
Drugo dopunjeno izdanje VDA 5 bazirano na normi ISO 22514 -7 od 2010 godine, opisuje zahtjeve u vezi prikladnosti mjernih sistema, mjernih i isptinih procesa, proširene mjerne nesigurnosti kao i ocjenjivanje usklađenosti.

2. OCJENA SPOSOBNOSTI MJERNIH SISTEMA PREMA VODIĆU I MSA

Prema Vodiću i MSA postoje tri postupka za ocjenu sposobnosti mjernih sistema. Postupak 1 se obično obavlja kod dobavljača pri ocjeni novih mjernih sistema i mjernih sistema na kojima su rađene izvjesne modifikacije, ali prije njihove upotrebe u procesu kontrole kvaliteta.
Na temelju karakterističnih vrijednosti sposobnosti određuje se prikladnost mjernog sistema. Sam postupak se sastoji od ispitivanja i ocjene koeficijenata sposobnosti Cg i Cgk, kao i provjere funkcionalnosti. U tu svrhu koristi se realan proizvod kao radni etalon koji je izmjeren u laboratorijskim uslovima i koji ima sljedivost do nacionalnog i internacionalnog etalona. Preduslov za izvođenje postupka je utvrđivanje tačnosti mjernog sistema B_i. Koeficijent sposobnosti Cg uzima u obzir slučajne greške, dok Cgk i slučajne i sistematske greške. Ako su ovi koeficijenti veći ili jednaki 1,33

U postupku 2, se odeđuje utjecaj operatora. Cilj ovog postupka je da se na osnovu vrijednosti karakteristike %R&R ocijeni da li je mjerni uređaj uzevši u obzir sve utjecajne veličine prikladan za predviđene mjerne zadatake. Utjecajne veličine su prašina, vibracije,vremenski i prostorni temperaturni gradijenti, operator, mjerna metoda, mjerni postupak, struktura (kvalitet) mjerenog objekta, itd .. Postupak 2 se može izvoditi samo nakon uspješne certifikacije prikladnosti postupka 1. Pri ovom postupku se određuju ponovljivost (EV) i obnovljivost (AV) mjernog sistema, kao i ukupna ponovljivost i obnovljivost R&R kao kvadratni korjen zbira kvadrata ponovljivosti i obnovljivosti.

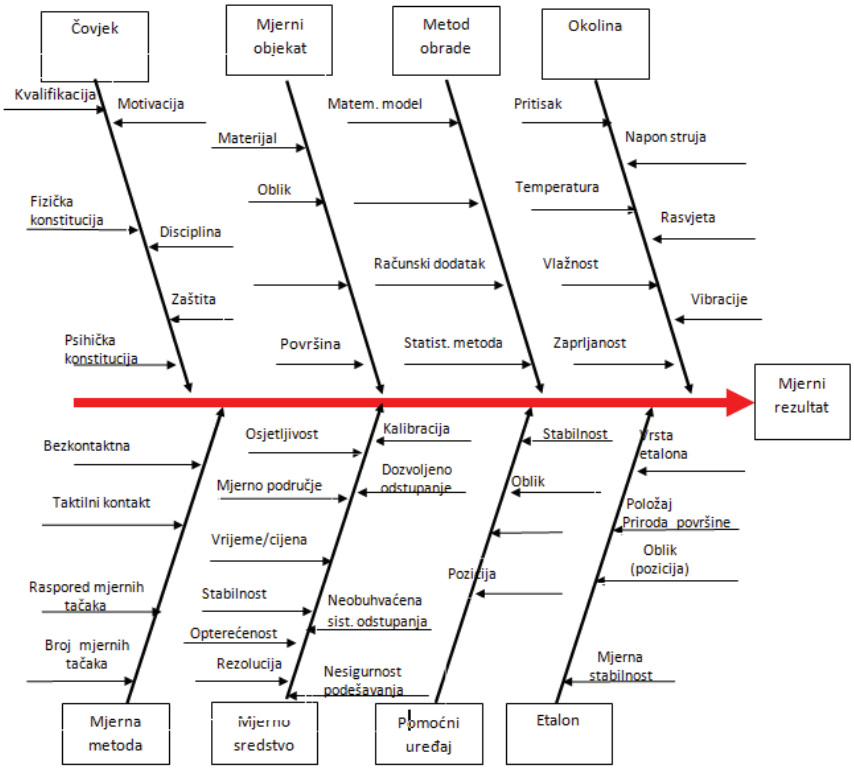
Prema Vodiću, mjerni sistemi koji zadovoljavaju udjele varijabilnosti u tolerancijskom polju R&R $\leq$ 20% (novi mjerni sistemi), i R&R $\leq$ 30% (sistemi koji su u eksploataciji) su sposobni odnosno prikladni mjerni sistemi. Prema MSA, kriterij ocjene kvaliteteta mjernog sistema R&R u tolerancijskom polju ili ukupnoj varijabilnosti TV je: R&R< 10% - mjerni sistem zadovoljava, 10% < R&R < 30% - mjerni sistem je na granici, i R&R > 30% - mjerni sistem nije prihvatljiv.

Postupak 3 je poseban slučaj postupka2, a koristi za mjerne sisteme kod kojih nema utjecaja operatera, (npr.mehanizirani mjerni uređaji, kontrolni automati, automatsko rukovanje, itd) odnosno utjecaj operatora je zanemariv.

3. OCJENA PRIKLADNOSTI PREMA VDA 5

Postupci ocjene prikladnosti mjernih sistema i mjernih procesa su bazirani na DIN V EN 13005 (Leitfaden zur Angabe von Unsicherheiten beim Messen -GUM) i DIN EN ISO 14253 (Prüfung von Werkstücken und Messgeräten durch Messen, Teil 1: Entscheidungsregeln für die Feststellung von Übereinstimmung oder Nichtübereinstimmung mit Spezifikationen). Nadalje iz MSA su integrirani poznati i rašireni postupci za ocjenu i odobrenje mjernih uređaja. Isto tako su dati savjeti za vrednovanje mjernih softvera. Područje primjene VDA5 se proteže prvenstveno na ispitivanje geometrijskih veličina. Mogućnosti primjene za druga fizikalna mjerenja moraju se procijeniti od slučaja do slučaja

Novo izdanje VDA 5 dijeli sve utjecajne komponente mjernog procesa u dvije grupe i to utjecajne faktore mjernog sistema koje u principu možemo dodijeliti mjernom procesu, slika 1. Novina je u principu razdvajanja mjernog sistema i mjernog procesa.



Slika 1. Važniji utjecaji na nesigurnost mjernih rezultata

Sa donje strane se nalaze utjecajne komponente mjernog sistema, koji zajedno sa ostalim utjecajnim faktorima (sa gornje strane) doprinose mjernom procesu. Razlika mjernog sistema i mjernog procesa sa odvojenim navodima proširene mjerne nesigurnosti je stoga razumna za mjerni sistem, jer se u velikoj mjeri mjerni sistem može ocijeniti nezavisno od puštanja u proizvodni proces.
Također ova podjela pomaže firmama pri postavljanju kriterija izbora, može se ocijeniti za odgovarajući mjerni proces, da li mjerni sistem uopšte dolazi u pitanje.

Poznavanjem, odnosno određivanjem standardnih nesigurnosti uticajnih komponenti, određujemo kombinovanu i proširenu mjernu nesigurnost mjernog sistema i mjernog procesa, odnosno pripadajuće karakteristične vrijednosti prikladnosti Q_{MS} i Q_{MP}, tabela 1.
Prema VDA 5 granične vrijednosti prikladnosti mjernog sistema i mjernog procesa u tolerancijskom polju su $Q_{MS} \leq 15\%$ i $Q_{MP} \leq 30\%$.

Tabela 1: Metodologija računanja karakterističnih vrijednosti prikladnosti mjernog sistema i procesa

Komponente nesigurnosti	Oznaka	Kombinirana mjerna nesigurnost	Proširena mjerna nesigurnost	Prikladna minimalna tolerancija
Kalibracija etalona	U_{CAL}	$U_{MS} = \sqrt{\begin{matrix} U_{CAL}^2 \\ +max\{U_{EVA}^2, U_{RE}^2\} \\ +U_{AV}^2 + U_{LIN}^2 + U_{MS-REST}^2 \end{matrix}}$	$U_{MS} = k \cdot U_{MS}$	$Q_{MS} = \frac{2 \cdot U_{MS}}{TOL} \cdot 100\%$
Sistematsko mjerno odstupanje	U_{AV}		k (P=95%)	
Odstupanje linearnosti	U_{LIN}			$T_{MIN-UMS} = \frac{2 \cdot U_{MS}}{Q_{MS_{max}}} \cdot 100\%$
Ponovljivost na etalonu	U_{EVA}	$\sqrt{\frac{MPE^2}{3}}$		
Ostatak MS	$U_{MS-REST}$			
Granična vrijednost za odstupanje	MPE	$\sqrt{\frac{MPE_1^2}{3} + \frac{MPE_2^2}{3} \ldots}$		
Ponovljivost na ispitnom objektu	U_{EVO}	$U_{MP} = \sqrt{\begin{matrix} U_{CAL}^2 \\ +max\left\{U_{EVA}^2, U_{EVO}^2, U_{RE}^2\right\} \\ +U_{BI}^2 + U_{LIN}^2 \\ +U_{AV}^2 + U_{BY}^2 + U_{STAB}^2 + U_{OBJ}^2 \\ +U_T^2 + U_{REST}^2 + \sum_i U_{TA}^2 \end{matrix}}$	$U_{MP} = k \cdot U_{MP}$	$Q_{MS} = \frac{2 \cdot U_{MP}}{TOL} \cdot 100\%$
Obnovljivost poslužioca	U_{AV}		k (P=95%)	
Obnovljivost mjernog uređaja	U_{BY}			$T_{MIN-UMP} = \frac{2 \cdot P}{Q_{MP_{max}}} \cdot 100\%$
Obnovljivost u ternutku	U_{STAB}			
Izmjenična djelovanja	U_{TA}			
Nehomogenost objekta ispitivanja	U_{OBJ}			
Rezolucija pokazivanja	U_{BI}			
Temperatura	U_T			
Ostatak	U_{REST}			

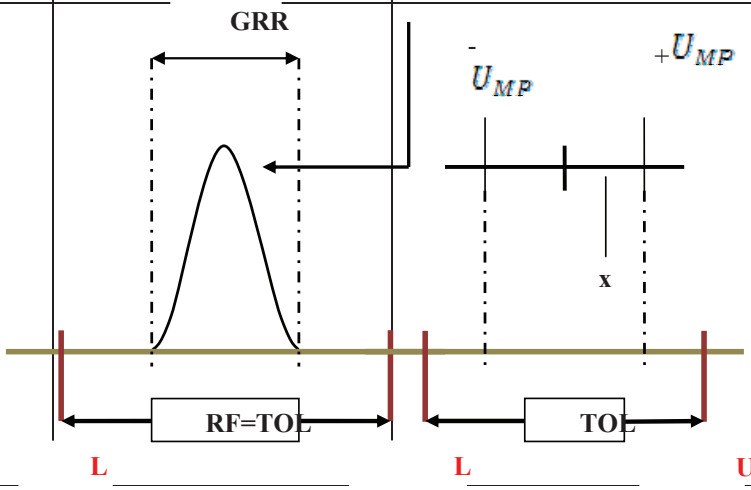
4. POREĐENJE MSA I VDA 5

U principu je postupak pri ocjeni mjernog sistema, odnosno mjernog procesa kod MSA, preporuka firmi i VDA 5 vrlo sličan. U realnim uslovima se analiziraju mjerene vrijednosti grafički i numerički, a karakteristična vrijednost se određuje i poredi sa navedenom graničnom vrijednosti. Na osnovu ove ocjene se odlučuje o sposobnosti odnosno prikladnosti mjernog sistema odnosno mjernog procesa. Veće razlike između MSA i VDA 5 leže u računanju karakterističnih vrijednosti i broja posmatranih utjecajnih veličina koje djeluju na mjerenje, tabela 2 i 3.

Tabela 2: Posmatrane utjecajne komponente u VDA 5 i proračun pripadnih standardnih mjernih nesigurnosti u poređenju sa elementima ocjene u MSA i preporukama firmi

Utjecajni parametar	MSA 4	Preporuke firmi	VDA 5 ili ISO/CD 22514-7	Izvor informacija
Rezolucija/kategorija podataka	ndc ≥ 5	%RE ≤ 5% TOL	%RE ≤ 5% i $u_{RE} = \frac{RE}{2\sqrt{3}}$	Pokazivanje mjernog uređaja
Nesigurnost referentnog dijela	*)	U ≤ 5% TOL	$u_{cal} = \frac{U_{cal}}{2}$	Potvrda o kalibraciji
Ponovljivost na referentnom dijelu	mala	Cg ≥ 1,33	$u_{EVR} = s$	Postupak 1 (VI)
Sistematska mjerna odstupanja	t-Test	Cgk ≥ 1,33	$u_{BI} = \frac{\lvert \bar{x}_g - x_{ref} \rvert}{\sqrt{3}}$	Postupak 1 (VI)
Linearitet	t-Test	%LIN ≤ 5% TOL	$u_{LIN} = \max \{u_{BI}\}$	Na tri etalona i više
Ponovljivost na objektu ispitivanja	EV (ANOVA)		u_{EV} = EV (ANOVA)	Postupak 2 ili 3
Reproducljivost na objektu ispitivanja	AV (ANOVA)		u_{AV} = AV (ANOVA)	Postupak 2 ili 3
Nesigurnost objekta ispitivanja	Ponovljena mjerenja na jednakim pozicijama		$u_{OBJ} = \frac{TOL}{\sqrt{3}}$ ili $\frac{a}{\sqrt{3}}$	Sa a iz: -crteža -iskustvene vrijednosti -procjena -istraživanja -sličnih mjernih procesa -itd.
Temperatura	..... *)		$u_t = \frac{a}{\sqrt{3}}$	
Stabilnost	Kvalitet kontrolne karte		$u_{STAB} = \frac{a}{\sqrt{3}}$, kvalitet kontrolne karte	
Drugo	..... *)		u_{REST}	

Tabela 3: Tipične karakteristike u MSA, preporukama firmi i VDA svezak 5

	MSA 4/ Preporuke firmi	VDA 5 ili ISO/CD 22514-7
Karakteristika prikladnosti	$\%GRR = \frac{\sqrt{EV^2 + AV^2}}{RF} \cdot 100\%$, sa RF – ukupno rasipanje TV, rasipanje procesa σ,P_p, P_{pk} ili tolerancija TOL, posljedna se naročito u preporukama firmi primjenjuje	$Q_{MS} = \frac{2U_{MS}}{TOL}100\%$ $Q_{MP} = \frac{2U_{MP}}{TOL}100\%$ Sa TOL – tolerancija $U_{MS} odnosno U_{MP} = 2\sqrt{\sum_{i=1}^{n} u^2_i}$, u_i – standardne nesigurnosti utjecajnih komponenti za mjerni sistem odnosno mjerni proces
Granična vrijednost	%GRR≤ 10% - prikladan 10% < %GRR< 30% - uslovno prikladan 30% ≤ %GRR – ne prikladan	Mjerni rezultat: y = x ± U_{MP} Q_{MS} ≤ 15% - prikladan Q_{MP} ≤ 30% - prikladan
Grafička ocjena		

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu naprijed navedenog postavlja se pitanje „koji je sistem ocjene sposobnosti mjernog sistema bolji"?. Prednost MSA i Vodića leži u veoma širokoj rasprostranjenosti i primjeni širom svijeta. Međutim detaljnije razmatranje utjecajnih komponenti kod mjernog procesa koje djeluju na proširenu mjernu nesigurnost daju preporuke VDA 5 odnosno norma ISO 22514-7. Nadalje, kako su preporuke VDA 5 bazirane na ISO normi, to daje viši stepen poznavanja posmatranog postupka. Ipak će vrijeme pokazati, koji će postupak ocjene sposobnosti u budućnosti dobiti više na značaju.

6. LITERATURA

[1] Leitfaden zum "Fähigkeitsnachweis von Messsystemen", Version 2.1 D/E, Stand/Status: 17. September 2002.
[2] VDA Band 5, Prüfprozesseignung, 2 Auflage, VDA Berlin, 2010.
[3] DIN ISO/IEC Guide 99:2007, Internationales Wörterbuch der Metrologie (VIM), Beuth Verlag, Berlin 2010.
[4] DIN EN 13005: 1999, Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen, Beuth Verlag, Berlin 1999.
[5] Neukirch C: Dietrich E.: Messsystem und Messprozess sind zweierlei, QZ 4 (2011) 56, S. 16-20.
[6] Dietrich E: Vergleichen von MSA und VDA Band 5 QZ 1 (2011) 56, S. 39-41.
[7] B. Runje, Predavanja iz kolegija Teorija i tehnika mjerenja, FSB 2014.

USAGE OF ROBOT IN PRODUCTION OF PREFABRICATED HOUSES

UPOTREBA ROBOTA U PROIZVODNJI DRVNIH MONTAŽNIH KUĆA

Prof. dr. Salah - Eldien Omer
SAGCONSULTING d.o.o.
Vramčeva 17, 10000 Zagreb.

SAŽETAK:
U radu su predstavljene nove tehnologije upotrebe robota u proizvodnom centru za proizvodnju drvnih montažnih kuća.Demonstriran je novi pristup dizajnu i konstrukciji upotrebom soficirane tehnologije u procesu prerade mekih i tvrdih vrsta drveta u građevinskim konstrukcijama. Navedene su prednosti i mane upotrebe takvih tehnologija kod proizvodnje starih klasičnih konstrukcijskih sistema. Te su navedeni i primjeri za te procese. Dat je ekonomski osvrt na proces i njegov efekat na proizvodnju montažnih kuća.

Ključne riječi: *robot,soficirana tehnologija, gradevinska konstrukcija*

ABSTRACT:
The paper is representing the new technology using robots in production center for processing timber for prefabricated houses. The new approach in design and construction of using sophisticated technology in processing soft and hard wood in building construction is also demonstrated. The advantages and disadvantages of using such technology in that old construction system wood prefabricated houses in certain examples. The economical view of the process and the his effect on producing wood prefabricated houses.

Keywords: *robot, sophisticated technology, building construction.*

---

1. INTRODUCTION

Wood construction generaly is rapidly advancing with the development of the new technologies, specialy those which is directly ment for wood processing. As we are wetnissing the also the development of design in construction building, we also following the usagge of natural materials not only in part of houses but fully usage in all phase of house elements.
Technological success implies technical solution improvement in automation domain of technological process and intelligent system application in different branches of industry, along with a metal industry. A huge number of robot applications exist today in metalworking industry. Their application is motivated with the technical and economical reasons like: quality improvement of the completed products (machine processing and other), fallout decrease (in the assembly process), rate enlargement of the homogeneity-constancy quality (in all process linked to robot application repeatability), security operation rate enlargement (in aggressive, burning, explosive and other areas, with the high rate of robot protection), decrease of necessary work force of routine and repeatability process, manufacture cost minimizing and overall maintenance, fulfilling of demands required by a competition and more rigorous quality standards. Besides the

technical advantages, which is carried out owing to the robot application, it is necessary to emphasize that rationality of the robot application in particular operations is principally conditioned with the manufacturing volume and the operation character which the robot (or more robots) needs to carry out. This paper provides an analysis of the industrial robot applications in metal industry worldwide, with a detailed analysis according to years and manufacturing process. The analysis has been carried out on all four continents: Europe, Asia, America and Africa. The parallel analysis with the other industries has been given in addition to analysis of economic justification of robot application in manufacturing process. The results of the research show increasing robot application in metal industry and in other industries, which was a primary goal of this research. By using available data concerning installed robots worldwide, such as analyzing profitability and economic justification of robot implementation in manufacturing process, and as a result of the research, the trend of robot application in industry has increasing trend today.

Besides the cost-effectiveness, there are several other factors which are important when a company is considering investing in a robot system, e.g. effect on parts quality, manufacturing productivity (faster cycle time), yield (less scrap), reduction in labour, improved worker safety and reduction of work-in-progress. Surveys among robot users and prospective users have shown that the main motives for investing in industrial robots are: reduced labour costs, improved product quality/obtaining of more even quality, improved quality of work by eliminating hazardous, heavy and/or repetitive work cycles, increased output rate, increased product flexibility, reduced material waste, compliance with safety rules, reduced labour turnover/difficulty of recruiting workers, reduced capital costs-inventory, work-in-progress, floor space etc. In many cases robot investments have the reduction of labour costs as the main objective, but in wood processing it completely accepted for all the benefits it offers.

2. ROBOTS IN WOOD PROCESSING INDUSTRY

Robots have been proven to deliver a host of benefits in a wide variety of applications. End users introducing robots to their production process have typically seen a significant transformation their productivity and efficiency, with higher levels of output, product quality and flexibility amongst the many improvements reported [1].

One strategic benefit to the introduction of robotics and automation into the wood products industry has been the interest that the technology could provide for prospective users. With so many young people heavily involved in and interested in modern technology, the use of robotics could provide the hook to excite the next-generation workforce.

Ten reasons which were wood processing industry leaded by using robots in this industry processing and the machine industry continue to improve their robotic products are:-

Reduce operating costs (energy saving about 8% on every 1 OC reduction in heating levels, and 20% by turning off unnecessary lighting. Also can reduce or eliminate the costs associated with manual workers,

Improve product quality and consistency, the machine will not suffer from tiredness distraction and similar, and you can count on high quality finish of products,

Improve quality of work for employees, workers will no longer have to work in dusty hot or hazardous environments. They will learn also programming skills,

Increase production output rates. They can be left running over night and during weekends with little supervision. They will not time out for breaks, sickness and similar,

Increase product manufacturing flexibility, after programming the machine, you can easily switch from one to another phases of production,

Reduce material waste and increase yield, by precise processing the input material,

Comply with safety rules and improve work place health and safety,

Reduce labour turnover and difficulty of recruiting workers,

Reduce capital costs(inventory, work in progress). Reduce the cost of consumables used and reduce wastage, moving products faster in production,
Save space in high value manufacturing areas. They can be placed on shelf systems, on walls or even in ceilings.



Figure 1: Robot with certain task.

In the wood processing industry from year 2014, small units of Robots are used in several parts of the wood processing for their efficiency. Later on the machinery industry is started to offer

more and more Robotic units to be as a separated processing units or part of the process as hall. They mostly used to reduce turnover, manufacturing flexibility and reduce capital cost.
The following tow examples are representing the connection between ware house for spare parts and ware house for material generally, where they prove high accuracy and successes in delivering the need material or parts.

3. NEW ROBOT CENTER FOR WOOD PROCESSING

For the first time, the company Hundegger presents the joinery machine K2i with an integrated Robot unit at the in 2014, soon, where they new approach of processing timber for construction purposes the potential buyers find very interested. With this innovation, Hundegger expands the construction kit of the established K2i joinery machine decisively and now combines high-performance and flexibility for processing solid wood.
With the Robot unit, which is integrated in the machine, now even parts with a width of 1250 mm and 300 mm thickness can be processed without overturning in one step and from all 6 part sides. Even very complicated processing can now be carried out efficiently and quickly with the 6 axis unit.
Rotation speeds up to 15,000 rpm and the tool magazine which is able to take up to 16 tools guarantee maximum surface quality and flexibility. Due to its modular structure, the joinery machine can be individually adjusted to the company specific requirements of the customer. Even retrospective expansions in order to increase efficiency are possible.
From conservatories with part cross-sections of 20 x 50 mm to plywood elements with cross-sectons of up to 300 x 1250 mm, all parts in any length can be processed precisely and in an unprecedented diversity.
The difference between the two machines simply consists of the separate saw unit. The new Hundegger ROBOT-Drive joinery machine perfectly combines the advantages of a completely new machine concept with the experience of more than 4,600 Hundegger machines supplied.
The new machine generation is particularly characterized by high flexibility, little space requirement and low costs. The machine is the perfect solution for timber construction companies which are mainly interested in high flexibility and almost unlimited processing possibilities. The ROBOT-Drive is now able to realize all processing's which are current in carpentry joinery precisely, without overturning or turning in one step and even for large part cross-sections.
The ROBOT-Drive has a modular design and can be optionally adjusted to the respective function. Even if the requirements to the machine change in the course of time, the ROBOT-Drive can be easily extended by simple retrofitting options. Depending on the respectively requested processing width, 3 basic versions are available.[2].
The high precision and quality of the fully automatic Hundegger machines increase the efficiency and competitiveness of every timber construction factory - from small-scale to large-scale enterprises.
The universal, flexible machines are used in all timber construction sections from carpentry joining, contract joining, log house construction, prefabricated house construction, gluelam joining to the production of playground equipment and they can be quickly and perfectly adapted to the specific requirements of the customers due to their modular construction.
Joinery machine ROBOT-Drive joinery machine perfectly combines the advantages of a completely new machine concept with the experience of more than 4,400 Hundegger machines supplied.
From the CAD drawing to the finished part 6-axis processing in one step. From 20 x 60 mm to 300 x 1250 mm. The new machine generation is particularly characterized by high flexibility, little space requirement and low costs. The machine is the perfect solution for timber construction companies which are mainly interested in high flexibility and almost unlimited processing possibilities. The ROBOT-Drive is now able to realize all processing's which are current in

carpentry joinery precisely, without overturning or turning in one step and even for large part cross-sections. The Hundegger single piece construction program is distinguished by its simple carpentry-compatible entry and operator-friendliness. Data can be automatically accepted from all joinery and CAD programs or entered directly in the single piece construction program.simple carpentry-compatible entry automatic data transfer permanently free software updates!
The data can be automatically transferred by all joinery and CAD programs. The parts can also be drawn directly with the EKP program. All wood nodes are stored as macros. The construction projects can be optimized according to various criteria. The construction projects can be optimized according to various criteria. The construction projects can be optimized according to various criteria. The various parts are optimised in the existing raw timber depending upon selection or the optimum raw timber length is suggested The program generates all necessary lists for the corresponding construction project at the push of a button.cutting lists, sawmill lists, roughcut lists etc.



Figure 2 : The RobertDrive center with the input and out put transporting systems

The ROBOT unit has a power of 12 kW and a stepless rotation speed range of 0 to 12,000 rpm. The tool changer magazine accommodates up to 16 different tools with a length up to 295 mm. With HSK-63-F tool holders saw blades, drills, endmills, plain side cutters, dovetail milling cutters, plain milling cutters and markers for part labelling can be replaced within seconds. Management and selection of the tools is carried out in Hundegger's 3D production software application CAMBIUM, and the machine also interfaces seamlessly with other leading 3D CAD applications such as Cadwork and Dietrich's. Once our team gets up to speed with operation and maintenance of the new machine we will be using it for timber engineering research, product development, student teaching and industry training. Please contact us if you are interested in attending a demo of the machine's capabilities once we are up and running [4].

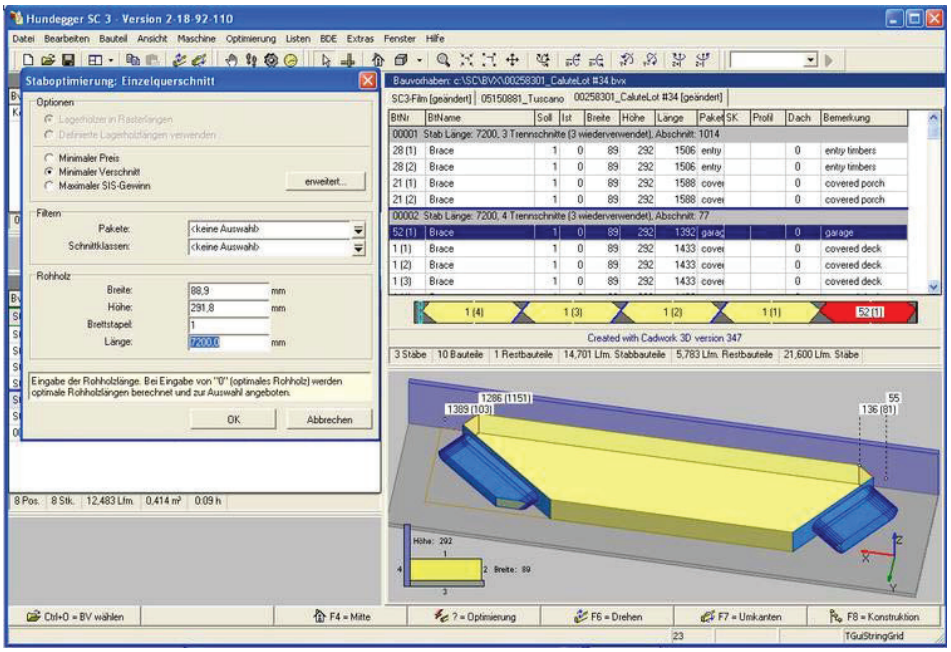


Figure 3: Details for construction passed on accepted codes.

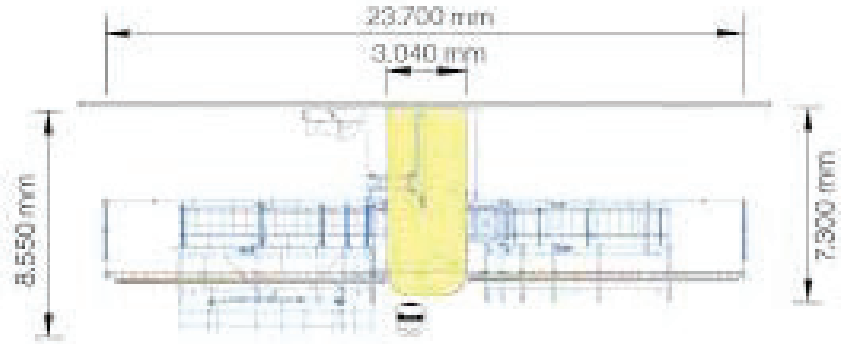


Figure 4: The needed space with the layout of the Robot drive center.

4. ROBOT IN PRODUCTION OF PREFABRICATED HOUSES

Till now the processing of wood for prefabricated house and generally the elements for wood in building purposes were produced with different level machines and technologies. With the introduction of CNC machines processes are very quicly advanced to Robot centers.
CNC machining centres for wood generally consist of four units: the machine frame, the vacuum fixture with suction elements, the machining bed and the machining unit. All units can employ and , where they can provide maintenance-free operation and a long service-life.

The increasing use of robotics in the manufacturing sector is now being incorporated into the wood products industry.
Companies across the world are making substantial investments in robotics and automation technology in order to increase efficiencies and make up for shortages in the current workforce.
According to statistics presented during the last years, 85% of current robotics use in the wood products industry is on the handling side, while 10% of mechanisms are used for assembly and 5% for machinery. However, the use of robotics can provide companies with solutions to issues that are currently roadblocks to growth, or are causing headaches within their own labour force.
Robotics can be used to perform low-level tasks needed in the production process, allowing companies to stop competing on wages with competitors and other industries.
Robotics is also allowing companies to provide easier systems for customization of product orders by using new product lines that are completely automated. The production line in cabinet production, can produce eight cabinets per hour, 24 hours a day, seven days a week, with staff needed only for supervision and stocking supplies. Starting at $1.2 million for the 5,100-square-foot production line, the producers' representatives believed that the numbers added up, making such a production facility an affordable alternative to standard staffing for a similar workload and efficiency
The Structural Timber design softwareis are programs for design and dimensioning of timber components, and timber roofs according to Eurocode 5 (EC5). In a graphic environment you design roof trusses and elements of timber structures. The software simplifies all the repetitive and time-consuming every day calculations for timber elements and timber roofs.Detailed report with calculations, automatic generation of truss drawings and details of connections.
To design a timber component or truss, choose from ready roof models, specify the main dimensions, loads, design code parameters, and the design is immediately performed and drawings produced automatically. Default values and checks for erroneous input values, facilitate the input data process. The report, which is created simultaneously, shows in detail all the calculations and the design steps with references to the corresponding design code paragraphs. Clear warnings informs you in case of inadequate design.
The material properties, the loads and the design code parameters, timber sections, can be adjusted by the user according to the requirements of the National application document.
A context-sensitive Help system, guides you through the use of the program and the Eurocode provisions. On-line user's manual and frequently asked questions (F.A.Q.) are included in the program. All the above mentioned information are included in the software integrated in the Robot Centre.
Complete software included in the scope of supply of the machine The best mechanical system is only as good as the corresponding software. For this reason, Hundegger attaches great importance to the in-house software development department. As a result we can provide solutions which are perfectly adapted to the customers' requirements and which are also consistently further developed and updated. In order that our customers benefit from these solutions also after sales, we naturally provide regular software updates which are free of charge. The new Hundegger 3D production programme CAMBIUM is characterised by operator convenience and simple input which is suitable for timber construction. Language CAMBIUM will naturally be configured and supplied in the respective national language. Data transfer Automatic transfer of all requested data from joinery and timber construction programmes without manual finishing and additional effort for programming. Direct input Parts can also be created with CAMBIUM directly. The clearly arranged 3D presentation supports the user and makes input a mere child's play. Processing group Separate processing macros like drilling patterns, complex profiles etc. can be defined and saved. On demand CAMBIUM can be quickly and flexibly adapted to the specific demands of different users like planning engineers, machine operators etc [5]. Different processing strategies are now available in CAMBIUM for perfectly adapting the machine to the production quality respectively requested by the customer. For particular requirements they can even be freely configured by the user thanks to the selection of approach, tool, speed, rotation speed etc. This offer is completed by

an open structure for a simple integration of the Hundegger machine into company networks, by comprehensive operating data collection, sophisticated remote diagnostics and remote maintenance options. In the following examples we represent the efficiency of Robot Centre wood constructions especially for prefabricated houses.

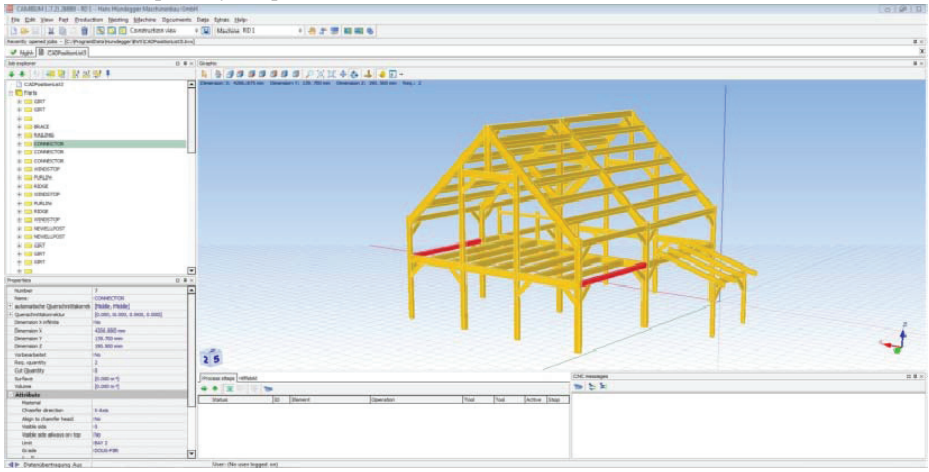


Figure 5: Very wide possibilities of constructions can be performed with the usage of different software's



Figure 6: Various types of timber joints could be produced.



Figure 7: Open and close wood constructions for different purposes.



Figure 8: A complete house projected and equipped by the same software and produced.

5. CONCLUSION

Since the usage of timber in building construction is widely is expanding , specially when in this area trends leads to natural materials, it became necessary to rationalize with input raw materials. To do that it is necessary to maximize the utilization of the wood which we have around. This Robot Drive maximize and upgrade the utilization of timber and open possibilities of upgrading the input material.
The ten reason mentioned above, are the most promising to use the Hundager ROBOT-DRIVE to compete in the market specially where are the raw material resources are limited.The projecting and production of wood prefabricated houses became rentable to be produce with such Robot centre.

6. LITRITURE

[1] Wood, Robot tehnology for wood processing, *Unlimited brosurs 2015*
[2] HUNDEGGER robots provide flexible production in Germany. *A news letter , 2015.*
[3] Mr. Pasi Kenola, The application of Vision Technology in Veneer and Plywood Technology production. Filand. *Mecano, Raute Group 2012.*
[4] Software for Speed-Cut SC-3 robot timber slacking. Timberman *Journal 2014.*
[5] Flexible production to meet customer needs. *Press Release Hunedegger 2014*.

AKTIVNI MAGNETNI LEŽAJEVI

ACTIVE MAGNETIC BEARINGS

Radoslav Tomović[1], Dejan Bratić[2],
[1]Univerzitet Crne Gore, Mašinski fakulter Podgorica, radoslav@ac.me
[2]Univerzitet Crne Gore, Mašinski fakulter Podgorica, dejobratic@gmail.com

---

SAŽETAK:
Ovaj rad ima za cilj da ukaže na prednosti primjene aktivnih magnetnih ležajeva kod rotacionih mašina. Prednosti se ogledaju u prvom redu u potpunom odsustvu trenja između elementa ležaja. Pored toga aktivni magnetni ležajevi imaju mogućnost upravljanja položajem rotora, što daje mogućnost za eliminisanje vibracija i povećanje tačnosti obrtanja.

Ključne riječi:*magnetni ležaj, aktivni magnetni ležaj, pasivni magnetni ležaj, magnetna levitacija.*

ABSTRACT:
The aim of this paper is to show the advantage of application of active magnetic bearings in rotating machines. These advantages are reflected primarily in the complete absence of friction between bearing elements. In addition, active magnetic bearings have the ability to control the position of the rotor, which gives the ability to eliminate vibration and increase the accuracy of rotation.

Keywords: *magnetic bearing, active magnetic bearing, passive magnetic bearing. Magnetic levitation.*

---

1. UVOD

Ležajevi su visokoprecizni mašinski elementi, koji se koriste kod svih vrsta rotacionih mašina i služe za za oslanjanje rotacionih elemenata [1]. Pored toga, imaju zadatak i da obezbjede relativno kretanje obrtnih dijelova, prenesu opterećenje sa obrtnih elemenata na konstrukciju i obezbjede potrebnu tačnost između dijelova u relativnom kretanju. Ležajevi su jedni od najrasprostranjenijih mašinskih elemenata i gotovo da nema mašine, aparata ili uređaja, a da u svojoj konstrukciji ne sadrži njihov veći ili manji broj. U mnogim slučajevima se smatraju kritičnim elementima u konstrukcijama, od čijih radnih karakteristika u mnogome zavisi funkcionalnost, pouzdanost i eksploatabilnost cjelokupnog sistema.

Do sada su se u praksi uglavnom koristile dvije vrste ležajeva:

- klizni ležajevi – čije se relativno kretanje obezbjeđuje klizanjem rukavca; i
- kotrljajni ležajevi – čije se relativno kretanje obezbjeđuje kotrljanjem rukavca.

Pri korištenju mehaničkih ležajeva usred trenja nepovratno se gubi velika količina enegrije, što izaziva generisanje toplote indukciju vibracije, a sve to ograničava dozvoljenu brzinu obrtanja rotirajućih elemenata.

Zahtjev za eliminacijom trenja, a samim tim i gubitaka koje ono prouzrokuje je doveo do pojave magnetnih ležajeva čiji se princip rada zasniva na magnetnoj levitaciji. Magnetni ležajevi se uspješno koriste na različitim mjestima već desetinama godina i pokazuju odlične sposobnosti pri radu u ekstremnim uslovima, kao što su vakuum, visoka ili niska temperatura, visoka brzina obrtanja i dr.

Magnetni ležajevi svoju primjenu nalaze u mnogim oblastima, od kojih se ističu sledeće:

- *Turbopostrojenja* (kompresori, turbine, turbomolekularne, pumpe). Glavna prednost primjene tehnologije aktivnih magnetnih ležajeva u ovoj klasi postrojenja proizilazi iz aktivnog upravljanja i prigušivanja vibracija. Kako u sistemima sa aktivnim magnetnim ležajevima ne postoje radni fluidi (npr. ulje), ne postoji opasnost od njihove interakcije sa fluidima procesa, čime se konstrukcija postrojenja znatno pojednostavljuje. Na kraju, nezanemarljiva činjenica je da aktivni magnetni ležajevi omogućuju samokontrolu i dijagnostiku rotorskih sistema, čime se smanjuju troškovi održavanja.
- *Alatna postrojenja*. Glavna prednost primjene aktivnih magnetnih ležajeva u ovoj klasi postrojenja se ogleda u činjenici da sistemi sa aktivnim magnetnim ležajevima omogućuju postizanje velikih brzina obrtanja osovina na kojoj je namontiran alat za obradu, kao i precizno kontrolisanje njenog položaja, čime se postiže velika peciznost pri obradi glodanjem ili brušenjem i sl.
- *Akumulatori kinetičke energije*. Odsustvo mehaničkog kontakta između rotirajućih elemenata u sistemima sa aktivnim magnetnim ležajevima, a samim tim trenja i habanja, magnetne ležajeve čine poželjnom tehnologijom u ovoj klasi postrojenja.

2. PREGLED ISTRAŽIVANJA

Prvo istraživanje vezano za mogućnost podržavanja objekata pomoću magnetne levitacije sproveo je britanski matematičar Samuel Earnshaw 1842. godine [2]. On je tada postavio teoremu u oblasti klasične fizike kojom tvrdi, da se pomoću statičkih magnetnih polja i električnih naboja ne može postići statička levitacija.

Prema Habermanu i Liardu [3], počeci razvoja tehnologije aktivnih magnetnih ležajeva se vezuju za patente fokusirane na pasivnu magnetnu levitaciju (period oko 1850. godine). Međutim, kao što je Earnshaw svojom teoremom pokazao, takvi su se sistemi pokazali problematičnim pri postizanju stabilnosti. Interpretaciju Earnshaw-ove teoreme je objavio Braunbeck [4], pokazavši da ta teorema ne važi za sve situacije koje se mogu sresti u prirodi, za šta postoje brojni primjeri. Naime, dijamagnetici koji imaju magnetnu permeabilnost manju od jedan imaju sposobnost odbijanja spoljašnjeg magnetnog polja, čime omogućavaju nastanak stabilnih, ali slabih i tehnički neprimjenljivih magnetnih sila.

Stvaranje jakih magnetnih sila primjenom permanentnih magneta moguće je postići primjenom superprovodnih materijala, u kojima se magnetno polje istiskuje iz superprovodnika primjenom Meissner-ovog efekta i time postiže stabilna levitacija. S druge strane, stabilna levitacija tijela koja svoju primjenu pronalazi i u industrijskim ležajevima može se dobiti uvođenjem aktivno regulisanih elektromagneta pomoću kojih se magnetno polje kontinualno prilagođava s ciljem održavanja konstantnog referentnog položaja oslonjenog tijela. U skladu s tom idejom su 1937. godine objavljena dva različita predloga primjene magnetnih ležajeva, u dva posve različita područja, transport (Kemper [5]) i eksperimentalna fizika (Beams [6]).

Iako su raniji istraživači postavili temelje za uspješnu levitaciju, tehnološka i ekonomska isplativost primjene aktivnih magnetnih ležajeva u rotacionim mašinama postaje moguća tek nakon pojave mikroprocesora koji su omogućili digitalnu implementaciju regulatora (Schweitzer [7]). Daljnjim napretkom tehnologije povećana je dostupnost raznih alata za modelovanje dinamike i upravljanje kao i napredniji hardver za elektroniku uslijed čega je posljednjih godina

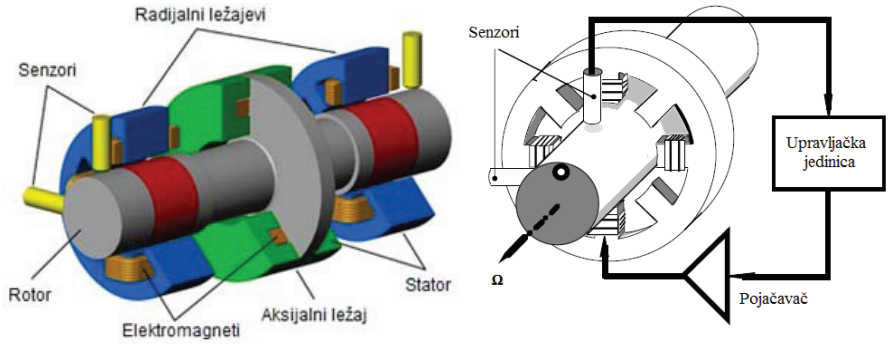
objavljeno i mnogo radova na temu razvoja sistematičnih metoda za projektiranje regulatora za aktivne magnetne ležajeve.

3. MAGNETNI LEŽAJEVI

Prema principu rada, magnetne ležajeve možemo podijeliti u dvije grupe: pasivne i aktivne, odnosno neupravljive i upravljive, respektivno.
Pasivni magnetni ležajevi koriste permanentne magnete za stvaranje odbojnih ili privlačnih sila kojima se rotor održava u referentnom položaju. Magneti mogu biti namagnetisani aksijalno ili radijalno, kako bi se obezbjedila stabilnost rotora duž svake ose. Kod ove vrste magnetnih ležajeva nije potreban nikakav vid električnog napajanja, niti kompleksnih elektronskih kontrolnih uređaja, što ih čini ekonomičnijim i jednostavnijim za upotrebu od aktivnih magnetnih ležajeva. Međutim, upravo zbog činjenice što koriste permanentne magnete, teškoće se javljaju pri njihovom dizajniranju jer je veoma teško održati rotor stabilnim pomoću isključivo ovakvih magneta. Primjena dijamagnetika kod pasivnih magnetnih ležajeva još uvijek nije toliko zastupljena, te se zbog toga češće primjenjuju aktivni magnetni ležajevi. Međutim, u praksi se nerijetko koristi i kombinacija pasivnih i aktivnih magnetnih ležajeva, gdje se pasivni koriste za prenos statičkog opterećenja, dok se aktivni koriste za održavanjem rotora u referentnom položaju.

3.1. Aktivni magnetni ležajevi

Konfiguracija sistema sa aktivnim magnetnim ležajevima je prikazan na Slici 1. Sistem se sastoji od dva radijalna i jednog aksijalnog ležaja, koji predstavljaju dovoljan uslov za stabilnu levitaciju rotora u magnetnom polju [8]. Za osovinu čija se stabilnost reguliše na ovakav način se kaže da je podržana u pet osa i samim tim je jasno da postoji ukupno pet zatvorenih kontrolnih petlji, pomoću kojih se upravlja sistemom.



Slika 1. Konfiguracija istema sa aktivnim magnetnim ležajevima (lijevo) i njegove komponente (desno)

Generalno, aktivni magnetni ležaj možemo podijeliti na rotor (osovinu) i stator, na kome se nalaze elektromagneti i senzori za mjerenje daljine [9]. Kada je u režimu rada, rotor bi trebao da bude gotovo idealno centriran u svakom od statora, kako ne bi došlo do mehaničkog kontakta između njih. Odstupanje osovine od referentnog položaja mjeri se pomoću senzora, čiji se izlazni signali prosljeđuju upravljačkoj jedinici, koja ih obrađuje i na osnovu njih generiše električnu struju na svom izlazu (Slika 1). Ti signali se zatim pojačavaju preko pojačavača i šalju na namotaje elektromagneta preko kojih se stvara privlačna magnetna sila kojom se rotor vraća u željeni položaj. Ovakav postupak se ponavlja čak 10 000 puta u sekundi.

Sistem sa magnetnim ležajevima, u skladu sa Slikom 1, možemo podijeliti na više osnovnih cjelina:

1. **sistem za nadzor**, koji obezbjeđuje informacije u realnom vremenu o poziciji osovine, vibracijama, strujama (opterećenjem), temperaturama, u čijem sastavu se nalazi upravljačka jedinica;
2. **ležajeve** (aksijalne i radijalne) koje podržavaju osovinu pomoću magnetne sile, kada su priključeni na napajanje;
3. **senzore**, pomoću kojih se mjeri odstupanje osovine; i
4. **pojačavače**, sa čijeg izlaza se struja vodi na namotaje elektromagneta.

Radijalni ležaj radi kao asinhoni motor, ali umjesto da stvara obrtni moment, on stvara privlačnu magnetnu silu kojom rotor održava u referentnom položaju. Stator uobičajenog radijalnog ležaja je napravljen od lameliranog željeznog jezgra, s namotajima bakarne žice koji, kad se kroz njih pusti struja, stvaraju niz sjevernih i južnih magnetnih polova oko rotora. Zazor između rotora i statora radijalnog ležaja se obično kreće od 0.5 mm do 5 mm.

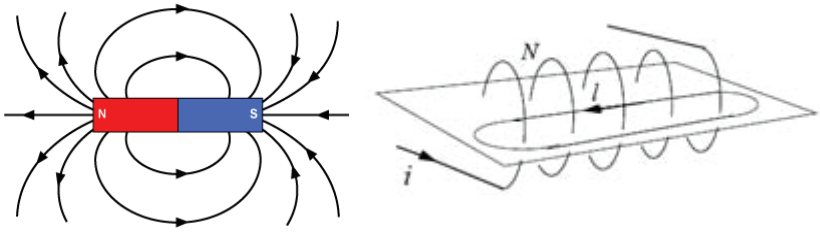
Konfiguracija aksijalnih ležajeva je nešto drugačija. Naime, čvrsti čelični disk se postavlja na osovinu, s prstenastim statorom na obje strane kako bi se spriječilo njeno aksijalno pomjeranje. Aksijalni stator može biti napravljen iz jednog čvrstog dijela ili može biti lameliran kako bi povećao opseg vrijednosti magnetne sile.

Kod mašina sa umjerenim aksijalnim opterećenjima, radijalni ležajevi se mogu zamijeniti konusnim ležajevima kako bi mogli pratiti i radijalno i aksijalno pomjeranje. Ovo eliminiše potrebu za aksijalnim ležajevima i može smanjiti ukupnu dužinu sistema.

4. PRORAČUN NOSIVOSTI AKTIVNIH MAGNETNIH LEŽAJEVA

Kako bi se mogao izvršiti proračun nosivosti aktivnog magnetnog ležaja i odrediti veza između magnetne sile i struje aktuatora, slijedi pregled teorije osnova magnetizma [10].

Magnetno polje postoji između dva magnetna pola suprotnih polariteta, koji se još nazivaju sjevernim i južnim polom. Linije magnetnog polja se emituju radijalno u svim pravcima od sjevernog, zatim prolaze kroz južni pol i na kraju se vraćaju u sjeverni, stvarajući tako kružnu putanju (Slika 2).



Slika 2. Magnet sa dva magnetna pola (lijevo) i vazdušni solenoid (desno)

Ovakvo magnetno polje može da stvori i elektromagnet, tačnije struja koja protiče kroz namotaje bakarne žice koji su namotani oko feromagnetnog jezgra elektromagneta. Za odnos jačine pobudne struje i i jačine magnetnog polja ***H*** važi jednostavan zakon koji glasi:

$$\oint_l \vec{H} d\vec{l} = i, \tag{1}$$

odnosno, linijski integral tangencijalne komponente jednačine magnetnog polja ***H*** duž zatvorene krive linije *l*, jednak je ukupnoj struju *i* obuhvaćenoj tom krivom. Ukoliko bi više provodnika bilo obuhvaćeno unutar zatvorene konture, onda bi gornji izraz imao sledeći oblik:

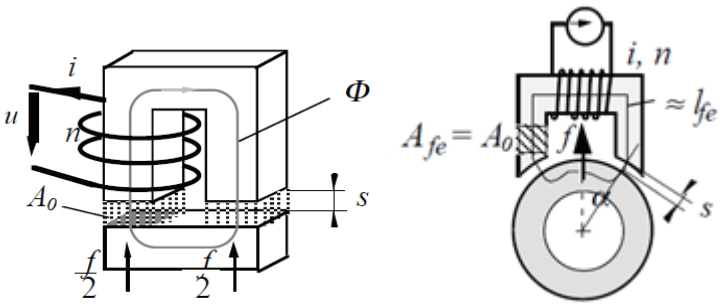
$$\oint_l \vec{H}d\vec{l} = \sum_{n=1}^{N} i = Ni = F_m. \tag{2}$$

Magnetni napon (magnetomotorna sila) F_m duž zatvorene konture magnetnog polja jednak je ukupnom proticanju struje koja prolazi kroz površinu obuhvaćenu tom zatvorenom konturom.

Magnetno polje se karakteriše i vektorom ***B*** koji se naziva vektor magnetne indukcije i u skladu s tim postoji veza između njega i vektora jačine magnetnog polja ***H***:

$$\vec{B} = \mu\vec{H}. \tag{3}$$

S ciljem da se izračuna nosivost aktivnog magnetnog ležaja, analiziraće se jednostavno magnetno kolo sa Slike 3, koje se sastoji od dva feromagnetna jezgra između kojih se nalazi vazdušni procjep [11].



Slika 3. Jednostavno magnetno kolo (lijevo) i jednopolni aktivni magnetni ležaj (desno)

Na jezgru je namotano *N* navoja kroz koje protiče struja *i*, stvarajući u kolu magnetni fluks *Φ*. Ako se uzme u obzir par pretpostavki, da je srednja dužina jezgra l_{fe} mnogo veća od širine magnetnog procjepa *s*, te da je fluks *Φ* homogen u magnetnom jezgru kao i u procjepu i da je $A_{fe} = A_0$, možemo uzeti da je indukcija u feromagnetnom jezgru jednaka indukciji u vazdušnom procjepu, odnosno $B_{fe} = B_0$. Sila koja djeluje između dijelova magnetnog kola (unutar vazdušnog procjepa) je privlačna i ona teži da smanji razmak između njih. Sila *F* koja je potrebna za ostvarivanje pomaka *ds* je jednaka promjeni energije magnetnog polja u procjepu, tj.:

$$F = \frac{dW_0}{ds}, \tag{4}$$

gdje je *s* širina vazdušnog procjepa, a W_0 energija magnetnog polja u vazdušnom procjepu, koja se računa preko formule:

$$W_0 = \frac{1}{2}\int_V HBdV. \tag{5}$$

Izračunavanjem prethodnog integrala preko rastojanja s ($dV = A_0 \cdot ds$ je priraštaj zapremine, gdje je A_0 poprečni presjek koji je upravan na s) i uzimajući u obzir da je vazduh linearna sredina kod koje važi $\boldsymbol{B} = \mu \boldsymbol{H}$, dobijamo sljedeći izraz:

$$W_0 = \frac{B^2 A_0}{\mu} s. \tag{6}$$

Sila F se računa uvrštavanjem izraza (6) u (4),

$$F = \frac{B^2 A_0}{\mu} \tag{7}$$

Izraz za magnetnu indukciju $\boldsymbol{B}$, primjenom formula(1), (2) i (3), glasi :

$$\oint_l \vec{H} d\vec{l} = H_{fe} l_{fe} + 2H_0 s = F_m \Rightarrow$$

$$\Rightarrow B = \mu_0 \frac{F_m}{\frac{l_{fe}}{\mu_r} + 2s}. \tag{8}$$

U skladu s gore navedenim, krajnja jednačina kojom se računa sila F, u slučaju posmatranog magnetnog kola, ima sledeći oblik:

$$F = \mu_0 \left(\frac{F_m}{\frac{l_{fe}}{\mu_r} + 2s} \right)^2 A_0. \tag{9}$$

Naravno, ovakav izraz važi isključivo za jednostavno magnetno kolo sa Slike 3. U slučaju radijalnog aktivnog magnetnog ležaja privlačna sila djeluje pod nekim uglom α, te shodno tome formula za silu F glasi:

$$F = \mu_0 \left(\frac{F_m}{\frac{l_{fe}}{\mu_r} + 2s} \right)^2 A_0 \cos\alpha. \tag{10}$$

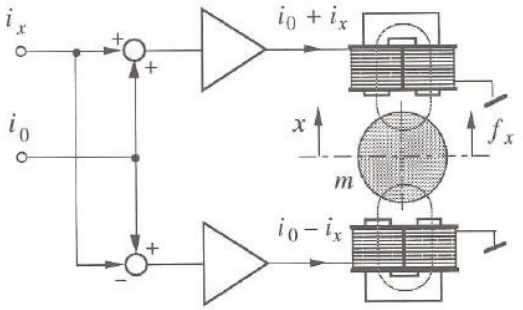
Nakon pretpostavke da relativna magnetna permeabilnost feromagnetika μ_r ima mnogo veću vrijednost po amplitudi od srednje dužine l_{fe}, zavisnost sile F od širine magnetnog procjepa s i jačine struje i postaje mnogo jasnija, tako da možemo smatrati da sila F ima sledeći oblik:

$$F = \frac{1}{4} \mu_0 n^2 A_0 \frac{i^2}{s^2} \cos\alpha \tag{11}$$

Odnosno, kompaktnije napisano:

$$F = k\frac{i^2}{s^2}, \tag{12}$$

gdje je $k = \frac{1}{4}\mu_0 n^2 A_0 \cos\alpha$ konstanta koja isključivo zavisi od geometrije elektromagneta korištenog za aktivni magnetni ležaj. U tehničkoj praksi se veoma rijetko susreću slučajevi sa samo jednim elektromagnetom, kao što je prikazano na Slici 3. Umjesto toga, aktuatori se postavljaju u parovima (Slika 4), što omogućuje potpunu kontrolu duž čitave ose.



Slika 4. Diferencijalno upravljanje aktivnog magnetnog ležaja

U takvoj konfiguraciji u smjeru svake ose na rotor istovremeno djeluju pozitivne i negativne sile, zbog čega se postiže i bolje upravljanje dinamikom rotora. Većina takvih sistema radi u tzv. diferencijalnom načinu rada, pri čemu se jedan od elektromagneta u paru napaja sumom statičke struje (engl. *bias current*) $i_{0,}$ koja održava rotor na nominalnom zazoru $s_{0,}$ i struje regulacije i_x ($i_1 = i_0 + i_x$), a drugi njihovom razlikom ($i_2 = i_0 - i_x$). U tom slučaju rastojanja između rotora i magneta iznose $s_1 = s_0 - x$ i $s_2 = s_0 + x$, gdje je x odstupanje rotora uslijed djelovanja struje upravljanja i_x. Uz date uslove i primjenom izraza (12), ukupna sila kojom sistem uparenih magneta djeluje na rotor dobija se formulom (13):

$$F = F_+ + F_- = k\left[\frac{(i_0 + i_x)^2}{(s_0 - x)^2} - \frac{(i_0 - i_x)^2}{(s_0 + x)^2}\right] \tag{13}$$

5. PRIMJENA AKTIVNIH MAGNETNIH LEŽAJEVA

Aktivni magnetni ležajevi uspješno upotrebljuju kod kinetičkih akumulatora (FES – flywheel energy storage) zbog činjenice što su beskontaktni, te zahvaljujući tome dostižu relativno velike brzine obrtanja (preko 50 000 o/min). Takođe se upotrebljuju kod preciznih mašina za kidanje jer je mogućeno precizno upravljanje pozicije osovine na kojoj je namontiran alat za obradu. Primjena aktivnih magnetnih ležajeva u avio insustriji, kod mlaznih motora, bi dovela do smanjenja njihove ukupne težine i kompleksnosti, zbog odsustva sistema za podmazivanje, a zahvaljujući materijalu od kojeg se prave, mogu da izdrže veoma visoke temperature. Zahvaljujući činjenici da nema sistema za podmazivanje, sistemi sa aktivnim magnetnim ležajevima su pogodni i za primjenu u

prehrambenoj industriji, i inače svim sektorima gdje se zahtijeva ogromna čistoća, jer ne bi došlo do interakcije između sredstava za podmazivanje (npr. ulje) sa proizvodima.

Postoje mnoge oblasti u kojima se magnetni ležajevi uspješno primjenjuju i njihov broj se povećava. Kompleksnost ovakvog sistema otežava njegovu primjenu, ali njegove prednosti mogu biti znatne.

5. LITERATURA

[1] Tomović R, Miltenović V, Banić M and Miltenović A. Vibration response of rigid rotor in unloaded rolling element bearing. *International Journal of Mechanical Sciences 2010; 52: 1176-1185.*

[2] S. Earnshaw. On the nature of the molecular forces which regulate the constitution of the lumiferous ether. *Trans. Camb. Phil. Soc., 7, Part I: 97–112, 1842*.

[3] H. Haberman and G. L. Liard, Practical magnetic bearings, *IEEE Spectrum, p. 26, Sept. 1979.*

[4] W. Braunbek. Frei schwebendem elektrischen Körper und magnetischen Feld. *Z. Phys., 112:753–763, 1939.*

[5] H. Kemper. Overhead suspension railway with wheel-less vehicles employing magnetic suspension from iron rails. *Germ. Pat. Nos. 643316 and 644302, 1937*.

[6] J.W. Beams. High rotation speeds*. J. Applied Physics, 8:795–806, 1937*.

[7] Schweitzer, G., Characteristics of a magnetic rotor bearing for active vibration control, *First International Conference on Vibrations in Rotating Machinery, Paper C239/76, 1976.*

[8] Jobst Görne, Using Active Magnetic Bearings for High Speed Machining – Condition and Benefits, *TEHNOMUS – New Technologies and Products in Machine Manufacturing Technologies, pp. 13 – 20.*

[9] Victor Iannello, Advances in Magnetic Bearings, Synchrony, Inc., www.synchrony.com, SI-ADVMB-RK-SWP-0909.

[10] Luc Burdet, Active Magnetic Bearing Design and Characterization for High Temperature Applications, Thesis No. 3616(2006), La Faculté des Sciences et Techniques de l'Ingénieur, Institut de Production et Robotique, Lausanne, EPFL, 2006.

[11] Jeffrey Hillyard, Magnetic Bearings*, Joint Advanced Student School, April 2006 – St. Petersburg, Russia*

SERVISNI ROBOTI I NJIHOVA PRIMJENA U ODBRANI

SERVICE ROBOTS AND THEIR APPLICATION IN DEFENCE

Šeherzada Begić[1], Isak Karabegović[2],
[1]Ministarstvo za građenje, prostorno uređenje i zaštitu okoliša USK,
Ul. Alije Đerzeleza br.6, Bihać, seherzadabegic@yahoo.com
[2]Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet Bihać,
dr. Irfana Ljubijankića bb., isak1910@hotmail.com

SAŽETAK:
Servisni roboti su roboti koji polu ili potpuno samostalno obavaljaju poslove koji su korisni za dobrobit ljudi i/ili opreme. Složeni zahtjevi koji se postavljaju za servisne robote podrazumijevaju autonomno kretanje u nepoznatom okruženju, obavljanje definiranog zadatka, interakciju sa ljudima i/ili drugim robotima u okruženju, sposobnost samouočavanja i inteligentnog zaključivanja. Istraživanja i razvijanja ovih robotskih sistema nalaze se na visokom razvojnom stepenu a rezultat toga je mogućnost primjene servisnih robota u gotovo svim segmentima čovjekovog okruženja. Sve činjenice ukazuju da će za dvadesetak godina servisni roboti obavljati veliki broj poslova za koje se iz različitih razloga smatra da su naporni, opasni ili monotoni, kao i da će veliki broj kućanstava u svom posjedu imati servisnog robota za osobnu ili kućnu upotrebu. Obzirom da svjetske sile imaju veliku ulogu u vođenju ratova u cijelom svijetu, samim tim i ulažu velike napore u ostvarivanju zacrtanih ciljeva. Jedan od strateških ciljeva je učestvovanje u opasnim situacijama sa što manje ljudskih jedinica, te se zbog toga mnogo ulaže u istraživanja i razvoj odbrambenih robotskih sistema o kojima će biti više govora u ovom radu.
Ključne riječi: *robotika, servisni roboti, mobilni roboti, primjena servisnih robota, odbrambeni robotski sistemi*

ABSTRACT:
Service robots are robots which operate semi or fully autonomously to perform services useful for humans and/or equipment. Complex tasks set for service robots include autonomous movement in unfamiliar environment, completion of defined tasks, interaction with humans and/or other robots in surroundings, ability of self-perception and intelligent decision-making. Research and development of the robotic systems is on high level resulting in application possibilities in almost every aspect of human environment. All the facts indicate that in the next twenty years, service robots will manage great number of tasks considered as difficult, dangerous or monotonous, and that a great number of households will own service robots for personal or domestic use. Considering the role of great world powers in wars around the world, they invest great efforts great efforts to achieve the goals. One of the strategic goals is participation in dangerous situations with a least number of human soldiers, which is the reason of ever-growing investment in research and development of defense robot systems presentedin this paper.

Keywords: *robotics, service robots, mobile robots, service robots applications, defensive robotic systems*

---

1. UVOD

Nakon što su industrijski roboti uvedeni u industriju, počela su nastojanja da se robotska tehnologija iskoristi i za poslove gdje je manuelno izvođenje zadataka opasno, nemoguće ili neprihvatljivo za ljude. U zavisnosti od pojedinačnih zadataka, ovakve mobilne platforme ili manipulatori obično su upotrebljavani u opasnim okruženjima kao što su: prerada nuklearnog goriva, obavljanje opasnih poslova u nuklearnim elektranama, uništavanje eksplozivnih naprava, nadgledanje kanalizacije ili vodovodnih cijevi, itd. Područje servisnih robota bilježi veliku razvojnu brzinu potaknuto eksponencijalnim rastom u računarskim tehnologijama i stvaranjem naprednih materijala, te se može zaključiti da robotika mjenja sliku savremenog društva i predstavlja stratešku tehnologiji koja će promijeniti svijet u ekonomskom i društvenom smislu. Područje servisne robotike usmjereno je prema sektoru javnih službi, koji sve više teži ulaganju u produktivnost, samostalnost, smanjenje radne snage, isplativost, poboljšanju kvalitete života, poboljšanju uvjeta života. Osim toga, potaknuto demografskim izazovima, tj. negativnim prirodnim prirastom – starenjem stanovništva širom svijeta, tržište interaktivne robotike se ubrzano širi u područjima od pružanja pomoći starim i invalidnim osobama do toga da roboti služe kao edukativne platforme za pomoć predavačima u obrazovnim ustanovama.

2. ZASTUPLJENOST SERVISNIH ROBOTA U SVIJETU

Ekonomska komisija za Evropu Ujedinjenih nacija (UNECE) i Internacionalna Federacija za robotiku (IFR) su još 1995. godine usvojili preliminaran sistem za klasifikaciju servisnih robota prema kategorijama i načinima interakcije sa njima, te u skladu s tim servisni roboti su podijeljeni na osobne/kućne robote i robote za profesionalnu upotrebu. Odsjek za statistiku Internacionalne Federacije za robotiku dugi niz godina prikuplja podatke vezane za prodaju i tržišna predviđanja za servisne robote. Ovaj Odsjek svake godine usavršava metode prikupljanja podataka, prati razvoj kompanija koje se bave proizvodnjom i upotrebom robotskih sistema, vrši provjeru vjerodostojnosti dostavljenih podataka, kao i preciznije određivanje servisnih robota prema područjima primjene [1,4]. Prikupljeni podaci o primjeni servisnih robota za profesionalnu upotrebu upućuju na činjenicu da iz godine u godinudolazi do povećanja primjene servisnih robota (slika 1.).



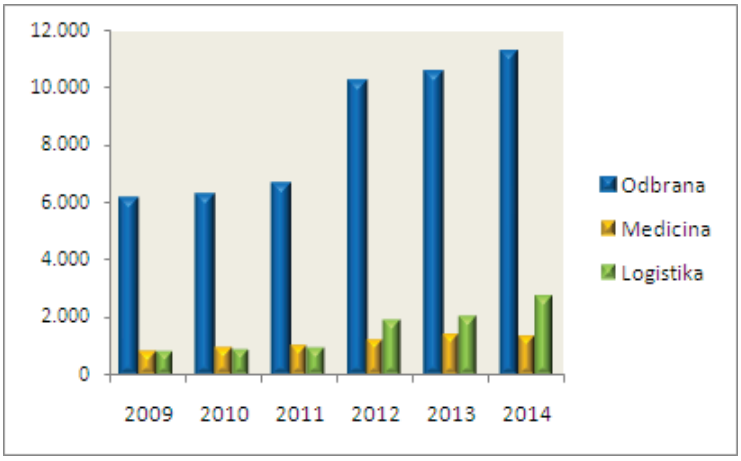
Slika 1. Ukupna primjena servisnih robota za profesionalne usluge

Iako se iz godine u godinu bilježi ukupni rast primjene servisnih robota, u pojedinim područjima primjene kao što su građevinarstvo, profesionalno čišćenje, podvodni sistemi, stagnira ili se čak bilježi pad primjene servisnih robota, dok je uzlazna putanja primjene servisnih robota u stočarstvu, logistici i odbrani mnogo izraženija.



Slika 2. Godišnja primjena servisnih robota u odbrani

Ukoliko analiziramo sliku 2., dolazimo do zaključka da primjena profesionalnih servisnih robota u odbrani bilježi najveći rast iz godine u godinu te da u 2012. godini u odnosu na 2011. godinu dolazi do značajnog porasta primjene odbrambenih robotskih sistema, a što podrazumijeva povećanje od skoro 40%. Osim toga, ako usporedimo ukupnu primjenu profesionalnih servisnih robota sa primjenom servisnih robota u odbrani, dolazimo do zaključka da od ukupnog broja primjenjenih profesionalnih robota u toku jedne godine, na odbrambene sisteme otpada 40 – 45% .



Slika 3. Uporedna analiza primjene servisnih robota u odbrani, medicini i logistici

Ako usporedimo primjenu servisnih robota u odbrani sa servisnim robotima u medicini i logistici (slika 3.), a koji zazuzimaju treće i četvrto mjesto na ljestvici zastupljenosti servisnih robota za profesionalnu upotrebu, možemo zaključiti da je primjena servisnih robota u odbrani daleko ispred primjene u drugim područjima [2,3].

3. PRIMJENA SERVISNIH ROBOTA U ODBRAMBENE SVRHE

Primjena servisnih robota u odbrambene svrhe podrazumijeva robotizirana vozila koja služe za demineriranje minskih polja, zatim bespilotne letjelice i kopnena vozila bez posade.

3. 1. Roboti za demineriranje

Značajna internacionalna istraživanja posvećena su demineriranju uz pomoć robota. Uprkos značajnom napretku u tehnici upravljanja na daljinu, pouzdano uklanjanje mina zavisi od mnogo uslova, zbog čega se pokazalo da su visoka očekivanja ipak bila malo preoptimistična. Oklopne mašine za uklanjanje mina su daljinski kontrolirane i koriste lance, dlijeta i vibracijske uređaje kako bi aktivirali mine. Glodalice za zemlju koriste metalne valjke sa svrdlima kako bi raskopale zakopane objekte. Očito je da ovakve mašine mogu raditi samo na ravnim površinama, bez guste vegetacije, kamenja i stijena. Čitav niz mehaničkih mašina za uklanjanje mina preuzet je ili napravljen od vojnih, oklopnih i nekih komercijalno dostupnuih poljoprivrednih vozila [6].



Slika 4. Robotizirana vozila za demineriranje [7,8]

Američka vojska je korištenjem M160 daljinski kontrolirane mlatilice robota, izgrađenog od strane hrvatske kompanije DOK-ING, u Afganistanu vršila demineriranje minskih polja u mirovnoj misiji [8].

3.2. Letjelice bez posade

Tipična područja primjene letjelica bez posade u odbrambenom sektoru su prvenstveno vršenje izviđanja i obavještavanja, zatim, ove letjelice mogu biti neka vrsta mete ili mamaca za kopnenu i zračnu artiljeriju i na kraju, mogu biti borbena vozila koja obavljaju napade u misijama visokog rizika.



Slika 5. Različiti tipovi bespilotnih letjelica [9,10,12]

U zadnjih nekoliko godina, razvijeni su mnogi ovakvi sistemi i pronašli su svoju primjenu i u vojnom i civilnom sektoru, a veličina ovih letjelica varira od nekoliko centimetara do nekoliko desetina metara.

3.3. Kopnena vozila bez posade

Povećan interes za određene vrste robota i automatiziranih sistema, rezultat je nastojanja da se smanji broj ljudi koji sudjeluju u vojnim akcijama, te da se djelomično umanji rizik kojem se u takvim situacijama izlažu vojnici. Pojava kopnenih vozila bez posade (BKV-a), dovodi do promjene taktike ratovanja kopnenih snaga. Koriste se za prikupljanje informacija o području ispred vojnih redova a opremljeni su različitim naprednim senzorima, termalnim kamerama za djelovanje u uvjetima loše vidljivosti, noćnim kamerama, laserskim daljinometrima i sličnim uređajima za prikupljanje podataka o okolini.



Slika 6. Bezposadna kopnena vozila [12,13,15]

Osim zadataka nadzora i izviđanja, BKV se koriste za držanje položaja, ometanje protivničkih snaga, evakuaciju žrtava i logističku pomoć. U oblasti neborbenih robota, aktivna su istraživanja u oblasti transporta i logistike. Nije samo riječ o vozilima za transport na točkovima ili gusjenicama već i o robotima koji hodaju. Zajednički naziv za ovu oblast istraživanja je: Višenamjenski upotrebljiva vozila za logistiku i opremu (Multifunction Utility/Logistics and Equipment Vehicle - MULE), a riječ je, prije svega, o robotskim bezposadnim vozilima kojima se upravlja sa daljinu. Takva vozila upotrebljiva su za prevoz opreme, municije, goriva, rezervnih dijelova i druge logističke zadatke [1,11].



Slika 7. Različiti MULE sistemi [14,11]

Robotski sistem sa inteligentnim softverom koji sam uči, dobra je zamjena za graničare ili stražare kod izdvojenih objekata. Takvi sistemi već funkcionišu i obavljaju svoju zadaću, a nekoliko „Inteligentnih osmatračkih i stražarskih robota" (Intelligent Surveillance and Guard Robots), bez daljinskog navođenja od 2010. godine obavlja posao patrole i osmatranja u pograničnom pojasu duž granice između dvije Koreje [16].



Slika 8. Robotizirana vozila – graničari

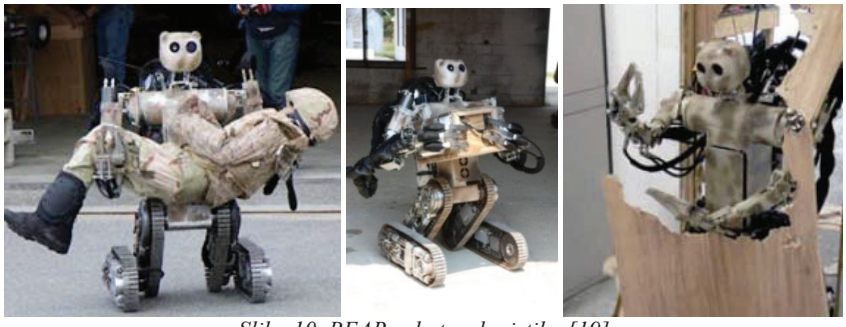
SWORDS - sistem za izviđanje, osmatranje i specijalna oružja je borbeni robot opremljen najsavremenijim naoružanjem. koji posjeduje veoma veliku preciznost što povećava njegovu borbenu efikasnost. Ovo je, verojatno, najopasniji robot u svom rangu kojega je naručila američka vojska za borbene operacije u Iraku. Ovi roboti opremljeni kamerama i oružjem trebali su pomagati vojnicima u urbanim borbama gdje su ljudski gubici najveći [17].



Slika 9. Borbeni robot SWORDS [17]

3.4. Ostali roboti u području obrade

Američke oružane snage ubrzano rade i na razvijanju robota koji bi mogli da se upotrebe u složenim borbenim situacijama za spašavanje ranjenika. Između ostalog, eksperimentiše se sa prototipom hidrauličnog robota koji bi mogao da spašava ranjene vojnike u situacijama u kojima je to previše opasno za ljude.



Slika 10. BEAR robot za logistiku [19]

Operator na bezbednoj udaljenosti kontroliše robota daljinskom komandom, a uz pomoć video kamera i mikrofona može da vidi i čuje šta se događa na licu mjesta. Ovaj robot razvijen je za vojnu industriju, ali zbog svojih mogućnosti može se koristiti i pri izvlačenju povrijeđenih u saobraćajnim nesrećama kao i prirodnim i industrijskim katastrofama [19].
Zanimljivo područje primjene jeste upotreba servisnih robota kao meta prilikom treninga gađanja. Tom se prilikom koristi nekoliko automatiziranih, blindiranih robota postavljenih na Segway Robotic mobilnu platformu (RMP). Ovi roboti izgledaju, kreću se i ponašaju kao stvarne osobe, a mogu se programirati tako da smjer njihovog kretanja bude nepredvidiv, čime se stvaraju realistični uvjeti za vježbe gađanja [18].



Slika 11. Roboti – pametne mete za obuku [18]

Osim značaja robotiziranih sistema u vojne svrhe, na svjetskoj sceni često se vode rasprave o gubitku humanosti i borbi pritiv robota ubica. Ovakve rasprave potaknute su tvrdnjom da su autonomni borbeni sistemi nesposobni za djelovanje u skladu sa međunarodnim zakonima ratovanja. Autonomni roboti neće biti u stanju razlikovati civile od vojnika, nedostaje im ljudsko suosjećanje koje prirodno odvraća ljude od ubijanja. Zagovornici u borbi protiv robota ubica tvrde da roboti mogu biti programirani za korištenje smrtonosne sile samo ako je upotreba u skladu sa zakonom obzirom da robotima nedostaje ljudski nagon prema samoodržanju i kao takvi mogu biti bolji u rješavanju sukoba od vojnika. U ovakvim razmatranjima potpuno autonomna oružja su definirana kao sistemi koji samostalno odlučuju kada i kako borbeno djelovati bez utjecaja čovjeka. Mnoge vojske već koriste autonomne robote ali svi oni još uvijek imaju fazu odlučivanja gdje čovjek mora donijeti krajnju odluku. Ako se krene od činjenice da robot obavlja predprogramirani slijed operacija i kreće se u strukturiranom okruženju a primjer je robotska ruka u industriji automobila, razlika kod autonomnog robota je u tome što djeluje u otvornim i nestrukturiranim okruženjima. Znači, robot je još uvijek pod kontrolom programa, ali sad prima informacije putem svojih senzora koji omogućuju da prilagodi brzinu i smjer svog djelovanja kako je definirano programom. Postoji mnogi primjeri autonomnog robotiziranog oružja koji u konačnici imaju ljudski prst na okidaču [5].

4. ZAKLJUČAK

Razvoj servisnih robota iniciran je željom da se ljudima pruži pomoć u osnovnim područjima njihovog djelovanja, prvenstveno u po čovjeka opasnim, kritičnim i nepristupačnim okruženjima kao i za osiguranje sigugurnosti, udobnosti i zabave za korisnika. Za ostvarivanje ovih ciljeva istraživanje i razvijanje raznih arhitektura servisnih robota dostigle su visok razvojni stepen, a mogućnosti njihove primjene gotovo su neiscrpne. Kada je riječ o primjeni odbrambenih robotskih sistema, može se reći da ovo područje primjene uveliko prednjači u odnosu na primjenu u ostalim područjima ljudskog djelovanja, preko 40% ukupno primjenjenih različitih robotskih sistema su servisni roboti u odbrani. Jedan od razloga za ovakvo stanje zasigurno je zaštititi vojnika od svih opasnosti na različitim ratištima. Drugi razlog razvoja i primjene

servisnih robota u odbrani je smanjiti broj ljudskih jedinica na ratištima. Misija ovih robotskih sistema je pronalaziti, uništavati neprijateljska vozila, jedinice i zauzeti strateške pozicije. Ovi roboti se koriste za deminiranje minskih polja, otkrivanje i deaktiviranje eksplozivnih naprava, kao i za pronalaženje i izvlačenje ranjenika. Sve ovo predstavlja humanu stranu primjene servisnih robota u odbrani i zasigurno je opravdan ovoliki razvoj i primjena robota u odbrambene svrhe. S druge strane postoje i robotski sistemi koji su opremljeni najsavremenijim naoružanjem, i koji su u stanju identificirati naoružane i potencijalno opasne mete, i vrlo precizno mogu djelovati, odnosno upotrijebiti naoružanje i uništiti ih, ali ne treba zaboraviti da vojnik koji upravlja robotskim sistemom putem računara i video veze odlučuje o tome.

5. LITERATURA

[1] I. Karabegović, V. Doleček: Servisni roboti, Društvo za robotiku BiH, 2012, Bihać
[2] World Robotics Service Robots 2011, International Federation of Robotics, 2012
[3] World Robotics Service Robots 2014, International Federation of Robotics, 2015
[4] I. Karabegović, V. Doleček, E. Karabegović, E.Husak: Application of service robots for defensive purposes, Tehnical Faculty Bihać, BiH, TMT 2012, Dubai, UAE
[5] Christof Heyns (2013), Losing Humanity: The Case against Killer Robots
[6] http://cr4.globalspec.com/blogentry/22184/Operation-Eliminate-Landmines
[7] www.mainpump.com/news/corporate/2302.htm
[8] http://www.artileri.org/2013/01/m160-mv-4-kendaraan-as-penghancur-ranjau.html
[9] http://www.nationaldefensemagazine.org/archive/2012/October/Pages/
[10] www.airlineworld.wordpress.com/2007/09/11/solar-powered-unmanned-qinetiq-zephyr-plane-achieves-another-record/
[11] http://www.militaryfactory.com/armor/detail.asp?armor_id=314
[12] www.designation-systems.net/dusrm/app2/q-14.html
[13] www.membrana.ru/particle/12674
[14] www.singularityhub.com/2011/08/12/autonomous-robot-truck-will-debut-in-afghanistan-this-year/
[15] www.gizmag.com/irobot-warrior-700/12624/
[16] www.theguardian.com/science/2010/oct/24/nasa-robots-on-patrol
[17] http://www.sarna.net/news/swords-combat-robot-opens-possibilities-perhaps-not-the-way-youd-expect/
[18] http://www.accurateshooter.com/shooting-skills/robotic-targets-for-live-fire-training/
[19] www.element14.com/community/thread/7358/l/bear-military-robot-to-assist-soldiers-on-the-battlefield

VODE U BIH U 2016. – GODINI APLIKACIJE BIH ZA ČLANSTVO U EU

WATERS IN B&H IN 2016 – THE YEAR OF APLICATION FOR THE MEMBERSHIP IN EU

Tarik Kupusović[1],
[1]Institut za hidrotehniku, d.d. Sarajevo, tarik.kupusovic@heis.ba

---

SAŽETAK:
Bosna i Hercegovina se nalazi među nekoliko zemalja najbogatijim vodama u Evropi – i to pretežno vlastitim vodama, koje s njene teritoriju otiču u susjedne zemlje. Međutim, iskorištenost tog potencijala je na veoma niskom nivou. Izrada Planova upravljanja vodama saglasno EU direktivama je u toku, s fokusom na zaštitu voda i zaštitu od voda. Predlaže se pro-aktivniji pristup, u skladu evropskim trendovima, kojim vode mogu postati „motor", a ne „kočnica" razvoja BiH. Vode kao resurs treba efikasno koristiti za razvoj BiH, posebno u lancu „voda – hrana – energija". Potencijali su ogromni, ali je neophodno reformisati pravni i institucionalni okvir za postupke odlučivanja, uključujući koncesije, javno-privatno partnerstvo i podjelu dobiti i rizika od poduhvata na korištenju prirodnih resursa u BiH.

Ključne riječi: *Vode, Resursi, Potencijali, EU trendovi, Reforme*

ABSTRACT:
Bosnia and Herzegovina is one of the several European countries that are richest in water resources – notably, most of them are own resources, flowing from its territory to the neighbouring countries. However, the level of utilisation of this potential is very low. Development of Water Management Plans in accordance with EU Directives is currently under way, focusing on protection of water resources and flood control. A more proactive approach is being proposed, in compliance with European trends by which waters may become an "engine" of B&H development, and not its "brake". Water as a resource should be used efficiently for the development of B&H, especially in nexus "water-food-energy". Potentials are enormous; however, it is necessary to reform the legal and institutional set-u for decision-making procedures, including concessions, public-private partnership and distribution of benefits and risks of ventures involving use of natural resources.

Key words: *Waters, Resources, Potentials, EU trends, Reforms*

---

1. UVOD

Kao što je poznato, upravljanje vodama je djelovanje političkih, društvenih, ekonomskih i administrativnih sistema s ciljem održivog razvoja korištenja vodnih resursa. Ima tehničke aspekte korištenja voda, zaštite voda i zaštita od voda, te pravni, institucionalni i ekonomski aspekt. I u svijetu, i u EU se konsoliduju znanja i do sada urađeno u sektoru voda, te nastoji „ugrađivati" vode u održivi razvoj. Za 2015. je moto obilježavanja 22. marta - Svjetskog dana voda bio „Voda i održivi razvoj", dok je za 2016. godinu to „Voda i zapošljavanje" [1].
Bosna i Hercegovina se nalazi među nekoliko zemalja najbogatijim vodama u Evropi – i to pretežno vlastitim vodama, koje s njene teritoriju otiču u susjedne zemlje ili Jadransko more.

Međutim, iskorištenost tog vodnog potencijala, zaštita kvaliteta voda, kao i zaštita od štetnog djelovanja voda je na veoma niskom nivou – i u odnosu na susjede, a pogotovu prosjek evropskih zemalja.
Stvarni problemi u BiH su u primjeni setova vodnih, okolišnih, koncesionih i s njima povezanih drugih zakona, donesenih kroz međunarodne projekte još prije 10-ak i više godina! Poseban je problem u donošenju harmoniziranih podzakonskih akata i njihovoj realnoj i učinkovitoj provedbi. Nadležnosti za pojedine aspekte i segmente upravljanja vodama podijeljene su između svih 5 nivoa vlasti i više ministarstava i agencija, pa realno prečesto dolazi do preplitanja nadležnosti, kompliciranja procedura, kako za građane i lokalne samouprave, tako posebno za investitore. Procedure postaju izrazito neefikasne, predugo traju i često se nepotrebno odugovlače, sa očitim prostorom za korupciju.
Mehanizmi koordinacije su komplicirani i slabi, kako unutar zemlje, tako posebno sa susjedima. Poseban problem je u tome što niko u javnoj upravi i administraciji nije zadužen, a pogotovo nije motiviran i odgovoran, da promoviše upotrebu voda u ekonomske i razvojne svrhe (čast nekim lokalnim zajednicama). Brojni „štite" resurse, a najviše vode, od onih koji bi ih „upropastili" ili „zloupotrijebili"! Istovremeno, korita i posebno obale vodotoka prepune su čvrstog otpada, posebno najlon kesa i druge plastike. U mnogim naši gradovima, kao na primjer Sarajevu ili Tuzli, gradski vodotoci su ljeti više fekalni otvoreni kanali, nego prirodni vodotoci. Mnogi, kako nevladine organizacije i akademska i naučna zajednica, tako i vladini organi, zagovaraju da se prirodni resursi moraju ostaviti budućim generacijama. Naravno, budućim generacijama se mora omogućiti da uspješno zadovoljavaju svoje potrebe, ali:

- Budućih generacija prvo mora uopće biti u BiH, a ne da odsele van BiH, jer se u BiH ne mogu ostvariti njihove ambicije za bolji život, kao što je to tendencija već dugo vremena;
- Obnovljivi resursi, kao što je voda, nepovratno odlaze ako se ne koriste; znači, s vodom neprestano otiču i mogućnosti pretvaranja prirodnog kapitala u poslovni i društveni [2].

Ako se neka ruda, kao neobnovljiv resurs ne kopa, ona ostaje tu gdje jeste, pa se, u slučaju potrebe i povoljnih tržišnih okolnosti, te odluke, uvijek može aktivirati njena eksploatacija. Isto tako, napušteno, ili iz bilo kojeg razloga neobrađeno poljoprivredno zemljište, vrlo brzo se može ponovo koristiti. Međutim, voda koja je otekla, ne može se vratiti. S njom su „otekli" i potencijalni novci koje je mogla donijeti. Znači, dok se voda ne koristi, novci u stvari neprestano „cure", odlaze u nepovrat.
Održivo korištenje vodnih resursa za razne privredne namjene, naročito okolišno prihvatljiva izgradnja i korištenje hidro-energetskih postrojenja i zahvatanja voda za navodnjavanje, industriju, turizam i drugo nije samo ekonomsko pitanje, nego može imati i dalekosežne pozitivne socijalne i okolišne reperkusije (ugodniji ambijent za življenje i rekreaciju, prevencija i smanjenje rizika od poplava i suša, prilagođavanje i ublažavanje ljudskih uticaja na klimatske promjene,...). Korištenje vodotoka kao recipijenata neprečišćenih otpadnih voda i za bacanje čvrstog otpada je najprimitivnije korištenje voda; one uvijek imaju izvjesnu moć prirodnog samopročišćavanja, ali je ona već odavno, na mnogim mjestima, prekomjerno premašena! Bez korištenja voda u privredne svrhe, nikada se neće steći uvjeti za efektivnu zaštitu voda.
Upravljanje vodnim i energijskim resursima u tandemu, uz odgovarajuće upotrebe voda u svim drugim sektorima, nudi važne društvene, ekonomske i okolišne dobiti. Integralno upravljanje vodama i energijom, planiranje, izgradnja i upravljanje potrebnim infrastrukturnim sistemima, uz podjelu rizika i dobiti, to je epohalni izazov, s kojim se ova generacija mora suočiti. Tako ide svijet, EU i regija, za takav pristup nas stalno ohrabruju i Evropska komisija i razni investitori, pa će tako jednog dana sigurno krenuti i BiH. Ali, kada i koliko brzo, odgovornost je prije svega na domaćim političkim faktorima, ali i na inteligenciji, posebno tehničkoj inteligenciji!
Karakterizacijski izvještaj i Nacrt Plana upravljanja vodnim područjem Jadranskog mora u FBiH su završeni i još prije nekoliko mjeseci objavljeni [3]; sa 31.12.2015. je završeno učešće javnosti i

može se očekivati daljnja zakonska procedura njegovog usvajanja. Međutim, izrada Izvještaja i Planova za Sliv Save u oba Entiteta i Brčko Distrikt, za sliv Trebišnjice i Neretve u RS, te krovni – sintezni Izvještaj i Plan za BiH je tek u nekoj radnoj fazi i u velikom zakašnjenju. U RS je čak još, odnosno tek, u toku javna rasprava o „Strategiji integralnog upravljanja vodama Republike Srpske 2015-2024", koja je započeta još 2012. godine! Analogan dokument za period 2010-2022. godine je u Federaciji BiH usvojen još 2011. godine.
Budući Planovi mjera i Planovi upravljanja, te posebno Plan prioritetnih mjera za njihovo provođenje morali bi njegovati integralni i proaktivni pristup, kako bi održivo korištenje vodnih resursa u BiH postalo „motor", a ne „kočnica" razvoja BiH. Sva značajna pitanja upravljanja vodama trebala bi biti obrađena ponaosob za svaki od Entiteta i Brčko Distrikt, a u okviru toga bi to trebalo uraditi integralno i po svih 7 velikih pod-slivova sliva rijeke Save i Jadranskog mora u BiH.
Planovi upravljanja vodama ne smiju biti samo „Planovi zaštite voda". Zaštita voda po sebi jako mnogo košta, ali izgradnju i pogon postrojenja za prečišćavanje, prije svega komunalnih otpadnih voda, građani nemaju čime platiti; jedino je za privatizovane industrije to donekle moguće i implementirano. Planovi moraju biti zaista „Integralni planovi upravljanja vodama" za njihovo održivo korištenje i uopće održivi razvoj! To ne da nije suprotno Okvirnoj direktivi o vodama EU, nego je upravo njena intencija. Zaštiti voda se ozbiljnije i pristupilo tek kada je korištenje voda postalo ograničavajući faktor općeg društveno - ekonomskog razvoja, zbog velikog pada njihovog kvaliteta. BiH ima šansu za razvoj upravo kroz održivo korištenje i zaštitu voda te zaštitu od voda!

2. VODA KAO RESURS KOJI TREBA EFIKASNO KORISTITI ZA RAZVOJ U BIH

Imperativ resursne efikasnosti je danas globalni, posebno evropski prioritet, npr. [4, 5, 6]. U prošlom stoljeću, kompanije i vlade su mogle planirati razvoj na pretpostavci da su vodni resursi praktično neograničeni, da su praktično besplatni, ili im je cijena veoma niska, te da recipijenti mogu apsorbovati otpadne vode sa malim ili nikakvim negativnim uticajem. To je vodilo poslovnoj kulturi u kojoj se mala pažnja posvećivala resursnoj efikasnosti i otpadnim vodama. Urgentna potreba da se čovječanstvo suoči sa klimatskim promjenama, dovodi do potrebe hitnog unaprjeđenja efikasnog upravljanja vodama, energijom i drugim resursima.
Posljednjih godina, nakon sve češćih događanja sve većih prirodnih i drugih katastrofa, te Konferencije o klimatskim promjenama u Parizu posljednjeg decembra, sve vlade i kompanije, kao i nevladine organizacije i pojedinci moraju postati svjesni potrebe unaprjeđenja efikasnosti korištenja resursa. To postaje pokretač za održivi ekonomski razvoj, poboljšavajući blagostanje i zdravlje stanovništva, povećavajući sigurnost i kvalitet ambijenta življenja, društvenu koheziju i političku stabilnost.
Niz projekata u BiH u sektoru voda ili povezanih s njim, danas provode, u potpunosti ili djelomično finansiraju ili kreditiraju, a svakako neposredno prate mnoge međunarodne finansijske, političke i druge organizacije. One podržavaju, očekuju i traže dobro orijentisane, visoko-kvalitetne i efikasne reformske mjere i projekte, koji će stabilizirati BiH društvo i dovesti do njegovog održivog razvoja. A građani BiH - moraju postati svjesni toga, jer je to jedini put za izlazak iz beznađa i latergije, te masovnog siromaštva. A drugi put – to je odlazak, negdje, ako se može i ima više gdje!
Ciljeve, politike, uključujući propise i reforme, te direktno projekte, mora ipak osmisliti BiH inteligencija. Mora ih formulisati harmonizirano s općim EU ciljevima i svjetskim trendovima, pri tome naravno nadograđujući vlastita znanja i pozitivnu tradiciju, usku saradnju i koordinaciju, te štiteći vlastite interese.
Prioriterizacija ciljeva efikasnijeg korištenja voda u BiH morala bi uključiti:

1. Mapiranje resursno intenzivnih sektora i procesa, identificirajući tržišni potencijal za optimizaciju korištenja voda po sektorima (vodosnabdijevanje stanovništva i industrije, navodnjavanje, hidroenergetika, turizam ...);
2. Identificiranje barijera za tržišni prodor vodno-efikasnih tehnologija, uključujući priuštivost, lokalne prilike, izvozno – uvozne potencijale i karakteristike, te podizanje javne svijesti i znanja o pozitivnim praksama u susjedstvu i regionu;
3. Kritički pregled međunarodnih dobrih praksi i podsticajnih instrumenata uklanjanja barijera za efikasno korištenje voda;
4. Uspostavljanje dinamične baze podataka globalno najboljih praksi i informacija o vodnoj efikasnosti, uključujući načine i stepene finansiranja, te projektnu dokumentaciju;
5. Identificiranje nedostataka i prepreka za efikasno korištenje voda, te preporuke za njihovo brzo prevazilaženje u BiH;
6. Identificiranje prioriteta za povećavanje otpornosti na klimatske promjene u ključnim sektorima i industrijama, te integrisanje ovih mjera (i strukturnih, i nestrukturnih) u politiku i planiranje investicija; te
7. Planiranje i provođenje monitoringa uspješnosti reformskih aktivnosti i njihovog uticaja na investicije, stanje u društvu, te informisanje i mobilisanje svih aktera društva radi pro-aktivnog učešća u poboljšavanju stanja.

3. LANAC „VODA – HRANA - ENERGIJA" U SVIJETU, EU I BIH

"Let us strive to connect the dots among water, energy, food, gender, global health and climate change so that solutions to one can become solutions to all«
(Ban Ki-moon, 7.7.2011, Launch of MDG Report)
("Usmjerimo se na povezivanje vode, energije, hrane, jednakosti polova, globalnog zdravlja i klimatskih promjena, tako da rješenja za jednu osobu mogu postati rješenja za sve")

Integralno upravljanje prirodnim resursima postaje u svijetu sve veća obaveza i odgovornost. Globalni okolišni izazovi i porast populacije s rastućim prihodima, te porast potreba za mnoštvom dobara i usluga, predstavlja dodatni pritisak na sve zemaljske fizičke sisteme, uključujući i obnovljive resurse i njihove kapacitete prihvata ljudskih uticaja [7]. Uticaj je najveći na najnerazvijenije zemlje i u njima na najranjivije grupe, koje nisu u stanju izaći na kraj sa nestašicama osnovnih resursa, pomenutih gore u citatu iz obraćanja Generalnog Sekretara UN-a, Ban Ki-Muna.

Prema aktuelnim proračunima i procjenama, ljudske potrebe za vodom će do 2030. porasti za 30 do 40%, za energijom 40 do 50% i za hranom 35 do 50% [8]. Dodatno, dešavat će se značajan pritisak na svjetski društveno-ekološki sistem, pri čemu su moguće još veće političke nestabilnosti i lokalni ratovi. U isto vrijeme, tehnološki progres još nije dovoljan da „razveže" potrošnju prirodnih resursa i ekonomskog rasta – tzv. „cirkularna", ili „kružna", ili „zelena" ekonomija, u kojoj se neobnovljivi resursi više ne troše, a obnovljivi samo u mjeri samo-obnavljanja, veoma je ambiciozan i plemenit cilj, ali sigurno još uvijek daleko [9].

Za razliku od dosta dobro, stručno i naučno postavjenih i uspostavljenih pristupa integralnom upravljanju nekim resursom, kao npr. vodama – ranije kroz vodoprivredne osnove, a danas kroz Planove (integralnog) upravljanja; ili prostorom, kroz prostorne planove raznih nivoa i obuhvata, ideja pristupa „nexusa", ili lanca nije da prioritizira jedan resurs, nego da razmotri različite dimenzije vode, energije i zemljišta (odnosno hrane), ravnopravno i u njihovim međusobnim dinamičnim međuzavisnostima [8]. Ovdje bi se mogle i trebale dodati i šume, jer su u BiH te interakcije posebno izražene, ali i neriješene (zaštitne zone izvorišta vode za piće, smanjenje koeficijenata oticanja za smanjenje rizika od poplava, produkcija nanosa itd.).

Pristup „lanca" je pokušati unaprijed uzeti u obzir potencijalne kompromise (balansiranja) i sinergiju (kada je cjelina nešto više i drugačije od prostog zbira dijelova), radi upravljanja resursima, koje je optimalno u cjelini za različite sektore[8]. Pristup lanca se znači najbolje može definisati kao analitički pristup za iznalaženje optimalnih rješenja, baziran na integralnoj procjeni odgovarajućih izazova i mogućnosti. Imajući ovo kao cilj, lanac upravljanja vodama, energijom i zemljištem (uključujući proizvodnju hrane) treba da sistematski razradi među-sektorske efekte sektorskih politika. Takav pristup će onda podržavati tranziciju prema održivosti, smanjujući negativne uticaje jednog sektora na drugi, a generirajući dodatne benefite kroz jaču među-sektorsku saradnju.
Naravno, moraju se očekivati početni otpori različitih grupa i sektora, kojima se čini da gube neke privilegije. Možda privremeno i gube, možda neke i treba da izgube, ali već za neko kratko vrijeme, a pogotovu dugoročno – na 10 ili 20 godina, svi dobivaju!
Prema Deklaraciji o Milenijumskim razvojnim ciljevima, cilj pristupa „lanca" je da svim ljudima omogući adekvatan pristup krucijalnim resursima za razvoj i poboljšavanje ljudskog blagostanja: sigurnoj i zdravoj hrani i vodi, te pouzdanim izvorima energije [10]. Ali, da bi se ovo ostvarilo, nije dovoljno samo razmatrati među-zavisnosti navedenih sektora. Svi su oni „usađeni" u širi društveni i tržišni ambijent, uključujući migracijske i populacijske trendove, postojeće i neizbježne klimatske promjene, te lokalnu i regionalnu tehnološku, kulturološku i političku situaciju.
Dakle, izazov i zadatak za BiH inteligenciju je izrazito kompleksan i težak – ali, što rekao naš veliki pjesnik, s jedne od naših novčanica: „Valja nama preko rijeke"!

4. HIDROENERGIJA

Svjetski i evropski trendovi pokazuju da je u postojećim i budućim klimatskim promjenama hidroenergiju moguće učiniti dvostrukim dobitkom za društvo, okoliš i ekonomiju. U razvijenim zemljama i tržištima Evrope i Sjeverne Amerike, pokretači su veća povezanost i rastuća uloga hidroenergije kao fasilitatora energetskog mixa. Donosioci odluka i cijelo društvo se moraju senzibilizirati sa procesima i donositi transparentnije i, posebno za investitore, predvidljive odluke, da bi se omogućila najbolja rješenja za sve [11].
Norveška se često naziva „zelena baterija" Evrope, jer ima daleko najviše instalisanih kapaciteta – gotovo 29.000 MW. U toku je polaganje podmorskog kabla za izvoz struje u Veliku Britaniju i Njemačku, a za Dansku već postoji. Po hidro-energetskim instalacijama, slijede Francuska sa 18,000 MW, Švedska sa 16.000, Italija i Švicarska po 14.000, Španija 13.000, Austria 8.000 MW, itd. Bosna i Hercegovina je u Evropi 17. sa 2.150 MW, odmah iza Bugarske i Srbije sa po 2.200 MW, a ispred Hrvatske, koja ima 1.850 MW instaliranih hidro-energetskih kapaciteta. U ovo nisu uračunate snage pumpno-reverzibilnih hidroelektrana, čiji je razvoj upravo u Evropi najdinamičniji, sa 8.600 MW kapaciteta u završnom planiranju i izgradnji, uključujući 2.500 MW samo u švicarskim Alpama [11].
Hidroenergija daje klimatske usluge, posebno ako ima akumulaciju vode. Osim karbonske uštede kada zamjenjuje upotrebu fosilnih goriva, navodnjavanje bitno povećava sigurnost proizvodnje hrane, a kod velikih voda, akumulacija smanjuje ekstremno velike proticaje. Naravno, neophodno je provesti pažljive hidrološke analize i razviti planove upravljanja akumulacijama, odnosno riječnim bazenima, sve u svijetlu očekivanih klimatskih promjena, jer se akumulacije grade da traju najmanje 50, 100 ili 200 i više godina [12].
Mada su fosilna goriva još uvijek dominantna, uloga obnovljivih izvora energije i energetskog mixa ubrzano raste. Međutim, često nepredvidljiva varijabilnost mogućnosti proizvodnje solarne i vjetro-energije povećava ulogu hidro-energije, naročito pumpno-reverzibilne, čiji su kapaciteti u Evropi već dostigli 50.000 MW, u odnosu na 166.000 MW konvencionalnih hidroelektrana [11].
Jedna svježa makroekonomska studija hidroenergije u Evropi pokazuje da direktne i indirektne koristi 28 EU zemalja članica, te Norveške, Švicarske i Turske iznose oko 28 milijardi Eura godišnje, od čega su porezi i doprinosi 15 milijardi, daleko premašujući podsticaje za male

hidroelektrane. Predviđanja za 2030. godinu su 75 do 90 milijardi Eura [11]! Uz obnovu i modernizaciju postojećih hidroelektrana, te njihovu konverziju na pumpno-reverzibilne, EU poseban fokus stavlja na zemlje u razvoju Jugo-istočne Evrope, gdje je iskorištenost ovog potencijala, za razliku od razvijenih zemalja, veoma niska.
Posebno mjesto tu zauzima BiH, gdje je hidro-energetsko korištenje voda među najnižim u Evropi! U cijeloj jugoistočnoj Evropi, od Slovačke i Slovenije, do Makedonije i Grčke, prema nedavnoj studiji Njemačkog ministarstva okoliša i energije, najveći hidro-energetski potencijal ima Rumunija (35.000 GWh/g), pa onda Bosna i Hercegovina (24.000 GWh/g). Međutim, dok je u Rumuniji iskorištenost potencijala 48%, u nas je procijenjena na svega 19% [13]! Neki drugi izračuni daju nešto veće procente, zavisno od realne mogućnosti gradnje i potapanja nekih naselja i plodnog zemljišta, ali je to još najviše 35% [14]. A ne treba zaboraviti da BiH ima najveći spoljno-trgovinski deficit upravo na uvozu energije – nafte i plina!
U BiH je do sada izgrađeno 15 velikih i nekoliko desetina malih hidroelektrana, ukupne snage, kao što je već navedeno, oko 2.150 MW. Značajni potencijali postoje u:

- Gornjoj, Srednjoj i Donjoj Drini;
- Uni, Vrbasu i Bosni, sa pritokama;
- Neretvi i Gornjim horizontima Trebišnjice, te Cetine; kao i
- nizu manjih vodotoka, za manje i male hidroelektrane.

Dakle, sigurno je da će se u BiH hidroelektrane graditi, samo je pitanje kada i kako. Ko će imati stvarne koristi, a ko štete? Kakva je, ili kakva će biti uloga lokalnih zajednica, kakve će biti ekonomske, a kakve okolišne, uključujući ekološke reperkusije? Samo korištenje hidroelektrana ne zapošljava mnogo ljudi, ali njihova izgradnja je dugotrajna, sa mnogo klasičnih građevinskih radova. Da bi se napravilo 20 ili 30 većih hidroelektrana, potrebno je sigurno 30 ili 40 godina, kada će BiH, ali i svijet sigurno ulaziti u nove cikluse razvoja, koje danas nije moguće ni naslutiti. Ali potrebe za vodom, hranom i energijom sigurno ostaju i postaju sve veće!
Međutim, svi ozbiljni planovi gradnje stari su 25 i više godina, od kada ništa ozbiljno u BiH nije ni napravljeno. Od tada se u BiH mnogo toga promijenilo, a promijenilo se i u svijetu. Zato je potrebno:

- Na novim, okolišno i društveno prihvatljivim osnovama, aktuelizirati sve ranije planove hidro-energetskog iskorištavanja voda u BiH, uz integralan i višenamjenski pristup korištenja voda;
- Senzibilizirati aktere odlučivanja i javnost na svim nivoima o potencijalima korištenja voda za razne namjene, te
- Unaprijediti pravni i institucionalni okvir za postupak odlučivanja, uključujući koncesije, javno-privatno partnerstvo i podjelu dobiti i rizika od poduhvata na korištenju prirodnih resursa u BiH.

5. ZAKLJUČAK

Bosna i Hercegovina se nalazi među nekoliko zemalja najbogatijim vodama u Evropi – i to pretežno vlastitim vodama, koje s njene teritorije uglavnom neiskorištene otiču u susjedne zemlje ili Jadransko more. Šansa je u lancu hidro-energije, navodnjavanja i drugih korištenja voda, upravljanja rizicima od poplava i okolišno prihvatljive održivosti. Potrebno je senzibilizirati aktere odlučivanja i uopće javnost o potencijalima korištenja voda za razne namjene, te unaprijediti pravni i institucionalni okvir za podjelu dobiti i rizika od poduhvata na korištenju prirodnih resursa u BiH.

6. LITERATURA

[1] http://www.unwater.org/worldwaterday/about/en/
[2] Kupusović, T., Vučijak, B. *„VODA, ENERGIJA I HRANA – KLJUČNA ŠANSA BiH ZA IZLAZAK IZ KRIZE", NT-2015*, Zbornik radova, 295-304.
[3] http://www.jadran.ba
[4] http://ec.europa.eu/environment/resource_efficiency/
[5] http://www.unep.org/resourceefficiency/
[6] http://www.ebrd.com/what-we-do/sectors/legal-reform/energy-and-resource-efficiency.html
[7] https://ec.europa.eu/europeaid/erd-2011-2012-confronting-scarcity-managing-water-energy-and-land-inclusive-and-sustainable-grow
[8] http://www.fao.org/nr/water/docs/FAO_nexus_concept.pdf
[9] http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.htm
[10]https://ec.europa.eu/europeaid/erd-2011-2012-confronting-scarcity-managing-water-energy-and-land-inclusive-and-sustainable-grow
[11] https://www.hydropower.org/2015-hydropower-status-report
[12] http://www.icold-cigb.org/GB/World_register/general_synthesis.asp
[13]http://www.gwp.org/en/GWP-Mediterranean/gwp-in-action1/News-List-Page/International-Roundtable-on-Water-and-Energy-Nexus-in-transboundary-basins-in-SEE-/
[14] Šehović, H.: „Aktuelno stanje energetskog sektora u BiH/FBiH i mogućnosti razvoja, Međunarodni stručni skup Energa, Tuzla, 22. ÷ 24.06.2011.

FITOREMEDIJACIJA: NOVI PRISTUP ODRŽIVE REMEDIJACIJE I KORIŠTENJA ODLAGALIŠTA ŠLJAKE I PEPELA

PHYYTOREMEDIATION: A NOVEL APPROACH FOR SUSTAINABLE REMEDIATION AND UTILIZATION OF COAL ASH DISPOSAL SITES

Abdel Đozić[1], Vahida Selimbašić[1], Franc Andrejaš[1], Vedran Stuhli[1],
Nedim Hodžić[2], Irma Nuhbegović[3]
[1]Univerzitet u Tuzli, Tehnološki fakultet, Univerzitetska 8., abdel.dozic@untz.ba
[2]MC-Bauchemie, 46238 Bottrop, Germany., Nedim.Hodzic@mc-bauchemie.com
[3]Udruženje za zaštitu prirode i okoline „Aeris Aqua Terra" Titova bb-Dom kulture
aat.udruzenje@gmail.com

SAŽETAK:

U radu su prikazani rezultati istraživanja mogućnosti primjene fitoremedijacijskih tehnika u održivoj remedijaciji i korištenju odlagališta šljake i pepela. U šljaki i pepelu prisutni su oksidi SiO_2, Al_2O_3 i Fe_2O_3 ali i teški metali, navedene tvari pod određenim uslovima mogu uticati na promjenu hemijskog i biohemijskog sastava biljaka koje rastu na odlagalištima šljake i pepela što može dovesti do usvajanja teških metala od strane pojedinih biljnih vrsta, odnosno do njihovog ulaska u lanac ishrane. Uvažavajući činjenicu da će u narednom periodu biti izgrađena nova termoenergetska postrojenje i da je remedijacija postojećih odlagališta šljake i pepela u Bosni i Hercegovini izvršena nanošenjem pokrivnog sloja pijeska uz sadnju biljnih kultura koje nisu pokazale zadovoljavajuće rezultate, naučni pristup utemeljen na eksperimentalnim istraživanjima potrebno je provesti za svako pojedinačno odlagalište. Elementarna analiza šljake i pepela urađena je metodom Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence, deponovana šljaka i pepeo sadrži okside koji se smanjuju slijedećim redoslijedom: $SiO_2 > Al_2O_3 > Fe_2O_3 > CaO > MgO > SO_3 > MnO > NiO > Na_2O > Cr_2O_3 > P_2O_5 > V_2O_5 > SrO > ZnO > CuO > ZrO_2 > Rb_2O > CoO > PbO > As_2O_3 > CdO$ zbog visoke pH vrijednosti šljake i pepela prisutni teški metali nisu mobilni što smanjuje mogućnost njihovog ulaska u lanac ishrane.

Ključne riječi: *fitoremedijacija, šljaka i pepeo, odlagališta, okolina, teški metali, lanac ishrane*

ABSTRACT:

The paper presents the results of the research of possibilities application phytoremediation techniques in sustainable remediation of coal ash disposal sites. The coal ash contains SiO_2, Al_2O_3 and Fe_2O_3 as well as heavy metals, these oxides are changing chemical and biochemical composition of plants that grow in landfills, which can lead to the adoption of heavy metals by the individual plant species, or until they enter the food chain. Considering the fact that in the future will be built a new thermal power plant and the remediation of the existing coal ash disposal sites in Bosnia and Herzegovina was performed by applying a cover layer of sand with planting crops that did not show satisfactory results. Elementary analysis of coal ash carried by the method Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence deposited coal ash contains oxides which are reduced in the following order: $SiO_2 > Al_2O_3 > Fe_2O_3 > CaO > MgO > SO_3 > MnO > NiO > Na_2O > Cr_2O_3 > P_2O_5 > V_2O_5 > SrO > ZnO > CuO > ZrO_2 > Rb_2O > CoO > PbO > As_2O_3 > CdO$ due to the high pH value of

the slag and ash present heavy metals are not mobile, which reduces the possibility of entry into the food chain.

Keywords: *phytoremediation, environment, coal ash, disposal site, heavy metals, food chain*

---

1. UVOD

Konvencionalne tehnologije koje se primjenjuju u remedijaciji tehnogenih zemljišta općenito se mogu podijeliti na fizičke i hemijske procese stabilizacije. Fizička stabilizacija podrazumjeva nanošenje pokrivnog sloja od materijala kao što je pijesak, šljunak ili kombinacija pijeska i humusa. Odlagališta šljake i pepela širom svijeta prepoznata su kao glavna prijetnja okolini koja ih okružuje [1]. Fizičko hemijske i mineraloške osobine deponovanog materijala (šljaka, pepeo i elektrofilterski pepeo) zavise od vrste i porijekla uglja, načina sagorijevanja, vrste uređaja za prečišćavanje otpadnih tokova, skladištenja i manipulacije uglja [2]. U šljaci i pepelu prisutni su oksidi SiO_2, Al_2O_3 i Fe_2O_3 kao i teški metali, navedeni oksidi mijenjaju hemijski i biohemijski sastav biljaka koje rastu na odlagalištima šljake i pepela [3]. Navedene izmjene mogu dovesti do usvajanja teških metala od strane pojedinih biljnih vrsta, odnosno do njihovog ulaska u lanac ishrane. Kao takvo, odlagalište šljake i pepela nije podloga za rast biljaka osim ukoliko se ne preduzmu mjere fitoremedijacije, odnosno, dodaju one komponente koje će omogućiti rast biljaka koje su temelj za razvoj održivog ekosistema [4]. U posljednje vrijeme akcenat se stavlja na istraživanje upotrebe autohtonih vrsta koje rastu u neposrednom okruženju odlagališta ili vrsta koje uspjevaju na tlu siromašnom hranivim tvarima, u laboratorijskim uslovima vrši se ispitivanje i do 50 biljnih vrsta istovremeno [6,7,8,9]. Osim biljaka, organizmi koji učestvuju u fitoremedijaciji su biljkama pridruženi mikrobi, te ponekad gljivice, mikroorganizmi koji se nalaze kao simbiotski organizmi na korijenskom sistemu biljaka su ključne za proces fitoremedijacije. Dakle, fitoremedijacija je biotehnološka metoda primjene biljaka koje ekstrahuju teške metale iz zemljišta, stimulišu degradaciju organskih zagađujućih materija ili ih stabilizuju [5]. Cilj ovog rada je utvrđivanje kvalitete šljake i pepela sa odlagališta Divkovići II u pogledu pedoloških osobina, kao i definisanje prijedloga mjera fitoremedijacije u cilju održive remedijacije odlagališta i njegovog mogućeg korištenja u budućnosti.

2. ODRŽIVA REMEDIJACIJA I KORIŠTENJE ODLAGALIŠTA ŠLJAKE I PEPELA

Za odlaganje šljake i pepela na području općine Tuzla koriste se odlagališta nastala pregrađivanjem prirodnih kotlina nasutim branama ili napuštenih površinskih ugljenokopa. Za odlaganje se koristilo pet odlagališta: Plane, Drežnik, Divkovići I i Divkovići II na koje je odloženo oko 40 miliona m^3 šljake i pepela. Zbog svoje zrnaste strukture, pepeo sa odlagališta lahko se pod uticajem vjetra podiže i kao takav predstavlja dominantan izvor lebdećih čestica i taložnog praha. Tokom vremena površinski sloj postaje tvrđi i onemogućava dalje podizanje pepela, međutim, uslijed djelovanja vode (oborinske) površinski sloj postaje mekan i isušuje se, čime ponovo postaje podložan uticaju vjetra. Upravo, raznošenje pepela putem vjetra predstavlja glavni izvor narušavanja kvalitete zraka naseljenih mjesta u blizini odlagališta šljake i pepela i negodovanja lokalnog stanovništva. Takođe, voda koja nakon što se šljaka i pepeo istaloži ima visoku pH vrijednost a prema podacima objavljenim pH ove vode je 11,6 do 12,1 dok je granična vrijednost na osnovu Uredbe o uslovima ispuštanja otpadnih voda u prirodne recipijente i sisteme javne kanalizacije ("Službene novine Federacije Bosne i Hercegovine", broj 4/12) od 6.5-9 za ispust u površinska vodna tijela [10].

2.1. Fitoremedijacijski postupci u tretmanu onečišćenog tla

U zavisnosti od vrste i količine onečišćujuće tvari, mjestu onečišćenja i vrsti biljne vrste koja će se koristiti razvijeni su slijedeći fitoremedijacijski postupci tretmana tla: fitostabilizacija, fitofiltracija, fitovolatizacija, fitoekstrakcija, fitotransformacija i fitostimulacija.

2.1.1. Fitostabilizacija, fitofiltracija i fitovolatizacija

Fitostabilizacija koristi određene biljke kako bi imobilizirala onečišćujuću tvar u tlu. Takve biljke svojim korijenskim sistemom vrše absorpciju i akumulaciju metala, adsorpciju u korijenski sistem ili precipitaciju u zoni korijenja te fizičku stabilizaciju tla. Ovim procesom smanjuje se mobilnost kontaminanta i sprječava njegova migracija u podzemne vode ili u zrak. Ovakav postupak omogućuje obnovu prvobitnog vegetativnog pokrova tla na mjestima gdje je zbog prisutnosti visokih koncentracija metala prirodna vegetacija nestala. Za razliku od ostalih metoda fitoremedijacije, fitostabilizacijom se teški metali ne uklanjaju s mjesta onečišćenja već se stabiliziraju akumulacijom u korijenju ili precipitacijom unutar korijenske zone smanjujući tako rizik za zdravlje ljudi i okoliš. Primjenjiva je u uslovima kada se količina polutanata u okolini treba dovesti ispod graničnih vrijednosti. U odnosu na ostale tehnike fitoremedijacije ova tehnika ima prednost jer je jeftinija i lakša za provođenje Karakteristike biljaka koje se koriste u fitostabilizaciji uključuju: tolerantnost na visoke koncentracije polutanata kojeg se želi stabilizirati, visoka produkcija korijenske biomase koja je sposobna imobilizirati polutant apsorbcijom, precipitacijom ili redukcijom i sposobnost zadržavanja polutanata u korijenu. Fitofiltracija je metoda remedijacije onečišćenog tla kojom se korijenski sistem biljaka (rizosfera) koristi kako bi se absorbirao ili adsorbirao kontaminant (većinom teški metali) iz vode ili iz otpadnih voda. Korijenje takvih biljaka koje rastu u aeriranom vodenom stupcu vrši precipitaciju i koncentrira toksični metal iz onečišćenog efluenta. Mehanizmi kojima se provodi obnova su ionska izmjena, mikroprecipitacija, stvaranje kompleksa, površinska adsorpcija i sl. U rizofiltraciji se koriste kopnene, a ne vodene biljke, jer one tvore znatno duži sistem korijenja sa dobro razvijenim korijenskim dlačicama koje imaju iznimno veliku površinu. Korijenske izlučevine i promjene u pH rizosfere mogu pridonijeti precipitaciji metala na površinu korijena, a kako postepeno postaju saturirani metalima korijenje ili cijela biljka se uklanjaju i odlažu na deponije opasnog otpada Biljke korištene u fitofiltraciji trebale bi moći akumulirati i tolerirati visoke koncentracije ciljanog metala te uz to biti pogodne za manipulaciju, imati niske troškove održavanja i minimalnu količinu sekundarnog otpada. Također je poželjno da produciraju značajnu količinu korijenske biomase s velikom površinom.

2.1.2. Fitovolatizacija, fitotransformacija i fitostimulacija

Pojedini teški metali poput arsena, žive i selena mogu se u okolinu prenijeti u plinovitoj fazi. U posljednje vrijeme sve više se koriste prirodne ili genetički modificirane biljke sposobne absorbirati elementarne forme ovih metala iz tla, biološki ih prevesti u plinovitu fazu unutar biljke i preko lista ih emitirati u atmosferu [11]. Ovom tehnikom se smanjuje potreba za odlaganjem biljnog materijala, površinski sloj tla se štiti od erozije, međutim glavni nedostatak fitovolatizacije je onečišćenje zraka. Fitoekstrakcija (fitoakumulacija) je metoda kojom se kontaminirajući metali iz tla korijenskim sistemom biljke prenose iz tla u biljku, a potom translociraju u površinske dijelove biljke. Neke biljke, koje se još nazivaju i hiperakumulatori, absorbiraju iznimno velike količine metala za razliku od ostalih biljaka. Prirodni hiperakumulatori metala su biljke koje mogu akumulirati i koje toleriraju velike koncentracije metala u izdanku bez primjetnih simptoma netolerancije. Hiperakumulatori imaju povišenu količinu metala u izdancima: 1% cinka i mangana, 0,1% nikla, kobalta, hroma, bakra, olova i aluminija, 0,01% kadmija i selena te do 0,001% žive u

ukupnoj suhoj tvari biomase izdanka, u literaturi se navodi oko 600 biljaka hiperakumulatora [12]. Korištenjem fitostimulacije biljka hemijski ugrađuje polutant u spojeve koje nemaju negativan uticaj na okolinu. Najčešće se koristi za organske polutante, pesticide, eksplozive, otapala. Takođe i mikroorganizmi u simbiozi s korijenom biljaka imaju sposobnost metaboliziranja polutanata. Biljke iz roda *Canna*, koriste se za ovu metodu [13]. Fitostimulacija je tehnika kojom se povećava mikrobiološka aktivnost u zoni ukorijenjavanja biljaka dodatkom stimulanasa u tlo, ovaj proces se naziva i rizosferna degradacija. Bioaktivnost se izvodi pomoću proteina i enzima koji nastaju od strane samih biljaka ili mikroorganizama prisutnih u tlu kao što su bakterije i gljivice. Organski kontaminanti, čak i oni koje se smatraju potencijalno opasni za ljude, kao što su polihlorirani bifenili i derivati nafte, mogu biti direktno metabolizirani od strane ovih proteina i enzima, što dovodi do razgradnje. Osim toga, mnogi od ovih polutanata mogu se razgraditi na bezopasne produkte ili pretvoriti u izvor hrane i energije za biljke ili organizame prisutne u tlu [14]. Fitostimulacija je simbiotski odnos koji se razvio između biljaka i mikroba prisutnih u tlu. Biljke daju hranjive tvari potrebne za rast mikroba dok mikrobi obezbjeđuju zdravije okruženje tla gdje korijeni biljaka mogu da se razvijaju.

2.2. Postojeće stanje remedijacije na odlagalištima šljake i pepela

Na odlagalištima Drežnik i Plane, zemljani pokrivač postavljen je tokom ranih devedesetih godina, čime je uspješno sprječena vjetrom izazvana erozija. Lokalno stanovništvo je započelo sa kultivacijskom praksom što je u svakom slučaju trebalo biti spriječeno, ova praksa umanjila je efektivnost nanesenog pokrivnog sloja, vraćajući šljaku i pepeo nazad na površinu. Na ovaj način, povećava se rizik od ulaska toksičnih konstituenata šljake i pepela u lanac ishrane. Upravo na ovim odlagalištima zabilježene su povećane koncentracije Ni i Cr [10]. Pokrivni sloj uspostavljen je i na ostalim odlagalištima, njegova debljina se kreće od 5 do 30 cm dok je na pojedinim dijelovima odlagališta kao što je to slučaj na Divkovićima I uslijed djelovanja oborinskih voda naneseni sloj u potpunosti erodirao. Kao pokrivni materijal koristi se pijesak, nasuti pijesak ima nepovoljne pedološke osobine jer nedostaju glinene čestice i organska materija koje bi aktivirale rad zemljišne mikroflore i pokrenula pedološke procese. Površinski sloj mora pružiti osnovu za uspostavu zdravog vegetacijskog pokrivača, zbog čega je neophodno posvetiti posebnu pažnju sastavu ovog pokrivača koji ni u kom slučaju ne smije biti od materijala jedne vrste.. Nasipanje zemljanog pokrivača stoga pruža osnovu za daljnje korištenje odlagališta, te imajuci u vidu njihovu blizinu naseljenim područjima, to bi mogle biti industrijske cjeline, ili površine koje se u nekom narednom periodu, nakon njegove potpune stabilizacije, koriste za rekreaciju. Gledano dugoročno, važno je uzeti u obzir potencijalne štetne učinke koje zemljani pokrivač nije u mogućnosti neutralizirati. Naprimjer, zemljani pokrivač u Drežniku i Planama nije u potpunosti spriječio unos zagađujućih supstanci u usjeve i prirodnu vegetaciju, što je moglo dovesti do unosa zagađujućih supstanci u lanac ishrane. Poljoprivredne prakse su vratile pepeo nazad na površinu. Dakle, lokalnom stanovništvu i institucijama potrebne su jasne smjernice, koje će dati upute o upravljanju i održavanju sigurnog zemljanog pokrivača na odlagalištima i mogućim korištenjima zemljišta koje takav zemljani pokrivač može da pruži. Tla odabrana za pokrivanje odlagališta pepela, koja se poslije koriste u poljoprivredne svrhe, trebaju biti visoke kvalitete i praktično ne smiju sadržavati nikakve zagađujuće supstance iznad razine koja je dopuštena za tla koja se koriste u poljoprivredne svrhe.

2.2.1. Fitostimulacija dodavanjem komposta

Na odlagalištu Divkovići I tokom 2007. godine formirane su testne parcele u cilju određivanja prinosa biomase različitih vrsta trava kao stimulans izvršeno je dodavanje komposta. Cilj primjene komposta proizvedenog od organskih ostataka komunalnog i industrijskog otpada, kao dodatka pepelu za poboljšanje plodnosti supstrata je da se uspostavi vegetacijski pokrivač na odlagalištima

i spriječi erozija prašine. Ova tehnologija sanacije bi trebalo da je lahko primjenjiva i da manje košta od drugih.
Eksperimenti su pokazali primjenu različitih količina komposta po kvadratnom metru (u omjeru od 1 L/m^2 do 20 L/m^2) i rast trave na zadatom supstratu. Primjena komposta dubine do 20 cm poboljšava rast biljnih vrsta i stabilizira površinski sloj. Za eksperiment je korištena specifična mješavine trave, koja sadrži uglavnom crvenu vlasulju (*Festuca rubra*) i ovčiju vlasulju (*Festuca ovina*). Primjena komposta ne samo da je održavala rast trave, već je također povećala proizvodnju biomase i pokrivenost zemljišta. U skladu s tim, primjena od 10 – 20 l/m^2 komposta će vjerojatno biti dovoljna da bi se postigla dovoljna pokrivenost travom, kako bi se spriječila erozija pepela [10]. Kompost je poboljšao plodnost podloge od pepela kada su u pitanju N, P i K i mikrobiološku aktivnost u tretiranom pepelu što je i cilj fitostimulacije Međutim, premda se unos zagađujućih supstanci u biljku, u tretiranom pepelu, smanjio, kada je izvršeno poređenje sa netretiranim pepelom, pojedini polutanti su bili prisutni u travi narasloj na tretiranom pepelu u koncentracijama višim od normalnih. Stoga se ova trava ne smatra pogodnom za ishranu stoke, te ne treba poticati njeno korištenje u takve svrhe, kako bi se minimizirao rizik od prijenosa u lanac ishrane, osobito s obzirom na direktni unos pepela gutanjem tokom ispaše. Osim ispitivanja pojedinih vrsta trava izvršena je i evaluacija rasta nekoliko sorti koje lokalno stanovništvo uzgaja na dlagalištima Drežnik i Plane a obuhvatilo je slijedeće vrste: kukuruz, krompir, pšenicu, ječam, lucerku i crvenu djetelinu. Svaka sorta drugačije reaguje na onečišćenje, tolerirajući i preuzimajući različite količine i vrste polutanata prisutnih u zraku, podlozi i vodi. Istraživanja provedena u stakleniku provedena su kako bi se utvrdio unos metala u lokalno uzgojene usjeve. Tokom eksperimenata u saksijama, upotrijebljene su tri različite vrste ječma, lucerke i graha uzgojene na čistom pepelu, preuzetom sa odlagališta Jezero. Testirano je 17 elemenata kao što su bakar, kadmij, kobalt, hrom, nikl, arsen i bor. Neki od ovih elemenata su imali vrijednosti veće od normalnih, u skladu sa podacima datim u literaturi (Tabela 1).

Tabela 1: Pregled rezultata studije u stakleniku, vezano za unos metala u lokalno uzgojenim usjevima

Analiza:	Elementi iznad prosjeka:
Čisti pepeo	As, B, Cr, Cu, Ni
Grah	As, B, Cr, Cs, Se, Mo, Ni, Pb, Co, Cu
Lucerka	As, B, Cr, Cs, Se, Mo, Ni
Ječam	As, B, Cr, Cs, Se

Analiza podataka je pokazala razlike kod unosa teških metala između različitih usjeva i sorti [15]. Zagađenje najviše ima uticaja na grah, dok su sorte ječma više tolerantne na zagađenje. U skladu sa ovim rezultatima, najviše preporučena žitarica na lokacijama odlagališta pepela je ječam, sorta *Tvrtko*, koja ima najmanji unos metala iz pepela. Druge sorte ječma (*Knin i Tomislav*), lucerke (različite sorte *„Mirna"*) i grah usvajaju više teških metala. Rezultati potvrđuju dobro poznatu tvrdnju da trave (jednosupnice) mogu podnijeti visoke nivoe metala u tlu i da unose manje količine elemenata u tragovima od drugih biljaka (dvosupnica). U drugim eksperimentima, zimski ječam i soja su uzgajani na podlozi od tla i pepela u različitim proporcijama, imitirajući prirodne uslove uzgoja na odlagalištima Plane i Drežnik. Dodavanje kvalitetnog tla pepelu znatno poboljšava sigurnost usjeva. Međutim, dodavanje tla nije bilo dovoljno za prevenciju unosa zagađujućih supstanci, posebno u slučaju ječma – unatoč poboljšanju uslova rasta. Eksperimenti na terenu provedeni su na Drežniku i Divkovićima I, kako bi se ocijenila sigurnost održavanja odlagališta pepela u realnim uvjetima. Na Drežniku je uzgojeno 5 različitih vrsta usjeva: krompir (*Solanum tuberosum*), grah (*Fasoelus vulgaris*), kukuruz (*Zea mays*), ječam (*Hordeum sativum*) i lucerka - alfalfa (*Medicago sativa*), a njihov rast je praćen na dnevnoj osnovi. Rezultati ukazuju da arsen i bor i u nekim slučajevima i kadmij, predstavljaju rizike kada je u pitanju uzgoj biljaka za ljudsku

upotrebu. Na Divkovićima I, uzgoj je realiziran neposredno na pepelu, nakon dodavanja komposta [10].

2.3. Karakteristike šljake i pepela sa odlagališta Divkovići II

Karakteristike šljake i pepela u direktnoj su zavisnosti od sastava ugljeva koji se koriste u procesu dobivanja električne energije. U TE „Tuzla" koriste se lignit i mrki ugalj iz rudnika Kreka (Dubrave, Šikulje, Mramor i Bukinje) i Banovići, a na kotlu 7 mrki ugalj iz rudnika Đurđevik i Banovići. Prosječna toplotna moć lignita je 8.000-10.000 kJ/kg, a mrkog uglja od 12.500-15.000 kJ/kg, sa sadržajem pepela od 15-25%. Sadržaj šljake i pepela u ugljevima koji se koriste u TE „Tuzla" kreće se od 15 do 30 %, zavisno od kvaliteta uglja. Praktično, svi elementi iz periodnog sistema elemenata prisutni su u uglju [16,17,18,19]. U odnosu na njihov različit udio u uglju, ovi elementi mogu se podijeliti u tri grupe: glavni elementi (C, H, O, N, S), prisutni u količini od 1000 ppm, elementi koji čine mineralni dio uglja (Si, Al, Ca, Mg, K, Na, Fe, Mn, Ti) i halogeni elementi (F, Cl, Br, I), prisutni u koncentracijama između 100 i 1000 ppm, i elementi u tragovima, u koncentracijama ispod 100 ppm. Nakon više provedenih istraživanja o raspodjeli teških metala u uglju, može se zaključiti da se njihov broj i koncentracija razlikuju u zavisnosti od vrste uglja, kao i od procesa nastajanja određene vrste uglja [20, 21]. Međutim, poznavanje sadržaja teških metala u ugljevima važno je zbog mogućnosti predviđanja njihovog oslobađanja u procesu sagorijevanja. Istraživanjem je bilo obuhvaćeno 38 metala u ugljevima iz USA, Velike Britanije, Australije i Kine. Podaci su prikupljeni analizom više od 1500 uzoraka na osnovu analize može se zaključiti da postoje značajne razlike u koncentraciji teških metala u zavisnosti od vrste ugljeva. Takođe, vrijednosti većine njih su manje od 50 ppm. Izdvajanje teških metala iz uglja u procesu sagorijevanja povezano je sa njihovim hemijskim afinitetom, tj. obliku u kojem se nalaze u uglju. Pri sagorijevanju uglja, teški metali koji su povezani sa organskom i sulfidnom frakcijom prvi isparavaju (vaporiziraju), a zatim se adsorbiraju na sitne čestice pepela za vrijeme hlađenja dimnih plinova. Teški metali povezani sa mineralnim dijelom, većinom ostaju u šljaci i pepelu. Na osnovu poređenja koncentracije teških metala sa literaturnim podacima može se zaključiti da ugljevi iz Rudnika „Banovići" i „Dubrave" sadrže povećane koncentracije Cr, Ni i As [10]. Teški metali sadržani u ugljevima u toku sagorijevanja raspodjeljuju se u sljedećim otpadnim tokovima: šljaka i pepeo, lebdeći pepeo, elektrofilterski pepeo, čvrste čestice i dimni plinovi. Druga karakteristika pepela je relativno visoka koncentracija rastvorljivih soli i njihova alkalna priroda. Značajan izvor alkaliteta predstavljaju manje količine karbonata u uglju. Pri sagorijevanju uglja, karbonati prelaze u okside zemnoalkalnih i alkalnih metala, a u dodiru sa vodom povećavaju pH iznad 8,5 i više i uslovljavaju negativna svojstva pepela kao supstrata za rast biljaka. Po teksturnoj oznaci šljaka i pepeo je sitni pijesak, čiji se udio kreće od 86,56 do 96, 08 %. Sadržaj praha (čestica od 0,06 do 0,002 mm) i gline (čestice < 0,002 mm) je vrlo mali i kreće se od 1 do 4 %.

2.3.1. Određivanje hemijskog sastava šljake i pepela sa odlagališta Divkovići II

U okviru ovog istraživanja određen je hemijski sastav šljake i pepela sa odlagališta Divkovići II metodom razlučivanja valnih dužina rentgenskom fluoroscentnom difraktometrijom (Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence (WDXRF)), rezultati analize prikazani u tabeli 4. Metoda razlučivanja valnih dužina rentgenskom fluoroscentnom difraktometrijom pruža jedan od najjednostavnijih, najpreciznijih i analitičkih metoda zaodređivanje hemijskog sastava različitih materijala. Ova metoda je zasnovana na slijedećim prednostima: pouzdana - bez razaranja uzorka, ne zahtijeva, ili vrlo malo zahtijeva pripreme uzoraka i pogodna je za čvrste, tečne i praškaste uzorake. Može se koristiti za širok spektar elemenata, od natrija (11) do urana (92), i daje granice detekcije na nivou ppm. Elementarni sadržaj utvrđen je koristeći S8 TIGER 4K spektrometar, pomoću rentgenske cijevi sa Rh anodom, dva kolimatora (0,23° i 0.46°) i pet kristala za analizu. Za obradu podataka, odnosno tumačenje XRF spektra korišten je SPEKTRA^{plus} softverski paket.

Osjetljivost metode je 1 ppm. Glavna prednost WDXRF sistema su visoke rezolucije (obično 5-20 eV) i minimalna su spektralna preklapanja.

Tabela 3: Elementarna analiza šljake i pepela sa odlagališta šljake i pepela Divkovići II

Rb.	Parametar	Sadržaj, %
1.	SiO_2	49,202
2.	Al_2O_3	18,797
3.	Fe_2O_3	10,342
4.	CaO	6,645
5.	MgO	2,305
6.	SO_3	0,221
7.	MnO	0,184
8.	NiO	0,120
9.	Na_2O	0,112
10.	Cr_2O_3	0,110
11.	P_2O_5	0,083
12.	V_2O_5	0,040
13.	SrO	0,020
14.	ZnO	0,018
15.	CuO	0,017
16.	ZrO_2	0,016
17.	Rb_2O	0,009
18.	CoO	0,004
19.	PbO	66 ppm
20.	As_2O_3	112 ppm
21.	CdO	120 ppm
22.	SiO_2+ Al_2O_3+ Fe_2O_3	78,341

Općenito, povećane koncentracije teških metala u zemljištu mogu trajno da naruše prirodne fizičko-hemijske osobine, plodnost i filtracijske osobine zemljišta. U kiselom zemljištu koje ima nizak apsorpcioni kompleks, metali su pokretljiviji i intenzivnije se uključuju u lanac ishrane. U zemljištu sa većim udjelom organske materije i većom vrijednosti pH, teški metali obrazuju kompleksne organske spojeve koji su slabo dostupni biljkama i teže se rastvaraju u vodi. Na osnovu rezultata prezentovanih u tabeli 4. može se zaključiti da šljaka i pepeo sadrži okside teških metala u koncentracijama koje mogu imati toksičan uticaj na biljne kulture. Zbog toga je u cilju uspostavljanja održive biljne kulture neophodno pripremiti površinski sloj na odlagalištu. Takođe, od tehnika fitoremedijacije potrebno je provesti fitostimulaciju i fitostabilizaciju. Prvom tehnikom se omogućava rast biljnim vrstama i uspostavljanje održivog ekosistema a drugom se sprječava širenje polutanata u konkretnom slučaju teških metala sa odlagališta i njihov ulazak u lanac ishrane. Iz naprijed navedenog kao i na osnovu provedenih istraživanja predlažu se sljedeće mjere fitoremedijacije odlagališta šljake i pepela „Divkovići II": nanošenje sloja gline debljine 20 cm, za ove potrebe može se koristiti jalovina (laporovita glina) iz obližnjih rudnika uglja. Sloj gline bi služio kao hidrološki izolator koji bi sprečavao prodiranje oborinskih voda u tijelo odlagališta; nanošenje sloja pijeska debljine 30 cm koji bi imao funkciju zadržavanja vode, ovaj pijesak se inače koristi u sadašnjem načinu rekultivacije i ima ga u dovoljnim količinama u neposrednoj blizini odlagališta; nanošenje sloja humusa debljine 30 cm, za ove potrebe može se iskoristiti mulj, odnosno, sediment iz jezera Modrac ili stabilizirani mulj sa biološkog tretmana komunalnih otpadnih voda; sadnja breze i sjetva travno leguminozene smjese. Breza (*Betila pendula*) pionirska vrsta, brzo raste i za kratko vrijeme pokriva golu površinu podloge, lahko se prirodno obnavlja,

dobro podnosi zemljišta kisele reakcije koja svojim opalim lišćem i grančicama popravlja siromašna zemljišta, stvarajući humus, otporna je na niske i visoke temperature i vjetar te pravi veoma slabu sjenku što omogućava rast travi. Trave leguminoze veoma brzo vezuju podlogu, stabiliziraju je i sprečavaju raznošenje čvrstih čestica u okoliš. Leguminoze kao azotofiksatori omogućavaju usvajanje nepristupačnog azota iz atmosfere i prevode ga u pristupačan oblik za biljku. U leguminoze i trave spadaju: Žuti zvjezdan (*Lotus corniculatus*), Crvena djetelina (*Trifolium pratense*), Lucerka (*Medicago sativa*), Italijanski ljulj (*Lolium multiflorum*) i Engleski ljulj (*Lolium perenne*). Na ravnim površinama se sade sadnice breze i sije travno - leguminozana smjesa, a na kosinama (rubnim dijelovima) travno- leguminozna smjesa. Sadnja breze se obavlja u jame koje se kopaju na jednakim rastojanjima po pravougaonom rasporedu na rastojanju u redu od 1,5 m, a između redova od 3 m. Ovakvo rastojanje omogućava nesmetan prolazak mehanizacije. Jame su prečnika i dubine 50 cm, a pune se zemljom kojoj je dodat stajnjak. Za sadnju se koriste dvogodišnje ili trogodišnje sadnice breze sa golim korijenovim sistemom. Fitoremedijacija izvršena na ovakav način daje konkretne rezultate u potpunom eliminiranju erozionih procesa i pojave imisije prašine, minimizira se količina procjednih voda iz tijela odlagališta i utiče na povoljne pejzažne osobine lokacije.

3. ZAKLJUČAK

Korištenjem energije uglja, proizvode se značajne količine pepela koji mora biti odložen na odgovarajući način. U remedijaciji postojećih odlagališta šljake i pepela na području općine Tuzla korišteni su fizički procesi stabilizacije kojima se sprječava raznošenje prašine vjetrom, međutim uspostavljeni površinski sloj ima nepovoljne pedološke osobine jer nedostaju glinene čestice i organska materija koje bi aktivirale rad zemljišne mikroflore i pokrenula pedološke procese. Fitoremedijacija nudi jeftinu, nenametljivu i siguranu alternativu konvencionalnim tehnikama tretmana onečišćenog tla. Korištenjem određenih vrsta biljnih kultura uz prethodnu pripremu podloge na siguran način može se izvšiti uklanjanje, razgradnja i imobilizacija potencijalno toksičnih spojeva čime se smanjuje rizik od kontaminacije tla, sedimenata, podzemnih i površinskih voda. Sa globalnim porastom onečišćenja koje je posljedica dospijevanja teških metala u okolinu, biljke koje mogu da „prerađuju" teške metale bi mogle da obezbijede efikasan i ekološki pogodan pristup izolovanju i uklanjanju ovih polutanata. Odložena šljaka i pepeo sadrži okside koji se smanjuju slijedećim redoslijedom: SiO_2 > Al_2O_3> Fe_2O_3> CaO> MgO> SO_3>MnO> NiO> Na_2O> Cr_2O_3>P_2O_5> V_2O_5>SrO> ZnO> CuO> ZrO_2> Rb_2O>CoO>PbO>As_2O_3>CdO zbog visoke pH vrijednosti šljake i pepela prisutni teški metali nisu mobilni što smanjuje mogućnost njihovog ulaska u lanac ishrane.

4. LITERATURA

[1] V.C. Pandey, K. Singh, Is Vigna radiata suitable for the revegetation of fly ash landfils? *Ecol Eng* 37, 2011, 2105-2106.

[2] V.C. Pandey, P.C. Abhilash, and N. Singh, The Indian perspective of utilizing fly ash in phytoremediation, phytomanagement and biomass production. *J Environ Manage* 90, 2009, 2943-2958.

[3] J.S. Singh, V.C. Pandey, D.P. Singh, Coal fly ash and farmyard manure amendments in dry-land paddy agriculture field: Effect on N-dynamics and paddy productivity", *Applied Soil Ecology*, 47(2), 2011, 133-140.

[4] United States Protection Agency (USEPA). (2000b). Introduction to Phytoremediation EPA 600/R-99/107. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Cincinnati. http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/30003T7G.PDF?Dockey=30003T7G.PDF

[5] V.C. Pandey, P. Prakash, O. Bajpai, K. Akhilesh and N. Singh, Phytodiversity on fly ash deposits: evaluation of naturallycolonized species for sustainable phytorestoration. *Environ Sci Pollut Res,* 2014, DOI 10.1007/s11356-014-3517-0

[6] D.W. Mulhern, R.J., Robel, J.C. Furness and D.L. Hensley, Vegetation of wastedisposal area at a coal fired power(plants) on fly ash. *EnvironSciTechnol*, 13, 1989, 311 – 315.

[7] B. Mustafa, A. Hajdari, F. Krasniqi, I. Morina, F. Riesbeck, and A. Sokoli, Vegetation of the ash dump of the "Kosova A" power plant and theslag dump of the " Ferronikeli "Smelter in Kosovo. *Res J EnvironEarth Sci,* 4(9), 2012, 823 – 834.

[8] P.J.A. Shaw, A preliminary study of successional changes in vege tation and soil development on unamended fly ash (PFA) insouthern England. *J Appl Ecol 29*, 1992, 728 – 736

[9] L.M. Chu, Natural revegetation of coal fly ash in a highly saline disposal lagoon in Hong Kong. *Appl Veg Sci* ,11, 2008, 297 – 306.

[10] Reintegration of Coal Ash Disposal Sites and Mitigation of Pollution in the West Balkan Area" (project No. 509173; www.rhizo.at/RECOAL)

[11] S. Masayuki, W. Aya, I. Masahiro, S. Sakae, and K. Toshikazu, Phytoextraction And Phytovolatilization Of Arsenic From As-Contaminated Soils By Pteris vittata " *Proceedings of the Annual International Conference on Soils, Sediments, Water and Energy*: Vol. 12, 2010, 26-37.

http://scholarworks.umass.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1042&context=soilsproceedings

[12] I. Kisić, Sanacija onečišćenog tla, Agronomski fakultet sveučilišta u Zagrebu, 2011.

[13] Phytotechnology Technical and Regulatory Guidance and Decision Trees, Revised The Interstate Technology & Regulatory Council Phytotechnologies (2009)

[14] K.D. Paula, S.F. John, Potential Use of Mycorrhizal Fungi as Bioremediation Agents, *Department of Botany and Microbiology*, University of Oklahoma, Norman, OK 73019 Chapter 8, 2009, 93–99 DOI: 10.1021/bk-1994-0563.ch008

[15] Ž. Zgorelec, F. Bašić, I. Kisić, W. Walter, W. Wenzel and H. Ćustović, Arsenic and nickel enrichment coefficients for crops growing on coal ash VII. *Alps-Adria Scientific Workshop* Stara Lesna, Slovakia, 2008.

[16] D.J. Swaine, *Trace Elements in Coal*, (M), Butterworth, London, 1990.

[17] D.J. Swaine, F. Goodarzi, *Environmental Aspects of Trace Elements in Coal*, 1995.

[18] M. Kluwer. J. Szpunar, A new frontier in analytical chemistry. *Anal Bioanal Chem* 378(1), 2004, 54-6.

[19] E. Raask, The mode of occurrence and concentration of trace elements in coal, *Fuel* 11(1), 1985, 97-118.

[20] A. Kolker, F.E. Huggins, C.A. Palmer, N.S. Shah, S. Crowley, G.P. Huffman, and R.B. Finkelman, Mode of occurrence of arsenic in four US coals, *Fuel Process*. *Technol.* 63(2-3) 2000, 167-178.

[21] F.E. Huggins, N. Shah, G.P. Huffman, A. Kolker, S. Crowley, C.A. Palmer, R.B. Finkelman, Mode of occurrence of chromium in four US coals, *Fuel Process. Technol.* 63 (2-3), 2000, 79-92.

GLOBALNO ZAGRIJAVANJE KAO PROBLEM SAVREMENOG ČOVJEČANSTVA

GLOBAL WARMING AS A PROBLEM OF MODERN HUMANITY

Jovana Jovanović[1], Svetlana Stević[1]
[1]Fakultet za ekologiju i zaštitu životne sredine, Univerzitet Union Nikola Tesla
Cara Dušana 62-64, Beograd, Srbija
jovanaj90@yahoo.com , svetlanas123@gmail.com

SAŽETAK:
U radu se razmatraju uzroci i posljedice jednog od najvećih problema savremenog čovječanstva - globalnog zagrijavanja. Aktuelni problem globalnog zagrijavanja objašnjava se teorijom tzv. efekta staklene bašte ("greenhouse") u atmosferi, a koja nastaje kao posljedica povećane emisije ugljen-dioksida, metana i drugih gasova. Povećana emisija je direktna posljedica prekomjernog korišćenja fosilnih goriva (uglja, nafte i gasa). Istraživanja pokazuju da je rast prosječne temperature na površini Zemlje od 2°C maksimalno dopušten. Rast iznad ove vrijednosti doveo bi do dugoročne promjene klime sa svim katastrofalnim posljedicama. Razmatraju se konferencije UN posvećene ovom problemu, COP1-COP21, kao i mjere koje se preduzimaju za suzbijanje ovog problema.

Ključne riječi: *zagrijavanje, goriva, energija, konferencije*

ABSTRACT:
The paper discusses the causes and consequences of one of the major problems of modern humankind - global warming. The current problem of global warming is explained by the theory of greenhouse gases in the atmosphere, i.e. as a result of increased emissions of carbon dioxide, methane and other gases. Increased emissions is a direct result of excessive use of fossil fuels (coal, oil and gas). Studies show that the increase in the average temperature at the Earth's surface from the 2 ° C is maximally allowed. Growth above this value would lead to long-term catastrophic climate change with all the disastrous consequences. The UN conference dedicated to this problem, COP1-COP21, are considered.

Keywords: *warming, fuels, energy, Conferences*

---

1. UVOD

Globalno zagrijavanje se odnosi na povećanje prosječne temperature Zemljine atmosfere i okeana zabilježeno u XX vijeku. O uzrocima i krajnjim posledicama globalnog zagrijavanja ne postoji apsolutni naučni konsenzus.

Aktuelni problem globalnog zagrijavanja objašnjava se teorijom tzv. efekta staklene bašte ("greenhouse") u atmosferi, a koja nastaje kao posljedica povećane emisije ugljen-dioksida, metana i drugih gasova, najviše od strane industrijskih postrojenja. Ovi gasovi se nazivaju gasovi sa efektom staklene bašte ili staklenički gasovi (GHG - GreenHouse Gases). Emisija tih gasova je prisutna pogotovo u razvijenim zemljama zadnjih 250 godina, odnosno od početka industrijske revolucije. Teorija efekta globalnog zagrijavanja se zasniva na tome da planeta Zemlja ne može

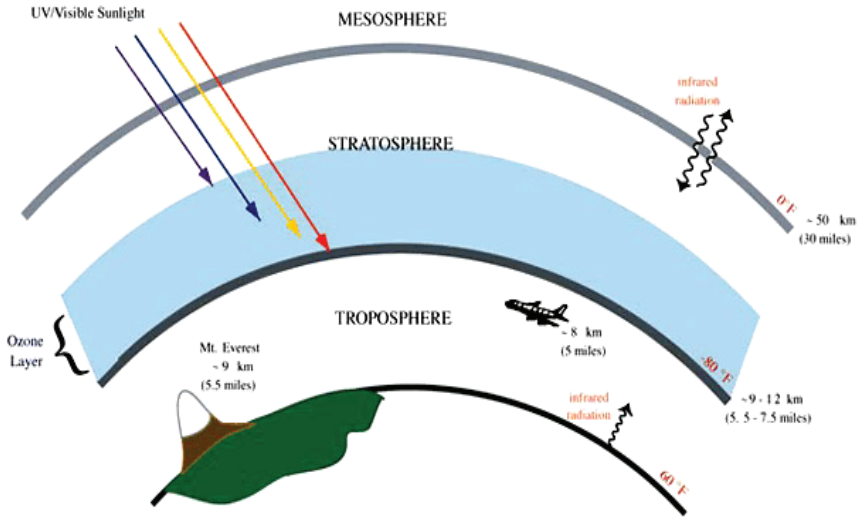
održati ravnotežu između energije koju dobija od Sunca i toplote koju isijava u svemir, odn. da prima više toplote nego što odaje.
Istraživanja pokazuju da je rast prosječne temperature na površini Zemlje od 2°C maksimalno dopušten. Rast iznad ove vrijednosti doveo bi do dugoročne katastrofalne promjene klime (topljenja leda i podizanja nivoa mora, poplava, orkanskih vjetrova, itd), kao i odumiranja mnogih bioloških vrsta i uništenja ekosistema na Zemlji [1]. Put za sprečavanje klimatskih promjena je prelaz sa neobnovljivih na obnovljive izvore, ili druge izvore koji ne zagađuju atmosferu, pogotovo sa CO_2 koji je najzastupljeniji u stvaranju efekta staklene bašte.
Porast temperatura je evidentan na cijeloj planeti i značajniji je na većim sjevernim geografskim širinama. Procjenjuje se da se od 1900. do 2005. godine temperatura na Zemlji povećala u prosjeku između 0,4 i 0,8°C, da bi krajem 2015.g. dostigla vrijednost povećanja od 1°C .
Godine 2011-2015 predstavljaju najtoplije ikad zabilježeno petogodišnje razdoblje (otkako su se 1880.g. počela vršiti mjerenja), sa mnogim ekstremnim klimatskim događanjima nastalim pod uticajem klimatskih promjena, navodi se u analizi petogodišnjeg perioda od strane WMO (World Meteorological Organization) [2]. To je bio najtopliji petogodišnji period, ikad zabilježen, u Aziji, Evropi, Južnoj i Sjevernoj Americi i Okeaniji.
Na nivou čitave 2014. godine, prosječna temperatura kopna i okeana bila je za 0,69 °C viša od prosjeka 20. vijeka, premašivši prethodne rekorde iz 2005. i 2010. za 0,04 °C [2].
Globalna prosječna temperatura površine u 2015. dostigla je rekord kao najviša do sada zabilježena. Tme se približavamo granici povećanja srednje temperature Zemlje od 1°C u odnosu na temperaturu predindustrijskog doba. To je zbog kombinacije snažnog El Ninjo efekta (globalni atmosfersko-okeanski fenomen koji nastaje usled fluktuacija pravaca vetrova i temperature vode u tropskom delu Tihog okeana) i globalnog zagrijavanja izazvanog ljudskim aktivnostima, prema izvještaju Svjetske meteorološke organizacije (WMO - World Meteorological Organization) [3].
"Stanje globalne klime u 2015. godini će ući u istoriju iz brojnih razloga. Nivoi stakleničkih gasova u atmosferi dostigli su nove rekorde i na sjevernoj polulopti u proljeće 2015. tromjesečna prosječna globalna koncentracija CO2 je, po prvi put, prešla granicu 400 čestica na milion (ppm). Godina 2015. će vjerovatno biti najtoplija zabilježena godina do sada, sa najvećom temperaturom površine okeana ikada izmjerenom. Vjerovatno je da je prag porasta od 1°C dostignut. To je loša vijest za planetu."[3].
Procjene su da će globalno povećanje prosječne temperature na Zemlji do 2100. godine biti između 1,4°C i 5,8°C (2,5°F i 10,4°F), ako emitovanje gasova staklene bašte nastavi da raste dosadašnjim tempom.
Inače, globalna zagrijavanja i globalna zahlađenja (ledena doba) događala su se u dalekoj prošlosti, ali kao posljedica prirodnih uticaja i događala su se u dužim vremenskim periodima. Primjera radi, zadnje ledeno doba počelo je otprilike 70.000 godina prije nove ere, sa maksimumom oko 18.000 godina prije nove ere, a završilo se oko 10.000 godina prije nove ere.

2. UZROCI GLOBALNOG ZAGRIJAVANJA

Slojevi vazduha - troposfera, stratosfera, mezosfera i termosfera) čine atmosferu koja obuhvata površinu planete (Slika 1). Najniži sloj, debljine 9-12 km (na ekvatoru 16-18 km, a na polovima samo 6-8 km), naziva se troposfera i on sadrži 95% svih gasovitih elemenata. U njoj se nalazi gotovo cjelokupna vodena para, pri čemu se topli vazduh podiže s površine, a hladniji spušta iz većih visina, što je uzrok svih meteoroloških promjena, odn. promjena vremenskih prilika na Zemlji. Upravo se u troposferi polutanti miješaju i reaguju sa gasovitim sastavnim elementima atmosfere. Sljedeći sloj zove se stratosfera i prostire se do oko 50 kilometara nadmorske visine. Dvije trećine ovog sloja sastoji se od ozona, koji je izuzetno važan zbog filtracije UV-zračenja koje dolazi od Sunca, tako da ovaj sloj čini život na Zemlji mogućim. Ozonski omotač, smješten u stratosferi, apsorbuje 97-99% od sunčevog ultraljubičastog (UV) zračenja, koje bi inače potencijalno oštetilo oblike života na površini Zemlje izložene ovom zračenju.

Ljudske aktivnosti uključujući intenzivni industrijski razvitak, sagorijevanje fosilnih goriva, preradu otpada i mnogobrojne druge, stvaraju sve više zagađenja u atmosferi i uništavaju kvalitet zemljišta i vazduha. Zagađen vazduh sem što je štetan za čitav živi svijet i njegova staništa, vodi i do globalnih klimatskih promena.

Zabluda, koja je dugo trajala, podrazumijevala je da se polutanti vazduha jednom kada dospiju u atmosferu razblažuju do zanemarljivih koncentracija. Rezultati mjerenja neumoljivo dokazuju razmjere takvih zabluda. Godine 2015. je izmjerena najveća koncentracija CO_2 od kada se mjerenja vrše: 400 čestica na milion (ppm) (ppm - skraćenica za part per million, odnosno broj molekula ugljen-dioksida na milion čestica vazduha).



Slika 1: Slojevi atmosfere

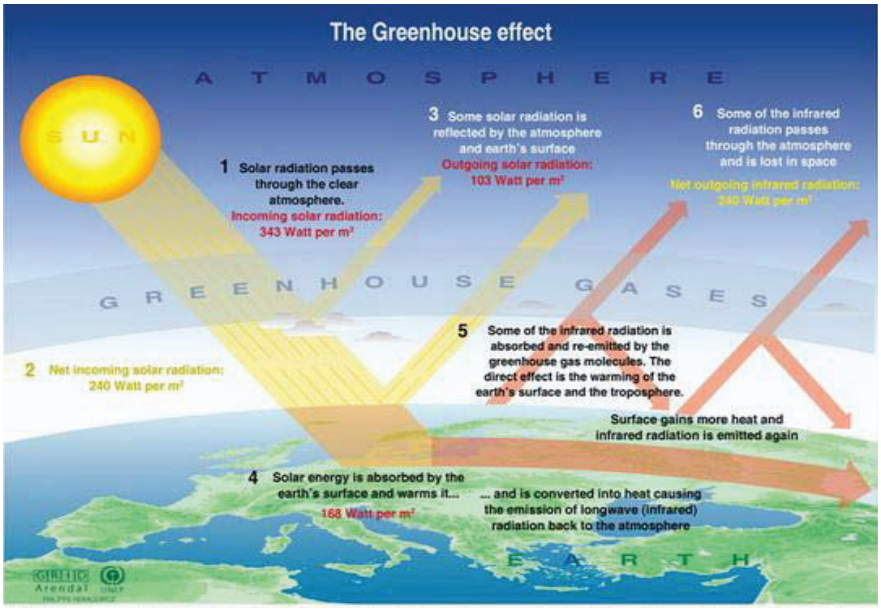
Smatra se da je glavni uzrok globalnog zagrijavanja povećana količina ugljen-dioksida i ostalih gasova staklene bašte koji se oslobađaju u atmosferu. To oslobađanje gasova je najčešće posledica sagorijevanja fosilnih goriva (nafta, ugalj i plin), uništavanja šuma u korist poljoprivrede, i ostalih ljudskih aktivnosti.

Gasovi sa efektom staklene bašte ili staklenički gasovi (GHG - Greenhouse Gases), su gasovi koji u atmosferi apsorbuju infracrvene zrake. Mogu biti prirodni i sintetički. Uglavnom nastaju sagorijevanjem fosilnih goriva. Razgradnja GHG je u tzv. ponorima GHG (okeani i biljke, velike površine prekrivene šumom koje apsorpcijom CO_2 iz atmosfere smanjuju njegov udio). Pošumljavanje predstavlja najefektniju mjeru povećanja ponora emisija GHG.

Dakle, gasovi staklene bašte se skupljaju u višim slojevima atmosfere (troposfere) i imaju dvostruki uticaj na temperaturu na površini Zemlje. Prvi uticaj je direktno odbijanje jednog dijela Sunčevog zračenja nazad u svemir, a drugi uticaj je reflektovanje od njega jednog dijela Sunčevog zračenja, koji se odbio od površine Zemlje, nazad prema Zemlji (Slika 2) [4].

Ovaj drugi uticaj se zove efekat staklene bašte i taj efekat je odgovoran za održavanje, ali i povećanje temperature na površini Zemlje. Od ukupne količine Sunčeve svjetlosti, koja dospije na Zemlju, 30% se odbija nazad u svemir, a ostalih 70% apsorbuju zemljište, vazduh, okeani, tako da se zagrijavaju i Zemljina površina i atmosfera, što normalno i obezbjeđuje povoljne uslove za život na našoj planeti.

Zagrijana površina i vazduh emituju infracrveno (toplotno) zračenje (Slika 2), dio koga odlazi u svemir i na taj način se Zemlja hladi. Drugi dio ovog zračenja opet upije vodena para, ugljendioksid i drugi atmosferski gasovi, čime se zagrijava troposfera. Treći dio infracrvenih zraka se odbija od molekula GHG i vraća na površinu Zemlje zagrijavajući je. To je efekat staklene bašte, koji se pozitivno odražava, tj. da ga nema prosječna temperatura na površini Zemlje bi bila oko -18°C, a ne oko 15°C koliko je sada. Međutim, kada emisija štetnih gasova, koji potiču iz različitih izvora, postaje prekomjerna ona formira omotač oko Zemlje, koji propušta toplotu da prodre do njene površine, ali ne i da se vrati u svemir, usljed čega Zemlja postaje iz godine u godinu sve toplija.



Slika 2: Detaljan prikaz efekta staklene bašte

Odredbe Kjoto protokola [5] se odnose na smanjenje šest GHG datih u Tabeli 1.

Tabela 1: GHG po Kjoto protokolu i njihov GWP

Gas (naziv, hemijska formula)	GWP
Ugljen-dioksid (CO_2)	1
Metan (CH_4)	21
Azot-suboksid (N_2O)	310
Fluorougljovodonici (HFCs)	140-11700
Perfluorougljovodonici (PFCs)	7000-9200
Sumporheksafluorid (SF6)	23900

GHG gasovi, stvarajući plašt oko Zemlje apsorbuju energiju i smanjuju stepen odavanja energije u svemir. Različiti gasovi imaju različiti uticaj na zagrijavanje površine Zemlje, što je dato u Tabeli

1. Oni se razlikuju međusobno po dvije ključne osobine: a) sposobnost apsorbovanja energije, b) koliko koliko dugo ostaju u atmosferi (odn. njihov vijek trajanja).
Pojam **Potencijal globalnog zagrijavanja (GWP - Global Warming Potential)** je uveden kao pokazatelj kojim se omogućava poređenje uticaja različitih GHG na globalno zagrijavanje [6]. Naime, to je pokazatelj koliko energije će emisija jedne tone gasa apsorbovati u određenom vremenskom periodu, u odnosu na emisiju jedne tone ugljen dioksida. Veći GWP za neki gas ukazuje koliko puta će on više uticati na zagrijavanje Zemlje u odnosu na istu masu ugljen dioksid tokom datog vremenskog perioda (obično 100 godina). GWP gasova omogućava analitičarima da naprave procjene uticaja prisutnih emisija GHG gasova, npr. na nivou države. Na osnovu popisa GHG gasova prisutnih u okviru države, kreatori politike mogu procijeniti mogućnosti i odabrati mjere kojima se vrši smanjena ili povećana (do dozvoljenog nivoa) emisija tih gasova, djelujući na sektore industrije koji produkuju GHG gasove (npr. gašenje termoelektrana i uvođenje obnovljivih izvora energije, itd).

Ugljen dioksid (CO_2), po definiciji, ima GWP=1 bez obzira na vremenski period koji se koristi, jer je gas koji se koristi kao referenca. Ugljen dioksid, sem što je najviše prisutan, ostaje u klimatskom sistemu jako dugo vremena - nekoliko hiljada godina. On najznačajnije utiče na globalno zagrijavanje, jer ga najviše i ima. Oko 25 milijardi tona ugljendioksida ispusti se u atmosferu svakoga dana, 800 tona svake sekunde! Ovakav trend emisije ugljen-dioksida mogao bi da poveća prosječnu Zemljinu temperaturu za 1,4–5,8°C do kraja ovog vijeka. Vjeruje se da bi povećanje temperature već iznad 2°C dovelo do opasne promjene klime i razornog uticaja na biljne i životinjske zajednice.

Metan (CH_4) ima GWP oko 21 računat za period od 100 godina. Vijek trajanja emitovanog CH_4 je oko deset godina u prosjeku, što je mnogo manje od vijeka trajanja CO_2, ali CH_4 i upija mnogo više energije nego CO_2. Neto efekat njegovog kraćeg životnog vijeka i veće apsorpcije energije se ogleda u većem GWP. Metanov GWP takođe uzima u obzir neke njegove indirektne efekte, kao činjenicu da pravi rupe u ozonskom omotaču.

Azot-suboksid (N_2O) ima GWP oko 310 računat za vremenski period oko 100 godina (u neim literaturama se pominje GWP= 265-298) Vijek trajanja N_2O u atmosferi je u prosjeku više od 100 godina.

GWP gasova **HFCs, PFCs, SF6** se kreće do destine hiljada (high-GWP gases). To znači da za isti iznos mase, apsorbuju destine hiljada puta više ioplote od CO_2. Istina, njihovo prisustvo u atmosferi je daleko manje nego CO_2.
I veliki broj drugih gasova bitno utiče na klimatske promjene. Tako naprimjer CFC (hlorofluorokarboni - organska jedinjenja sačinjena od ugljenika, hlora i fluora), koji se koristio uglavnom u u rashladim uređajima, bio je značajan faktor uništavanja ozonskog sloja [7]. Stoga je i zabranjen 2000.g. u Montreal Protokolu.

3. MEĐUNARODNE AKTIVNOSTI POSVEĆENE PROBLEMU GLOBALNOG ZAGRIJAVANJAUZROCI GLOBALNOG ZAGRIJAVANJA

Međunarodni politički odgovor na klimatske promjene započeo je na svjetskom samitu u Rio de Žaneiru 1992., gdje je "Rio konvencija" uključila usvajanje okvirne Konvencije o klimatskim promjenama (UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change) [8]. Ovom konvencijom, postavljen je okvir za djelovanje u cilju stabilisanja atmosferske koncentracije gasova staklene bašte (GHG- greenhouse gasses) kako bi se izbjegli opasni antropogeni uticaji na klimatske promjene.

COP konferencije: Glavni cilj godišnjih COP - Konferencija zemalja učesnica (COP - Conference of Parties) je pregled implementacije UNFCCC konvencije o klimatskim pronjenama. COP konferencije vrše pregled nacionalnih izvještaja, koji podnose učesnice COP-a. Na temelju tih informacija, COP procjenjuje učinke preduzetih mjera od strane zemalja učesnica i napretka u postizanju konačnog cilja Konvencije.
Prvi COP (COP1) održan je u Berlinu 1995. godine, a značajniji COP sastanci od tada uključuju: COP3 (1997. Kyoto, Japan) na kojoj je usvojen Protokol iz Kyota, ..., COP11 na kojoj je usvojen Akcioni plan Montreal (2005.), ..., COP15 u Kopenhagenu (2009.),..., COP17 (Durban, Južna Afrika, 2011.) gdje je nastao Green Climate Fund, ...
U decembru 2015.g. održan je COP21, takođe poznat kao Pariska konferencija o klimi, čiji je rezultat Pariski sporazum [9]. Sporazum o klimi, koji su potpisale 195 država, treba da da rešenje na jedan od najvećih izazova 21. stoljeća - spašavanje planete od razornih klimatskih posljedica. On ima za cilj ograničenje globalnog zagrijavanja do 2100. godine ispod 2°C (sa namjerom da to ograničenje bude čak 1.5°C) u odnosu na 1750. godinu (početak industrijske revolucije). To je težak zadatak s obzirom da je ostvaren već porast od 1°C. Na Pariskoj konferenciji je ukazano da bi ograničenje porasta temperture na 2°C zahtijevalo da čovječanstvo napusti fosilna goriva između 2050 i 2100 godine. Ambiciozniji plan sa ograničenjem na 1.5°C zahtijevao bi da se nulta emisija stakleničkih gasova postigne već u periodu 2030 i 2050 godine.
Jedna od ključnih odluka Pariskog sporazuma je pokretanje mehanizama revizije, svakih pet godina počev od 2015.g., kako bi se ocijenio napredak. Drugi važan zaključak je da razvijene zemlje do 2020.g. ulažu godišnje 100 milijardi dolara kao pomoć siromašnim zemljama kako bi mijenjale strukturu energenata i uklanjale najveće zagađivače. Sporazum ne sadrži definisane obaveze koliko koja država mora ograničiti emisiju stakleničkih gasova (što je bio glavni kamen spoticanja 2009.g. na konferenciji u Kopenhagenu, kada zajednički dogovor nije postignut zbog protivljenja nekih država kao Kine, Južne Afrike i Indije). Pri tome treba imati na umu da Kina i SAD, kao glavni zagađivači, učestvuju u ukupnoj emisiji GHG sa 24% i 14%, respektivno [10].

CMP konferencije: Konferencije stranaka (COP) od 2005. služe da se u isto vrijeme održavaju sastanci stranaka Protokola iz Kyota (CMP) [6]. Kao što COP prate implementaciju UNFCCC konvencije, tako CMP prate i stimulišu primjenu Kyoto konvencije. Učesnice Konvencije koje nijesu učesnice Protokola mogu sudjelovati u CMP kao posmatrači, ali bez prava na donošenje odluka.
Prvi sastanak stranaka Protokola iz Kyota (CMP1) održan je istovremeno sa COP11 u Montrealu 2005. Uporedo sa COP15 održan je CMP5 u Kopenhagenu 2009., ... Takođe uporedo sa COP21 održan je sastanak CMP11 u Parizu 2015.

4. ZAKLJUČAK

Povećana emisija ugljen-dioksida, metana i drugih gasova je direktna posljedica prekomjerng korišćenja fosilnih goriva (uglja, nafte i gasa). Istraživanja pokazuju da je rast prosječne temperature na površini Zemlje, u odnosu na temperaturu predindustrijskog doba, od 2°C maksimalno dopušten. Nažalost već se dostiglo povećanje srednje temperature Zemlje od 1°C u odnosu na temperaturu predindustrijskog doba. Dalji rast i povećanje iznad vrijednosti od 2°C doveo bi do dugoročne katastrofalne promjene klime (topljenja leda i podizanja nivoa mora, poplava, orkanskih vjetrova, itd), kao i odumiranja mnogih bioloških vrsta i uništenja ekosistema na Zemlji.
Jasno je da se svi koncepti međunarodnih ekoloških sporazuma, koji se tiču postizanja stabilizacije koncentracije gasova i eliminacije efekta staklene bašte, mogu postići supstitucijom fosilnih goriva sa obnovljivim izvorima energije (OIE). OIE izvori obuhvataju energiju vjetra, solarnu energiju, energiju okeana, plime i osjeke, hidroenergija, biomasu, vodonik, geotermalne izvore. Zajedničko za sve obnovljive izvore je da proizvode veoma malo ili nimalo "greenhouse" gasova i oslanjaju se na praktično neiscrpne prirodne resurse.

5. LITERATURA

[1] Our fossil fuel addiction and climate change, Arthur Dahl, http://iefworld.org/node/613
[2] www.wmo.int/media/sites/default/files/WMO2011- 2015.final_.docx
[3]www.wmo.int/media/content/wmo-2015-likely-be-warmest-record-2011-2015-warmest-five-year-period
[4] www.ipcc-wg2.gov/publications/SAR/index.html
[5] unfccc.int/kyoto_protocol/kyoto_protocol_bodies/items/2772.php
[6] www3.epa.gov/climatechange/ghgemissions/gwps.html
[7] www.projectcensored.org/22-the-refrigerator-revolution-and-repairing-the-ozone-layer/
[8] unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf
[9] unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf
[10] http://cait.wri.org/

ASPEKTI ENERGIJSKE EFIKASNOSTI U SISTEMIMA VODOSNABDIJEVANJA

ASPECTS OF ENERGY EFFICIENCY IN WATER SUPPLY SYSTEMS

Goran Orašanin[1], Dušan Golubović[2], Davor Milić[3], Jovana Pajkić[4]
Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Mašinski fakultet
[1]goranorasanin@yahoo.com, [2]dusan.golubovic54@gmail.com, [3]mdavor82@gmail.com,
[4]jovana.pajkic@gmail.com

SAŽETAK: *Vodovodni sistemi koriste značajne količine energije na zahvaćanje, tretiranje, transport i distribuciju vode za piće do potrošača. Nije rijedak slučaj da vodovodna preduzeća koriste mnogo više energije nego što je potrebno za funkcionisanje sistema vodosnabdijevanja. Kao rezultat toga, čak i relativno mala povećanja energijske efikasnosti mogu da doprinesu finansijskoj koristi vodovodnih preduzeća. U radu su prikazani aspekti, odnosno mogućnosti poboljšanja energijske efikasnosti vodovodnih sistema u svakoj od faza vodosnabdijevanja.*

Ključne riječi: *energijska efikasnost, vodovodni sistem*

ABSTRACT:
Water systems use significant amounts of energy to the abstraction, treatment, transport and distribution of drinking water to consumers. It is not uncommon for waterwork companies to use a lot more energy than is necessary for the functioning of the water supply system. As a result, even relatively small increases in energy efficiency can contribute to the financial benefits of waterworks companies. The paper presents aspects, i. e. the possibilities of improving energy efficiency of water supply systems in each phase of water supply.

Key words: *energy efficiency, water suply system*

---

1. UVOD

Efikasnost znači činiti prave stvari na pravi način. Efikasnost zavisi od resursa neophodnih za dobijanje poboljšanih rezultata. Ti resursi su znanje, energija, vrijeme, sirovine i novac. Karakter efikasnije djelatnosti će steći ona koja za istu aktivnost troši manje resursa. Prema tome, efikasnost se mjeri odnosom izlaza i ulaza, odnosno veličine funkcije i utrošene energije. Znači, efikasnost je veličina izlaza po jedinici resursa. Ona može biti tehnička, ekonomska, finansijska i energijska (Obućinski, 2013).

Energijska efikasnost vodovodnih sistema treba da predstavlja zbir aktivnosti i djelovanja u svim fazama procesa vodosnabdijevanja, gdje je krajnji cilj minimalna potrošnja energije pod uslovom da urednost vodosnabdijevanja ostane ista ili da se poboljša. Dakle, to nije puka štednja energije nego njena efikasna upotreba koja doprinosi poboljšanju kvaliteta vodosnabdijevanja.

Cilj ovog rada je da se predlože mogućnosti poboljšanja energijske efikasnosti u svakoj od faza procesa vodosnabdijevanja.

2. VODOVODNI SISTEMI I ENERGIJA

Prema Watergy (2009), oko dva - tri posto potrošnje energije u svijetu se koristi za pumpanje i tretman vode za gradske i industrijske svrhe. Potrošnja energije, u većini vodovodnih sistema širom sveta može da se smanji najmanje 25% preko programa poboljšanja energijske efikasnosti. Otuda je primjetan značaj razvoja modela koji definišu operativne strategije u cilju njihovog najboljeg rješenja za energijsku efikasnost (Ramos i ostali, 2012).

Količina energije koja se koristi za vodosnabdijevanje je često mnogo veća nego što je potrebno (Parker i ostali, 2008). Energija može da se izgubi na mnogo načina. Neki od razloga su: neefikasne pumpne stanice, loše instalacije ili loše održavanje, stare vodovodne cijevi sa visokim gubicima, uska grla u vodovodnoj mreži, pretjerano visok pritisak vodosnabdijevanja i neefikasno funkcionisanje različitih objekata vodosnabdijevanja, te i zbog neefikasnog korišćenja vode. Prosječni svjetski gubici vode se procjenjuju na 30%, što znači da se isti udio energije gubi. Imajući u vidu navedene uzroke, ušteda u potrošnji energije može dostići od 20% do 30% od trenutne potrošnje (Feldman, 2009).



Slika 1: Faze u procesu vodosnabdijevanja

Za vodosnabdijevanje potrošača vodovodni sistemi koriste velike količine energije koja se koristi u svakoj od faza vodosnabdijevanja (Slika 1) i odvodnje otpadnih voda (Mehta, 2009). Proces vodosnabdijevanja sačinjavaju proizvodnja i tretman vode za piće, transport i distribucija vode do potrošača. Dakle, proces počinje fazom izdvajanja (često pumpanjem) sirove vode iz izvora (podzemni, nadzemni) i transportom do postrojenja za tretman i prečišćavanje vode u čijem procesu se koriste određene količine energije. Količina potrošnje energije zavisi od količine vode, vrste izvora i transporta do postrojenja za prečišćavanje (pumpanje ili gravitacija). U drugoj fazi se troše dodatne količine energije za tretman vode u postrojenju za prečišćavanje vode. Količina energije u ovoj fazi zavisi od količine sirove vode i korišćenog procesa tretmana koji zavisi od kvaliteta sirove vode i zahtjevanih standarda vode za piće. U trećoj fazi, tretirana voda se šalje transportnim i distributivnim cjevovodima do krajnjeg korisnika. U zavisnosti od uslova transporta (broja pumpnih stanica, rezervoara i sl.) potrebna je takođe određena količina energije za pumpanje vode u distributivne cjevovode. Kada je voda stigla do krajnjeg korisnika njegova potrošnja vode takođe utiče na potrošnju energije. Rasipanjem vode kod potrošača povećava se potrebna energija za svaku od prethodnih faza vodosnabdijevanja. Vodovodna preduzeća koja pored vodosnabdijevanja potrošača sakupljaju i prerađuju otpadne vode koriste dodatnu energiju za proces prikupljanja i tretmana otpadnih voda.

3. MJERE ENERGIJSKE EFIKASNOSTI U VODOVODNIM SISTEMIMA

Ulaganje napora u poboljšanje energijske efikasnosti vodovodnog sistema je potrebno, jer čak i relativno mali pomaci u efikasnosti imaju potencijal da donesu značajne koristi za vodovodna preduzeća kako u finansijskom pogledu tako i u poboljšanju održivosti. U cilju postizanja višeg nivoa efikasnosti, korišćenje energije mora da se mjeri i kontroliše. Unaprijeđenje energijske efikasnosti treba da uzme u obzir tri glavne mjere (Parker i ostali, 2008):

- smanjenje potrošnje energije kroz povećanje energijske efikasnosti sistema,
- smanjenje potrošnje energije osiguravajući racionalnije korišćenje, odnosno efikasno (učinkovito) korišćenje vode, i

- korišćenje potrebne energije, troškovno efikasno npr. pumpanje po nižoj tarifi.

Za zadovoljenje sve tri mjere, poboljšanje energijske efikasnosti u vodovodnim sistemima se može posmatrati kroz sljedeće aspekte:

- zaštita izvorišta;
- efikasan rad pumpe;
- kontrola gubitaka vode;
- smanjenje potražnje vode.

3.1. Zaštita izvorišta

Zaštita izvorišta je mjera prve faze u procesu vodosnabdijevanja odnosno zaštite vodozahvata. Adekvatnom zaštitom izvorišta, zahvaćena voda iz izvora je kvalitetnija i zahtijevaće manji proces tretmana sirove vode u drugoj fazi procesa vodosnabdijevanja, za ispunjenje standarda vode za piće. Manji tretman sirove vode podrazumijeva i manje zahtijevane energije.

Zaštita kvaliteta vode na izvorištu se postiže određivanjem zona sanitarne zaštite izvorišta. Zone sanitarne zaštite oko vodozahvatnih i drugih pratećih objekata na izvorištima površinskih i podzemnih voda, određuju se i uspostavljaju sa ciljem sprječavanja kontaminacije zahvaćenih voda. U okviru definisanih zona preduzimaju se različite mjere preventivne zaštite, strožijeg ili blažeg karaktera radi sprječavanja uticaja mogućih zagađenja vode (Milenić i ostali, 2011). Vodovodna preduzeća su zakonom obavezna da odrede zone sanitarne zaštite izvorišta i to: neposrednu zonu sanitarne zaštite, užu zonu sanitarne zaštite, te širu zonu sanitarne zaštite.

3.2. Rad pumpe

Potrošnja električne energije kroz pumpanje vode predstavlja najveći dio energijskih troškova u sektoru vodosnabdijevanja. Mjera efikasnog rada pumpi se odnosi na prve tri faze procesa vodosnabdijevanja. Među nekoliko praktičnih rešenja, koja mogu omogućiti smanjenje potrošnje energije, promjena operativnih procedura pumpanja pokazuje se veoma efikasnom, jer nisu potrebna dodatna ulaganja, ali se doprinosi značajnom smanjenju troškova energije u kratkom roku (Ramos i ostali, 2012).

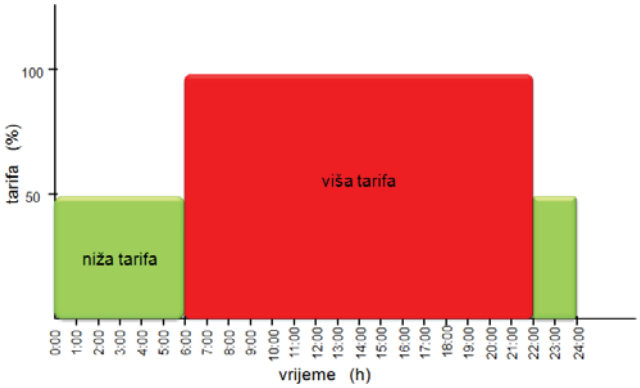
Pumpanje vode u vodovodnom sistemu je odgovorno za najveći dio potrošnje energije svakog vodovodnog sistema. Finansijska i energijska efikasnost se može poboljšati na sljedeći način:

- zamjenom starih pumpi koje su postale neefikasne i zastarjele;
- frekventnom regulacijom pumpe;
- radom pumpe u noćnim satima.

Za energijsko ispitivanje efikasnosti pumpne stanice prvo je potrebno kvantifikovati sadašnji nivo efikasnosti pumpne stanice i obezbjediti podatke potrebne za projektovanje odgovarajućeg poboljšanja efikasnosti za tu pumpnu stanicu, što može uključivati zamjenu pumpe (zastarjele ili neefikasne pumpe) ili reparacijom pumpe. Analiza treba da sadrži realne pokazatelje aktuelnih i budućih zahtjeva kupaca i nivoa curenja kako bi se osiguralo da će predložena poboljšanja odgovoriti očekivanim uštedama energije (Parker i ostali, 2008).

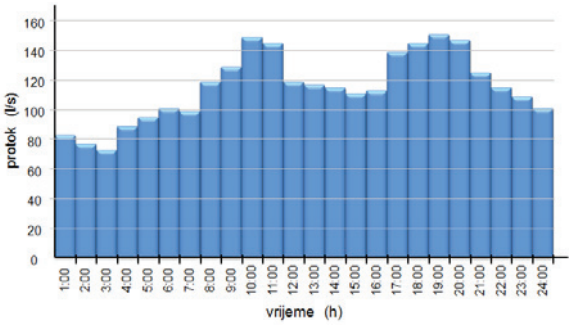
Primjena frekventne regulacije pumpe je opravdana u slučajevima kada pumpe moraju da rade u širim opsezima rada i u tom slučaju ostvaruju značajne uštede u potrošnji električne energije. Kod pumpnih postrojenja frekventna regulacija se koristi kad se želi postići kontinualna promjena brzine pumpe u zavisnosti od neke spoljne veličine kod vodovodnih distributivnih sistema. Ova

veličina je obično pritisak, protok ili nivo. Kako je kod pumpi utrošena energija srazmjerna kvadratu brzine može se zaključiti da motor koji radi sa polovinom broja obrtaja uzima samo 25% nominalne snage. Iz ovoga se jasno vidi ušteda energije (Kovač i Bulatović, 2013).



Slika 2: Tarife električne energije u BiH

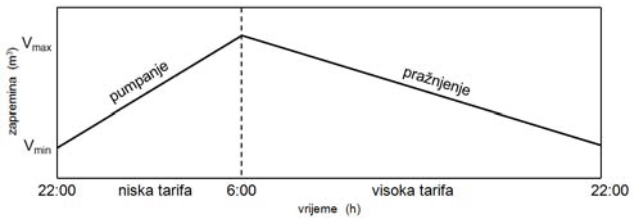
U BiH, kao i u regiji, se primjenjuje dvostruka tarifa električne energije (viša i niža) u zavisnosti od doba dana (Slika 2). Takođe, potrebe za vodom stanovništva nisu ravnomjerne, nego se mijenjaju u toku dana. Na slici 3 je prikazan dijagram jednodnevne potrebe za vodom stanovništva, mjereno u KP „Vodovod i kanalizacija" a.d. Istočno Sarajevo. Kako se sa dijagrama vidi potrebe za vodom su povećane u jutarnjim i večernjim satima, u popodnevnim su umjerene, dok u noćnim satima potrebe za vodom opadaju.



Slika 3:Dnevne potrebe za vodom

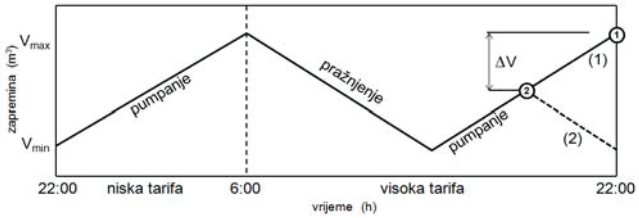
Velike finansijske uštede se mogu postići promjenom režima rada pumpe, odnosno podešavanjem rada pumpe u vremenu niže tarife električne energije (Kostić i ostali, 2011). Cilj je da se u periodu niže tarife maksimalno koriste pumpe. Ušteda se prvenstveno realizuje kada vodovodni sistem ima kapacitet skladištenja (rezervoare). Period najvećeg rada pumpnih stanica je obično u periodu najveće potražnje vode. To znači, da kada su niže tarife električne energije maksimalnim korišćenjem pumpi možemo obezbjediti dodatni kapacitet snabdevanja. Ovaj kapacitet se koristi tako što će se uskladištiti višak vode u rezervoarima tokom niže tarife električne energije, te na taj način u periodu najveće potražnje smanjiti rad pumpi. U zavisnosti od zapremine rezervoara, tj. ako je zapremina rezervoara dovoljna da zadovolji dnevne potrebe za vodom potrošača onda je dovoljno punjenje rezervoara samo u periodu niže tarife električne energije (Slika 4). Dakle,

rezervoar se puni u vrijeme niže tarife električne energije, a prazni u vrijeme više tarife električne energije (Kostić i ostali, 2011).



Slika 4: Punjenje i pražnjenje rezervoara sa minimalnim troškovima energije

Ukoliko zapremina rezervoara nije dovoljna da zadovolji dnevne potrebe za vodom potrošača onda je potrebno napraviti analizu potrošnje i utvrditi vrijeme kada je potrebno da se rezervoar puni u vremenu više tarife električne energije. Punjenje rezervoara će se svakako vršiti u vrijeme niže tarife električne energije, a u vrijeme više tarife se treba izračunati koliko će pumpe raditi, odnosno koju količinu vode je potrebno ubaciti u rezervoar da bi na osnovu potrošnje vode sljedeće punjenje bilo u vremenu niže tarife (Kostić i ostali, 2011). Dakle, na osnovu analizirane potrošnje je moguće unaprijed pripremiti raspored rada pumpi (Slika 5).



Slika 5: Promjena režima rada pumpi

Očigledno je da će se značajne uštede postići punjenjem rezervoara u vremenu niže tarife, odnosno ako će se raspored rada pumpi prilagođavati nižoj tarifi električne energije. Neophodno je naglasiti da se na ovaj način ne smanjuje potrošnja električne energije, odnosno ne radi se o poboljšanju energijske efikasnosti nego se pozitivno utiče na troškove vodovodnog preduzeća, jer plaća potrošnju električne energije po nižoj tarifi.

3.3. Kontrola gubitaka vode

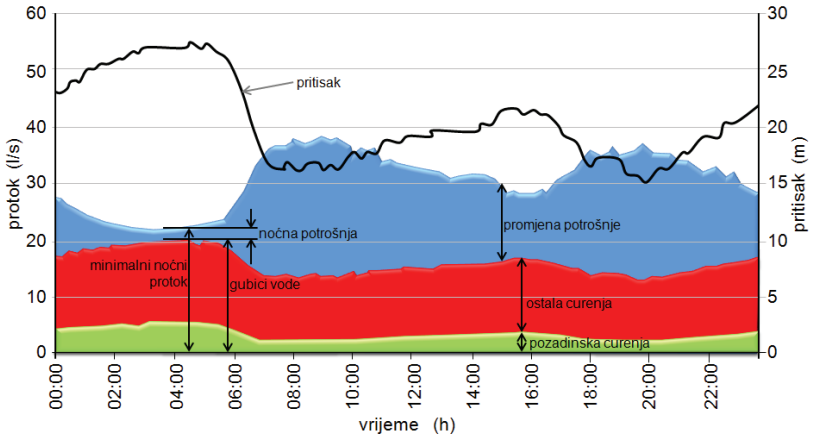
Mjera koja se odnosi na kontrolu i smanjenje gubitaka vode u vodovodnom sistemu je mjera u trećoj fazi procesa vodosnabdijevanja. Gubici vode su najveći u distributivnom sistemu te se njihovim smanjenjem pozitivno utiče na prve tri faze procesa vodosnabdijevanja. Gubici vode uzrokuju veće troškove vodovodnog preduzeća kao što je: (i) veća potrošnja električne energije za pumpanje sirove vode u prvoj fazi, (ii) veća potrošnja energije za tretman vode u drugoj fazi, te (iii) veća potrošnja energije korišćene u pumpanju tretirane vode u trećoj fazi procesa vodosnabdijevanja. Dakle, smanjenjem gubitaka vode će se smanjiti rasipanje energije utrošene u izgubljenoj vodi u prve tri faze procesa vodosnabdijevanja.

U principu postoje dvije vrste mjera kontrole gubitaka vode i to: (i) pasivna i (ii) aktivna kontrola gubitaka vode. Pasivna kontrola gubitaka vode se primjenjuje u većini vodovodnih sistema u BiH i podrazumijeva otklanjanje gubitaka vode tek onda kada se ona pojave na površini terena ili su primjećena na neki drugi način. Aktivna kontrola gubitaka je skup osmišljenih i koordiniranih aktivnosti, koje imaju za cilj kontinualno praćenje i smanjivanje gubitaka vode iz sistema.

Kontrola gubitaka vode, kroz program aktivne kontrole gubitaka, će smanjiti rasipanje energije ugrađene u izgubljenoj vodi. Program smanjenja gubitaka vode obično uključuje aktivno istraživanje curenja, uspostavljanje ograničenih mjernih oblasti, upravljanje pritiskom u distributivnom sistemu i optimizaciji brzine i kvaliteta popravki. Pretjerani distributivni pritisci i visok nivo curenja doprinose značajno velikoj potražnji energije. Visoki nivoi curenja vode su često odgovorni za više od 25% potrošnje energije (Parker i ostali, 2008).

Kao jedan od najefikasnijih instrumenata za kontrolu curenja je regulisanje pritiska u vodovodnoj mreži. Regulisanje pritiska obuhvata podešavanje pritiska vode u vodovodnim sistemima na optimalan nivo i može biti profitabilno, ne samo u postojećim distributivnim sistemima nego i u novim i planiranim mrežama. Optimalan nivo pritiska podrazumijeva obezbjeđivanje efikasnog i urednog vodosnabdijevanja potrošača, uz istovremeno smanjenje curenja u distributivnoj mreži (kroz smanjenje nepotrebno visokog pritiska).

Maksimalni pritisak u minimalnoj noćnoj potrošnji, je mnogo veći u odnosu na dnevni pritisak kada je i potrošnja vode povećana (Slika 6). Ta razlika predstavlja potencijal za smanjenje pritiska i na taj način smanjenje gubitaka vode i smanjenje potrošnje energije.



Slika 6: Promjena protoka, pritiska i curenja u vodovodnoj mreži (Farley, 2005)

U zavisnosti od toga da li se vodosnabdijevanje vrši putem gravitacije ili putem direktnog pumpanja vode u distributivnu mrežu, smanjenje pritiska se reguliše ventilima za smanjenje pritiska ili frekventnom regulacijom brzine pumpe.

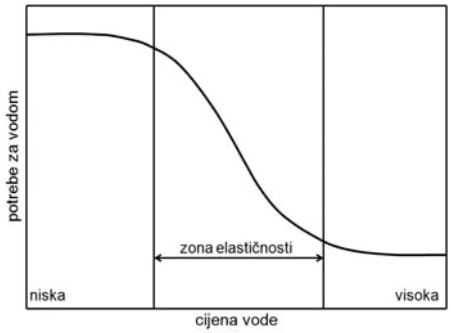
3.4. Smanjenje potražnje vode

Mjera koja se odnosi na smanjenje potrošnje vode kod potrošača je mjera u četvrtoj fazi procesa vodosnabdijevanja. Sprovođenjem mjere upravljanja potražnjom vode utiče se na prve tri faze procesa vodosnabdijevanja, odnosno u prvoj fazi će se manje količine vode zahvaćati na izvorištu, u drugoj će se manje količine sirove vode tretirati te će i transport i distribucija prerađene količine vode u trećoj fazi biti manja, odnosno i pumpne stanice će manje raditi. Dakle sačuvana voda je sačuvana energija.

Potrošena voda mjeri se vodomjerima i naplaćuje u odnosu prema potrošenoj količini. Kod potrošača kod kojih se ne mjeri potrošena količina vode ne može se ni znati prava vrijednost potrošene vode. Dobro je poznato da proces koji se ne mjeri ne može se ni poboljšati. Zbog toga je neophodno mjeriti i evidentirati svaku količinu potrošene vode kod potrošača. Uštede koje se

postižu ugradnjom vodomjera procjenjuju se na oko 10-25% potrošene količine vode (Gereš, 2003).

Kao jedna od efikasnih metoda upravljanja potražnjom vode je i politika cijene vode. Odnos između cijene vode i potrebe za vodom je prikazan na slici 7 (Kostić i ostali, 2011).



Slika 7 Odnos potreba za vodom i cijene vode

Niska cijena vode dovodi do nerealnih potreba za vodom (rasipanje vode), odnosno neće uticati na potrošnju zbog zanemarljivih troškova za vodu u odnosu na druge potrebe potrošača. Zona elastičnosti cijene vode se kreće od niske cijene vode do visoke cijene vode. Visoka cijena vode dovodi do smanjenja potrošnje vode, ali potrošnja vode ne može biti smanjena ispod nivoa koji zadovoljava osnovne potrebe potrošača.

Smanjenje potrošnje vode za piće se uveliko zasniva i na svijesti potrošača. Edukacija javnosti o efikasnijem korišćenju vode smanjuje potražnju, a samim tim i potrebu za energijom. Veoma je važno da se u svakom trenutku ima u vidu da kroz cjevovod ne teče samo voda, nego i energija. Kada neko otvori slavinu, voda i energija će izaći zajedno. Iz tog razloga vodovodna preduzeća treba da utiču na efikasnije korišćenje vode, jer smanjenja potrošnje vode smanjuje potrebe za energijom.

4. ZAKLJUČAK

Vodovodni sistemi su veliki potrošači energije, koja se koristi u svakoj od faza proizvodnje i snabdijevanja vodom potrošača. Potrošnja energije može varirati zavisno od tipa izvorišta vode, godina starosti postrojenja, tipa tretmana, kapaciteta skladištenja, topografije, veličine sistema, gubitaka vode itd.. Kako je u radu navedeno većina vodovodnih sistema troši veće količine energije nego što je potrebno. Uz određivanje zona sanitarne zaštite izvorišta, upravljanjem potrošnjom vode, kontrolom gubitaka vode, te efikasnijeg korišćenja rada pumpnih postrojenja u značajnoj mjeri se može smanjiti potrošnja energije. Smanjenje potrošnje energije, posebno kroz smanjenje gubitaka vode u vodovodnim sistemima, neminovno dovodi s jedne strane do finansijske uštede vodovodnog preduzeća, a sa druge strane do urednog i kvalitetnog vodosnabdijevanje potrošača.

5. LITERATURA

[1] Farley M., (2005), Managing Losses in Water Distribution Networks, An International strategy for an international problem; Water Supply Management Workshop, Hue City, Vietnam 26. May 2005.
[2] Feldman M., (2009), Aspects of Energy Efficiency in Water Supply Systems, Proceedings of the 5th IWA Water Loss Reduction Specialist Conference 26 – 30 April 2009 pp 85-89.
[3] Gereš D., (2003), Upravljanje potražnjom vode, GRAĐEVINAR 55 (2003) 6, 329-338.
[4] Kostić D., Janković Lj., Branisavljević N., Naunović Z., Ivetić M., (2011), Poboljšanje energetske efikasnosti vodovodnih sistema – Primer sistem za vodosnabdevanje Užice, 11. Međunarodna konferencija Vodovodni i kanalizacioni sistemi, Jahorina 2011., 179-191.
[5] Kovač D., Bulatović M., (2013), Savremeni načini upravljanja, mjerenja i monitoringa pumpnih postrojenja, 34. Međunarodni stručno-naučni skup „Vodovod i kanalizacija 2013", Tara 15-18, oktobar 2013.,. 202-210.
[6] Mehta M., (2009), Water Efficiency Saves Energy: Reducing Global Warming Pollution Through Water Use Strategies, Water Facts, March 2009.
[7] Milenić D., Milanković Đ., Vranješ A., Prohaska S., (2011), Definisanje zona sanitarne zaštite na akumulaciji „Zlatibor" u Ribnici, 11. Međunarodna konferencija „Vodovodni i kanalizacioni sistemi", Jahorina 25-27. Maj 2011., 69-75.
[8] Obućinski D., (2013). Sistem menadžmenta energijom, TEHNIKA 63 (2013) 2, 335-342.
[9] Parker J., Fanner P., Feldman M., (2008), Increasing Energy Efficiency of Water Supply How to Introduce Carbon Credits to the Water Sector?
[10] Ramos H.M., Costa L.H.M., Gonçalves F.V., (2012). Energy Efficiency in Water Supply Systems: GA for Pump Schedule Optimization and ANN for Hybrid Energy Prediction, Water Systems Analysis: Selected Topics, Chapter 4, 2012.

RECIKLAŽA ZAULJENE OTPADNE AMBALAŽE PROCESOM PIROLIZE

RECYCLING OF OILY WASTE PACKAGING BY PYROLYSIS

Pero Dugić[1], Zoran Petrović[2], Vojislav Aleksić[2], Stefan Pavlović[2], Biljana Milovanović[2]
[1]Tehnološki fakultet Univerziteta u Banja Luci, perodugic@gmail.com
[2] Tehnološki fakultet Zvornik Univerziteta u Istočnom Sarajevu, ozrenzorp@gmail.com

---

SAŽETAK:
Za komercijalno pakovanje maziva, najčešće se koristi polietilenska ambalaža različitog dizajna i zapremine. Nakon pražnjenja sadržaja, korišćena ambalaža završava kao otpadni materijal na komunalnim deponijama, a često, neodgovornim odnosom korisnika, završava u našoj okolini (pored saobraćajnica, u šumama i rijekama). Poznata je činjenica da se polietilenski ambalažni materijal i mineralna ulja veoma sporo razgrađuju. Veliki problem predstavlja činjenica da u bocama nakon pražnjenja sadržaja, tj. izlivanja maziva u putničke i teretne automobile, građevinsku i poljoprivrednu mehanizaciju, te motorne pile, zaostaje određena količina maziva, čime se dodatno ugrožava životna sredina (naročito vode i zemljište), a time i zdravlje stanovništva. U razvijenim zemljama EU postoji organizovano upravljanje skoro svim vidovima polimernog otpada, kao i korištenim mazivima. Sakupljene količine otpada koriste se za ponovno dobijanje polimernih materijala, za dobijanje energije, te niza hemijskih proizvoda (procesima pirolize i gasifikacije). U našoj zemlji još nije uspostavljen organizovani način sakupljanja i konačnog zbrinjavanja ovog otpada. Broj putničkih automobila, teretnih i drugih vozila, kao i poljoprivrede mehanizacije je u porastu, a zbog njihove starosti, odnosno stanja motora, povećana je potrošnja motornih ulja i drugih tečnih maziva. To dovodi do nastajanja i veće količine otpadne polietilenske ambalaže u kojoj zaostaje određena količina maziva. U radu su opisani rezultati istraživanja procesa pirolize zauljenog polietilenskog otpada u laboratorijskom reaktoru, u svrhu dobijanja tečnih ugljovodonika. Rezultati istraživanja mogu poslužiti za projektovanje procesa veće razmjere, a dobijeni proizvodi mogu imati komercijalnu primjenu. Zbog toga, ovaj postupak zbrinjavanja zauljenog polietilenskog otpada ima ne samo ekološki, nego i ekonomski efekat.

Ključne riječi: *polietilenska ambalaža, maziva, opasni otpad, piroliza*

ABSTRACT:
For commercial packing of lubricants, the most commonly used are polyethylene packing which are different designs and volume. After emptying the contents, used packing ending up as waste material in municipal landfills, and in our environment by irresponsible behavior of users (roadside, forests and rivers). It is known the fact that the polyethylene packing materials and mineral oils are decomposed very slowly. The big problem is the fact that the bottles after emptying the contents, i.e. outflow of lubricants in the passenger vehicles and commercial vehicles, construction and agricultural equipment and chainsaws, drop behind a certain amount of lubricants, which further endanger the environment (particularly water and land), and thus the health of the population. In developed countries there is an organized management, almost of all aspects of polymer waste and used fuel. The collected amount of waste are used for the recovery of polymer materials, for energy, and a variety of chemical products (processes of pyrolysis and gasification). In our country has not established management of collection and disposal of waste

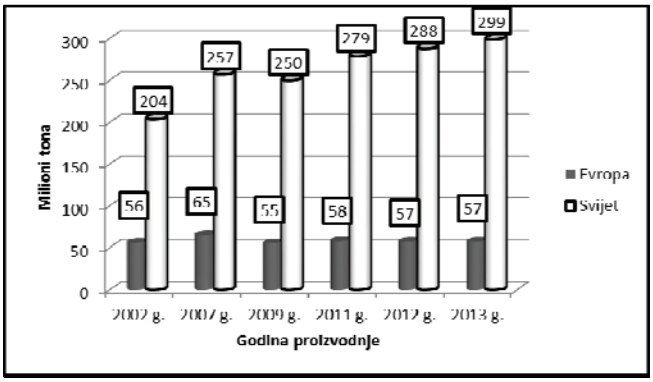
yet. Number of passenger vehicles, trucks and other vehicles, as well as to agricultural mechanization are growing, and because of their age or condition of the engine, are increased consumption of motor oil and other liquid lubricants. This leads to the formation of large quantities of waste polyethylene packing in which drop behind a certain amount of lubricants. In this paper are described the results of investigation process of pyrolysis oily polyethylene waste in a laboratory reactor for the purpose of obtaining liquid hydrocarbons. The results of investigation can be used for process design for larger proportion, and the resulting products may have commercial applications. Therefore, this method for oily polyethylene waste has not only environmental, but also economic effect.

Keywords: *polyethylene packaging, lubricants, hazardous waste, pyrolysis*

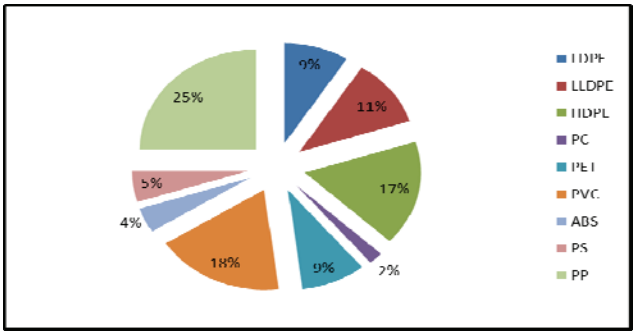
---

1. UVOD

Osnovu polimernih materijala predstavljaju polimeri i odgovarajući dodaci za poboljšanje primjenskih i funkcionalnih karakteristika. Polimeri se dobijaju reakcijama polimerizacije jedne ili više vrsta monomernih molekula . U zavisnosti od ponašanja pri porastu temperature oni se dijele na tri grupe i to: termoplaste (plastomeri), termoreaktivne polimere (duromeri) i termoplastične elastomere [1]. U termoplaste se ubrajaju polimeri linearne strukture, kao što su: polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinil hlorid (PVC) i polistiren (PS). Na povišenim temperaturama se tope i prelaze u plastično stanje, a ovaj proces se može odvijati više puta, te zbog toga imaju široku primjenu. Polimerni materijali su u 20. vijeku zbog niza dobrih karakteristika našli primjenu u različitim granama industrije i domaćinstvu, te znatno smanjili potrošnju drugih materijala (metali, staklo, papir). Na slici 1. grafički je prikazana proizvodnja polimernih materijala od 2002. do 2013. godine [2], a na slici 2. struktura potrošnje polimera u svijetu.

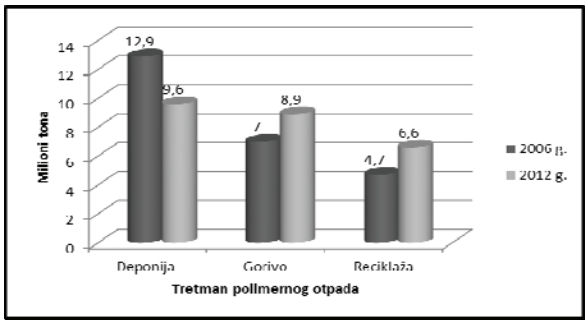


Slika 1. Grafički prikaz proizvodnje polimernih materijala u Evropi i svijetu od 2002-2013. godine



Slika 2: Struktura potrošnje polimera u svijetu u 2012. godini

Sa datih grafika može se vidjeti da je u navedenom periodu u svijetu došlo do povećanja proizvodnje za oko 50 %, a u Evropi je zadržan isti nivo proizvodnje, te da je u 2012. godine u svijetu bila najveća potrošnja polimera široke potrošnje: polietilena (PELD, PELLD, HDPE) oko 37 %, zatim polipropilena (PP) oko 25 %, polivinhlorida (PVC) oko 18 %, polietilentereftalat (PET) oko 9% i dr. [3]. Polimerni materijali u Evropskoj uniji u 2013. godini su se primjenjivali u slijedeće svrhe: za proizvodnju ambalaže -39,6 %, građevinarstvo -20,3 %, automobilska industrija - 8,5 %, elektrotehnika i elektronika -5,6 %, poljoprivreda – 4,3 % i široka potrošnja – 21,7 % [2].
Velika potrošnja polimernih materijala uzrokovala je i veliku količinu otpada (najveći dio je veoma slabo razgradiv), koji je uzrokovao zagađivanje životne sredine i zdravlja stanovništva. Problem je još veći ako se zna da u polimernoj ambalaži za pakovanje hemijskih proizvoda (boce od PEHD-a), nakon utroška istih zaostane određena količina, koja dodatno ugrožava životnu sredinu. Nakon potrošnje, odnosno pražnjenja proizvoda, prazna PEHD ambalaža može da posluži određeno vrijeme za korišćena motorna i druge vrste ulja i maziva, koja su kategorisana kao opasni otpad. Neka ispitivanja su pokazala da u boci od PEHD-a zaostane oko 5 % svježeg motornog ulja ili korišćenog motornog ulja, te ako isto sa ambalažom bude neadekvatno zbrinuto, tj. odloženo na poljoprivredno zemljište i vodotokove doprinosi većem ugrožavanju životne sredine [4].
Korišćena motorna ulja sadrže niz kontaminirajućih materija, kao što su: voda, čestice metala, nesagorele komponente goriva, čađ, te različiti produkti degradacije ulja. Neke od prisutnih komponenata su toksične, kancerogene i mutagene prirode (policiklična aromatska jedinjenja, teški metali, i dr.). Korišćena motorna ulja su kompleksne smješe visokomolekulskih i niskomolekulskih alifatskih i aromatskih ugljovodonika, aditiva, metala i raznih organskih i neorganskih jedinjenja. U razvijenim zemljama Evropske unije razvili su sistem upravljanja različitim otpadnim materijalima, pa i polimernim ambalažnim materijalima i korišćenim uljima, te su donijeli niz Direktiva, a neke od njih su: 91/889 EEZ, 75/439 EEC, 87/101 EEC, 91/692 EEC, 94/62 EC, 2005/20/EC, 2004/12/EC, 2008/98/EC, 2000/76/EC. Cilj ovih Direktiva je uređivanje sistema upravljanja otpadom, njegovo minimiziranje i bezbjedno odlaganje, tranpost, te mogućnost ponovnog iskorišćenja (reciklaža) ili kontrolisano spaljivanje u cilju dobijanja energije). Statistički podaci pokazuju da je u 2012. godini u EU povećan stepen korišćena polimernog otpada (62 % reciklirano i upotrijebljeno kao gorivo). Na slici 3. grafički je prikazan tretman polimernog otpada u 2006. godini i 2012 godini, na osnovu kojih se može zaključiti da je došlo do povećanja udjela reciklaže (1,4 puta) i korišćenja kao gorivo (1,27 puta), te smanjenja odlaganja na deponije (34 puta).



Slika 3: Tretman polimernog otpada

Reciklaža otpadnih polimernih materijala (tj.plastike) se može izvoditi mehaničkim, termičkim i hemijskim postupcima. Proces pirolize je hemijski proces, koji predstavlja cijepanje većih organskih molekula pri povišenoj temperaturi bez prisustva vazduha u proizvode manje molekulske mase. Ovaj proces ima sve veću primjenu u reciklaži otpadnih polimernih materijala i korišćenih ulja, zbog ekološke i ekonomske prihvatljivosti. U razvijenim zemljama se u poluindustrijskim i industrijskim uslovima izvodi proces piroliticke razgradnje različitih polimernih materijala, te se dobijaju proizvodi koji se upotrebljavaju kao dizel gorivo, ulje za loženje, bazna ulja, a koriste se i kao sirovine za druge namjene [5,6,7,8,9,10]. Za povećanje efikasnosti procesa pirolize, te dobijanje većeg prinosa tečnih frakcija koriste se različiti katalizatori [11,12,13].

U Republici Srpskoj, odnosno BiH nema proizvodnje polimera, ali postoje proizvodni kapaciteti za preradu polimernih materijala u različite namjene, a najveći udio čine izrada ambalaže za pakovanje gotovih proizvoda (prehrambena i hemijska industrija). Tačnu količinu PEHD za proizvodnju boca za pakovanje motornih i drugih vrsta ulja teško je precizno utvrditi, jer pored maziva domaćeg proizvođača na tržištu je prisutan i veliki asortiman uvoznih maziva. U BiH se godišnje utroši oko 25.000 t maziva, od čega je 65-70 % pakovano u komercijalnu plastičnu ambalažu zapremina od 0,1; 0,2; 0,25; 0,5; 1; 3; 4; 10 i 20 litara [4]. Velika količina otpadne polimerne ambalaže zauljene svježim i korišćenim mazivima završi na deponijama ili bude spaljena u nekontrolisanim uslovima, jer nema još uvijek organizovanog upravljana otpadnim polimernim materijalima i korišćenim uljem. Donešeni su određeni zakonski i podzakonski akti o upravljanju otpadom, klasifikaciji otpada, upravljanju ambalažom i ambalažnim otpadom, te smanjenju ambalažnog otpada i dr.), čiji cilj uspostavljana organizovanog upravljanja otpadnim materijalima, a naročito korišćenim uljima i ambalažnim materijalima. Neke aktivnosti su u fazi planiranja, a neke su završene ili su u toku (izgradnja regionalnih deponija, u većim centrima selektivno razvrstavanje otpada, upravljanje opasnim otpadom i dr.). Najveći akcenat je stavljen na minimiziranje otpada, te reciklažu otpada u cilju ponovne upotrebe, dobijanja novih proizvoda ili dobijanja energije. Još uvijek se vrše ispitivanja u laboratorijskim i poluindustrijskim uslovima, sa različitim tipovima reaktora i sa različitim otpadnim materijalima, te se dobijaju i različiti proizvodi piroliticke razgradnje (gasoviti i tečni proizvodi, te čvrsti ostatak) [14,15,16].

2. EKSPERIMENTALNI DIO

U eksperimentalnom dijelu ovog rada prikazan je dio rezultata provedenih ispitivanja procesa pirolize polimerne ambalaže (PEHD) u kojoj nakon korišćenja zaostaje određena količina svježeg ili korišćenog motornog ulja.

2.1. Materijali

Za eksperimentalni dio ovog rada korišteni su slijedeći materijali:
- Boca od PEHD-a za pakovanje motornih ulja
- Svježe motorno ulje (SMU).
- Korišćeno motorno ulje (KMU).

2.2. Metode rada

2.2.1. Karakterizacija svježeg i korištenog motornog ulja

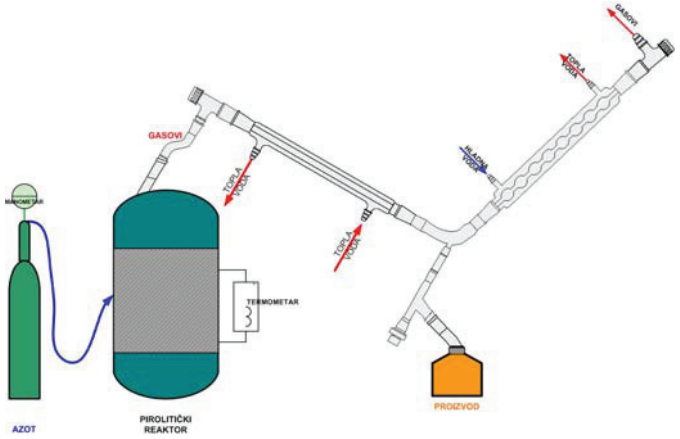
Karakterizacija uzoraka korištenog i svježeg motornog ulja kao sirovina za proces pirolize izvršena je u akreditovanoj laboratoriji Rafinerije ulja Modriča primjenom odgovarajućih standardnih metoda ispitivanja koje su navedene u tabeli 1.

Tabela 1: Metode za karakterizaciju svježeg i korišćenog motornog ulja

R.b.	Karakteristika/sadržaj elemenata	Metoda
1.	Viskoznost na 40 °C	BAS ISO 3104
2.	Viskoznost na 100 °C	BAS ISO 3104
3.	Indeks viskoznosti	BAS ISO 2909
4.	Tačka paljenja	BAS ISO 2719
5.	Tačka paljenja	BAS ISO 2592
6.	Tačka tečenja	BAS ISO 3016
7.	Gustina na 15 °C	ASTM D 5002
8.	Sadržaj sumpora	ASTM D 8754
9.	Sadržaj elemenata (Zn, Ca, Ag, Al, B, Ba, Ca, Cr, Cu, Fe)	ASTM D 5185

2.2.2. Piroliza zauljene ambalaže u laboratorijskim uslovima

Za izvođenje procesa pirolize korišćen je šaržni reaktor, a šematski prikaz kompletne laboratorijske aparature prikazan je na slici 4. U šaržni laboratorijski reaktor ugrađen je mikroprocesorski regulator temperature, sa mogućnošću održavanja temperature na zadanom nivou. Za održavanje inertne atmosfere u reaktoru i djelimično miješanje šarže tokom pirolize u reaktor se uvodi azot pod pritiskom. Reaktor je cilindričnog oblika sa odnosom prečnik:visina=1:3, radne zapremine 700 mL. Sa gornje strane reaktor je opremljen demontažnim prirubničkim spojem na kome su priključci za ulaz inertnog gasa i izlaz proizvoda pirolize, kao i sonda bimetalnog termometra. Reaktor je opremljen električnim grijačem upravljan PLC-om, koji omogućuje brzo dostizanje i održavanje zadate temperature. Najviša radna temperatura koja se može održavati u reaktorskom sistemu je 700 °C. Reaktor je termički dobro izolovan mineralnom vunom radi smanjenja gubitaka toplote i održavanja željene temperature.



Slika 4: Šematski prikaz laboratorijske aparature za pirolizu zauljene ambalaže

U reaktor za pirolizu unese se određena masa uzorka dobijena usitnjavanjem boce od PEHD-a. Nakon zatvaranja reaktora, uspostavlja se blagi nadpritisak azota u sistemu radi sprečavanja reakcija oksidacije. Na displeju PLC-a podesi se željena krajnja temperatura, a zatim uključuje električni grijač. Nakon završetka pirolize prekida se zagrijavanje reaktora, a zatim i dovod azota, te ostavi da se hladi, te se vrši mjerenje mase tečnih proizvoda. Reaktor se isprazni i očisti od eventualnog čvrstog ostatka i pripremi za slijedeći proces.
Za ovaj eksperimentalni dio rada na temperaturi od 550ºC izvedena je piroliza 3 uzorka i to: 20 g usitnjenog PEHD-a (uzorak P), 20g usitnjenog PEHD-a zauljenog svježim motornim uljem (uzorak PSMU, sa 5%m/m ulja) i 20g usitnjenog PEHD-a zauljenog korišćenim motornim uljem (uzorak PKMU sa 5%m/m korištenog ulja).

2.2.3 Karakterizacija proizvoda pirolize zauljene ambalaže

Za karakterizaciju dobijenog voskastog proizvoda pirolize (pirolizata) korištene su sljedeće metode ispitivanja:

1. Metoda CEI IEC 590 za određivanje sadržaja aromata.
2. Metoda ISO 22241-2 za određivanje indeksa refrakcije.
3. Metoda ASTM D6481 za određivanje fosfora, kalcijuma i cinka.

3. REZULTATI ISPITIVANJA

U tabeli 2. date su najvažnije karakteristike svježeg polusintetičkog motornog ulja koje ispunjava zahtjeve specifikacija: ACEA A3/B4; API SL/CF; MB 229.1; VW 500 00/50200/50500 i smješe korištenih motornih ulja iz servisne radionice. Plastična boca od PEHD koja se koristi za pakovanje motornih ulja i svježe, odnosno korišteno motorno ulje u gore navedenom odnosu, korišteni su kao šarža za proces pirolize. Svježe i korišteno motorno ulje, pored ugljovodonika sadrži određenu količinu metala iz aditiva, a u korištenom ulju prisutni su i aditivi habanja. Smješa korištenih motornih ulja pored metala habanja sadrži i određenu količinu lakših frakcija ugljovodonika iz područja destilacije goriva i zato je viskoznost dosta niža nego kod svježeg motornog ulja. Takođe, usljed smicajnih naprezanja u toku primjene, došlo je do djelimične degradacije polimernih aditiva-poboljšivača indeksa viskoznosti, a djelovanjem visokih temperatura i i katalitičke funkcije metala, povećan je sadržaja produkata oksidacije. Sve ovo dovelo je do značajnih razlika u hemijskom sastavu između svježeg i korištenog motornog ulja.

Tabela 2: Rezultati ispitivanja svježeg motornog ulja

R.b.	Karakteristika	Jedinica	Svježe motorno ulje (SMU)	Korišćeno motorno ulje (KMU)
1.	Viskoznost na 40 °C	mm^2/s	89,30	36,22
2.	Viskoznost na 100 °C	mm^2/s	14,53	6,74
3.	Indeks viskoznosti	-	184	146
4.	Tačka paljenja	°C	246	188
6.	Tačka tečenja	°C	-30	- 30
7.	Gustina na 15 °C	kg/m^3	868,4	857,7
8.	Sadržaj sumpora	% m/m	0,180	0,248
9.	Ukupan bazni broj	mg KOH/g	9,70	-
10.	Sadržaj cinka	mg/kg	0,09	0,11
11.	Sadržaj kalcijuma	mg/kg	0,22	0,1773

Pirolizom sva tri uzorka dobija se glavni proizvod u tečnom-polutečnom obliku, čiji je prinos oko 70%, zatim oko 29%, te neznatna količina ostatka (ispod 1%). Analizom polutečnog proizvoda utvrđeno je da počinje da omekšava na 37 °C, a do temperature od 80 °C prelazi u tečno stanje, zato što sadrži rastvorenu značajnu količinu parafina u tečnim ugljovodonicima. Zbog tehničkih razloga nije bilo moguće analizirati izdvojene gasovite proizvode i čvrsti ostatak. Rezultati analize voskastog polutečnog proizvoda dati su u tabelama 3. i 4. te dijagramima prikazanim na slici 6.

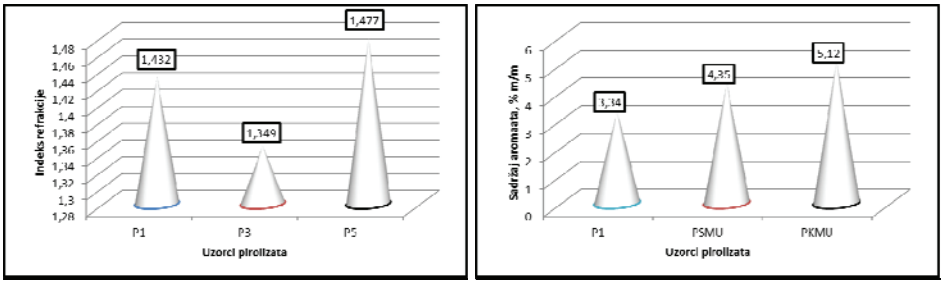
Tabela 3: Rezultati karakterizacije pirolizata dobijen pirolizom ambalaže od PEHD (uzorak P) i pirolizom ambalaže od PEHD zauljene svježim motornim uljem (uzorak PSMU)

R.b.	Karakteristika/sadržaj elemenata	Metoda ispitivanja	Jedinica	Uzorci pirolizata	
				P	PSMU
1.	Indeks refrakcije na 20ºC	ISO 22241-2 Anex C		1,4320	1,3490
2.	Sadržaj aromata	IEC 60590-1977	% m/m	3,34	4,35
3.	Sadržaj elemenata: P Ca Zn	ASTM D6481-2004	% m/m	 0,0806 0,0215 0,0845	 0,0556 0,0233 0,0737

Sadržaj aromata je određen metodom CEI IEC 590. Analizom infracrvenih spektara pirolizata dobijenog iz polietilena u poređenju sa spektrima pirolizata dobijenog termičkom razgradnjom zauljenog PEHD uočava se viši sadržaj aromatičnih jedinjenja u proizvodu dobijenom pirolizom zauljene ambalaže, a to je potvrđeno i izračuvanjem njihovih sadržaja primjenom izraza po Brandesu (standardna metoda IEC 590). Konjugovane dvostruke veze iz aromata daju karakterističnu čistu apsorpcionu traku na oko 1610 cm^{-1}. Svi FTIR spektri pirolizata imaju veoma široke apsorpcione trake u području 2800-2950 cm^{-1} koje potiču od simetričnih i nesimetričnih vibracionih istezanja veza C-H iz grupa CH_2 i CH_3 iz parafina. Apsorpcione trake istezanja dvostrukih veza C=C na talasnim brojevima oko 1640 cm^{-1} i apsorpcione trake u području oko 910 cm^{-1} potiču od oscilacija dvostrukih veza alkena koji su takođe prisutni u proizvodu. Glavni proizvod pirolize sadrži tečne ugljovodonike u kojima su rastvoreni teži parafinski ugljovodonici C_{18} do preko C_{30} koji doprinose voskastoj strukturi.

Tabela 4: Rezultati karakterizacije pirolizata dobijen pirolizom ambalaže od PEHD zauljene korišćenim uljem (uzorak PKMU)

R.b.	Karakteristika	Metoda	Jedinica	Rezultat
1.	Kvantitativni sastav: C-aromati C-parafini C-nafteni	CEI IEC590	% m/m	5,12 75,77 19,11
2.	Indeks refrakcije na 20ºC	ISO 5661	-	1,477
3.	Sadržaj elemenata P Ca Zn	ASTM D6481-2004	% m/m	- 0,0773 0,0530



Slika 6: Vrijednosti indeksa refrakcije i sadržaja aromaata dobijenih pirolizata

Daljim procesima separacije (deparafinacija i destilacija), moguće je razvojiti dobijene smješe ugljovodonika na frakciju dizel goriva i čvrsti parafinski vosak. Tečna frakcija se može koristiti kao ulje za loženje ili gorivo za dizel motore, a čvrsti parafinski vosak za proizvodnju svijeća. Dalja prerada proizvoda pirolize može obuhvatiti izomerizaciju alkana i hidrogenaciju alkena i aromata u cilju poboljšanja funkcionalnih karakteristika dizel goriva i povećanja njegovog prinosa. Nastali čvrsti ostatak pirolize, bez obzira na njegovu malu količinu (oko 1,0 %m/m) predstavlja otpadni materijal koji pored koksa sadrži i dio metala iz sirovine. Veliki dio metala iz sirovine nalazi se u dobijenim proizvodima i zato je neophodna pažljiva analiza sadržaja metala u opasnom otpadu koji se obrađuje postupkom pirolize. Prilikom eksperimentalnog rada, sva količina nastalih gasovitih ugljovonika je zajedno sa inertnim gasom spaljivana, ali njihov prinos i nije tako nizak (u zavisnosti od uslova procesa, blizu 30%) i neophodno ih je kondenzovati, sakupiti i dalje obrađivati ili koristiti kao gorivo.
S obzirom da potrošnja plastične ambalaže izrađene od PEHD, PELD, PP, PS, PET-a i dr., stalno raste, povećava se i količina opasnog polimernog otpada, koji se treba zbrinuti na ekološki prihvatljiv način. Proces pirolize, koji daje visok prinos korisnih komponenata za druge namjene (i do 99%), sigurno predstavlja jedno od najboljih tehnoloških rješenja za ove otpadne materijale.

4. ZAKLJUČAK

- Zbog sve veće primjene polimernih materijala, nastanka velikih količina otpadnih polimernih materijala, primjena hemijskih procesa reciklaže, a posebno procesa pirolize ima veliki značaj ne samo sa ekonomskog, nego i ekološkog aspekta.
- Za pakovanje motornih ulja i drugih vrsta maziva koristi se ambalaža od PEHD, u kojoj nakon pražnjenja zaostaje određena količina maziva, a koja se može koristiti kao ambalaža za korišćena ulja, te tako dodatno ugrožavaju životnu sredinu.
- Pirolizom opasnog otpada-zauljene polietilenske ambalaže na temperaturi 550^{o}C u šaržnom reaktoru bez katalizatora, dobijena je smješa ugljovodonika širokog područja destilacije.
- Sadržaj aromata u tečno-voskastom proizvodu pirolize povećava se sa povećanjem njegovog sadržaja u sirovini, međutim njegova vrijednost nije viša od uobičajenih vrijednosti sadržaja aromata u standardnom dizel gorivu.
- Metali iz sirovine u značajnoj količini prelaze u proizvode pirolize i neophodna je rigorozna kontrola njihovog sadržaja u šarži.
- Tečna frakcija dobijena pirolizom zauljene ambalaže može se koristiti kao ulje za loženje ili gorivo za dizel motore, a čvrsti parafinski vosak za proizvodnju parafinskih svijeća.
- Sadržaj čvrstog ostatka nakon procesa pirolize zauljene ambalaže je zanemariv (ispod 1 %m/m).
- Rezultati ispitivanja mogu da posluže kao osnova za ispitivanja u poluindustrijskim uslovima.

5. LITERATURA

[1] Z. Janović, *Polimerizacija i polimeri*, Hrvatsko društvo kemijskih inženjera i tehnologa, Zagreb, 2005.
[2] An analysis of European Plastics production, demand and waste data, Plastics –the Facts 2014/2015, Plastics Europe PEMRG.
[3] Polyethylene Global Overview Esteban Sagel, Director Polypropylene Foro Pemex, Junio Ciudad de Mexico, 2012.
[4] Simić, S., Despotović, B.: Upravljanje zauljenom plastičnom ambalažom, *Reciklažne tehnologije i održivi razvoj, IX SRTOR*, Zaječar, 10-12.09.2014, 112-117
[5] W. Kaminsky, Reciclyng of polymers by pyrolisys, *Journall de Physique IV (3*), 1993, 1543-1552.
[6] S.J.Myller, N. Shah, G.P. Hufmann, Conversion of waste plastic to lubrication base oil, *Energy&Fuels, 19(4)*, 2005, 1580-1586.
[7] G.M.Zeng, X.Z.Yan, T.Z.Hu,G.Yan, Manufactured of liquid fuel by catalitic crecking waste plastics in a fluidized bed, *Energy Sources 25*, 2003, 577-590.
[8] R. Kunscer, M. Paraschiv, M. Tazerout, J. Belletre, Liquid fuel recowery through pyrolysis of polyethylene waste, *Environmetal Engineering and Management Journal, 9 (10),* 2010, 1371-1374.
[9] S.Kumar, R.K.Singh, Pyrolysis kinetics of waste high-density polyethylene using thermogravimetric analysis, *International Journal of ChemTech Reseaarch 6 (1),* 2014, 131-137.
[10] B.K.Sharma, B.R.Moser, K.E.Vernilion, K.M.Doll, N.Raajagopalan, Production, characterization and fuel properties of alternative diesel fuel from pyrolysis of waste plastics grocery bags, *Fuell Processing Technology, 122*, 2014, 79-90.
[11] R.Bagri, P.T. Williams, Catalytic pyrolizys of polyethilene, *Journal of Analytical and Applied Pyrolyssis, 63* (2002), 29-41.

[12] S.H.Chung, J.J.Park, S.G.Leon, D.C.Kim, Pyrolysis of waste using synthesized catalyst from fly ash, *Korea Institute of Energi Researche*, Ysong-gu, Taeon, Korea, 1999, 305-343.

[13] J.M. Encinar, J.F. Gonzalez, Pyrolysis of synthetic polymers and plastic wastes, Kinetic study, *Fuell Processing Technology,89 (7),* 678-686.

[14] Z. Petrović, P.Dugić, V. Aleksić, V. Mićić, T. Botić, G.Žepinić, Istraživanje procesa pirolize polimernog otpada, *Naučni skup „Savremeni materijali 2011*" Banja Luka, *Knjga radova 17*, 2012, 235-247.

[15] S. Papuga, I. Musić, P. Gvero, Lj. Vukić: Preliminary Research of Waste Biomass and Plastic Pyrolysis Process. *Contemporary Materials, 4 (1)*, 2013, 76-83.

Napomena: Ovaj rad rezultat Razvojnog projekta kojeg je sufinansiralo Ministarstvo nauke i tehnologije Republike Srpske.

RADOVI NA SANACIJI DIJELA GLAVNE OBODNE KANALSKE MREŽE HIDROMELIORACIONOG SISTEMA LIJEVČE POLJE-KANALI JURKOVICA-JABLANICA I JABLANICA-TOPOLA

REHABILITATION WORKS ON THE PART OF THE MAIN CIRCUMFERENTIAL DRAINAGE NETWORK OF LAND IRRIGATION SYSTEM LIJEVCE POLJE- JURKOVICA-JABLANICA AND JABLANICA-TOPOLA CHANNELS

Ljubo Marković[1], Ljiljana Milić Marković[2],Velimir Dutina[3], Miljan Kovačević[4]

[1] Univerzitet u Prištini,Fakultet tehničkih nauka, Kosovska Mitrovica,
ljubo.markovic@pr.ac.rs
[2] CES COWI, Beograd, ljmm@cescowi.rs
[3]Univerzitet u Prištini,Fakultet tehničkih nauka, Kosovska Mitrovica,velimir.dutina@pr.ac.rs
[4] Univerzitet u Prištini,Fakultet tehničkih nauka,Kosovska Mitrovica,
miljan.kovacevic@pr.ac.rs

SAŽETAK:

Osnovni cilj rada je definisanje potrebnih mjera i radova za sanaciju dijela glavne mreže kanala hidromelioracionog sistema Lijevče polja: obodni kanali Jurkovica - Jablanica i Jablanica - Topola, dužine cca 22,45 km. Provedeni sanacioni radovi u postojećim koritima doprineće povećanju njihove propusnosti, na nivou projektom predviđenog kapaciteta i uspostavljanju povoljnog vodnog režima u glavnim kanalima. Predviđenim radovima na sanaciji naprijed navedenih kanala i njihove prateće servisne putne mreže obezbijediti će se efikasna zaštita od poplava, ranije utvrđenim rangom, unutar branjenog područja.

Ključne riječi: *sanacija, mreža kanala, korita, propusnost, poplava*

ABSTRACT:

The main objective of this paper is to define the measures and works required for the rehabilitation of a part of the main channel network of land irrigation system of Lijevche polje: circumferential grooves Jurkovica-Jablanica and Jablanica-Topola, with length of approximately 22.45 km. These repair works in the existing troughs will contribute to increasing their permeability, at the level of project envisaged capacity and establishing a favorable water regime in the main channels. These works on rehabilitation of the above-mentioned channels and on their supporting service road network will provide for effective protection against floods under the predetermined rank and within the protected area.

Keywords: *rehabilitation, the network channels, troughs, permeability, flood*

---

1. UVOD

Područja neposrednog sliva rijeke Save i donji tokovi njenih pritoka u Bosni i Hercegovini se plave tokom velikih voda. Izgrađeno je dosta objekata za zaštitu od poplava u cilju zaštite stanovništva i područja, ali stepen zaštite nije zadovoljavajući. Postojeći sistemi za zaštitu od poplava u Republici Srpskoj, uslijed nedostatka sredstava za redovno održavanje su u veoma lošem stanju. Republika Srpska je imala ozbiljne štete izazvane poplavama zbog nefunkcionalnih i nedovoljno izgrađenih sistema zaštite od poplava tokom proljeća i ljeta 2010. godine.
Vlasti Republike Srpske (RS) su, krajem 2011. godine, zajedno sa konsultantima Evropske Investicione Banke (European Investment Bank -EIB) pripremile izvještaj o hitnim mjerama i katalog srednjoročnih i dugoročnih mjera zaštite od poplava koji uključuju: mape rizika od poplava, sanaciju nasipa, sanaciju - rekonstrukciju pumpnih stanica, riječne regulacije i sistem ranog upozoravanja od poplava. Izvještaj je prihvaćen od EC, EIB i RS u martu 2012, a u junu 2012. godine usvojen je Projektni zadatak za implementaciju mjera. Izvještaj i Projektni zadatak su poslužili kao osnova za pripremu i definisanje potrebnih mjera i radova za revitalizaciju kanala Jurkovica-Jablanica i Jablanica-Topola, kojima će se obezbijediti efikasnija zaštita od poplava ranije utvrđenog ranga unutar branjenog područja.Ukupna vrijednost predviđenih radova se procjenjuje na oko 620.000 Eura.

2. OBODNI KANAL JURKOVICA-JABLANICA I KANAL JABLANICA-TOPOLA

Obodni kanal Jurkovica-Jablanica i kanal Jablanica-Topola su dio hidromelioracionog sistema Liman-Cerovljani. Sistem obuhvata površinu od cca 98.25 km^2 između rijeka Jablanice, Save, puta Gradiška-Banjaluka i obodnog kanala Jurkovica-Jablanica. Unutrašnja odvodnja melioracionog sistema se danas vrši kombinovanim gravitaciono-pumpnim sistemom. Niži dijelovi područja se odvode preko crpne stanice Liman, smještene zapadno od Gradiške sa kapacitetom od 9 m^3/s.



Slika 1: Položaj kanala Jurkovica-Jablanica i Jablanica-Topola

2.1. Analiza postojećeg stanja

2.1.1. Kanal Jurkovica - Jablanica

Obodni kanal Jurkovica-Jablanica štiti ovo područje od uticaja vanjskih voda brdskog zaleđa Kozare. Ukupna dužina obodnog kanala Jurkovica-Jablanica iznosi cca 10.800 m. Kanal je izveden sa trapeznim poprečnim profilom i nasipom sa obje strane kanala do stacionaže km 2+011,26, a uzvodno je izveden nasip samo na desnoj strani kanala do stacionaže 10+769,10. Od stacionaže 10+358,52 pa do kraja skoro da i ne postoji korito. Širina dna kanala se kreće od 2.5 do 4.0 m, dok se širina inundacije kreće od 2 do 4 m. Nagibi kosina samog korita su 1:1.5. Na kanalu je izgrađeno osam mostova i devet kaskada (stepenica). Kaskadama se postigao pad nivelete, koji ne daje prevelika brzine i vučne napone iznad dozvoljenih granica. Kaskade su rađene od lomljenog kamena debljine 30 cm na podlozi od krupnog šljunka sa zalijevanjem spojnica cementnim malterom i fugiranjem. Da bi se spriječilo prelaženje jednog dijela proticaja velikih voda inundacijom mimo slapišta, inundacije oko njih su pregrađene malim nasipima. Ovako postavljanje pregradnog nasipa kod slapišta, voda se koncentriše i slijeva u slapište i dolazi do smanjenja energije toka.

2.1.2. Kanal Jablanica -Topola

Ukupna dužina kanala Jablanica -Topola iznosi oko 11 km. Ukupna slivna površina ovog kanala iznosi 37.65 km^2 sa maksimalnim proticajima ranga pojave 1/20 godina Q=16.06 m^3/s na ušću u Jablanicu. Kanal je izveden sa trapeznim poprečnim profilom i nasipom sa desne strane do stacionaže km 9+400. Poslije prekida od cca 912 m, nasip se nastavlja od stacionaže 10+312,36 do 10+732,14. Širina dna kanala je trenutno cca 2.0-2.5 m. Nagibi kosina samog korita su 1:1.5. Na stacionaži 0+077,21 nalazi se ustava koja štiti melioracionо područje od velikih voda rijeke Jablanice. Objekat ustave je izveden od armiranog betona. Sam objekat kao i mehanizam su u dobrom stanju i redovno se održavaju. Na kanalu ima sedam mostova i osam propusta.
Uprkos svojoj važnosti kanali su loše održavani i neredovno čišćeni, tako da su značajno smanjene funkcionalnosti zbog zaraslosti i zamuljenosti. Analize stanja i funkcije kanalske mreže (koja je u nekoliko navrata rekonstruisana) rađene u više navrata, pokazuju da sistem zadovoljava današnje potrebe. Takvi zaključci su proizašli na osnovu intenzivnog praćenja stanja i funkcije mreže. Međutim, obilaskom terena ustanovljeno je da su kanali izuzetno loše održavani i neredovno čišćeni, a pojedine dionice izgledaju kao da nisu ni čišćene zadnjih dvadeset godina. Taloženje čestica, kako se i očekivalo je najizraženija na dionicama ispred propusta i mostova odnosno tamo gdje dolazi do usporavanja toka usljed prisustva objekata.



Slika 2: Postojeće stanje kanala Jurkovica – Jablanica

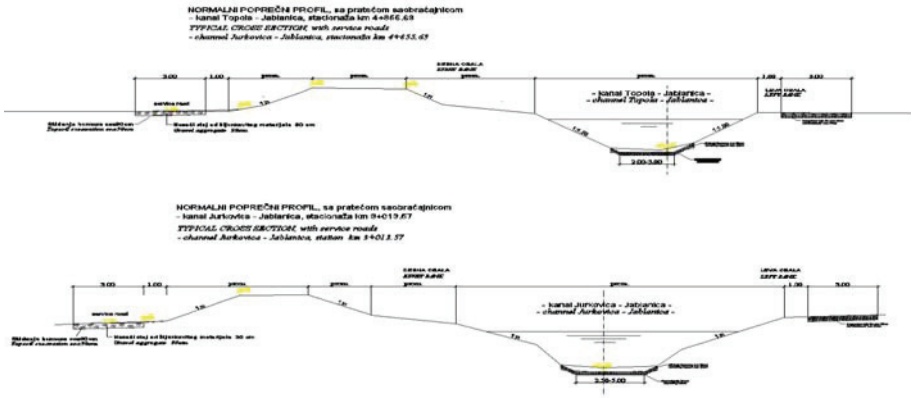


Slika 3: Postojeće stanje kanala Jablanica -Topola

Da bi se mogla definisati potrebna količina radova na revitalizaciji kanala izvršeno je geodetsko snimanje poprečnih profila na svakih 100 m trase kao i na svim karakterističnim mjestima. Nisu vršena dodatna geotehnička ispitivanja tla duž kanala. S obzirom da se radi o čišćenju kanala, korišteni su podaci inženjersko-geoloških istraživanja sprovedenih na području Lijevče polja u sklopu ranijih studija. Mjerodavni proticaji za dimenzioniranje kanala su računati metodom jediničnog sintetičkog hidrograma i kinematskom metodom. Da bi se bilo na strani sigurnosti usvojena je veća vrijednost od dvije koje daju gore navedene metode.

2.2. Opis planiranih radova

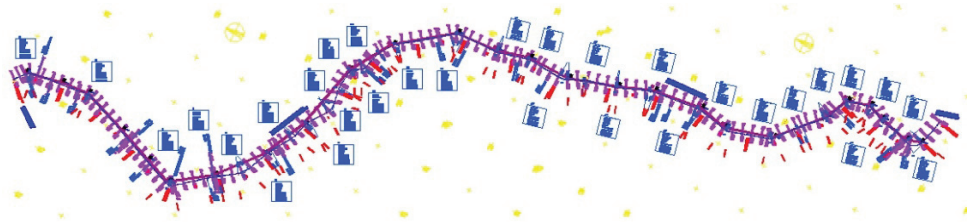
Projektom su definisane potrebne mjere i radovi za revitalizaciju kanala Jurkovica - Jablanica i Jablanica - Topola za povećanje njegove propusnosti. Revitalizacija kanala sastoji se od: restauracije operativnog poligona i profilisanja poprečnih profila, čišćenja kanala od krutog komunalnog otpada (karoserija, starih električnih uređaja, namještaja,smeća, itd), sječe šiblja, grmlja i stabala kao i vađenja panjeva, iskopa nanosa u koritu kanala i dovođenja u prvobitno stanje (projektovano) i sanacije obala u blizini kaskada i propusta. Ako je u pitanju obalo-utvrda od lomljenog kamena treba izvrštiti popunjavanje šupljina lomljenim kamenom debljine 30 cm na podlozi od šljunka sa zalijevanjem spojnica cementnim malterom i fugiranjem. Ako je u pitanju obaloutvrda ili dno kanala od šestougaonih prizmi treba izvršiti popunjavanje šupljina šestougaonim prizmama na podlozi od šljunka i pijeska.
Osnovni kriterijum prilikom određivanja do koje će se mjere mijenjati dno i kosine kanala je mogućnost kanala da propusti vode dvadesetogodišnjeg povratnog perioda. Pri tome se vodilo računa da se oblik kanala što manje mijenja od zatečenog. Dno kanala se na nekim mjestima, a gdje je to bilo moguće, ostavlja u zatečenom stanju. Dno kanala se stabilizovalo tokom zadnjih 20 godina i bilo bi neracionalno mijenjati isto, ako u zatečenom stanju kanal može da propusti vode dvadesetogodišnjeg povratnog perioda (proticaji na koje je kanal dimenzionisan).
Time su se smanjili troškovi iskopa, smanjila destabilizacija korita kao i smanjili negativni uticaji na okolinu.
Radi lakšeg i efikasnijeg održavanja rekonstruisanih kanala, duž trase kanala planira se izgradnja servisnih saobraćajnica sa obe strane, tj. uz nožicu nasipa i pored korita kanala tamo gde nasip ne postoji. Saobraćajnice su širine 3.0m sa kolovoznom konstrukcijom od šljunkovitog materijala u ukupnoj debljini od 30cm.



Slika 4: Normalni poprečni profili kanala zajedno sa servisnim saobraćajnicama

2.2.1 Kanal Jurkovica – Jablanica

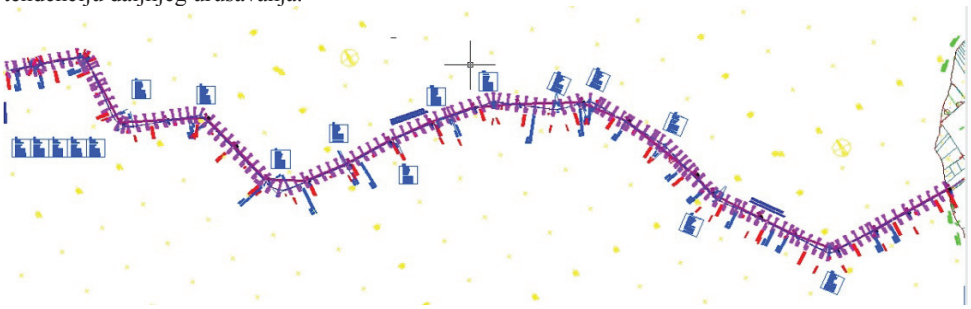
Sanacija obaloutvrde od lomljenog kamena, odnosno sanacija kosina u neposrednoj blizini kaskada radi se na stacionažama: 0+242.32, 1+379.71,1+392.94, 2+039.74, 2+441.47, 2+719.11. 3+151.62, 5+216.98, 5+525.00, 5+847.84, 6+063.56, 7+534.04, 7+900.66, 10+286.08, 10+343.72. Za oblaganje dna i kosina kanala korištene su i šestougaone prizme. Njihova sanacija se radi na stacionažama: 0+066.16 i 0+128.86. Širina inundacije Jurkovica-Jablanica se kreće od 2.5 do 4 m dok širina krune iznosi 2-4 m. Obilaskom terena i pregledom snimljenih poprečnih profila utvrđeno je da su potrebne korekcije inundacije na: stacionaži od 0+117.49 do 0+242.32; od 1+747.05 do 2+011.26 (formirati inundacije na obe strane); od 2+523.17 do 3+151.62 (inundacija desne obale); od 3+499.62 do 4+405.64; од 4+514.64 do 5+136.87; од 7+072 do 7+520 и од 7+941.65 do 9+435.90.
Na pojedinim dionicama kanala javiće se potreba za izgradnjom stabilizacionih pragova da bi se osigurala niveleta korita pošto je uočeno erodiranje dna korita koje trenutno nije zabrinjavajuće. Krunu praga treba poklopiti sa niveletom dna korita vodotoka. Oni moraju da budu dovljno duboki da ne bi bili potkopani.



Slika 5: Trasa kanala Jurkovica – Jablanica

2.2.2 Kanal Jablanica - Topola

Širina inundacije kanala Topola-Jablanica se kreće od 2-4 m. Obilaskom terena i pregledom snimljenih poprečnih profila utvrđeno je da su potrebne korekcije inundacije na: stacionaži 1+846.23; od stacionaže 2+039.88 do 3+094; od 5+242.34 do 5+680.50; od 5+919.82 do 6+114.56; od 6+397.31 do 6+494.40; od 6+688.30 do 6+984.37; od 10+230.14 do 10+732.14. Konkavne krivine ne treba ojačavati pošto odnošenja na profilima (P13, P25, i P35) ne ukazuje na tendenciju daljnjeg urušavanja.



Slika 6: Trasa kanala Jablanica - Topola

Kada se izvrše predviđene aktivnosto na revitalizaciji kanala (čišćenje i odmuljivanje), dvadesetogodišnje velike vode na koje je dimenzionisan kanal ispunjavaće kanal bez nadvišenja.

Mostovi, oni ranije izgrađeni, imaju oporce/stubove koji su u inundacijama i koji remete tečenje u kanalima. Prije njihove rekonstrukcije potrebno je izvršiti hidrauličku analizu tečenja u kanalima.

2.3. Analiza postojećeg stanja i plan za ublažavanje negativnih uticaja na životnu sredinu

Sa aspekta međusobnog odnosa projektom obrađenih kanala i životne sredine, obilaskom trase kanala, konstantovano je da trasa kanala delimično prolazi kroz manje naseljena mesta, ali se u njenoj blizini ne nalaze kuće (osim u retkim slučajevima) i da trasa kanala već nekoliko decenija koegzistira sa okolnim prirodnim okruženjem. Ne postoji planska ili druga dokumentacija kojom bi se moglo utvrditi da li duž predmetne trase kanala postoje prirodna dobra posebne zaštite. Mogući očekivani uticaji na životnu sredinu svedeni su na minimum i mogu se javiti samo za vreme izvođenja radova. Shodno tome napravljen je plan za ublažavanje negativnih uticaja na životnu sredinu i njihovo svođenje na prihvatljiv nivo u toku izvođenja radova. Troškovi preduzetih mjera uključeni su u troškove radova, a celokupna odgovornost za njihovu primjenu je na izvođaču radova.

3. ZAKLJUČAK

U radu su definisani potrebne mjere i radovi za revitalizaciju kanala Jurkovica-Jablanica i Jablanica -Topola kojom će se povećati njihova propusnost i obezbijediti efikasnija zaštita od poplava unutar branjenih područja. Kanali su dio hidromelioracionog sistema Liman - Cerovljani i nalaze se jugozapadno od Gradiške. Funkcija im je zaštita ovog područje od uticaja vanjskih voda brdskog zaleđa Kozare, dok kanal Jablanica-Topola uz to vrši funkciju odvodnje ovog melioracionog područja. Uprkos svojoj važnosti kanali su loše održavani i neredovno čišćeni, zarasli i zamuljeni.
Revitalizacija kanala podrazumjeva: čišćenje kanala od krutog komunalnog otpada; sječu šiblja, grmlja i stabala kao i vađenje panjeva; iskop nanosa u koritu kanala i dovođenje u prvobitno stanje i sanaciju obala u blizini kaskada i propusta. Predviđeno je formiranje inundacija širine min. 3m, tamo gdje je ona narušena erozionim procesima, da bi se omogućilo kretanje vozilima za održavanje.
Da bi se korektno definisali potrebni parametri za sprovođenje gore navedene aktivnosti kao i praćenja i pravilnog plana rada crpnih stanica neophodno je konstantno praćenje režima voda, a koje danas ne postoji. Zbog toga je i predloženo postavljanje uređaja za osmatranje nivoa vode (vodomjerne letve i limnigrafi) u kanalskoj mreži na svim karakterističnim mjestima.

4. LITERATURA

[1] Arhitektonsko građevinski fakultet Univerziteta u Banjoj Luci, *Glavni projekat sanacije dijela glavne obodne kanalske mreže hidromelioracionog sistema Lijevče polje – obodni kanali Jablanica-Topola i Jurkovica-Jablanica*, Banja Luka, novembar 2012.
[2] Cowi AS, *Modul 1 - Upravljanje vodnim resursima*, *Prvi izvještaj projekta Ažuriranje vodoprivredne osnove sliva rijeke Vrbas*, 2012 (http://www.wbvrbasstudy.com /dokumenti.html)
[3] Hidroprojekt, projektno poduzeće, *Melioracija Lijevče Polja, obodni kanal Jurkovica-Jablanica, stepenice*, Glavni projekat, Zagreb, 1959.
[4] Infrastructure Project Facility Technical Assistance Window (IPF TA) Europe Aid/128073/C/SER/MULTI Sub project: *WB5-BiH-ENV-17: Flood Risk Management for the Republic Srpska; WA 109 Supplementary Cleaning of Sava River Lateral Channels – Jablanica – Topola and Jurkovica – Jablanica* , novembar 2012.
[5] Zavod za vodoprivredu Sarajevo, Rekonstrukcija osnovne odvodnje hidromelioracionog sistema Liman-Cerovljani, 1982.

SECOND GENERATION BIOFUELS

BIOGORIVA DRUGE GENERACIJE

Sabina Begić[1], Vladan Mićić[2], Selma Tuzlak[1]
[1]University of Tuzla, Faculty of Technology,
Univerzitetska br.8, sabina.begic@untz.ba
[2]University of East Sarajevo, Faculty of Technology Zvornik,
Karakaj b.b., micicvladan@yahoo.com

ABSTRACT:
This paper describes the production of second generation biofuels that are obtained from lignocellulose (a collective term for lignin, cellulose and hemicellulose – components of plants and wood) with a particular focus on conversion processes. Cellulose and hemicellulose are polymers of sugars and are among the most abundant natural polymers on earth. Second generation biofuels are a rapidly expanding area of research, development and commercialisation. Unlike first generation biofuels that are limited by agronomic characteristics of annual crops and production on arable land, second generation biofuels have the potential to replace a significant proportion of our transport fuel requirements as they can be sourced from a wide selection of plant and woody materials. There are many technologies that can be applied to second generation biofuel production and this is reflected in the broad spectrum of research efforts being undertaken worldwide. The advantages of having a lignocellulosic biofuels industry are that the source materials are relatively cheap, domestically available, may not divert resources from food markets, and they can be used to add value to existing rural industry processes. Additionally, they provide unique opportunities for new agricultural industries to be developed, particularly in less productive agricultural lands where woody shrubs and perennial grasses can grow with few inputs and may competeless for land and water needed for food crops.
Keywords: *biofuel, second generation, conversion process, lignocellulose*

SAŽETAK:
Ovaj rad opisuje proizvodnju biogoriva druge generacije koja se dobijaju iz lignoceluloze (zajednički izraz za lignin, celulozu i hemicelulozu koji su gradivne komponente biljaka i drveta) sa naročitim osvrtom na procese konverzije. Celuloza i hemiceluloza su polimeri šećera i spadaju u najrasprostranjenije prirodne polimere na zemlji. Primena biogoriva druge generacije se širi velikom brzinom. Za razliku od biogoriva prve generacije čija je primena limitirana raspoloživim zemljištem i poljoprivrednim karakteristikama godišnjih useva kod biogoriva druge generacije tih ograničenja nema jer se dobijaju iz brojnih biljaka i drvenastih materijala pa kao takva ona imaju veliki potencijal u pogledu mogućnosti zamene fosilnih goriva naročito u sektoru transporta. Biogoriva druge generacije se mogu proizvesti različitim tehnologijama koje se razvijaju zahvaljujući mnogobrojnim istraživačkim aktivnostima širom sveta. Prednost industrije dobijanja biogoriva iz lignoceluloznih materijala se ogleda u relativno jeftinim sirovinama, njihovoj raspoloživosti na domaćem tržištu, neugrožavanju obezbeđenja hrane i razvoju ruralnih oblasti. Korišćenjem ovih goriva pruža se nova šansa razvoju poljoprivredne proizvodnje naročito u područjima gde je zemljište slabijeg kvaliteta kroz uzgoj drvenastog rastinja i višegodišnjih trava jer ona zahtevaju manju plodnost zemljišta i manju količinu vode.

Ključne riječi*: biogoriva, druga generacija, proces konverzije, lignoceluloza*

---

1. INTRODUCTION

Second generation biofuels utilise non-food plant materials, such as sugar cane bagasse, native grasses, native perennials, forestry waste, farm forestry, wheat straw, newsprint and cotton trash, which could be specifically harvested or diverted from entering landfill, and converted into alternative fuels such as alcohols, ethers, synthetic diesel, hydrogen or biogas, [1-3].
It is possible to convert a wide range of lignocellulosic materials into biofuels and there is increasing global effort being devoted to achieving this end in an economically viable fashion.
However, there are many questions remaining and technological hurdles to overcome before conversion of lignocellulose to transport biofuels can be conducted cost effectively and sustainably, [4].
There are two major issues regarding transport fuels facing most countries in the world, and they are the price (and remaining reserves) of crude oil that provide most transport fuels, and the significant contribution to total greenhouse emissions and climate change from the transport sector. Petrochemical fuels are a finite resource and are subject to broad pricing swings that are highly unpredictable and have a significant impact on the economy, [5].
The greenhouse gas (GHG) mitigation provided by a biofuels industry could have significant beneficial social and economic impacts. The transport sector is not the major contributor to total greenhouse gas emissions. However carbon dioxide emissions from transport are increasing, [6, 7].
With the rapidly increasing worldwide demand for fuel and energy, it has been universally recognised that alternative, sustainable sources of transport fuels will be needed to ensure the security and longevity of supply. There has been recent activity around the development of the biofuels industry to partially offset our reliance upon the petrochemical sources and reduce our carbon dioxide emissions. Although in their industrial infancy, these biobased solutions have had some modest early successes and have been drawn from renewable first generation sources such as molasses and wheat starch, tallow, waste cooking oil and palm oil. Rising prices for agricultural commodities such as grains and oil seeds have had a major impact on the cost of bioethanol and biodiesel production. Internationally there has been increasing discussion around the potential impact of biofuels on food prices and their availability and their role in greenhouse gas mitigation, [4, 8 -10].
A potential solution to the high first generation feedstock price and limited supply is the development of second generation biofuels that utilise non-food plant materials, such as sugar cane bagasse, native grasses, native perennials, forestry waste, farm forestry, wheat straw, new sprint and cotton trash, which could be specifically harvested or diverted from entering landfill. The major component of these materials is lignocellulose - a complex store of the most widely available biological polymers on earth: cellulose, hemicellulose and lignin which can be converted into alternative fuels such as alcohols, ethers, synthetic diesel, hydrogen or biogas. It is possible to convert a wide range of lignocellulosic materials into biofuels and there is increasing global effort being devoted to achieving this end in an economically viable fashion, [2, 11].

2. ISSUES IN BIOFUELS PRODUCTION FROM LIGNOCELLULOSE

It has been generally considered that agricultural inputs such as fertilizer, energy for farm machinery, pesticides and water required to produce first generation biofuel crops are higher than those required for second generation biofuel feedstocks. Until recently there has been little data to support this opinion but specific studies for dedicated biofuel crops are now emerging, [2, 3, 11].
Invasive biofuel crops and renewed land clearing for the planting of dedicated biofuel crops are two further impacts that could result from a rapid expansion of second generation biofuels.
Life cycle assessments conducted for biofuels have considered their source, production and use. However, contradictory findings from the studies have caused controversy and confusion and

attracted a lot of publicity. Some studies have shown biofuel production requires low levels of fossil energy and results in positive effects on greenhouse gas emissions, and a smaller number of studies have found that production of biofuels requires more energy than is yielded by the fuel and that their production has negative effects in terms of greenhouse gases, [12-14].
In an analogy of a petroleum refinery, a lignocellulose biorefinery could produce a large volume of low cost biofuel but support the overall process through additional production of bioenergy and higher-value bioproducts. The biorefinery concept is argued to be even more important for lignocellulosic sources than petroleum because of the likely scale of the lignocellulosic plants, [5, 6]. There will be limitations to the distance that low density biomass can be economically transported to a processing plant, therefore, valuable co-products could support biofuels production on a relatively small scale.
In current biofuel production, all remaining solids including cell mass, lignin, unchanged cellulosics left over from a enzymatic process are first dried to ~14 % moisture content then fired to produce electricity either via a boiler (small scale) or gasifier (larger scales). Lignocellulosic materials contain mainly cellulose, hemicellulose and lignin but also small amounts of protein, inorganic compounds, oils and extractives (plant secondary chemicals), [11-13]. Fermentation conversion technologies can also produce large amounts of yeast lees that could be further fermented to biogas and fertilizer, [3]. Char, fuel oils, chemical intermediates such as furfural and bioenergy are potential byproducts of the thermochemical conversion of lignocellulose. Carbohydrates not directed to biofuels production could be taken into a production stream making alcohols, carboxylic acids and esters as intermediates for the chemical industry, [7]. Similarly, sugars from biomass can be used for fermentation to monomers for biobased plastics such as polylactic acid or polyhydroxy alkanoates, [2].

3. LIGNOCELLULOSIC FEEDSTOCKS

Lignocellulose is a complex polymeric material composed of cellulose (40-60%), hemicellulose (20-40%) and lignin (1025%) (Table 1). Lignin is a biopolymer comprised of phenolic units that give structural integrity to the cell walls of plants.

Table 1. Ranges of cellulose, hemicellulose and lignin content in common agricultural lignocellulosic products, wastes and residues, [8]

Lignocellulosic materials	Cellulose (%)	Hemicellulose (%)	Lignin (%)
Hardwood stems	40-55	24-40	18-25
Softwood stems	45-50	25-35	25-35
Nut shells	25-30	25-30	30-40
Corn cobs	45	35	15
Grasses	25-45	31-50	10-30
Office paper	85-99	0	0-15
Wheat straw	30	50	15
Leaves	15-20	80-85	0
Cotton seed hairs	80-95	5-20	0
Newspaper	40-55	25-40	18-30
Waste paper from chemical pulps	60-70	10-20	5-10

This material is intertwined and covalently bound with hemicellulose (a polymer of 5-and 6-carbon sugars) to form a protective sheath around the cellulose (a polymer of 6 carbon sugars) bundles, [2, 3].The lignin and hemicellulose structures have evolved over many millions of years to protect plants against attack by microorganisms and insects. Only a few organisms, such as white rot fungus, have the ability to degrade lignin, and these act quite slowly due mainly to the

intractable nature of the material. Plants vary in their content of cellulose, hemicellulose and lignin although in general woody material has more lignin, [2, 3, 14-17].

4. SEPARATION AND PRETREATMENT METHODS FOR LIGNOCELLULOSE

All lignocellulosic biomass undergoes some pretreatment prior to processing into biofuels.The treatment can be straight forward, for example size reduction, chipping and drying which are usually required for thermochemical processing methods, [16, 18].
The enzymatic conversion process generally requires more extensive pretreatment and ideally one that yields well exposed and reactive cellulose fibre, returns a high yield of hemicellulose-derived sugars, produces few inhibitors of downstream processes, minimises energy, chemicals, and size and cost of reactor and materials, and produces lignin as a byproduct for either power and steam generation or as a value-added biomaterial, [9].
Comminution is the mechanical means used to reduce the particle size (hence increase the surface area) of biomass prior to further treatment and many different types of equipment and machinery have been developed to achieve this. Certain particle sizes are better for certain biomass types and further treatments, and generally, the smaller the desired particle size, the more energy, time and cost, are required. This must be balanced by the cost advantages of having smaller particles sizes in the downstream processes. Milling or grinding usually results in particle sizes of 0.2 – 2 mm diameter and chipping usually gives particle sizes of 10 – 30 mm diameter.
Acid hydrolysis conducted using either concentrated or dilute, batch or continuous, with hydrochloric, nitric or sulfuric acids at elevated temperature has been well explored as pretreatment methods for lignocellulosic materials. The economics of several systems have been evaluated with a view to the production of fuel ethanol. Several well-developed pilot-sale processes have been established for the production of ethanol from a variety of biomass feedstocks using acid hydrolysis as the pretreatment step, [2].
Steam explosion, also known as autohydrolysis, is an increasingly popular pretreatment of raw lignocellulosic biomass to separate the cellulose and lignin. The basic system involves heating biomass in steam under pressure (20 - 50 bar, 210 - 290°C) for a few minutes, and then rapidly releasing the pressure, resulting in the liberation of much of the cellulosic fibrous material locked in the biomass. Small amounts of lignin are removed but it is melted and depolymerised and spread back over the surface of the cellulose fibre. Xylose recoveries are lower than acid treatment, between 45 - 65 %. The ideal residence time, pressure and temperature vary greatly between feedstocks, and other variables, such as pre-wetting the biomass at a particular pH, have been employed to maximise cellulose yields and subsequent enzymatic saccharification and fermentation efficiencies, [2].
Steam explosion is very efficient as a pretreatment step for biomass such as hardwoods and agricultural residues but it is less effective for soft woods, [10]. However, the overall yield of sugars needs to be increased and costs decreased to make this treatment more attractive in future, [11].
Liquid hot water treatment is relatively new treatment uses compressed hot liquid water at a controlled pH at a pressure above saturation point to hydrolyse hemicellulose. The treatment partially hydrolyses the hemicellulose to soluble oligosaccharides and disrupts the cellulose and lignin structures. Recoveries of xylose(88 - 98%) and exposure to cellulose fibres are high, [2, 19].
The organosolve pretreatment process involves cooking the raw biomass in acidified (usually with hydrochloric or sulfuricm acids) aqueous ethanol under various pH, temperature, pressure and time conditions. The solvent-to-wood ratio is usually approximately 7:1 to 10:1. This has been shown to yield a biomass product with less lignin and gives better access to enzymes which is reflected in higher yields of reducing sugars from saccharification steps. It also yields a clean lignin product which is well suited to study as a value-added product.The primary disadvantages of the

organosolve technique are that it uses a solvent and acids, though these can be recycled to some extent, [2].

The main bases examined in alkaline hydrolysis are lime, sodium hydroxide, sodium carbonate, urea and ammonia. In general, alkaline hydrolysis is more effective at delignification of lignocellulose sources with lower lignin contents and the remaining cellulose has a higher reactivity and is more susceptible to enzyme attack. The hemicellulose is not hydrolysed in this method but is left as an insoluble polymer. Alkaline hydrolysis has been used on substrates such as wheat straw, spruce and corncobs/stover, [12, 13, 20]. The disadvantages are generally the same as those for acid hydrolysis - neutralisation/recycling and corrosion resistant vessel material are required.

Ammonia fibre explosion is very similar in concept to steam explosion, with the main difference being the ammonia isused instead of superheated steam.

While ammonia fibre explosion (AFEX) has other advantages over steam explosion, such as no need for small particle sizes for efficacy and no production of inhibitors for downstream biological processes (negating the need for washing steps), it is not very effective as a pretreatment for biomass with high lignin content e.g.wood.

Ozonolysis is a chemical method used to degrade lignin and some hemicellulose. It leaves the cellulose bundles largely untouched. It has the advantage of being performed at room temperature and pressure and leaves no toxic residues in the material produced for downstream processes. The primary disadvantage is that it requires a considerable amount of expensive ozone, which is not recyclable as it reacts with the lignin. It has been used to degrade lignocellulose from wheat straw, bagasse, green hay, peanut, pine, cotton straw, [2, 3].

Oxidative delignification is also sometimes known as "wet oxidation" and involves the pretreatment of the biomass with an oxidizing agent (such as a 2 % aqueous hydrogen peroxide solution). Good efficiencies (ie conversions of cellulose to glucose in the enzymatic saccharification step) have been recorded for cane bagasse and wheat straw, [12].

Biological pretreatments of raw biomass are very slow, but have the advantage of employing mild reaction condition sand using very little energy. White rot fungi are the most commonly used organisms for biological pretreatment and a number of studies have been performed looking at the conversion rates and efficiencies of white rot fungi on a range of biomass feedstocks, such as wheat straw and Bermuda grass.

The use of ultrasound energy as a pretreatment step in the conversion of lignocellulosic biomass to fermentable sugars is not as well explored as most of the other classical pretreatment methods. Ultrasound causes an effect known as cavitation in liquids where by microscopic bubbles are formed and then spontaneously collapse creating an extremely high pressure for a moment in a micro-environment. As yet, this technology has been most widely applied to corn in making first generation biofuels, however it is increasingly being explored as an effective pretreatment method for lignocellulosic materials in the production of biofuels.

5. CONVERSION PROCESSES FOR LIGNOCELLULOSE

There are two main approaches being pursued for the conversion of lignocellulose to biofuels:

- Enzymatic degradation of the polysaccharides to sugars which are then fermented to fuel alcohols,
- Thermochemical treatment of the whole biomass to yield syngas (or bio-oil via pyrolysis) which is then further converted to fuels.

There is also a concentrated acid process which dissolves the polysaccharides in lignocellulose to monomeric sugars, recycles most of the acid and ferments the sugars to alcohols.

Treatment of biomass at moderately high temperatures in the absence of, or in low levels of oxygen is called pyrolysis, a process whereby organic material is converted to solids (char), oils and gases. The proportions of products formed are highly dependent on the process time, temperature and the feedstock. Thermal degradation of pure cellulose occurs at 240 - 350°C to

produce anhydrous cellulose and levoglucosan, [21]. Hemicellulose degradation occurs at 200 – 260°C and compared with cellulose it produces more volatile material, less char and less tar. Lignin decomposes to phenols at between 280 - 500°C to produce substantial char, water soluble liquids and gases, [21].
Gasification decomposes biomass by heating to very high temperatures, breaking all molecular bonds in the material while controlling the amount of oxygen present in the mix to produce a synthesis gas (syngas). Gasification usually occurs at 800°C to 1400°C and at elevated pressures of around 40 bar but similarly to pyrolysis, there is little or no need for pretreatment of lignocellulose other than size reduction and drying to specific moisture content. Syngasis comprised primarily of hydrogen and carbon monoxide and can be produced from almost any biomass feedstock. There is little waste in the process. Most syngas is currently produced by steam reforming of methane at 10 – 20 bar at 850°C over anickel catalyst. This remains the most competitive process to biomass-derived syngas and provides a cleaner feedstock.

6. CONCLUSION

There are two main lignocellulosic conversion technologies competing for prominence in biofuels production: thermochemical with gasification then conversion to fuels and enzymatic with pretreatment, enzymes and fermentation.
Both technologies have limitations in terms of high capital and operating costs, although within each platform new combinations (e.g. gasification with microbiological conversion; liquid hot water pretreatment for enzyme conversion) are emerging that may substantially reduce these costs. Research and development is being directed at both technologies in an effort to reduce infrastructure and operating costs and improve overall efficiencies.
Lignocellulose is a collective term describing lignin, cellulose and hemicellulose that are components of plants and wood. Cellulose and hemicellulose are polymers of sugars that are among the most abundant natural polymers on earth and have the potential to supply a considerable proportion of low cost transport fuels if cost effective conversion processes are available.
This paper is an overview of the second generation biofuels field in context describing the barriers to wider adoption of these biofuels. It covers many aspects of current biofuel production and demonstrates the need for new sources of biomass to satisfy a larger scale of biofuel production.
Second-generation biofuels, although making some technological advances, are still very early on the path to wide spread commercialization.

7. REFERENCES

[1] D. O'Connell, D.Haritos, V. Graham, S. Farine, M. Batten, D. May, B. Raison, J. Braid, A.Dunlop, M. Beer, T. Begley, C. Poole and M. Lamb, *Bioenergy, Bioproducts and Energy – A Framework for Research and Development*, RIRDC publication No. 07/078, Rural Industries Research and Development Corporation, Canberra, Australia, 2007

[2] V. Mićić, V. Aleksić, V. Damjanović, *Mogućnosti proizvodnje bioetanola kao alternativnog goriva*, Tehnološki fakultet Univerziteta u Istočnom Sarajevu, 2013

[3] V. Mićić, Z. Petrović, P. Dugić, *Biomasa i biogas kao alternativno gorivo*, Tehnološki fakultet Univerziteta u Istočnom Sarajevu, 2015

[4] D. O'Connell, D. Batten, M. May, B. Raison, J. Keating, B. Beer, T. Braid, A. Haritos, V. Begley, C. Poole, M. Poulton, P. Graham, S. Dunlop, M. Grant,T. Campbell and P. Lamb, *Biofuels in Australia– Issues and Prospects*, RIRDC publication No. 07/071, Rural Industries Research and Development Corporation, Canberra, Australia, 2007.

[5] M. Wright and R.C. Brown, Comparative economics of biorefineries based on the biochemical and thermochemical platforms, *Biofuels, Bioproducts and Biorefineries*, *Vol. 1*, 2007, 49-56

[6] M. Wright and R.C. Brown, Establishing the optimal sizes of different kinds of biorefineries, *Biofuels, Bioproducts and Biorefineries*, *Vol. 1*, 2007, 191-200

[7] A. J. Ragauskas, C. K. Williams, B. H. Davison, G. Britovsek, J. Cairney and C.A. Eckert, The path forward forbiofuels and biomaterials, *Science*, *Vol. 311*, 2006, 484-489

[8] Y. Sun and J. Cheng, Hydrolysis of Lignocellulosic Materials for Ethanol Production, *Biores. Tech.*,*Vol. 83*, 2002, 1-11

[9] M. Z. Jacobson, Effects of Ethanol (E85) versus Gasoline Vehicles on Cancer and Mortality in the United States, *Env. Sci. Tech.*, *Vol. 41(11)*, 2007, 4150-4157

[10] T.A.Clark and K. L. Mackie, Steam Explosion of the Softwood Pinus Radiata with Sulphur Dioxide Addition.I. Process Optimisation, J. *Wood Chem. Technol., Vol. 7, Issue3*, 373-403

[11] C.N. Hamelinck, G.van Hooijdonk and A.P.C. Faaij, Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short-, middle- and long-term, *Biomass and Bioenergy*, *Vol. 28*, 2005, 384-410.

[12] A. B. Bjerre, A. B. Olesen, T. Fernqvist, A. Plöger and A. S. Schmidt, Pretreatment of wheat straw using combined wet oxidation and alkaline hydrolysis resulting in convertible cellulose and hemicellulose, *Biotechnol. Bioeng., Vol. 49*, 1996, 568-577

[13] Y. Zhao, Y. Wang, J. Y. Zhu, A. Ragauskas and Y. Deng, Enhanced Enzymatic Hydrolysis of Spruce by Alkaline Pretreatment at Low Temperature" *Biotechnol. and Bioeng., Vol. 99 (6)*, 2007, 1320-1328

[14] V. Doleček and I. Karabegović, Renewable energy sources in Bosnia and Herzegovina: situation and pespective, *Contemporary Materials* , *IV−2*, 2013, 153-163

[15] T. Pavlović, D. Milosavljević and D. Mirjanić, *Obnovljivi izvori energije*, Akademija nauka i umjetnosti Republike Srpske, Banja Luka 2013,

[16] S. Begić, V. Mićić and Z. Petrović, The future of biofuels, *Treći naučno-stručni skup Energetska efikasnost*, Beograd, 2015, 104-108

[17] S. Begić, V. Mićić and Z. Petrović, Biomass – to – liquid fuels as biofuels, *Treći naučno-stručni skup Energetska efikasnost*, Beograd, 2015, 146-149

[18] V. Mićić and M. Jotanović, Bioethanol as fuel for internal combustion engines, *Zaštita materijala 56(4)*, 2015, 403-408

[19] V. Mićić, S. Begić, Z. Petrović and B. Ilić, Biogoriva kao perspektivna zamena za fosilna goriva, *Tehnička dijagnostika*, *Vol. XIV (2)*, 2015, 42 – 46.

[20] W. E. Karr and M. T. Hotzapple, Using lime pretreatment to facilitate the enzymic hydrolysis of corn stover, *Biomass and Bioenergy, Vol. 18, Issue 3*, 2000, 189-199

[21] D. Mohan, C. U. Pittman and P. H. Steele, Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review, *Energy and Fuels*, *Vol. 20*, 2006, 848-899

KORIŠTENJE SUPERKRITIČNIH FLUIDA U PREHRAMBENOJ INDUSTRIJI

THE USE OF SUPERCRITICAL FLUID IN FOOD PROCESSING

Sabina Begić[1], Vladan Mićić[2], Zoran Petrović[2], Selma Tuzlak[2]
[1]Univerzitet u Tuzli, Tehnološki fakultet
Univerzitetska br.8, sabina.begic@untz.ba
[2]Univerzitet Istočno Sarajevo, Tehnološki fakultet Zvornik,
Karakaj b.b., micicvladan@yahoo.com

SAŽETAK:
Posljednjih godina se u naučnoj javnosti sve više ukazuje na opasnosti koje se javljaju sa zdravstvenog, ekološkog i bezbjedonosnog aspekta, a u pogledu upotrebe organskih otapala u prehrambenoj industriji. Negativna strana korištenja organskih rastvarača u prehrambenoj industriji se najviše ogleda u kontaminaciji finalnog produkta datim otapalom. Veoma visoke cijene samih organskih otapala i stalno pooštravanje zakonske legislative u pogledu zaštite kvaliteta i bezbjednosti hrane, kao i zahtjevi za dobijanje ultra čistih i visoko kvalitetnih proizvoda prehrambene industrije doveli su do razvoja i primjene novih i čistih tehnologija u prehrambenoj industriji. Veoma obećavajuća tehnologija za koju se smatra da će u budućnosti osigurati ispunjenje iz godine u godinu sve strožijih zahtjeva u pogledu čistoće proizvoda je tehnologija ekstrakcije superkritičnim fluidima, pri čemu se od superkritičnih fluida kao otapalo najčešće koristi ugljendioksid, zbog njegovih izvanrednih performansi.

Ključne riječi: *superkritični fluid, prehrambena industrija, procesiranje, ekstrakcija, ugljendioksid*

ABSTRACT:
In the last year there is an increasing public awareness of the health, environment and safety hazards associated with the use of organic solvents in food processing and the possible solvent contamination of the final products. The high cost of organic solvents and the increasingly stringent environmental regulations together with the new requirements of the food industries for ultra-pure and high added value products have pointed out the need for the development of new and clean technologies for the processing of food products. Supercritical fluid extraction using carbon dioxide as a solvent has provided an excellent alternative to the use of chemical solvents.

Key words*: supercritical fluid, food industry, processing, extraction, carbondioxide*

---

1. UVOD

Superkritični fluidi predstavljaju dobru alternativu klasičnim organskim otapalima. Visoka cijena organskih otapala, njihova toksičnost i nemogućnost da se potpuno uklone iz proizvoda nakon ekstrakcije su faktori koji otežavaju njihovo korištenje u prehrambenoj industriji. Prehrambena industrija sve više zahtijeva izuzetno čiste i visoko kvalitetne proizvode, pa je uvođenje novih ekološki bezbjednih tehnologija neophodno i poželjno. Jedna od novih i obećavajućih tehnologija je i superkritična ekstrakcija koja spada u čiste, tzv. zelene tehnologije.

2. PRIMJENA SUPERKRITIČNIH FLUIDA

Ekstrakcija superkritičnim fluidima najčešće kao otapalo koristi ugljendioksid, koji je odlična alternativa korištenju hemijskih otapala. U posljednjih 30 godina superkritični ugljendioksid je korišten za ekstrakciju i izolovanje vrijednih kompenanata iz prirodnih produkata, [1-4].
Za superkritični ugljendioksid je nađeno da je selektivan u separaciji željenih jedinjenja, bez ostavljanja toksičnih ostataka u ekstraktima i bez rizika od termalne degradacije procesiranih produkata. Od fluida koji se koriste kao ekstrakciona sredstva se zahtijeva visoka moć rastvaranja, zbog čega su oni u stanju blizu kritične tačke, koje omogućava da se njihova moć rastvaranja značajno mijenja sa malim promjenama temperature i/ili pritiska.
Modifikacija otapala vrši se dodatkom stvaraoca azeotropa čime se ekstrakt oslobađa od otapala, što je postignuto zbog visoke isparljivosti ovih otapala pri ambijentnim uslovima. Povoljne transportne osobine fluida (viskozitet i koeficijent difuzivnosti) će dozvoliti dublju penetraciju u čvrstu strukturu biljke i veću efikasnost i brzu ekstrakciju u poređenju sa konvencionalnim organskim otapalima.
Posljednjih 30 godina komercijalna primjena superkritičnih fluida i tehnologija zasnovanih na njima je zadržana samo za nekoliko proizvoda. Razlozi za to leže u visokim investicionim troškovima i zahtjevima za nove i ne slične operacije. Unapređenjem procesa, opreme, novim dizajniranim proizvodima i ostvarivanjem dodatnog profita usljed proizvodnje dodatnih vrijednih produkata, tehnologija koja se zasniva na primjeni superkritičnih fluida dobija na značaju i postaje sve više predmet mnogobrojnih istraživanja, [5]. Može se reći da taj period nastupa od 2000 godine. Ekstrakcija superkritičnim fluidima se odvija pomoću opreme visokog pritiska kontinuiranim ili diskontinuiranim postupkom. U oba slučaja superkritično otapalo (superkritični fluid) je u kontaktu sa materijalom iz kojeg željeni produkt treba da se odvoji. Superkritično otapalo, sada zasićeno sa ekstrahovanim produktom ekspanduje pri atmosferskim uslovima, a rastvoren produkt se vraća u separacionu posudu dozvoljavajući recirkulaciju superkritičnog otapala radi njegovog daljeg korištenja.
Tehnologija superkritičnog fluida se preporučuje kao efikasna analitička tehnika koja ima prednosti u odnosu na postojeće metode hemijske analize, jer se može upotrebiti za kvalitativnu i kvantitativnu identifikaciju prirodnih sastojaka produkata i toplotno osjetljivih jedinjenja [6-8]. Redukcija gubitaka tečnog otapala i zamjena neželjenih supstanci je druga prednost primjene superkritičnih fluida.
Ekstrakcija superkritičnim fluidima je takođe operacija koja se može upotrijebiti u različitim slučajevima, uključujući: ekstrakciju i frakcionisanje (razdvajanje) jestivih masti i ulja, prečišćavanje čvrstih materija, izdvajanje tokoferola i drugih antioksidanata, prečišćavanje medicinskih preparata i prehrambenih proizvoda od pesticida, detoksifikaciju ribljih kostiju, koncentrisanje fermentisane podloge i voćnog soka, [9-12].
Ekstrakcija superkritičnim fluidima je dokazano efikasna u separaciji eteričnih ulja i njihovih derivata radi korištenja u prehrambenoj, kozmetičkoj, farmaceutskoj i drugim srodnim industrijama, proizvodeći visoko – kvalitetna eterična ulja sa komercijalno povoljnim sastavom (manje monoterpena) od onih dobijenih konvencionalnom hidro-destilacijom, [13-15].
Alkaloidi, organska jedinjenja sa gorkim okusom i toksičnim efektima po životinje i ljude, ali sa prisutnim terapeutskim efektima kada se upotrebljavaju u umjerenim količinama, nalaze se u mnogim biljkama. Alkaloidi kao što su kofein, morfin, emetin, pilokarpin su aktivne komponente u raznim sredstvima za nadraživanje i medicinskim preparatima i njihovo dobijanje iz biljaka je od velikog značaja u prehrambenoj, farmaceutskoj i kozmetičkoj industriji. Superkritični ugljendioksid dokazano ima visoku selektivnost za kofein, što podstiče njegovo korištenje kao selektivnog otapala u procesu dekofeinizacije kafe i crnog čaja na komercijalnom nivou. Skorašnja istraživanja su pokazala mogućnost korištenja osobina ugljendioksida kao otapala i antiotapala u dobijanju alkaloida kao što su teofilin, teobromin i pilokarpin, [16-17].
Povezanost visokog nivoa holesterola u krvi sa bolešću srca ili kancerom je bila glavni razlog za skorašnja istraživanja koja su vršena u pogledu redukcije nivoa holesterola u unijetim obrocima

hrane koji uključuju meso, jaja i druge konzumirane prehrambene proizvode. Nekoliko metoda, uključujući i superkritičnu ekstrakciju korišteno je za redukciju masnoća i sadržaja holesterola u proizvodima koji se unesu u organizam u toku dana. Za holesterol je pokazano da je rastvorljiv u superkritičnom ugljendioksidu ali je njegova rastvorljivost u superkritičnom etanu veća. Ekstrakcija superkritičnim fluidima zahtijeva viša investiciona ulaganja, ali je selektivna i podesnija za prehrambene produkte. Superkritična ekstrakcija ima veliki potencijal da smanji sadržaj masti i holesterola na prihvatljiv nivo.

Obzirom da je etan mnogo skuplji od ugljendioksida, korištenje smješa ugljendioksid/etan i ugljendioksid/propan može biti podesna alternativa za uklanjanje holesterola iz hrane, nalazeći kompromis između više cijene etana i njegove bolje efikasnosti za uklanjanje holesterola. Uklanjanje holesterola je unaprijeđeno kroz spajanje procesa ekstrakcije ugljendioksida sa procesom adsorpcije, koji se obavljaju pri istim uslovima ekstrakcije. Literaturni podaci takođe ukazuju na mogućnost frakcionisanja masti zajedno sa uklanjanjem holesterola iz produkata. Proces ekstrakcije/frakcionisanja bio je spojen sa adsorpcijom gde se koristi glinica kao adsorbens [18]. Kombinovanje procesa ekstrakcija/adsorpcija rezultuje uklanjanjem preko 97% holesterola u puteru. Ovakvim postupkom stvaraju se frakcije putera sa karakterističnim osobinama koje su značajno različite u odnosu na one u originalnom ulju.

Za ekstrakciju ugljendioksidom je pokazano da je efikasna za proizvodnju visoko kvalitetnog kakao putera iz kakao sjemenki [17]. Skorašnja istraživanja su vršena u vezi mogućnosti korištenja superkritičnog ugljendioksida za mikrobiološku inaktivaciju hrane i mogućnosti implementacije ove inovativne tehnike za sterilizaciju toplotno osjetljivih materijala, kao i materijala osjetljivih na promjene pritiska, [19].

Oksidacija superkritičnom vodom je u ekološkom pogledu izuzetno podesna metoda pomoću koje organska materija može biti oksidirana do ugljendioksida, vode i gasovitog azota i to je jedna od novih mogućnosti primjene tehnologije superkritičnih fluida, [20]. Sa stanovišta analitike ova metoda ima prednost u odnosu na standardne metode, koja se ogleda kroz konzistentne (dosljedne) kvalitativne i kvantitativne analize i istovremene oksidativne razgradnje materijala. Homogenizacija reakcione smješe i visoka koncentracija kiseonika su postignuti u superkritičnoj vodi. Primjena superkritične vode za bezbjednu razgradnju toksičnih materijala je alternativa inceneraciji i odlaganju na tlu, [8].

Brza ekspanzija superkritičnih rastvora kroz male veličine otvora i dizni je otvorila nove mogućnosti za formiranje usitnjenih prahova. Ovaj proces je upotrijebljen za formiranje čestica suhog biljnog materijala koji sadrži polimerne čestice koje sadrže biljni materijal. Sposobnost superkritičnih smješa da frakcionišu polimere doprinosi boljoj kontroli oslobađanja biljnog materijala u formiranim polimernim sistemima dostave, [20].

Superkritična, ili gas anti-solvent precipitacija je uvedena 1980 godine, kao obećavajuća tehnologija za proizvodnju čestica mikronske i submikronske veličine sa kontrolisanom veličinom čestice i raspodjelom veličina čestica. Principi ovog procesa su korištenje superkritičnog ugljendioksida, srednja radna temperatura i manji prečnik čestice od onog koji se dobija (veličine ispod 50 nm) konvencionalnim drobljenjem (mljevenjem) i kristalizacijom sa tečnom antisolvent precipitacijom. Superkritični ugljendioksid je korišten za prečišćavanje proteina pomoću frakcione precipitacije alkalnih proteina fosfataze, inzulina, lizozima, ribonukleaze, tripsina i njihovih smješa iz dimetilsulfoksida, [21]. Dalja istraživanja tehnologije superkritičnih fluida fokusirana su na njihovu primjenu radi dobijanja prevlaka, poluprovodnika i farmaceutika. Nedavno, ova tehnika je upotrijebljena za smanjenje čestica na mikronsku veličinu i selektivno taloženje produkata iz reakcione sredine.

Aerosol solvent ekstrakcioni sistem (ASES) kao ekstrakciona tehnologija primjene superkritičnog fluida uključuje raspršivanje rastvora pomoću atomiziranih brizgaljki kao finih kapljica u superkritičnom ugljendioksidu, [21]. Rastvoreni ugljendioksid u kapljicama tečnosti dovodi do velike ekspanzije volumena tečnosti i kao posljedica ima se redukcija snage rastvaranja (rastvorne moći) ove tečnosti i pojava velikog prezasićenja, usljed čega se formiraju male čestice rastvorene supstance.

Primjenom tehnologije superkritičnih fluida može se ostvariti povećanje disperzije rastvora. U ovom procesu superkritični fluid se prvo miješa sa rastvorom, zatim se ta smješa raspršava u posudi pod kontrolisanom temperaturom i pritiskom i odvija se formiranje čestica. Formirane čestice su generalno manje nego u ASES sistemu unapređenog miješanja između superkritičnog fluida i rastvora.
Čestice iz gasom zasićenih rastvora uključuju razblaženje superkritičnog ugljendioksida u istopljenoj ili tečno suspendovanoj supstanci, usljed čega se stvara rastvor prezasićen gasom ili suspenzija, koja se kasnije širi kroz otvore ili dizne proizvodeći željene fine čvrste čestice ili kapljice. Ovaj proces dopušta formiranje čestica supstanci nerastvornih u superkritičnom ugljendioksidu, [21].
Na kraju, važno je napomenuti da su superkritični fluidi poznati da mogu da obezbijede dobru reakcionu sredinu zbog svoje sposobnosti da homogenizuju reakcionu smješu, visoke difuzivnosti i kontrolisane separacije faza, [22].

3. ZAKLJUČAK

Superkritični fluidi, naročito ugljendioksid mogu biti korišteni za obradu prehrambenih proizvoda te se kao takvi mogu primijeniti u prehrambenoj industriji za procese šaržne ekstrakcije čvrstih materija, za višestepenu protustrujnu separaciju (frakcionisanje) tečnosti i za adsorpcionu i hromatografsku separaciju. Već je industrijski zastupljena primjena superkritičnih fluida u procesima dekofeinizacije zrna zelene kafe, dobijanja ekstrakata hmelja, dobijanju aroma i mirisa iz biljaka, ekstrakciji i frakcionisanju jestivog ulja, uklanjanju kontaminanata iz hrane. Troškovi ovih procesa sa superkritičnim fluidima su konkurentni postojećim konvencionalnim postupcima. Primjena superkritične tehnologije na industrijskom nivou je obećavajuća alternativa koja će se sve više primjenjivati u budućnosti. Trenutno stanje pokazuje da će sve više produkata na tržištu biti dobijeno primjenom superkritične tehnologije, čime će se zadovoljiti sve strožiji ekološki zakoni koji se odnose na korištenje hemijskih otapala u obradi hrane i ispuniti zahtjev potrošača za sve većim kvalitetom proizvoda. Dva glavna područja primjene superkritičnih fluida u prehrambenoj industriji bit će tretman industrijskog otpada koji se generiše i dobijanje dodatnih vrijednih produkata kao sporednih produkata.

4. LITERATURA

[1] G.A. Mansoori, K. Schulz, E. Martinelli, Bioseparation Using Supercritical Fluid Extraction Retrograde Condensation, *Biotechnology, 6, 1988*, 393-396.
[2] E. Martinelli, K. Schulz, G. A. Mansoori, Supercritical Fluid Extraction - Retrograde Condensation with Applications in Biotechnology, *Supercritical Fluid Extraction, 1991*, 451-478.
[3] J. M del Valle, J. M Aguilera, High pressure CO_2 extraction- fundamentalas and applications in the food industry. *Food Science and Technology International*, *5, 1999,* 1-24.
[4] R. Hartono, G .A. Mansoori, A. Suwono, Prediction of solubility of biomolecules in supercritical solvents, *Chem. Eng. Science, 56*, *2001*, 6949-6958.
[5] M Sihvonen, E Jarvenpaa, V Hietaniemi, R. Huopalahti, Advances in supercritical carbon dioxide technologies, *Food Science and Technology, 10*, 1999, 217-222.
[6] F. Dionisi, B. Hug, J. M Aeschlimann, A. Houlemar, Supercritical CO_2 extraction for total analysis of food products, *Food Science, 64, 1999*, 612-615
[7] E Ibanez, J Palacios, F.J Senorans, G. S. Maria, J Tabera, G Reglero, Isolation and separation of tocopherols from olive by-products with supercritical fluids, *American Oil Chemists Society, 77, 2000*, 187-190.
[8] S. Moret, L. S. Conte, Polycyclic aromatic hydrocarbons in edible fats and oils, occurrence and analytical methods. *Chromatography A, 882, 2000*, 245-253.

[9] R. Eggers, A. Ambrogi, J. von Schnitzler, Special features of scf solid extraction of natural products deoiling of wheat gluten and extraction of rose hip oil, *Chemical Engineering, 17, 2000*, 329-334.

[10] Q. Y Lang, C. M Wai, Supercritical fluid extraction in herbal and natural product studies, *Talanta, 53, 2001*, 771-782.

[11] J. C Gonzalez, O. I Fontal, M. R Vieytes, J. M Vieytes, L. M Botana, Basis for a new procedure to eliminate diarrheic shelfish toxins from a contaminated matrix, *Agr. Food Chem., 50, 2002*, 400-405.

[12] E. Ibanez, J. Palacios, F.J Senorans, G. S. Maria, J. Tabera, G. Reglero, Isolation and separation of tocopherols from olive by-products with supercritical fluids, *American Oil Chemists Society, 77, 2000*, 187-190.

[13] D. Ehlers, T. Nguyen, K.W. Quirin, D. Gerard, Analysis of essential basil oils- CO_2 extracts and steam-distilled oils. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau, 97, 2001*, 245-250.

[14] M.C. D. Maroto, M.S P. Coello, M.D Cabezudo, Supercritical carbon dioxide extraction of volatiles from spices – comparison with simultaneous distillation – extraction, *Chromatography A*, *947, 2002*, 23-29.

[15] E. O. Ozer, S. Platin, U. Akman, O. Hortascsu, Supercritical Carbon Dioxide Extraction of Spearmint Oil from Mint-Plant Leaves. *Chem. Eng., 74, 1996*, 920-928.

[16] M.D. A Saldana, C. Zetzl, R. S Mohamed, G. Brunner, Decaffeination of guarana seeds in a microextraction column using water-saturated CO_2. *Supercritical Fluids*, *22, 2002 a*, 119-127.

[17] M.D.A Saldana, R.S Mohamed, P. Mazzafera, Extraction of cocoa butter from Brazilian cocoa beans using supercritical CO_2 and ethane, *Fluid Phase Equilibria, 194-197, 2002 b*, 885- 894.

[18] R. S Mohamed, G.B.M Neves, T.G Kieckbusch, Reduction in cholesterol and fractionation of butter oil using supercritical CO_2 with adsorption on alumina, *Food Science and Technology, 33, 1998*, 445-454.

[19] S. Spilimbergo, N. Elvassore, A. Bertucco, Microbial inactivation by high-pressure, *Supercritical Fluids, 22, 2002*, 55-63.

[20] T. Mizuno, M. Goto, A. Kodama, T. Hirose, Supercritical water oxidation of a model municipal waste, *Ind. Eng. Chem. Res., 39, 2000*, 2807-2810.

[21] J. Jung, M. Perrut. Particle design using supercritical fluids, Supercritical Fluids, 20, 2001, 179-219.

[22] C. L Phelps, N. G Smart, C. M Wai, Past, present, and possible future applications of supercritical fluid extraction technology, Chemical Education, 73, 1996, 1163-1168.

KARAKTERISTKE POLIPROPILENSKIH I POLIETILENSKIH CIJEVI ZA ODVODNJU OBORINSKE VODE

CHARACTERISTICS OF POLYPROPYLENE AND POLYETHYLENE PIPES FOR DRAINAGE OF PRECIPITATION WATERS

Merima Šahinagić - Isović[1], Suad Špago[2], Marko Ćećez[3], Fuad Ćatović[4]
[1]Univerzitet „Džemal Bijedić" Mostar, Građevinski fakultet, merima.sahinagic@unmo.ba
[2]Univerzitet „Džemal Bijedić" Mostar, Građevinski fakultet, suad.spago@unmo.ba
[3]Univerzitet „Džemal Bijedić" Mostar, Građevinski fakultet, marko.cecez@unmo.ba
[4]Univerzitet „Džemal Bijedić" Mostar, Građevinski fakultet, fuad.catovic@unmo.ba

---

SAŽETAK:
U modernoj industrijskog proizvodnji, u projektovanju, oblikovanju i razvoju proizvoda sve se više primjenjuju novi materijali koji imaju stanovite prednosti u određenim područjima primjene u odnosu na konvencionalne materijale. Polimerni materijali i njihova otpornost na koroziju, mala specifična masa i niže cijene u odnosu na metalne materijale, im omogućuje supstituciju konvencionalnih materijala u različitim granama industrije, pa tako i u oblasti odvođenja otpadnih voda. Do njih se dolazi prečišćavanjem sirovina koje postoje u prirodi ili se dobiju hemijskom sintezom od elemenata i sastavnih dijelova nafte.
U radu su opisane osnovne karakteristike polipropilenskih (PP) i polietilenskih (PE) cijevi za odvodnju oborinskih voda.

Ključne riječi: *polimeri, polipropilen, polietilen*

ABSTRACT:
In modern industrial production, in the design and development of products new materials that have certain advantages in certain areas of application compared to conventional materials are using even more. Polymer materials and their corrosion resistance, low specific weight and lower cost compared to metallic materials, allows them to substitute conventional materials in various industries, including waste water disposal. The polymers are produced by purification of raw materials that exist in nature or are obtained by chemical synthesis from the elements and components of oil.
The paper describes the main characteristics of polypropylene (PP) and polyethylene (PE) pipes for drainage of precipitation water.

Key words: *polymers, polypropylene, polyethylene*

---

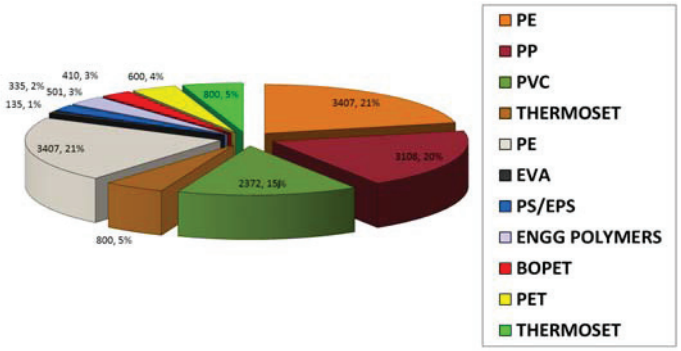
1. UVOD

Polimeri su složene organske supstance koje se dobiju hemijskom sintezom jednostavnijih jedinjenja poznatih pod nazivom monomeri. Polimeri spadaju u kategoriju tzv. visokomolekularnih jedinjenja, tj jedinjenja čiji se molekuli sastoje od nekoliko stotina ili nekoliko hiljada atoma međusobno spojenih valentnim vezama, koji se nazivaju makromolekulama. Dijele se na prirodne i vještačke. Sastavljeni su uglavnom od elemenata ugljika, vodika i kisika. Ponekad

sadrže još i hlor, fluor ili dušik. Polimerizacija predstavlja reakciju dobijanja polimera iz odgovarajućih monomera [1, 2], odnosno: nM $\rightarrow M_n$, pri čemu razlikujemo dvije osnovne vrste reakcija polimerizacije:

- adiciona
- kondezaciona

Adiciona polimerizacija podrazumjeva čistu adiciju istih ili različitih vrsta monomera, dobijaju se visokomolukarna jedinjenjenja bez ostatka tj., bez izdvajanja nekih sporednih produkata. Stvoreni makromolekuli imaju iste elementarne sastave kao i polazni monomeri, pri čemu se dobijaju potpuno nove supstance koje se po svojim svojstvima bitno razlikuju od polaznih monomera.
Kondenzaciona polimerizacija predstavlja reakciju polimerizacije između dva monomera pri kojoj se dobija polimer koji po hemijskom sastavu potpuno razlikuje od sastava ishodnih monomera. Osim polimera, kao rezultat ove rekacije javljaju se i određeni niskomolekularni nuzprodukti: voda, hlorovodonik i dr.
U procesu sinteze polimera, bez obzira da li se radi o adicionoj ili kondezacionoj polimerizaciji, zbog srazmjero velike vrijednosti stepena polimerizacije „n", praktično je nemoguće dobiti sve potpuno jednake makromolekule. Stoga se u slučaju polimera može govoriti samo o srednjim vrijednostima molekulskih masa, koje u pojedinim slučajevima iznose i preko 10^5. Herman Staudinger je 1920. iznio teoriju da od pojedinačnih malih molekula nastaje jedna makromolekula ili polimer na taj način da se molekuli monomeri povezuju jedna sa drugim u dugačke lance. Te su spoznaje omogućile izgradnju plastičnih masa. Na čelu tog razvoja nalazile su se Njemačka i SAD. Na slici 1. predstavljen je procentualni udio korištenih polimera u svijetu 2012. godine.



Slika 1: Udio korištenih polimera u svijetu u 2012. godini [3]

2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE POLIMERA

Molekularna hemija predstavlja danas samostalno područje hemije. Ona se bavi sintezom o prelaskom vještačkih i prirodnih molekula u makromolekule i istražuje kako se mogu primjeniti. Ovaj dio hemije je nazvan još i nauka o polimerima.
Struktura polimera je u opštem slučaju amorfna, što znači da u okviru ovih supstanci ne postoji neki pravilan raspored makromolekula. Makromolekule po obliku mogu da budu linearne, razgranate i mrežaste. Postoje, međutim, i polimeri kod kojih jedan dio makromolekule ima izvjestan uređen poredak (orijentaciju), što znači da se uporedo sa amorfnom strukturom pojavljuje i kristalna struktura, i takvi polimeri se zovu kristalni polimeri ili kristaliti.
Dakle, po strukturi razlikujemo linerne i prostorne (umrežene) polimere. Linearni polimeri se sastoje od linearnih i/ili razgranatih makromolekula čije grane nisu povezane sa susjednim makromolekulama, slabe su sile međudejstva između pojedinih makromolekula. Prostorni

(umreženi) polimeri sastoje se od mrežastih makromolekula, odnosno suštinski posmatrano od linijskih makromolekula međusobno spojenih poprečnim vezama (granama).
Struktura polimera se direktno odražava na ponašanje polimera pri zagrijavanju, a s tim u vezi polimeri se najčešće dijele na: termoplastične (termoplaste) i termostabilne (reaktoplaste) [2].
Termoplastični polimeri su polimeri koji se pri zagrijavanju razmekšavaju, a zatim tope, pri čemu nakon hlađenja ponovo očvršćavaju zadržavajući osnovna svojstva. Postupak razmekšavanja i stvrdnjavanja može se ponavljati više puta bez opasnosti od mjenjanja odnosno pogoršavanja tehničkih karakteristika.
Termostabilni polimeri su polimeri koji se u fazi dobijanja, takođe sastoje od linearnih ili razgranatih makromolekula, ali koji zagrijavanjem mogu samo jednom da omekšaju (pređu u plastično stanje), jer kod njih na povišenim temperaturama dolazi do povezivanja makromolekula u poprečnom pravcu, te se dobijaju mrežasti oblici makromolekule, umreženi polimeri.
Toplinska stabilnost je sposobnost materijala da kroz određeno vrijeme zadrži svojstva koja se zahtijevaju u datim uslovima primjene. Mjera toplinske stabilnosti je gornja granična temperatura kod koje materijal gubi najviše 10 % svoje prvobitne čvrstoće. Polimeri imaju malu toplinsku stabilnost zbog toga što na visokim temperaturama dolazi do cijepanja ili odvajanja manjih segmenata makromolekule. Gornje granične temperature čvrstoće polimera su relativno niske.
Specifična toplina polimera je znatno veća nego kod većine drugih tvari. Općenito, polimeri su loši vodiči topline, dakle imaju svojstva izolatora. Koeficijent toplinskog rastezanja polimera je velik u odnosu na koeficijent kod drugih materijala. Temperature prelaza su važne karakteristike svakog polimera.
Fizikalna svojstva polimera ovise o nizu faktora kao što su npr: hemijski sastav, pravilnost lanaca vrsta i veličina supstituenta, vrsta i učestalost polarnih skupina, vrsta i broj grana, umrežavanje, postojanje vodonikovih veza i fleksibilnost lanaca, stereo-pravilnost, molekulna masa, razdioba molekulnih masa itd.
Među osnovnim fizikalnim svojstvima polimera ubrajaju se termofizikalna svojstva. Kod termofizikalnih svojstava ispituju se:

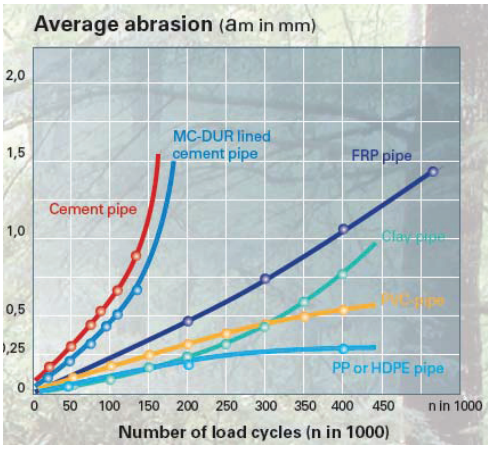
- Prostorna svojstva: specifični obim, specifična toplinska širljivost, linearna toplinska rastezljivost,
- Kalorimetrijska svojstva: toplinski kapacitet, toplina kristalizacije i topljenja, entalpija i entropija,
- Temperature faznih prelazaka: staklište, talište, vrelište,
- Kohezivna i adhezivna svojstva: gustoća kohezivne energije, površinska napetost,
- Transportna svojstva: toplinska provodnost, viskoznost, difuznost, propustljivost.

Za definisanje mehaničkih karakteristika polimera najčešće se služimo čvrstoćom pri zatezanju, pritisku i savijanju. U okviru ovih ispitivanja definišu se i modul elastičnosti, te relativno izduženje pri prekidu, koje se dobije nakon završetka ispitivanja pri zatezanju.
Isptivanje pri zatezanju vrše se na uzorcima štapastog oblika ili na „oslabljenim" uzorcima sa reducirinim poprečnim presjecima u srednjim zonama, u području normalnih (radnih) temperatura (-20 do 40°C). Na bazi dobijenih podataka prave se σ-ε (radni) dijagrami konkretnih materijala [2]. Kada se temperatura spusti dovoljno nisko, do tzv. temperature krtosti T_k, materijal će imati najveću moguću čvrstoću, ali i izrazito krto ponašanje.
Čvrstoće polimera pri pritisku i savijanju ispituje se na prizmatičnim uzorcima (4x4x16cm), na isti način kao kod neorganskih veziva (gips, cement i dr.).
Skupljanje polimera, zapaža se samo tokom procesa njihovog dobijanja, što znači da je ova pojava prisutna samo u srazmjerno kratkom vremenskom periodu. Skupljanje je isključivo posljedica složenih hemizama koji se odigravaju pri polimerizaciji i ima asimptotski karakter. Pošto se polimeri dobijaju iz monomera koji mogu da budu u sva tri agregatna stanja (čvrstom, tečnom ili gasovitom) skupljanje se relativno teško mjeri iz razloga što je neophodno da se sa mjerenjima započne na samom početku procesa polimerizacije.
Linearni (neumreženi) polimeri uvijek imaju veće deformacije tečenja od umreženih [2]. Prilikom rasterećenja, kod linearnih polimera uvijek se može registrovati ireverzibilnost procesa, tj.,

postojanje određene trajne deformacije, dok u slučaju umreženih polimera tečenje po pravilu ima reverzibilan karakter.
I u slučaju relaksacije postoji razlika u ponašanju neumreženih i umreženih polimera. Kod polimera sa neumreženom strukturom relaksacija je potpuna, dok se kod polimera sa umreženom strukturom uvijek radi o asimptotskom karakteru pojave uz prisustvo izvjesnog graničnog napona različitog od nule.

3. ANALIZA KARAKTERISTIKA PP I PE CIJEVI

Polipropilen je termoplastični polimer koji se odlikuje velikom gustoćom, visokom otpornošću na hemikalije i koroziju, zdravstvenoj neškodljivosti, nepropusnosti vode i gasova, malim promjenama fizičko – mehaničkih svojstava u temperaturnom intervalu između -40°C i 100°C. U sistemima odvodnje otpadnih voda unutar građevina (kućna kanalizacija) koristi se duže vrijeme, ali nova generacija materijala PP blok – kopolimer omogućuje primjenu odličnih karakteristika ovog materijala i za sisteme javne odvodnje.
Polipropilenske cijevi za kanalizacijske sisteme su, zahvaljujući izvrsnoj postojanosti na koroziju, dugotrajne sa očekivanim životnim vijekom dužim od 100 godina. Polipropilenski materijali su otporni na koroziju uslijed djelovanja sumporne kiseline, koja se razvija bakterijskim djelovanjem unutar cijevnih vodova. Cijevi su postojane prema svim hemijskim agresivima koji se mogu naći u otpadnim vodama.
Dobra postojanost prema abraziji i glatke unutrašnje površine cijevi garantuju vrlo dobra hidraulička svojstva za čitavog vijeka trajanja cjevovoda (slika 2).



Slika 2: Prosječna abrazija različitih materijala koji se koriste za proizvodnju kanalizacijskih cijevi

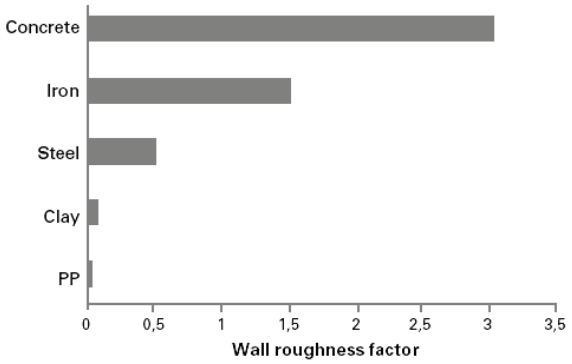
Polipropilenske cijevi su fleksibilne, prilagođavaju se smjeru kanala i vrlo su dobre za postavljanje u područjima dinamičkog opterećenja, na primjer seizmički aktivnim područijima (grad Mostar nalazi se u VIII seizmičkoj zoni). U odnosu na ostale plastične materijale znatno su otpornije na udare i visoke i niske temperature, što olakšava rukovanje i postavljanje cjevovoda, te smanjuje troškove ugradnje. One se koriste za obnavljanje kanalizacionih cjevovoda ili zaštitu postojećih kanalizacijskih cjevovoda.

Polipropilenske cijevi izrađuju se u promjerima do Ø1000 mm, standardnih dužina do 6 m. Najčešće se izrađuju u varijanti sa strukturiranom stijenkom. Spajaju se spojnicama sa brtvenim

prstenom, ili pomoću naglavka integriranog na kraju cijevi. Kao i kod polietilena, pri izgradnji se cijevi moraju polagati na kvalitetnu podlogu i oblagati zaštitnim slojem sitnozrnog materijala.

3.1. Osnovne hidrauličke karakteristike

U okviru osnovnih hidrauličkih karakteristika cijevi za odvodnju otpadnih voda analizirani su: koeficijent trenja na zidove, te brzina hidrauličkog protoka.
PP cijevi su vrlo glatke i imaju najniži koeficijent trenja od svih materijala koji se koriste za proizvodnju kanalizacijskih cijevi. Zahvaljujući ovoj osobini mogu odvoditi materijal sa niskom brzinom hidrauličkog protoka (slika 3).



Slika 3: Hidrauličke osobine različitih materijala koji se koriste za proizvodnju kanalizacijskih cijevi [4]

Za oba analizirana polimera polipropilen (PP) i polietilen (PE), koeficijent trenja i protok su jednaki (tabela 1) [4].

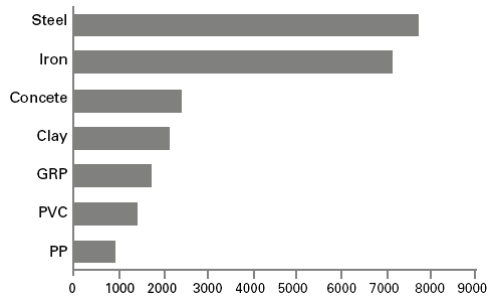
Tabela 1: Protočni kapacitet PE i PP cijevi u usporedbi s cijevima od drugih materijala

Materijal		Apsolutna hrapavost k [mm]	Protok Q [l/sec]	Smanjenje kapaciteta protoka u odnosu na PP i PE [%]
PP, PE		0,01	235	0
Čelik	Novi	0,10	220	6,4
	Stari	3,00	153	34,9
PVC	Novi	0,05	227	3,4
	Stari	0,07	224	4,7
Armirani beton	Novi	0,50	193	17,9
	Stari	3,00	153	28,1

3.2. Osnovne fizičko – mehaničke karakteristike

U okviru osnovnih fizičko-mehaničkih karakteristika polipropilenskih (PP) i polietilenskih (PE) cijevi za odvodnju otpadnih voda, definisane su slijedeće osobine [4]: zapreminska masa, modul elastičnosti, čvrstoća kidanja i koeficijent termičkog širenja.

Zapreminska masa utiče na težinu cijevi, tako da su cijevi od materijala sa manjom zapreminskom masom lakše od onih koje imaju veću zapreminsku masu. Najmanju zapreminsku masu ima polipropilen koji je oko 10% lakši od vode – 900 kg/m^3. Polietilen ima zapreminsku masu oko 960 kg/m^3 i to ga čini oko 7% težim u odnosu na polipropilen.
Polipropilen ima veoma malu zapreminsku masu, što olakšava rukovanje i postavljanje cjevovoda, a na slici 4. vidi se odnos zapreminske mase u odnosu na druge materijala koji se koriste za proizvodnju kanalizacionih cijevi.



Slika 4: Zapreminska masa različitih materijala koji se koriste za proizvodnju kanalizacijskih cijevi [4]

Modul elastičnosti utiče na nosivost i deformaciju cijevi. Cijevi sa većim modulom elastičnosti mogu uz istu debljinu stijenke imati veću nosivost ili kod jednakog opterećenja manje deformacije (ugibe). Vrijednosti modula elastičnosti za polietilen su 1100 MPa, dok je za polipropilen za oko 40% veći i iznosi 1500 MPa što ga čini vrlo pogodnim materijalom za cjevovode.
Čvrstoća kidanja daje podatak o veličini sile koja uzrokuje razaranje materijala. Ovaj podatak je važan za cijevi opterećene pritiskom, te predstavlja jedan od osnovnih mehaničkih svojstava materijala. Najmanju čvrstoću kidanja ima polietilen od 21 MPa. Polipropilen ima za oko 30% veću čvrstoću kidanja i iznosi 27 MPa.
U tabeli 2. prikazana su osnovna fizičko – mehanička svojstva analiziranih cijevnih materijala.

Tabela 2: Fizičko – mehanička svojstva cijevnog materijala

Parametar	Jed. Mjere	Materijal	
		PP – B	PE 100
Zapreminska masa	[kg/m^3]	900	960
Modul elastičnosti – kratkotrajni (M_0)	[MPa]	1500	1100
Čvrstoća kidanja	[MPa]	27	21
Koeficijent termičkog širenja	[$\times 10^{-5}$ / °C]	12	19

gdje je: PP – B Polipropilen blok kopolimer,
PE 100 Polietilen visoke gustoće, MRS PE 100

Koeficijent termičkog širenja pokazuje postojanost materijala s obzirom na promjene temperaturnih uslova. Materijali koji imaju veći koeficijent termičkog širenja imat će veće

deformacije (povećanje ili skraćenje dužine) pri povećanju ili smanjenju temperature. Ovaj podatak je bitan u uslovima kada se cijevi polažu nadzemno, gdje su izložene povećanom temperaturnom opterećenju i kada se termičke deformacije cijevi moraju uskladiti sa deformacijama nosive konstrukcije.
Koeficijent termičkog širenja za cijevi od polipropilena iznosi 12×10^{-5} / °C, dok je za polietilen 19×10^{-5} / °C. Ovo znači da će polipropilenska cijev dužine 1 m, pri povećanju temperature, za svaki stepen celzijusov produžiti za 0,12 mm, a polietilenska cijev produžit će se za 0,19 mm.
Jedna od osobina na osnovu koje se vrši izbor cijevi je krutost cijevi koja se iskazuje tzv. obodnom krutosti. Obodna krutost označava se sa SN i zavisi od geometrije cijevi (prečnika i debljine stijenki) i čvrstoće materijala (modul elastičnosti). Računa se prema normi EN ISO 9969/1995 "Termoplastične cijevi. Određivanje obodne krutosti" [5] izrazom:

$$SN = \frac{E \cdot I}{D^3}\left[kN/m^2\right] \tag{1}$$

gdje je: E – modul elastičnosti,
I – moment inercije,
D – srednji prečnik cijevi

3.3. Proizvodni programi cijevnog materijala

Nazivni profili cijevi i struktura stijenke cijevi definisana je prema državnom standardu Bosne i Hercegovine BAS EN 476: Opći zahtjevi za komponente za odvodne kanale i vođenje sistema za odvodnjavanje putem gravitacije [6]. U tabeli 3 daje se pregled standardnih profila cijevnog materijala koji nude različiti proizvođači.

Tabela 3: Proizvodni program cijevnog materijala

Strukturni PP DN/ID [mm]	Strukturni PEHD DN/ID [mm]	Strukturni PEHD DN/OD (ID) [mm]
200		200 (171)
250		250 (214)
300	300	315 (271)
400	400	400 (343)
500	500	500 (431)
600	600	630 (542)
	700	
800	800	800 (688)
	900	
1000	1000	1000
	1100	
	1200	1200
	1300	
	1400	
	1500	

gdje je: ID inside diameter (unutrašnji prečnik)
OD outside diameter (vanjski prečnik)

Oba analizirana cijevna materijale PP i PE, kod gravitacionih cjevovoda, uglavnom se izvode sa dvostrukom strukturiranom stijenkom: unutrašnjom glatkom i vanjskom orebrenom radi bolje nosivosti i krutosti same cijevi. Debljina stijenki za oba materijala uz jednak prečnik je ista.

3. ZAKLJUČAK

Poznavanje građevinski materijala podrazumjeva poznavanje niza činjenica i uticajnih faktora koji su relavantni za njihovu primjenu u građevinarstvu. U opštem slučaju radi se o skupu i sintezi stavova više naučnih disciplina, kao što su: hemija, fizika, tehnologija, otpornost materijala i dr. Ovo poznavanje je od prvorazrednog značaja za pravilnu i racionalnu primjenu materijala i pod tim se najčešće podrazumjeva poznavanje nekih osnovnih svojstava materijala.
U radu je dat prikaz osnovnih karakteristika polimera, sa posebnim osvrtom na polipropilenske (PP) i polietilenske (PE) cijevi za odvodnju oborinskih voda.

4. LITERATURA

[1] Ćatović F., *Nauka o materijalima*, Bihać, 2012.
[2] Muravljov M., *Građevinski materijali*, Građevinska knjiga, Beograd, 2007.
[3] Shankar V., The Indian Market for Specialty Packaging Films – Applications and Opportunities, *International Conference on Multilayer Packaging Films*, 2014.
[4] Janson L.E., *Plastic Pipes for Water Supply and Sewage Disposal*, Borealis, Stockholm, 2003.
[5] BS EN ISO 9969:1995, BS 2782-11:Method 1114B:1995 - Thermoplastics pipes. Determination of ring stiffness
[6] BAS EN 476: Opći zahtjevi za komponente za odvodne kanale i vođenje sistema za odvodnjavanje putem gravitacije

NOVI EKOLOŠKI POSTUPAK SINTEZE REAKTIVNIH DERIVATA KSANTOGENIH KISELINA

NEW ECOLOGICAL METHOD OF SYNTHESIS REACTIVE DERIVATES OF THE XANTOGEN ACID

Milutin M. Milosavljević,[1] Milan M. Milosavljević[1], Ivan M. Vukićević,[1] B. Vidojević[2], Milena Milošević,[3] Aleksandar D. Marinković,[3]

[1]Faculty of Technical Science, University of Priština, Knjaza Miloša 7, 38220 Kosovska Mitrovica, Serbia
[2]Police department Kruševac, Stevana Sindjelića 1, 37 000 Kruševac
[3]Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, Karnegijeva 4, 11120

SAŽETAK:
U radu je predstavljen optimizovan laboratorijski postupak sinteze hlorida alkil-ksantogenih kiselina, polazeći od alkil-diksantogenata, natrijum-hipohlorita i sumporne kiseline. Sinteza se odvija u jednom stupnju, tako što se dodavanjem razblažene sumporne kiseline u rastvor natrijum-hipohlorita dobija hlor, koji se uvodi u ksilolni rastvor alkil-diksantogenata. U toku reakcije nastaje proizvod hlorid alkil-ksantogene kiseline i sumpor. Sumpor se odvaja filtracijom od proizvoda hlorida alkil-ksantogene kiseline u ksilolu. Reakcija se odvija u ksilolu kao rastvaraču u blagim reakcionim uslovima. Određeni su parametri sunteze: vreme reakcije, temperatura, molski odnos reaktanata i stepen konverzije. Struktura sintetisanih jedinjenja je potvrđena instrumentalnim metodama: GC, ^{1}H i ^{13}C NMR, FTIR i MS.

Ključne reči: *hlorid alkyl-ksantogene kiseline, diksantogenat, natrijum-hipohlorit kiselina*

ABSTRACT:
The paper presents an optimized laboratory method for synthesis of the chloride of alkyl xanthogenic acid, starting from alkyl dixanthogenate, sodium hypochlorite and sulfuric acid. A single step procedure was performed by the addition of dilute sulfuric acid to a solution of sodium hypochlorite, and liberated chlorine gas was introduced into a xylene solution of alkyl dixanthogenate. The reaction takes place in xylene as solvent under mild reaction conditions, and the reaction product chloride of the alkyl xanthogenic acid and sulfur was produced. The sulfur was separated by filtration from the product, xylene solution of the chloride of alkyl xanthogenic acid. Optimization procedure was performed with respect to the selected synthesis parameters: the reaction time, temperature and molar ratio of the reactants in order to achieve highest degree of conversion. The structure of the synthesized compounds was confirmed by instrumental methods: GC, ^{1}H and ^{13}C NMR, FTIR and MS.

Keywords: *Alkyl xanthogenic acid chloride, dixanthogenate, sodium hypochlorite*

---

1. INTRODUCTION

Chemical Industry "Župa" Kruševac produces various xanthates which can be used in the processing of non-ferrous metal ores. The company has in its stock waste xanthate, which needs to

be immediately treated. Namely, because of package corrosion, cracking and damages, the waste xhantates can degrade with emission of harmful substances under the moisture, temperature and oxygen from the air. The treatments can transform waste xanthate into commercial products such as thiocarbamates used as selective flotoreagents. Registered thiocarbamate flotoreagents can be obtained from appropriate amine and sodium hypochlorite. The by-product in this reaction is sulfur, while water contains dissolved sodium chloride after filtration.

Thiocarbamate, as derivative of thiocarbamic acid, presents salts and esters of thiocarbamic acid. Preparation and application of thiocarbamates are described in our previous works. [1,2]. Bisalkyl xanthogen disulfides is an important class of compounds that has found diverse applications as an intermediate for free radical polymerization that allows control of molecular weight and polydispersity of polymers, a process well known as Reversible Addition Fragmentation Chain Transfer or RAFT mediated polymerization [*2,4,5*].

These compounds are valuable synthetic intermediates and have shown numerous applications as pesticides and fungicides in agriculture and sulfur vulcanization in rubber manufacturing [*6,7,8*]. Introduction of xanthogen disulfides in the polymerization of polychloroprene latex adhesive gives the latter excellent heat resistance and green bond strength [*9*] as well as good colloidal stability [*10*]. 1,3-Dithiol-2-one, precursors of tetrathiafulvalene that are extensively used in conjugation with tetracyano-*p*-quinodimethane (TCNQ) as organic conductors possessing unusual high electrical conductivity, are prepared in a single step from diisopropyl xanthogen disulfide and alkyne [*11*] Diisopropyl xanthogen disulfide has also found extensive applications in the rubber tanning industry as a chain-transfer agent in free radical emulsion polymerization of butadiene styrene rubber, as well as in the preparation of Neoprene rubber, resistant to scorch and aging [*12*].

Preparation of the reactive derivatives of the xanthogenic acid creates the possibility to get rid of all oxidation products which are formed during a long period of storage. This paper describes a method for treating dixanthogenate which is separated from the mixture of products which are formed during a long period of storage. Featured dixanthogenate is treated with chlorine in order to obtain the chloride of xanthogenic acid, a xanthogenate is further oxidized to dixanthogenate and treated, or may be used for the flotation. The obtained chloride of xanthogenic acid described in this paper may find use for the synthesis of various derivatives of xanthogenic acid (thioncarbamate, carbamoyl esters of xanthogenic acid, etc.).

2. EXPERIMENTAL PART

2.1. Laboratory procedure for separation of waste xanthate components

Fill a 1 dm^3 beaker with 100 g of waste xanthate and 400 cm^3 water and stir for 30 minutes with magnetic stirring. Filter the product on Büchner funnel, wash with 200 cm^3 water and dry in vacuum dryer at 30 ^{0}C (10 mm Hg). The yield of gained ethyldixanthogenate was 80 g, and its structure was confirmed using elemental microanalysis, as well as, FTIR, 1H NMR and MS methods. The filtrate was moved to a separation funnel. The upper layer which represented the organic phase of isobutylalcohol was separated from the aqueous phase (1.5 cm^3 of isobutanol was separated). The aqueous phase was analyzed volumetrically to determine the quantities of present xanthate and alkalis. Based on the standard volumetric method of analysis, it was found that aqueous phase contained 0.4 g of sodium hydroxide and 5.0 g of potassium isobutylxanthate. All samples of waste xanthate were treated by the same procedure.

2.2 **Laboratory procedure for synthesis chloride derivates of xanthogen acid**

In the three-necked flask equipped with magnetic stirrer, thermometer, a glass tube for the supply of chlorine and a glass tube for draining the excess of chlorine, was added 100 cm^3 of xylene and 30 g (0.10 mol) of 99.10% isobutyl xanthogen disulfide. The tube that drains excess chlorine, is connected via hoses with a bubbler container and with a water vacuum pump. The diluted solution of ammonium hydroxide is in bubbler container. The vacuum pump is turned on, so that shows weak vacuum of 740 mmHg. From the glass container, diluted 10% sulfuric acid is added dropwise to a solution of sodium hypochlorite (30.1 g (0.103 mol) of sodium hypochlorite (130 g of active chlorine / 1000 cm^3), contained in a bottle that is connected via glass tube to the reaction flask. The introduction of chlorine, with stirring the reaction mixture, takes place in the course of 1.5 hours at a temperature of 45-50 ^oC. In the course of the reaction sulfur occurs in the form of a suspension, which is separated by filtration from the product wich is xylol solution of isobutyl xanthogenate chloride. Product isobutyl xanthogenate chloride is isolated by vacuum evaporation, where xylol is re-used in a new synthesis.

3. Results and discussion

This paper describes a method for dixanthogenate separation, from waste xanthogenate, which are formed during a long period of storage. Featured dixanthogenate is treated with chlorine in a suitable solvent xylene to give xanthogen chloride and a sulfur in an equimolar ratio. Table 1. shows the results obtained in the experimental work for the synthesis of xanthogen chloride

Table 1: Synthesis of chloride derivates of alkyl xanthogen acid ROC(S)Cl

Exp.	R-	Reaction conditions			Yield%
		Molar ratio $[ROC(S)S]_2$:Cl_2	Time(h)	Temp.(^oC)	
1.	Et-	1 : 1,05	1,5	40-50	85,0
2.	iPr-	1 : 1,10	1,5	40-50	86,0
3.	iButyl-	1 : 1,10	1,5	45-50	88,6
4.	Ph-CH_2-CH_2-	1 : 1,08	1,8	50-60	83,5
5.	Ph-$(CH_2)_2$-CH_2-	1 : 1,09	1,7	50-60	84,0

Based on the results shown in Table 1, it can be concluded that the products are obtained in relatively good yields, given that the temperature was relatively low and that the reaction time was relatively short. Also chlorine is used in a slightly larger amount.The structure of the synthesized compounds has been confirmed by instrumental methods: GC, ^1H and ^{13}C, NMR, FTIR and MS. Based on the results of laboratory optimized synthetic procedures for xanthogen chlorides, starting from waste containing dixanthogenate, technological scheme of industrial process can be given.

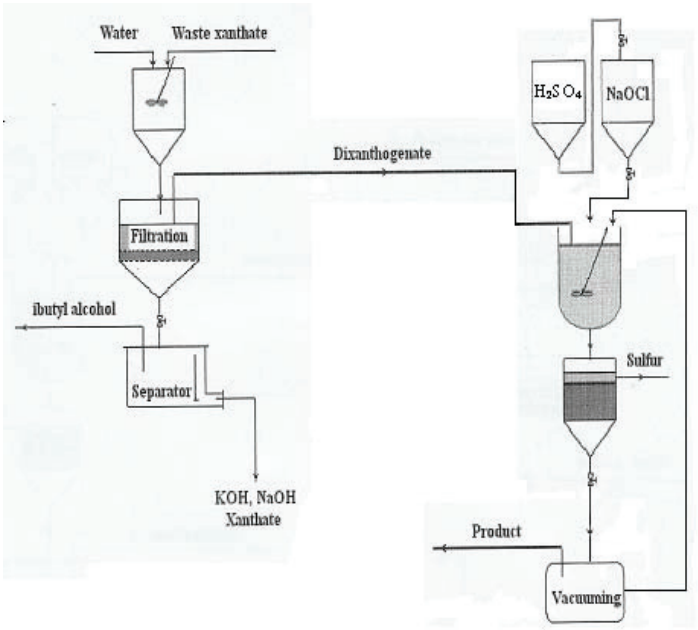


Figure 1. Technological scheme of industrial process for synthesis chloride derivates of xanthogen acid

3. CONCLUSION

This paper presents an optimal laboratory methods for treating waste containing dixanthogenate. Dixanthogenates are the starting materials for the synthesis of chloride derivates of xanthogen acid.This procedure described the possibility to get rid of all oxidation products which are formed during a long period of storage.The chlorides that are obtained by this method may find use for the synthesis of various derivatives of xanthogen acid (thioncarbamates, carbamoyl esters of xanthogen acid, etc.). The yield of the obtained product is satisfactory as well as purity. Reproductive results shown in this optimal laboratory procedure can be applied on industrial scale synthesis.

Acknowledgements: This work was supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of Serbia (Project Numbers 43007).

4. REFERENCES

[1] N. M. Elezović, M .D. Mitić, S. Ž. Milojević, S. S. Konstantinović, K. D. Radosavljević, S.S.Milisavljević, M.M. Milosavljević, S.D. Petrović, A New procedure forprocessing waste xanthogenates, *International science conference, Reporting for sustainability*, 07 th - 10 th of May 2013. Bečići, Montenegro

[2] M.M. Milosavljević, A.D. Marinković, M.Ž. Sovrlić, D.D. Milenković: A synthesis of N-alkyl and N,N-dialkyl O-ethyl thiocarbamates from diethyl dixanthogenate using different oxidants. *Monatsh. Chem. 141*,2010, 749-755.

[3] Lia, J.T.; Shea, R. *J. Polym. Sci. A; Polym. Chem.,* 2006**,** *44,* 4298–4316.

[4] Duréault, A.; Gnanou,Y.; Taton, D.; Destarac, M.; Leising, F. *Angew Chem. Int. Ed.* 2003**,** *42,* 2869–2872.

[5] Moad, G.; Rizzardo, E.; Thang. S.H.*Aust. J. Chem,.* 2005**,** *58,* 379–410.

[6] Marinovich, M.; Viviani, B.; Capra, V.; Corsini, E.; Anselmi, L.; D Agostino, G.; Nucci, A.D.; Binaglia, M. Tonini, M.; Galli, C.L. *Chem. Res. Toxicol.,* 2002**,** *15,* 26–32.

[7] Len, C.; Boulogne-Merlot, A.-S.; Postel, D.; Ronco, G.; Villa, P.; Goubert,C.; Jeufrault, E.; Mathon, B.; Simon, H.-J. *Agric. Food. Chem.,* 1996**,** *44,* 2856–2858.

[8] Bergendorff, O.; Hansson, C. *J. Agric. Food. Chem.,* 2002**,** *50,* 1092–1096.

[9] Christell, L.A.; Tabibian, R.M. US Patent Application Number: *US 5527846*, 1996.

[10] David, A. US Patent Application Number: *US 3392134*, 1968.

[11] Ferrais, J.; Cowan, D.O.; Walatka, V.; Perlstein, J.H. *J. Am. Chem. Soc.,* 1973**,** *95,* 948–949;

[12] Burnett, G.M., Cameron, G.G. *Polym. Preprints,* 1972**,** *13,* 439–441

PRIMJENA ENERGETSKE EFIKASNOSTI U RECIRKULACIONIM FONTANAMA

APPLICATION OF ENERGY EFFICIENCY IN RECIRCULATION FOUNTAINS

Tomislav Grizelj[1], Hajra Šahinović[2], Tin Grizelj[3]
[1]ITG Wärmetechnik Wien, grizelj@grizelj.com
[2]ITG d.o.o. Sarajevo, itg@itgkotao.com
[3]GRIZELJ d.o.o. Sarajevo, tin@grizelj.com

SAŽETAK:

Fontane ukras eksterijera, pa i enterijera postoje još od davnina, i vrlo često simobliziraju vodu kao izvor života. Danas u vremenu savremenih tehnoloških dostignuća, fontane su postale umjetnost, koja se ogleda kroz sklad vode, obojenih svjetlosnih efekata, pa i muzičkih nota. Napredne tehnologije osiguravaju da fontane imaju efikasan rad, kroz recirkulaciju vode, kako bi rad fontane bio i energetski i ekonomski opravdan. Prikaz nekoliko tehničkih rješenja, energetski efikasnih, bit će opisano i slikovito prikazano kroz rad, što je primjer harmonizacije vodoskoka na fontanama sa svjetlosnim efektima, uz potrebne amortizacije, centralne i upravljačke jedinice fontana, pumpi, sistema za dopunjavanje i filtriranje.

Ključne riječi: *fontane, napredne tehnologije, energetski.*

ABSTRACT:

Fountains as exterior decoration, including interior existed since ancient times , and very often are simbole of water as the source of life. Today, in a time of modern technological advances, fountains have become an art, which is reflected in the harmony of water, colored lighting effects, as well as musical notes. Advanced technologies ensure that the fountains have an efficient operation, the recirculation of water, in order to work the fountain was the energy and economically justified . Only a few technical solutions , energy efficient , will be described and vividly illustrated through the work , which is an example of harmonization fountain to fountain with lighting effects, along with the necessary depreciation, the central control unit and fountains, pumps, systems to supplement and filtering .

Keywords*: fountains, advanced technology, energy.*

---

1. UVOD

Arhitektura i gradnja danas su jedan od najaktuelnijih segmenata u kreiranju ugodnih ambijentalnih uslova, i fontane kao građevinsko – arhitektonsko rješenje najčešće je planirano u cilju uljepšavanja eksterijera pa i enterijera. Bez obzira što predstavljaju ukras, umjetničko djelo,

neophodno je razmišljati i projektirati fontanu na način da bude ekološki prihvatljiva, energetski efikasna i ekonomski opravdana. Recirkularne fontane su moderno, efikasno rješenje fontana koje je prvenstveno sanitarno – higijesnki ispravno obzirom da se recirkulacijom vode smanjuje ili ne dozvoljava razvoj nepoželjne mikrobiološke flore koja u starim rješenjima narušava adnosno otežava mogućnost korektnog rada fontana. Osim toga vrlo bitan aspekt je dostizanje energetski efikasnog rada recirkulacijom vodom, a što je naravno popraćeno i ekonomskom opravdanošću.
Osim arhitektonskog i graževinskog segmenta, za fontane od velikog značaja je projektovanje mašinskog i elektro dijela koji je u konačnici osnova za efikasan i korektan rad fontane.
Osnovni moduli za projektovanje i gradnju su: zapremina, protok, sistem za dopunjavanje i održavanje nivoa vode, kapacitet dizni, pumpe, razdjelnici, filtriranje, rasvjeta, elektro upravljanje, automatizacija i potrošnja električne energije.

2. RECIRKULACIJA VODE U FONTANI

U sistemu fontana i drugih vodenih aplikacija koristi se ista voda, bez dodavanja hemikalija u vodu radi ptica koje najčešće konzumiraju vodu iz fontane. Svaka fontana opremljena je sistemom za dopunjavanje vode u bazen fontane radi svakodnevnih gubitaka usljed isparavanja kao i prelivom viška vode usljed padavina i sl. Nivo vode u fontani je vrlo bitan jer se na osnovu zapremine i potrebnog nivoa vrše proračuni za rad pumpi i mlaznica. Ako nivo vode nije zadovoljen gube se vizuelni efekti dizni u fontani a u slučaju nedostataka vode postoji mogućnost rada pumpi na suho, što može dovesti do stradanja pumpi i stvaranja buke.

Sistem za dopunjavanje i pražnjenje vode je potrebno dimenzionirati na osnovu stvarnih potrebnih količina vode za određenu zapreminu vode u fontani.
Dimenzionisanje vodovodnog priključka fontane za dopunjavanje dimenzioniše se prema formuli

$$Q = \frac{d^2\pi}{4} \times v \quad ; \quad d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} \tag{1}$$

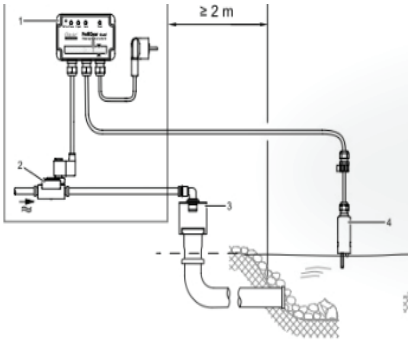
Dimenzionisanje vodovodnog priključka za pražnjenje vode koju treba odvesti u kanalizaciju je onda:

$$Qk = \frac{Q}{t} = l/s \tag{2}$$

Uz pretpostavljeni pad piezometarske linije od 6% i brzinu tečenja v=0,6 l/s prečnik cjevovoda za kanalizacioni priključak iznosi:

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} \tag{3}$$

Na cjevovod vodovodnog priključka potrebno je ugraditi elektromagnetni ventil za automatsko dopunjavanje vode, koji je povezan sa nivo sondom i nivo relejima u upravljačkom ormaru fontane
kako je to prikazano na slici 1.



Slika 1. Povezivanje elektromagnetnog ventila, nivo sonde i upravljačkog ormara

3. PUMPE SA FREKVENTNOM REGULACIJOM

Stari način projektiranja i odabira pumpi zasnivao se na kapacitetu dizni sa 30-50 % većim kapacitetom kako bi bili sigurni da će aplikacija biti dobra, pa se višak tlaka i vode reducirao balans ventilima čime je utrošak električne energije ostajao konstantan. Unapređenjem i uvođenjem pumpi sa drugim QH krivuljama stvoreni su uvjeti da se preko frekventnih regulatora regulira broj okretaja impelera prema stavrnim potrebama.
Kriva pumpe predstavlja zavisnost pritiska koji daje pumpa H od protoka Q. Kriva pokazuje da pumpa može da daje manji protok ukoliko treba da savlada veću razliku pritiska u sistemu. Kriva sistema se sastoji od dva dijela. Pritisak potreban pri nultom protoku je statički pritisak. On predstavlja visinu vodenog stuba koji pumpa u sistemu može da savlada bez obzira na protok. Ili, može se shvatiti kao rad koji pumpa savladava nasuprot gravitaciji. Druga komponenta predstavlja mjeru otpora samog sistema (cijevi), i povećava se sa povećanjem protoka. Presjek krivi karakteristike pumpe i sistema predstavlja radnu tačku. Upotrebom frekventnog regulatora i smanjivanjem brzine obrtanja pumpe, karakteristika pumpe se spušta ispod. Upotrebom ventila (prigušnica), menja se karakteristika sistema, a ne pumpe. Za postizanje istog protoka, pritisak pumpe je manji kod upotrebe frekventnih uređaja. Kako je ulazna snaga srazmjerna proizvodu protoka i pritiska, zaključuje se da se korišćenjem frekventnih uređaja štedi energija.
Pored pune kontrole brzine motora, korištenje frekventnog regulatora nudi i brojne druge prednosti:

- Ušteda energije;
- Podešavanje brzine u procesu roizvodnje;
- Broj startovanja i zaustavljanja pumpe može se punom kontrolom brzine drastično smanjiti;
- Korištenjem laganog ubrzavanja i usporavanja, izbegavaju se naprezanja i nagli udari u mašinskim sklopovima.

4. POTOPNE PUMPE

Do sada su se u fontanama koristile obične pumpe kod kojih je bilo potrebno izgraditi šaht za smještanje pumpi kao i usisne i potisne instalacije vode za pumpu. U nekim fontanama gdje se vršila rekonstrukcija starih sistema je izgradnja šahta zahtjevala dodatne građevinske radove koji su najčešće predstavljali finansijski problem jer se dodatno treba predvidjeti hidroizolacija šahta, odvod vode u kanalizaciju u slučaju poplave u šahtu, protukišni poklopac, ventilacija šahta i sl. Zbog svega navedenog potopne pumpe su sve više korištene u izgradnji fontana. Potopne pumpe smještaju se u bazen fontane a usis vode smješten je na samoj pumpi uz dodatni filter na pumpi

kao zaštita za pumpu. Na slici 2 prikazana je takozvana inteligentna potopna pumpa na kojoj je smješten frekventni regulator i za koju osim napajanja električnom energijom nije potrebna dodatna komunikacija sa elektro upravljačkim ormarom i automatikom. Inteligentne pumpe direktno su povezane na mlaznicu a vodeni efekti stvaraju se promjenom frekvencije pumpe. U slućaju da se vodeni efekti žele dodatno obogatiti inteligentnu potopnu pumpu moguće je povezati sa automatikom za upravljanje i tada je moguće uskladiti vodene efekte sa rasvjetom mlaznice. Pored ovoga preko automatike moguće je napraviti i muzičku fontanu kao i visinu mlaza preko kontrole brzine vjetra. Na slici 3 prikazana je automatika za upravljanje pumpom.



Slika 2. Pumpa Varionaut 365

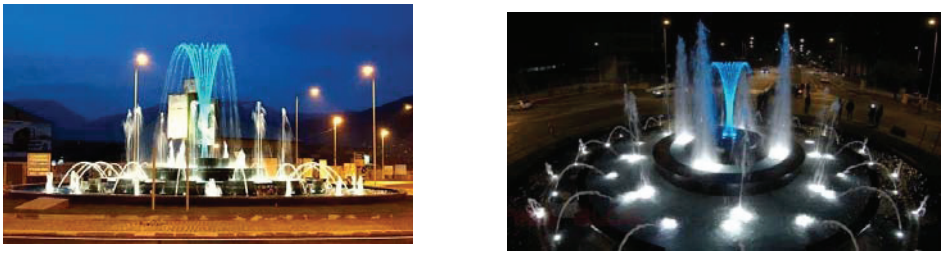
Na ovaj način prjektovana je i izgrađena fontana GGM u Zenici. U centralnom dijelu fontane smještena je Crown mlaznica na koju je povezana potopna pumpa smještena u samoj fontani. Potopna pumpa i RGB reflektori na mlaznici su DMX komunikacijom povezani na Wecs automatiku. Anemometar koji je smješten uz rub fontane na visini od 4 metra, također povezan na Wecs automatiku, mjeri brzinu vjetra i preko Wecs automatike smanjuje mlaz na Crown mlaznici, anemometar je prikazan na slici. Pored upravljanja i zaštite Wecs automatika nudi i programiranje rada fontane prema zahtjevima Investitora. Fontana GGM u Zenici programirana je na više različitih programa koji se razlikuju u visini mlaza i boji mlaza. Tako je zahtjev Investitora u Zenici bio da se u godišnji program rada fontane, programiraju različiti programi za dane žalosti u Gradu Zenica, za vjerske praznike i za posebne manifestacije u sklopu obilježavanja manifestacija u gradu Zenica. Za vrijeme dana žalosti ova inteligentna fontana spušta visine mlazova kao zastave na pola koplja a boje mlazova cijelo vrijeme trajanja programa drži u bijeloj boji bez prevelike raskoši boja i vodenih „plesova" tako odaje dojam tuge. Za vjerske praznike pametna fontana izgleda veselo a boje se mjenjaju karakteristično u ovisnosti o kojem je prazniku rjec. Za posebne manifestacije Grada Zenica, pametna fontana dostiže najvisocije vodene efekte u kombinaciji boja gradskog grba i zastave. Na slici broj 5 prikazana je pametna plesna fontana GGM Zenica.



Slika 3. Automatika za fontanu



Slika 4. Anemometar



Slika 5. Fontana GGM Zenica

5. MLAZNICE

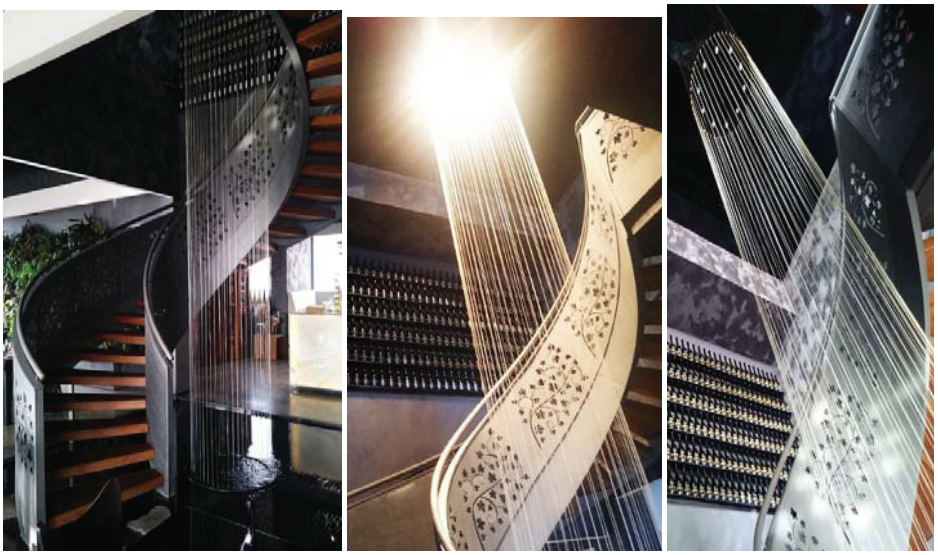
Mlaznice predstavljaju najinteresantniji dio fontane i potreban je njihov što bolji odabir. u zavisnosti od zapremine fontane i mjesta izgradnje potrebno je odabrati što funkcionalniju mlaznicu. Tako se primjerice za veće fontane biraju mlaznice koje imaju što veći mlaz kako bi bile efektnije.
Danas se u ponudi mogu naći različite vrste mlaznica koje su prikazane na slici 6, kao naprimjer rotirajuće, njihajuće, vulkan, pjenušac, konusne, sfera, kruna, pirueta, kometa itd. Svaka od ovih mlaznica razlikuje se u izgledu vodenog mlaza a samim tim i u protoku vode kroz mlaznicu. Na slikama su prikazane mlaznice najnovije generacije.





Slika 6. Prikaz različitih vrsta mlaznica

Pored navedenih mlaznica koje se standardno koriste u eksterijeru, novina su svakako mlaznice za enterijere, koje su namjenjene isključivo za uljepšavanje unutrašnjosti objekata. U Vinariji Vukoje u Trebinju izgrađena je fontana vodene niti koja je prikazana na slici 7. Fontana vodene niti, izgrađena je umjesto klasičnog lustera u restoranu a svojim izgledom predstavlja najsavremeniji način projektovanja enterijera.



Slika 7. Fontana vodene niti u Vinariji Vukoje

6. ENERGETSKI EFIKASNIJA RASVJETA FONTANE

Rasvjeta fonatne se danas izvodi LED diodama koje troše 3-8 puta manje električne energije uz isti nivo rasvjetne moći. Najnovije LED RGB diode imaju mogučnost promjene boje u do 256 nijansi čime se ostvaruje ugođaj za oko u ambijentu. LED RGB diode imaju 3 osnovne boje R-red, G-green. B-blue uz kombinaciju bijele boje. Na osnovu zadanih boja a preko odgovarajuće automatike za izradu programa (primjerice automatika Wecs korištena na fontani GGM Zenica) zadane boje se mješaju i do 256 nijansi koje je moguće preko programa uskladiti i sa vodenim mlazom kao i muzičkoj podlozi. LED RGB diode su sastavni dio muzičkih plesnih fontana. Na

slici 8 je prikazana fontana ispred Sportske dvorane na Grbavici, Sarajevo za koju je Investitor pored svakodnevnih iluminacija zahtjevao i promjenu boje za vrijeme fudbalskih mečeva na stadionu Grbavica i sportskoj dvorani Grbavica. Sportska dvorana i stadion Grbavica pripadaju sportskom klubu ćije su boje plavo-bijela, tako da ova pametna fontana u vrijeme sportskih mečeva ovog kluba mjenja plavo-bijele nijanse. RGB LED diode korištene su i u projektu izgradnje suhe fontane u Orašju a na slici 9 je prikazan izgled fontane iz idejnog projekt.



Slika 8. Probni rad prije montaže fontane na Grbavici



Slika 9. Izgled fontane iz idejnog projekta suhe fontane u Orašju

7. UMJETNA JEZERA

Umjetna jezera bilo da je rječ o jezerima nastalim u prirodi ili gradnjom od strane čovjeka, najčešće imaju problem stajanja vode, odnosno problem aerizacije vode u jezeru. Gradnjom plutajućih fontana u umjetnim jezerima postiže se kvalitet vode. Pored vizuelnog efekta i prijatnom ambijentu Fontana može da obavlja funkciju mešanja vode u jezeru i da time potpomaže aerizaciju vode. Plutajuće fontane se grade na nosećoj konstrukciji koja se slobodno upušta u jezero. U zavisnosti od veličine jezera plutača se može pricvrstiti sidrom ili vezati za jedan kraj jezera. Ova konstrukcija nosi pumpe, reflektore i mlaznice za oblikovanje vodenog mlaza. Plutajuća konstrukcija odabrana je zbog fleksibilnosti u odnosu na varijaciju vodenog nivoa u jezeru i mogućnosti premještanja fontane. Prednost ovakvog rješenja je to što cjelokupna konstukcija može po potrebi da se izvadi iz jezera radi zaštite od zime ili remonta. Plutajuća fontana koja se nalazi na Trebeviću prikazana je na slici 10 a kao rezultat rada, u okolini fontane se poboljšao kvalitet vode u jezeru, što je i bio prvobitni cilj postavljanja fontane. Cirkulacijom je voda postala bogatija kiseonikom, što treba u budućnosti da doprinese rehabilitaciji flore i faune u okolini fontane. Takođe, dobijene su i pozitivne kritike od strane posetilaca parka pored jezera o estetskom uticaju fontane. Plutajuća fontana nalazi se i u jezeru Jelen kod Jelaha a izgled fontane prikazan je na slici 11.



Slika 10 Plutajuća fontana u jezeru na Trebeviću



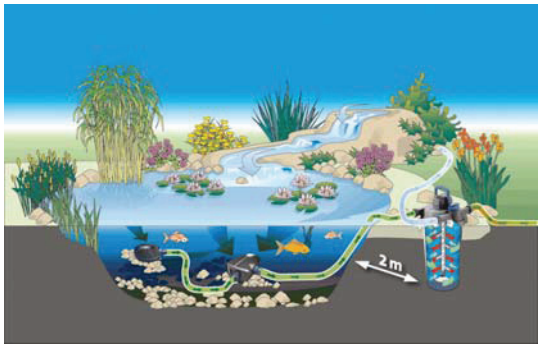
Slika 11. Plutajuća fontana u jezeru Jelen kod Jelaha

8. OMEKŠIVAČI VODE U FONTANAMA

Zbog zaštite opreme u fontani kao i cjevovoda sve češće se predviđa se ugradnja omekšivača vode na instalaciju dopune vodom. Potrebno je ugraditi omekšivač kapaciteta odgovarajućeg protoka omekšane vode. Omekšivač vode treba da se sastoji od jedne tlačne kolone sa ionskom masom, upravljačkim ventilom i spremnikom soli. Regeneracija omekšivača treba da se vrši automatski, putem elektronskog, programabilnog upravljačkog blok ventila, na kojem je, pored informacija o statusu rada, regeneracije i kvara, moguće pratiti trenutni protok i prostali volumen omekšavanja. Ovi zahtjevi za odabir omekšivača postavljeni su isključivo zbog namjene i vrste objekta, odnosno fontane. Sve fontane projektuju se za potpuno autonoman i automatski rad bez potrebe stalnog nadzora i kontrole rada.

9. FILTRIRANJE VODE U FONTANI I UMJETNIM JEZERIMA

Energetski efikasne fontane nisu protočne, nego u istim recirkuliše količina vode, koja se obnavlja nakon pražnjenja ili se samo dopunjava. Treba napomenuti da se voda u recirkulacionoj fontani brže prlja, ali da to nije nužno razlog ugradnju filtera. Filter u fontani predviđa se samo ukoliko pored uobičajnih zaprljanja pored fontane postoji dodatni izvor prljavštine. Primjerice u fontani GGM u Zenici ugrađen je UV filter, protoka 2,5 m3/h jer je u blizini fontane smještena je Željezara koja uzrokuje veliko zagađenje zraka te će i samim tim uzrokovati zaprljanje fontane. Ugrađeni filter će prema proračunu iz projekta, filtrirati vodu u toku 48 sati aktivnog rada. Na slici 12 je prikazan filter.
Ovakav filter potrebno je predvidjeti u svim umjetnim jezerima iz kućne radinosti, jer se umjetna jezera manjeg kapaciteta brže prljaju. Pored čestog zaprljanja izložena su stalom utjecaju sunca, što može dovesti do neugodnih mirisa vode u jezeru. Filteri se u umjetna jezera smještaju na način kako je to prikazano na slici 12.



Slika 12. Montaža filtera u umjetnom jezeru

10. LITERATURA

[1] Projektna dokumentacija firme GRIZELJ Sarajevo (2010 – 2016)
[2] Projektna dokumentacija firme ITG d.o.o. Sarajevo (2010 – 2016)
[3] www.oase-livingwater.com
[4] www. fontane.ba

ENERGETSKA EFIKASNOST KROZ OBNOVLJIVE IZVORE ENERGIJE NA INDUSTRIJSKIM PEĆIMA PRIMJENOM REKUPERATIVNE I REGENERATIVNE TEHNOLOGIJE

ENERGY EFFICIENCY THROUGH RENEWABLE ENERGY IN THE INDUSTRIAL OVEN USING RECUPERATIVE AND REGENERATIVE TECHNOLOGY

Jasmina H. Bajramović[1], Tomislav Grizelj[2]
[1]GRIZELJ d.o.o. Sarajevo, jasmina@grizelj.com
[2]ITG Wärmetechnik Wien, grizelj@grizelj.com

SAŽETAK:

Rasipanje energije više definitivno nije trend i postao je pravi izazov osmisliti način, rješenje, tehnologiju, na koji će se postići značajne energetske uštede kroz efikasan rad a koje predhode ekonomskim uštedama, ali uz ekološku prihvatljivost.
Potrošnja energije u industriji predstavlja oko jedne trećine ukupne energetske potrošnje u svijetu. Stalan rast cijena energije i povećanje udjela energije u jediničnoj cijeni proizvoda zahtijeva sve više pažnje i usmjeravanja ka korištenju obnovljivih izvora energije uz postizanje energetske efikasnosti.
Rekuperativne i regenerativne tehnologije osiguravaju korisniku iskorištavanje odbačene energije uz značajno smanjenje troškova kroz energetski efikasniji rad.

Ključne riječi: *energija, obnovljivi izvori energije, tehnologije*

ABSTRACT:

Energy dissipation, definitely more is not a trend and become a real challenge to devise a way, solution or technology, that will achieve significant energy savings through efficient operation and preceding the economic savings, but with environmental acceptability. Energy consumption in the industry represents about one-third of all energy consumption in the world. A steady rise in prices of energy and increasing the share of energy in the unit price of the product requires more attention and guidance to the use of renewable energy while achieving energy efficiency. Recuperative and regenerative technologies to ensure utilization of discarded energy while significantly reducing costs through more energy efficient operation.

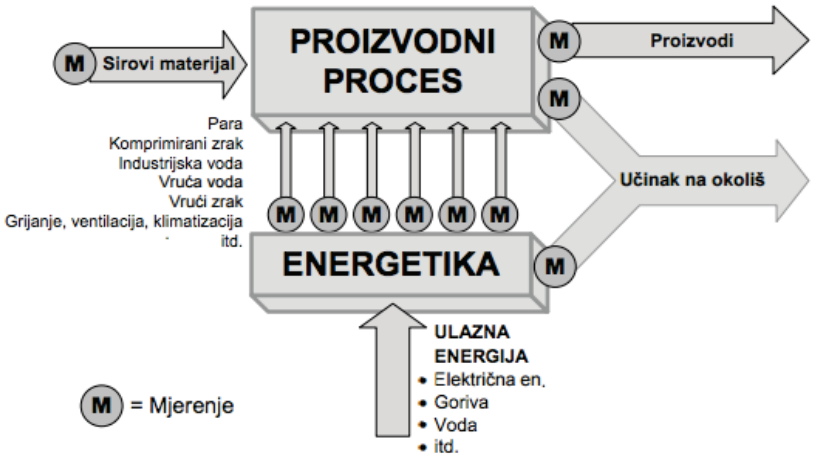
Key words: *energy, renewable energy, technology*

---

1. UVOD

Stalan rast cijena energije i povećanje udjela energije u jediničnoj cijeni proizvoda zahtijeva sve više pažnje voditelja, menadžera industrijskih pogona te upravljanje potrošnjom energije. To najčešće uključuje povećane investicije, ali omogućava i znatne koristi. Gdje god i kada god se postignu poboljšanja energetskog učinka, istovremeno će se poboljšati i učinak zaštite okoliša, a vrlo često i kvaliteta konačnog proizvoda. Energetski gubitci su neizbježni ali su često mjerljivi i

moguće ih je smanjiti. Prva zadaća gospodarenja/upravljanja energijom je identificirati i potom smanjiti iznos gubitaka u internom lancu snadbjevanja energijom. Osnovni odnos, potrebe, energije i proizvoodnje prikazani su na slici 1.



Slika 1. Odnos energije i proizvodnje

Sistemski pristup analizi industrijskih energetskih sistema zahtijeva proučavanje i razumijevanje interakcije među glavnim utjecajnim faktorima energetskog učinka, npr.:

• Proizvodnja,
• Energetika,
• Ljudi i
• Tehnologija.

Jednaka je usredotočenost na fizičku opskrbu energijom i potrošnju te ljudskom faktoru vezanom za vođenje i održavanje pogona. Općenito govoreći, raspon analize energetskih sistema uključuje razmatranje:
• Pretvorbe energije (u kotlovima, transformatorima, kompresorima, pećima, itd.);
• Distribucije energije (električne energije, vodene pare, kondenzata, komprimiranog zraka, vode, vrućeg ulja, itd.);
• Efikasnosti krajnje potrošnje (oprema i zgrade);
• Smanjenja otpada te ponovno korištenje, rekuperaciju, regeneraciju ili recikliranje (energije, vode);
• Planiranje proizvodnje, pogona, održavanja i općeg gospodarenja
• Upravljanje (tok informacija, analiza podataka, povratna veza, edukacija zaposlenika, njihova motivacija, itd.).

Odbačenu energiju u dimnim plinovima prepoznajemo kao obnovljivi izvor energije koju iskorištavamo tehnološkim procesima i procesno – tehnološkom opremom:

- Ekonomajzer (efekat > 20 %)
- Utilizator (efekat > 30 %),

- Rekuperator (efekt > 40 %)
- Regenerator (efekt > 50 %)

Na mjestu nastanka (In Situ) i čime umanjujemo utrošak energenta.

Regenerativnim i rekuperativnim uređajem je moguć povrat energije oko 70 - 85% iz „otpadnog" zraka čime se opravdava investicija kroz ekološke, energetike, ekonomske benefite i otplatu za cca 10 000 sati.

2. REGENERATIVNE I REKUPERATIVNE TEHNOLOGIJE

Novo nastali problemi za okoliš nameću visoko postavljene ekološke norme koje zahtijevaju primjenu novih naprednih tehnologija uz korektnu emisiju polutanata i ostalih vrsta otpada.
Otpadni dimni plinovi temperature > 500 °C iz industrijskih peći za taljenje metala, stakla, pečenje opeke, porculana itd. treba racionalno iskoristiti kako bi zadovoljili EU Direktive 2009/28/EC i 2012/27/EC u zaštiti prirode i okoliša.

Izraz regenerativne tehnike govori da se u sistemu jednog ili dva plamenika sa reverzibilnim postupcima vrši regeneriranje (produciranje akumulirane energije) koja nije otišla u ambijent (prirodu) već se vraća u komoru kao energija u vremenskim intervalima do 10 sek. Kako bi došlo do korektnog transfera energije kroz energetsku efikasnost, bez energetskog gubitaka

Sva „odbačena" energija putem prirodne ili prisilne ventilacije je obnovljiva energija i pomoću regeneratora ili rekuperatora može se energetski iskoristiti i materijalizirati.
Plinski plamenik- koristi pregrijani zrak temperature do 500°C čime se povećava energetska učinkovitost od 20 % do 30%, a i smanjuje se štetna emisija polutanata. Kroz turbo eko efekt, racionalizira se utrošak energenta čime se postiže više energije i povećava energetska učinkovitost.
Proizvođač plinskih plamenika koji imaju mogućnost da koriste vreli zrak je firma GRIZELJ Thermounit^{tg} LowNO_x tip BTG. (slika2). Kapaciteta od 4 kw do 5275 kw u 14 veličina sa omjerom regulacije 1:10 (100 kw – 1000 kw) koji rade na LPG/UNP zemni plin, ulazni tlak 100 mbar.
Plamenik se sastoji od: kućišta, plamene glave, visokonaponskog trafoa, elektrode, plinske dizne, stabilizatora plamena, nadzirača plamena, priključaka za zrak i plin navojne ili prirubničke izvedbe ovisno o kapacitetu veličini plamenika.

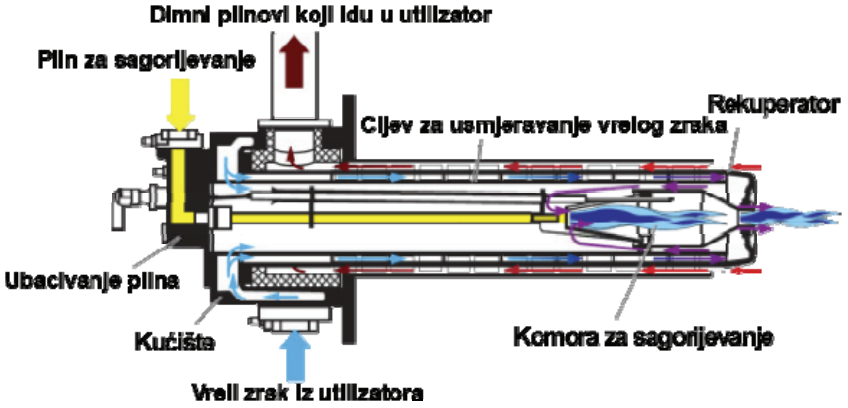


Slika 2. Thermounit^{TG} LowNOx

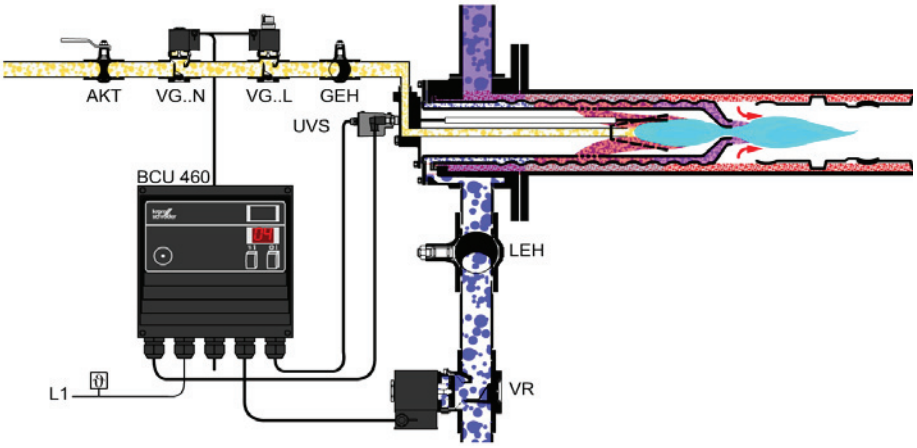
Inovativni koncept novih modela sušara zasniva se na regeneraciji i rekuperaciji otpadnog zraka iz sušare i otpadnih dimnih gasova/plinova čime se smanjuje utrošak energenta do 30 % kroz što se direktno smanjuje i emisija stakleničkih gasova/plinova u emisiji polutanata i gdje možemo

garantirati optimalno korektnu emisiju polutanata (reduciran) Low NO_X CO i CO_2 bez lebdećeg pepela u emisiji polutana uz zaštitu zraka, vode, tla i hrane.
Otpadna energija iz procesa sušenja koristi se direktno u turbo sistemu sušare sistemom reverzibilne i recirkulacione funkcije što dovodi do regenerativnog efekta i što direktno utiče na povećanje energetske efikasnosti/učinkovitosti, a time i smanjenja utroška energenta.
Sušare kao energent mogu koristiti LPG/UNP, zemni gas/plin i pelet kao eko goriva.
Primjeri rekuperativnih plamenika prikazani su na slikama 3,4 i 5.

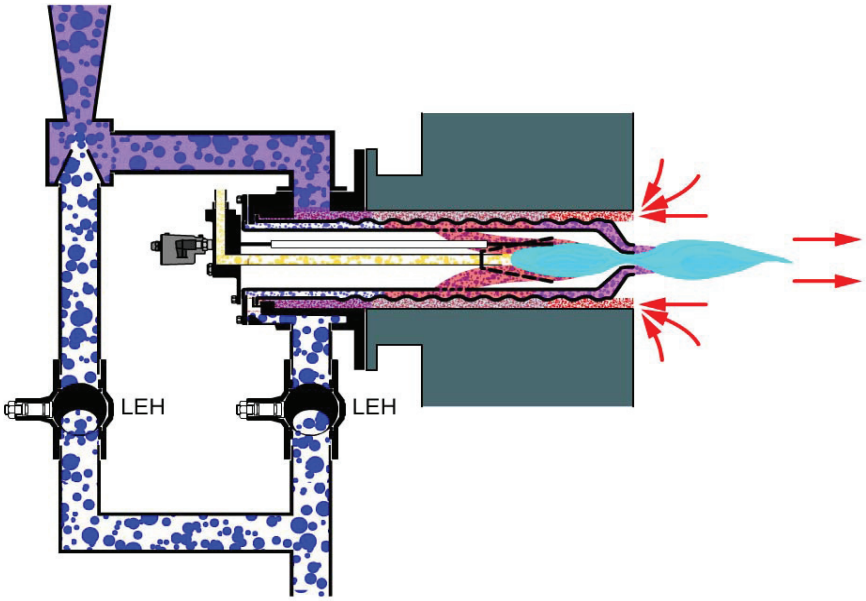
Značajna ušteda korištenja primarnog energenta osigurana je bukvalno kroz iskorištenje dimnih plinova koji idu u utilizator ili se koriste direktno na plameniku u kome je ugrađen rekuperator. Rekuperativne tehnologije svakodnevno se razvijaju i usavršavaju kako bi bio smanjen svaki vid gubljenja energije, pogotovo transportom.



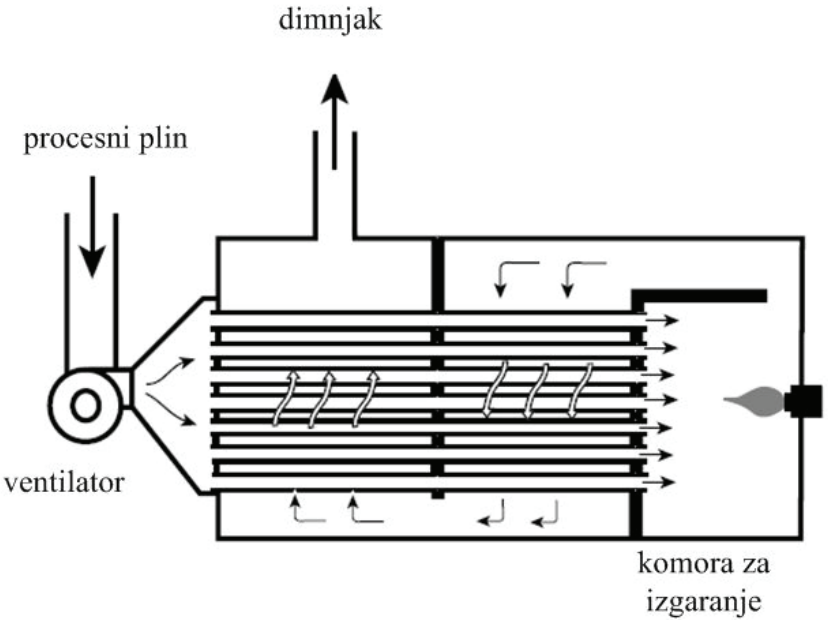
Slika 3. Plamenik sa mogućnošću rekuperacije



Slika 4. Rekuperativna tehnologija



Slika 5. Rekuperativna tehnologija (nastavak na sliku 4)



Slika 6. Rekuperativni termički proces

Bit rekuperativnih tehnologija u termičkom procesu je povećanje energetske efikasnosti uz smanjenje utroška energenta iskorištavanjem vrelog zraka, uz smanjenje emisija polutanata.

Tokom termičkog procesa, u ovom smislu nastupanja egzotermnih ali i endotermnih reakcija, dimni plinovi se koriste unutar samog procesa za postizanje efikasnijeg rada.

Kako su industrije napredovale po pitanju razvoja postrojenja u cilju dobijanja finalnih proizvoda kao što su peći za taljenje, staklare, opeke i sl. neophodno je bilo i da osnovni proces bude popraćen osavremenjavanjem opreme koja se najviše koristi, a to je oprema za postizanje visokih temperatura, plamenik kao glavna karika. S tim u vezi razvijeni su regenerativni plamenic (slika 7).



Slika 7. Regenerativni plamenik

Izuzetna efikasnost dokazana je primjenom u namjenskim industrijama kao što su taljenje aluminija, stakla, željeza kao i pečenje opeke, keramike, porcelana, odnosno u industrijama gdje su primjenjene izrazito visoke radne temperature.

Pri donošenju odluke o primjeni rekuperativnih i regenerativnih tehnologija, odnosno iskorištenja topline nastale izgaranjem otpadnih plinova treba voditi računa o sljedećem:

- kapitalni troškovi uređaja
- troškovi instaliranja
- troškovi dodatnog goriva
- troškovi energije za pogon ventilatora (vezani uz pad tlaka i protok plina)
- troškovi održavanja (ventili, začepljenje izmjenjivača topline ili punjenja)

Neminovno je da rekuperativne i regenerativne tehnologije imaju značajne prednosti a koje se mogu promatrati sa ekološkog, energetskog i ekonomskog aspekta.

Pregledom u nekoliko teza pozitivne karakteristrike korištenja rekuperativnih i regenerativnih tehnologija može se istaći:

- intenzivan i kontinuiran rad
- jednostavan princip rada i pouzdanost rada
- rekuperativna i regenerativna oksidacija – velika toplinska učinkovitost $\Rightarrow$ utjecaj na nižu potrošnju goriva i manju emisiju CO2
- moguća procesna integracija otpadne topline procesa i proizvodnja vodene pare
- smanjenje emisija iz gotovo svih izvora

3. ZAKLJUČAK

Novi trendovi u termoenergetici primjenom regenerativnih plamenika u industriji racionalnim korištenjem energenta zadovoljavajući ekološke, energetske i ekonomske aspekte postali su efikasno sredstvo za realizaciju novih EU normi, postavljenih za postizanje ugodnog ambijena življenja.
Smanjenjem utroška energenta direktno smanjujem emisiju stakleničkih plinova a novo nastalom energijom ostvarujemo benefit i korektan energetski bilans.
Emisija stakleničkih plinova NO_X i CO < 100 ppm i CO_2 < od 10 % Vol. Uz referentni O_2 3 % Vol. Su norme koje možemo zadovoljiti regenerativnim plamenicima stehiometrijom izgaranja u žarnim pećima, pećima za taljenje metala i stakla kao i za pečenje opeke, keramike, porculana i.t.d.

4. LITERATURA

[1] Projektna dokumentacija firme GRIZELJ Sarajevo (2013 – 2015)
[2] Željko T., Mjerenje i analiza potrošnje energije, Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2010

PRILAGODBA ELEKTROENERGETSKIH SUSTAVA NOVIM SUVREMENIM UVJETIMA RADA

ADJUSTING THE ELECTRIC POWER SYSTEMS TO NEW MODERN WORKING CONDITIONS

Akademik, prof. emer. dr. sc. Zijad Haznadar, mr. sc. Ajla Merzić,
Frano Škopljanac-Mačina, dipl.ing.
Fakultet elektrotehnike i računarstva, Unska 3, Zagreb
Elektrotehnički fakultet, Sarajevo

SAŽETAK:
U članku su opisani modeli za analizu pretvorbe elektroenergetskih sustava.

Ključne riječi: *Pretvorba elektroenergetskih sustava, obnovljivi izvori*

ABSTRACT:
The article describes the models for analyzing the conversion of electric power systems.

Key words: *conversion of electric power systems, renewable sources*

---

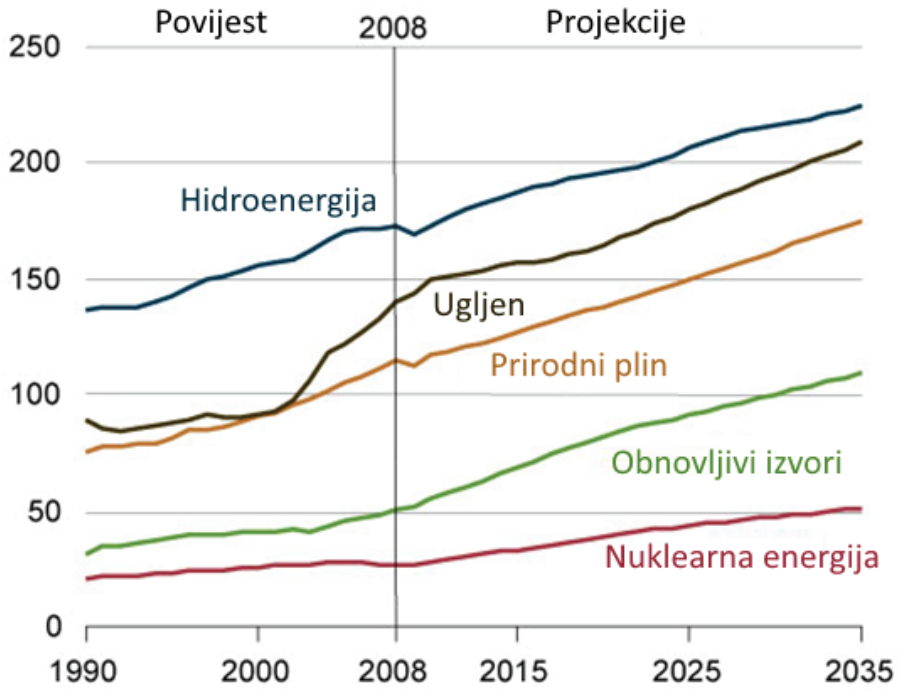
1. UVOD

U ovom izlaganju bit će analizirana pretvorba konvencionalnog energetskog sustava u suvremeni održiv elektroenergetski sustav sa značajnim uvođenjem obnovljivih izvora.

2. PROIZVODNJA I POTROŠNJA ELEKTROENERGIJE

Napredak suvremenog društva bitno počiva na razvoju tri ključna područja, a to su područja materijala, energije i informacija.

Globalna potrošnja energije nakon 2009. godine bilježi snažan porast što je prikazano dijagramima na slici 1. prema [1], [2] i [3]. Iz dijagrama je vidljivo da fosilna goriva imaju najveći udio u zadovoljavanju energetskih potreba čovječanstva.



Sl. 1. Potrošnja energije u svijetu

U svijetu su osnovni ciljevi izgradnja održivih energetskih sustava sa što manjim negativnim utjecajima na okoliš.
U proizvodnji električne energije u svijetu dominantno je učešće, približno
68%, fosilnih goriva: nafte, ugljena, prirodnog plina. U zemljama Europske unije taj postotak je oko 52%, pa je tako vidljivo da prevladava proizvodnja električne energije iz neobnovljivih izvora energije.

3. NOVI UVJETI RADA ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA

Suvremeni uvjeti rada elektroenergetskog sustava podrazumijevaju:

- liberalizaciju tržišta elektroenergije
- smanjenje utjecaja na okoliš, prvenstveno stakleničkih plinova (najmanje 20%)
- prilagodba i upravljanje elektroenergetskim sustavom uvođenjem dodatnih izvora u distributivnu mrežu.

Poseban izazov su konvencionalni EN sustavi zemalja jugoistočne Europe kao što je i naša zemlja.

4. MODELI ZA ANALIZU PRETVORBE ELEKTROENERGETSKIH SUSTAVA

Provedene simulacije i analize ukazuju na to da je današnji način proizvodnje električne energije i planiranja proizvodnog dijela elektroenergetskog sustava nužno mijenjati. Nije upitno da li nastaviti koristiti tehnologije koje troše ograničene rezerve raspoloživih energenata i pritom emitiraju zagađivače, već kako će brzo pojedini elektroenergetski sustavi prihvatiti i u kojoj mjeri će integrirati obnovljive izvore.

Za planiranje dugoročnog razvoja proizvodnog dijela elektroenergetskog sustava koriste se različiti softwarski programski paketi. Međunarodna agencija za atomsku energiju ima sustave WASP [4] i MESSAGE [5], koji se koriste u tu svrhu, kao i program HOMER.

Softwarski sustavi upotrebljavaju se na različitim područjima, tj. WASP IV. na području statičkog, a MESSAGE na području dinamičkog planiranja tranzicije elektroenergetskog sustava.

Postoje i dvije inačice matematičkog modela i to za;

- stacionarno dugoročno planiranje,
- kratkoročno planiranje.

Za srednjoročne razvojne planove do 2035. g. elektroenergetskih sustava nude se četiri osnovna tranziciona modela gdje se balansiranje varijacija izlazne snage iz proizvodnih objekata na bazi intermitentnih dodatnih izvora razmatralo kroz:

- Model fleksibilnog proizvodnog sustava koji samostalno može osigurati usluge balansiranja za pokrivanje očekivanih varijacija izlazne snage.
- Model otvorenog sustava koji balansnu snagu osigurava na tržištu električne energije.
- Model s učešćem hibridnih elektrana baziranih na energiji vjetra, sunca i energiji vode.
- Mix model koji obuhvaća sve opcije iz prethodna tri modela.

Integralni pristup može se primijeniti pri odabiru najpovoljnijeg rješenja pri prelasku s konvencionalnog elektroenergetskog sustava u nekoj zemlji u sustav u novim uvjetima rada.

Ovisno o željenim ciljevima i preuzetim obvezama potrebno je obaviti odabir odgovarajućih faktora održivosti i dodjelu odgovarajućih težinskih vrijednosti za izbor najprikladnije opcije sa stajališta pouzdanosti elektroenergetskog sustava, sigurnosti snabdijevanja potrošača, investicionog ulaganja itd.

5. ZAKLJUČAK

Jasno je, da ako se uvaže prednosti osnovnih načela sigurnosti i pouzdanog snabdijevanja elektroenergetskog sustava, smanjenja zagađenja okoliša (CO_2), ekonomskog faktora kumulativnih troškova i neovisnog proizvodnog sistema, da će biti izabran najpovoljniji pristup tranziciji energetskog sustava. Za kompleksni pristup prilagodbi najpovoljnije je koristiti matematički mix model.

6. LITERATURA

[1] A. Merzić, „Modeliranje konvencionalnih elektroenergetskih sistema u procesu tranzicije u novim uslovima rada", ETF, Sarajevo, 2015.

[2] U.S. Energy information Administration, International Energy Outlook, 2011.

[3] Z. Haznadar, „Tehnološki izazovi i elektroenergetika", FER, Zagreb, 2010.

[4] International Atomic Energy Agency (IAEA); Wien Automatic System Planning (WASP) Peckage, Version WASP-IV, User Manual, Austria, 2006.

[5] International Atomic Energy Agency, MESSAGE – Model for Energ Supply Strategy Alternatives and their General Enviromental Inpacts, User Manual, June 2007.

ENERGETSKI EFIKASNE BEŽIČNE SENZORSKE MREŽE

ENERGY-EFFICIENT WIRELESS SENSOR NETWORKS

Branko Dokić
Univerzitet u Banjoj Luci, Elektrotehnički fakultet,
Patre 5, bdokic@etfbl.net
Rad po pozivu
Invited paper

SAŽETAK:
Zahvaljujući ekspanzivnom razvoju informaciono-komunikacionih tehnologija i mogućnosti jeftine proizvodnje kompletnog sistema u samo jednom integrisanom kolu – SoC (System on Chip), posljednih petnaestak godina veoma je izražen interes, kako u istraživačkim tako i u industrijskim krugovima, za bežične senzorske mreže (WSN). U prvom dijelu ovog rada izložen je pregled tehnologija, topologija i oblasti primjene ovih mreža. Jedan od glavnih dijelova WSN je senzorski čvor, čiji se hardver sastoji od četiri dijela: senzora, bežičnog prenosa, mikrokontrolera i modula napajanja. Minimizacija potrošnje električne energije je jedna od glavnih odrednica svakog elektronskog sistema sa autonomnim napajanjem, pa i bežičnih senzorskih mreža. Zato je fokus ovog rada upravo na modulu napajanja i optimizaciji potrošnje. Dat je pregled tehnika prikupljanja energije iz okoline. Analizirane su različite tehnike smanjivanja potrošnje električne energije CMOS integrisanih kola, dominantne tehnologije izrade senzorskih čvorova. Ukazano je na ograničenja tih tehnika s obzirom na performanse senzorskog sistema. Predložene su kombinovane tehnike s obzirom na brzine procesuiranja signala.

Ključne riječi: *senzorske mreže, senzorski čvor, CMOS tehnologija, potrošnja električne energije*

ABSTRACT:
Thanks to the expansive development of information and communication technologies and the possibility of cheap production of a full system in only one integrated circuit – System on Chip, in the last fifteen years both in research and industry areas there is an increased interest in wireless sensor networks (WSN). The first part of this paper presents a summary of technologies, topologies and application areas of these networks. One of the main parts of WSN is the sensor node, and its hardware is composed of four parts: sensor, wireless transmission, microcontroller and supply module. The minimization of electrical current consumption is one of the bases of every electronic system with autonomous supply, including the WSN. Therefore, the focus of this paper in on the supply module and consumption optimization. A summary of techniques of energy accumulation from the surroundings is given. Different techniques for reducing the electrical energy consumption in CMOS integrated circuits, as a principal technology of sensor nodes fabrication, are analyzed. The limitations of these techniques in relation to senor systems performances are also highlighted. The combined techniques in relation to signal process speeds are suggested.

Keywords: *sensor networks, sensor nodes, CMOS technology, energy consumption*

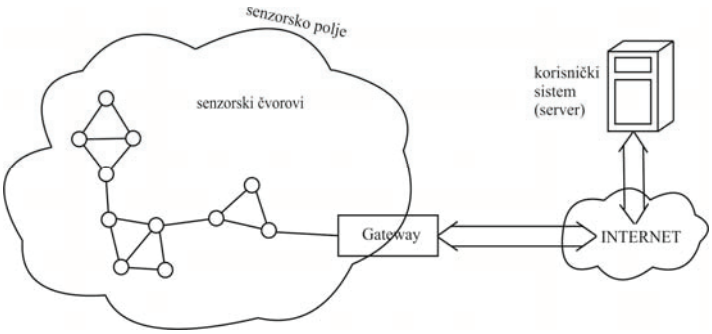
---

1. UVOD

Bežične senzorske mreže – WSN (engl. *Wireless Sensor Networks*) su fleksibilni komunikacioni sistemi mreže malih senzorskih čvorova, ograničenih računarskih mogućnosti, sposobnih da samostalno prikupljaju, obrađuju i razmjenjuju podatke. Razvoj WSN karakteristika i tehnologija u posljednjih petnaestak godina bio je vođen sljedećim zahtjevima [1]:

- Razvoj novih senzorskih elemenata koji su jeftini, male potrošnje električne energije, malog nivoa šuma i malih dimenzija;
- Integrisanje senzora i elektronskih kola za obradu signala;
- Integrisanje senzora i senzorske mreže s ciljem redukovanja prisutnog šuma;
- Razvoj senzorskih čvorova sa mogućnošću obrade signala i uspostavljanja međusobnih komunikacionih radio veza;
- Integrisanje WSN u informacione sisteme koji omogućuju nove servise;
- Razvoj novih komunikacionih protokola, algoritama obrade podataka, sinhronizacionih algoritama, algoritama energetski efikasne razmjene podataka u mreži itd.

Dva su ključna tehnička resursa koja su omogućila veoma široka područja primjene WSN. Prvo su mikroelektroničke tehnologije omogućile razvoj jeftinih, minijaturnih komponenata, kao što su procesori, radio-predajnici i senzori, koji su integrisani na jednom čipu – SoC (engl. *System on a Chip*). Drugo, internet tehnologije, poznate kao internet stvari – IoT (engl. *Internet of Things*) sa integrisanim WSN omogućuje razvoj, iz dana u dan, novih WSN servisa. Praktično, internet je sastavni dio mreže [2,3].



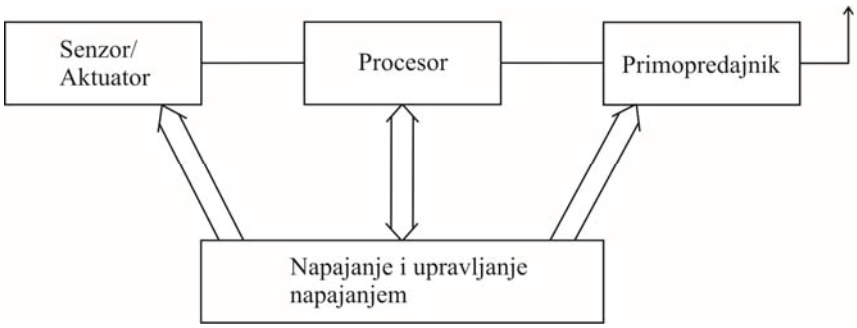
Slika 1: Bežična senzorska mreža – WSN

Nije pretjerano ako kažemo da će nove tehnologije sistema na čipu (SoC) i internet stvari (IoT) omogućiti primjenu WSN do neslućenih razmjera. One su već danas opšteprisutne. Govori se o pristupu „bilo kad i bilo gdje". Za razliku od izvornog interneta u kojem je većinu podataka generisao čovjek (tekst, slika, video i sl.), u IoT podaci se generišu, obrađuju i razmjenjuju putem elektronskih uređaja (senzorskih čvorova, na primjer) nezavisno od interakcije čovjeka.

Bežične senzorske mreže su poput ljudskog tijela koje je sposobno da iz bliskog okruženja snima optičku (oči), akustičnu informaciju (uši), te informaciju o mirisu (nos). WSN veoma širok spektar parametara u prirodi, kao što su temperatura, vlaga, pritisak, zvuk, pokreti, koncentracija gasova u vazduhu, svjetlost i sl. pretvaraju u signale koji se mogu ispitivati, analizirati i mjeriti. Kao takve one su postale sastavni dio ljudske svakodnevnice sa primjenama u različitim oblastima kao što su: zdravstvo, zaštita životne sredine, pametne kuće, pametni gradovi i sl.

Najvažniji dio WSN je senzorski čvor ili senzorski uređaj. Njegova arhitektura sastoji se od: senzorske jedinice, procesora, primopredajnika i jedinice za napajanje i upravljanje napajanjem (sl. 2). Opcioni moduli senzorskog čvora su: modul za određivanje lokacije senzora (GPS prijemnik),

modul za pokretanje – mobilizator (mobilni senzorski uređaji) i generator energije (solarna baterija, na primjer).
Senzori pretvaraju električne parametre okruženja u električne signale. Ti signali se obrađuju u procesoru. Najčešće su to procesori opšte namjene – mikrokontroleri. Sastavni dio procesora su memorije za čuvanje podataka (RAM) i programa (ROM). Često je sastavni dio procesora analogno-digitalni konvertor – ADC (ako nije u sastavu senzora) i modul za upravljanje potrošnjom električne energije senzorskog čvora.



Slika 2: Blok šema arhitekture senzorskog čvora

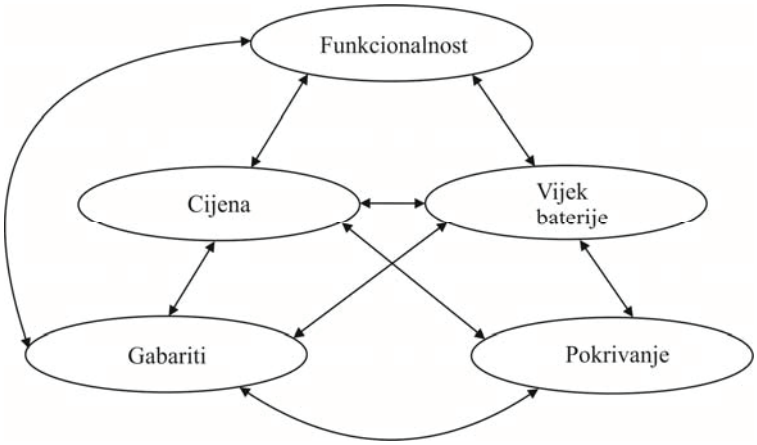
Primopredajnikom se ostvaruje bežična komunikacija senzorskih uređaja u senzorskom polju i bežični prenos podataka do servera. Najčešće se koristi RF komunikacija koja omogućuje relativno veliki domet i brzinu prenosa, prihvatljivu potrošnju električne energije i ne zahtijeva optičku vidljivost između predajne i prijemne lokacije. Obično se koriste frekvencije iz nelicenciranih frekventnih opsega u većini zemalja svijeta. U Evropi se preporučuje frekvencija od 433 MHz, a u Sjevernoj Americi 915 MHz. Širi spektar slobodnih frekventnih opsega i nosećih frekvencija, tzv. industrijski, naučni i medicinski opseg – ISM (engl. *Industrial, Scientific and Medical*) prikazan je u Tabeli 1 [4].

Tabela 1: Frekventni opsezi za ISM primjene [4]

Frekventni opseg	Noseća frekvencija
6765-6795 kHz	6780 kHz
13533-13567 kHz	13560 kHz
26957-27283 kHz	27120 kHz
40.66-40.70 MHz	40.68 MHz
433.05-434.79 MHz	433.92 MHz
902-928 MHz	915 MHz
2.4-2.5 GHz	2.45 GHz
5.725-5.875 GHz	5.8 GHz
24-24.25 GHz	24.125 GHz
61-61.5 GHz	61.25 GHz
122-123 GHz	122.5 GHz
244-246 GHz	245 GHz

Napajanje je baterijsko sa mogućnšću dopunjavanja kada se koristi neki od sistema za prikupljanje električne energije iz okoline (engl. *energy harvesting* ili *power scavenging*).

Jedno od ključnih pitanja funkcionalnog i pouzdanog rada svakog senzorskog čvora u mreži jeste optimalan izbor njegove hardverske arhitekture. Pred projektantima je izazovan zadatak uspostavljanja balansa između više parametara kao što su: gabariti, vijek trajanja baterije, komunikacioni domet, oblast pokrivanja, pouzdanost, funkcionalnost, cijena itd. Slika 3 pokazuje korelaciju navedenih parametara [1] iz koje proizilazi njihov međusobni uticaj. Tako, na primjer, od vijeka trajanja baterije zavise: funkcionalnost, cijena, gabariti i oblast pokrivanja.



Slika 3: Povezanost primarnih parametara senzorskih čvorova

Najveći ograničavajući faktor veoma široke primjene WSN je vijek trajanja baterije za napajanje, odnosno energetska efikasnost senzorskih čvorova. Naime, senzorski čvorovi su često raspoređeni u geografskim regionima sa nepristupačnim lokacijama gdje nije moguća zamjena baterije.
Baterije za napajanje imaju strogo ograničen kapacitet. Često je nemoguća njihova zamjena. Tada je vijek trajanja senzorskog čvora ograničen vijekom baterije. Zbog toga se u ovakvim sistemima koriste tehnike prikupljanja energije iz okoline. Poznato je da su ove tehnike izvori električne energije niskog nivoa. Srećom, senzorski čvorovi u kontinualnom radu zahtijevaju malu količinu električne energije, a sa punom snagom rade u veoma kratkim intervalima.
Postoje različiti prirodni resursi koji mogu da budu korišteni kao izvori električne energije. Najveću primjenu imaju sljedeće tri grupe sistema za prikupljanje energije: energija svjetla, mehaničke vibracije, i termoelektrična energija [5,6]. U Tabeli 2. date su vrijednosti specifične gustine snage pojedinih tehnika prikupljanja energije. Najveću primjenu imaju solarne ćelije koje svjetlosnu energiju pretvaraju u električnu. Koeficijent konverzije energije iznosi oko 30%. Ujedno je sunčeva svjetlost najzastupljeniji prirodni izvor energije. Direktno na suncu specifična gustina solarnih ćelija može da bude i nekoliko desetaka mW/cm^2, a na sobnom svjetlu do nekoliko stotina $\mu W/cm^2$.

Tabela 2: Specifična gustina snage [7]

Tehnika	Gustina snage [$\mu W/cm^2$]
Solarne ćelije na suncu	3700
Solarne ćelije unutra	3.2
Vibracije - piezoelektrične	500
Termoelektrika (5°C gradijent)	60

Osim primjene prirodnih resursa za proizvodnju električne energije, kao poseban pravac povećanja energetske efikasnosti senzorskih čvorova nametnulo se i efikasno korišćenje električne energije. Razvijeno je niz metoda za uštedu energije kako u senzorskim čvorovima, tako i u WSN [8]. Najveću uštedu moguće je postići na komunikaciji između senzorskih čvorova. Razvijeno je niz softverskih rješenja koja povećavaju energetsku efikasnost senzorskih čvorova. Ove dvije tehnike nisu predmet razmatranja u ovom radu. Čitaoci se upućuju na dosta opširnu literaturu iz ovih oblasti.
U ovom radu se ukazuje na hardverske tehnike povećanja energetske efikasnosti senzorskih čvorova. Budući da je njihova izrada zasnovana na CMOS tehnologiji, predloženi su različiti aspekti smanjenja potrošnje CMOS integrisanih kola u zadatom frekventnom opsegu. Analiza je opšteg karaktera i može da bude primijenjena za bilo koje CMOS digitalne sisteme veoma male potrošnje.

2. CMOS TEHNOLOGIJA ULTRA MALE POTROŠNJE

Potrošnja svakog elektronskog uređaja, samim tim i senzorskog čvora, određena je sa pet sljedećih odrednica: funkcionalnim projektom tehnologijom, topologijom logičkih ćelija i blokova, brzinom rada i tačnošću sistema. S obzirom na to da se ovih pet odrednica mogu smjestiti na orste jedne ruke, često ih nazivamo „ruka male potrošnje" [9]. Odavde proizilazi da je optimizacija potrošnje višedimenzionalni problem i podrazumijeva vođenje računa o potrošnji u svakoj fazi projektovanja senzorskog čvora.
Već dvadesetak godina CMOS tehnologija integrisanih kola na silicijumu je dominantna, a pogotovo za oblasti veoma male potrošnje. Realne su pretpostavke da će tako ostati i u narednih dvadesetak godina [11,12]. CMOS tehnologija je najbolji izbor za prenosne uređaje sa autonomnim napajanjem i malom potrošnjom, veoma kompleksnom funkcijom u odgovarajućem opsegu brzine obrade signala i informacija. Stoga će u daljem tekstu tehnike optimizacije potrošnje i povećanja energetske efikasnosti biti bazirane na CMOS tehnologiji.
Energetski efikasan projekat po pravilu ne podrazumijeva minimalnu potrošnju, jer su zahtjevi smanjenja potrošnje i povećanja brzine rada oprečni. Stoga se pod optimalnom energetskom efikasnošću podrazumijeva projekat sa minimalnom potrošnjom u zadatom frekventnom opsegu ili maksimalnom brzinom pri zadatoj potrošnji. Zato je neophodno da projektant dobro poznaje uticaj pojedinih parametara na potrošnju i brzinu rada u različitim CMOS radnim režimima.

2.1. Tri CMOS radna režima

Poznato je da MOS tranzistor posjeduje tri radna režima: slaba, jaka i umjerena inverzija [10]. Radni režim zavisi od odnosa napona praga tranzistora V_t i napona gejt-sors V_{gs}. U oblasti $0 < V_{gs} < V_t$ tranzistor je u režimu slabe, a u oblasti $V_{gs} > V_t$ u režimu jake inverzije. Za napone V_{gs} koji su blizu napona praga V_t tranzistor je u oblasti umjerene inverzije. Ova oblast je veoma uska i nema bitnog praktičnog značaja. Većinom se ona zanemaruje i tretira kao vrh slabe ili dno jake inverzije.
Do prije dvadesetak godina režim slabe inverzije ili pretpragovski režim korišten je samo u analognim integrisanim kolima. U posljednje vrijeme sve veću pažnju, kako naučnika tako i proizvođača integrisanih kola, privlače digitalni sistemi kod kojih je MOS tranzistor u režimu slabe inverzije. Suštinski razlog jeste znatno manja potrošnja električne energije jer su struje u režimu slabe inverzije za nekoliko redova veličina manje nego u režimu jake inverzije.
Analogno kao MOS, i CMOS integrisana kola posjeduju tri režima rada [21]. Radni režim CMOS kola zavisi od odnosa napona napajanja V_{dd} i napona praga V_t nMOS i pMOS tranzistora. U daljem tekstu smatraćemo da su naponi pragova nMOS i pMOS tranzistora jednaki, tj. $V_{tn} = |V_{tp}| = V_t$.
U standardnom ili kovencionalnom CMOS režimu postoji dio naponske prenosne karakteristike u kome su oba tranzistora provodna, odnosno u režimu jake inverzije. Otuda proizilazi uslov standardnog režima:

$$V_{dd} > 2V_t \tag{1}$$

U pretpragovskom CMOS režimu u bilo kom logičkom stanju kola i nMOS i pMOS tranzistori su u režimu slabe inverzije, odakle proizilazi uslov:

$$V_{dd} < V_t \tag{2}$$

Uzmemo li da je V_t = 400 mV, onda je V_{dd} < 400 mV. Minimalna vrijednost V_{dd} je stotinjak mV. Nekoliko redova veličina manje struje drejna MOS tranzistora i nekoliko puta manji napon napajanja garantuju znatno manju potrošnju električne energije digitalnog sistema u pretpragovskom CMOS režimu. Nažalost, proporcionalno smanjenju potrošnje smanjuje se i brzina obrade signala. Srećom, postoji veoma širok spektar raznih primjena, kao što su medicinski i senzorski sistemi, kod kojih su izvorni signali u niskofrekventnom opsegu. Upravo zbog toga pretpragovski CMOS režim ima najveću primjenu upravo u ovim oblastima [15-19].
U oblasti napona napajanja između pretpragovskog i standardnog CMOS radnog režima, tj. za

$$V_t < V_{dd} < 2V_t \tag{3}$$

je mješoviti ili hibridni CMOS režim. U statičkim stanjima jedan od CMOS tranzistora je u provodnom (jaka inverzija), a drugi u neprovodnom stanju (slaba inverzija), kao što je i u standardnom režimu. U prelaznoj oblasti prenosne karakteristike $V_0 – V_i$ oba trazistora su u režimu slabe inverzije, kao u pretpragovskom CMOS režimu. Otuda i potiče naziv mješoviti/hibridni CMOS režim [21].

2.2. Potrošnja CMOS kola

Potrošnja električne energije sastoji se od dvije komponente: statičke i dinamičke

$$P_D = P_{DS} + P_{DD} \tag{4}$$

Statička potrošnja je posljedica postojanja struja MOS tranzistora u statičkim stanjima i određena je sa:

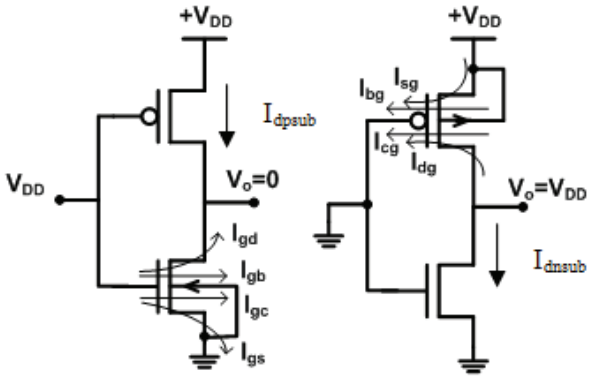
$$P_{DS} = I_S V_{dd}, \tag{5}$$

gdje je I_S ukupna statička struja.
Postoje četiri glavna izvora statičke struje u CMOS kolima:

- struja tunelovanja kroz gejt (I_g),
- pretpragovska struja drejna (I_{dsub}),
- struja inverzno polarisanih *p-n* spojeva (I_{DSS}),
- struja gejta zbog injekcije vrućih nosilaca naelektrisanja (I_H).

Prve tri komponente imaju dominantan uticaj na statičku potrošnju CMOS kola.
Skaliranjem dimenzija MOS tranzistora smanjuje se i debljina oksida ispod gejta (t_{ox}). Zbog toga se povećava električno polje kroz oksid gejta što dovodi do tunelovanja nosilaca naelektrisanja iz gejta u podlogu ili iz podloge u gejt. Struja gejta ima četiri komponente: gejt-kanal (I_{gc}), gejt-drejn (I_{gd}), gejt-sors (I_{gs}) i gejt-osnova (I_{gb}) (sl. 4). Ukupna struja gejta je:

$$I_g = I_{gd} + I_{gb} + I_{gs} + I_{gc}. \tag{6}$$



Slika 4: Struje curenja gejta nMOS (a) i pMOS tranzistora (b)

Struje gejta zavise od napona napajanja V_{dd} i tehnologije (tab. 3) [22]. Tako, na primjer, povećanjemnapona napajanja sa V_{dd}=0.2 V na V_{dd}=1.2 V, struja gejta poveća se sa I_g≈1.2 nA na I_g≈1.7 μA. Povećanje iznosi približno $1.4 \cdot 10^3$ puta. Smanjenjem dimenzija tranzistora struja gejta se takođe povećava. Za nMOS tranzistor, prema tab. 3, to povećanje za 45 nm u odnosu na 65 nm CMOS tehnologiju, u zavisnosti od V_{dd}, iznosi približno 7 (pri V_{dd}=1.2 V) do 14 (pri V_{dd}=0.2 V) puta.

Tabela 3. Struje gejta nMOS tranzistora u funkciji napona napajanja za dvije različite tehnologije [22]

V_{dd} [V]	I_g	
	Za 45 nm teh.	Za 65 nm teh.
0.2	1.1996 nA	85.506 pA
0.4	14.258 nA	1.2376 pA
0.6	66.954 nA	6.5488 nA
0.8	225.97 nA	25.244 nA
1.0	647.38 nA	82.378 nA
1.2	1.6811 μA	243.21 nA

Struja curenja gejta nMOS tranzistora je veća nego pMOS zato što je vjerovatnoća tunelovanja elektrona veća od vjerovatnoće tunelovanja šupljina kroz oksid gejta. To povećanje, u zavisnosti od napona napajanja iznosi 40 puta [22].
Pretpragovska struja drejna postoji u oblasti u kojoj je $V_{gs}<V_t$ i najmanja je kada je V_{gs}=0 i kada je napon drejn-sors isključenog tranzistora minimalan. Tada je pretpragovska struja:

$$I_{dd_{sub}} = I_{dleak} = I_0 e^{\frac{\eta V_{dd} V - V_t}{n\varphi_t}}, \tag{7}$$

gdje je $n < 1$ tzv. DIBL faktor.
Vrijednosti ove struje zavise od napona napajanja, veličine elemenata (tehnologije) i temperature. U tab. 4 date su uporedne vrijednosti struje gejta i pretpragovske struje drejna u funkciji napona napajanja V_{dd} i temperature za 45 nm tehnologiju. Iz tabele je uočljivo da je izraženija zavisnost I_g

od V_{dd}, a da je u funkciji temperature znatno izraženija zavisnost I_{dsub}. S druge strane, na temperaturi 25°C za $V_{dd} \leq 0.6$ V, $I_g < I_{dsub}$, dok je za $V_{dd} > 0.6$ V $I_g > I_{dsub}$. Tako, na primjer, za $V_{dd} = 1.2$ V, $I_g \approx 13 I_{dsub}$.

Tabela 4. Struje gejta i pretpragovska struja drejna nMOS tranzistora u funkciji V_{dd} i temperature [22]

V_{dd} [V]	Struja gejta I_g [nA]		Pretpragovska struja I_{dsub} [μA]	
	25°C	110°C	25°C	110°C
0.2	1.1996	1.2689	40.999	0.88086
0.4	14.258	15.776	56.437	1.1586
0.6	66.954	75.437	72.47	1.4401
0.8	225.97	256.33	89.397	1.7334
1.0	647.38	736.31	107.42	2.0428
1.2	1681.1	1914.3	127.12	2.3785

Inverzna struja zasićenja I_{dss} *p-n* spoja isključenog tranzistora zavisi od površine *p-n* spoja i temperature. Po jedinici površine iznosi između 10 i 100 pA/μm^2 na temperaturi 25°C za 0.25 μm tehnologiju. U nanometarskim tehnologijama ova struja je mnogo manja od I_g i I_{dsub}, pa se može zanemariti.

Dinamička potrošnja sastoji se od dvije komponente: prekidačke potrošnje i potrošnje prelaza. Prekidačka potrošnja je posljedica punjenja i pražnjenja opteretnog kondenzatora i u sva tri CMOS režima određena je sa:

$$P_d = C_L V_{dd}^{\ 2} f, \tag{8}$$

gdje su: C_L efektivna izlazna parazitna kapacitivnost, f je frekvencija promjene stanja CMOS logičkog kola.

Potrošnja prelaza nastaje u toku promjene stanja (prelazna oblast). U standardnom CMOS režimu potrošnja prelaza je posljedica vođenja oba tranzistora ili tranzistorske mreže (nMOS ili pMOS) i određena je sa [23]:

$$P_{dp} = \frac{1}{3} I_{ddM} \left(V_{dd} - 2V_t\right)\left(t_r + t_f\right) f, \tag{9}$$

gdje je I_{ddM} maksimalna struja iz izvora napajanja u prelaznoj oblasti, a t_r i t_f su vremena porasta i pada ulaznog signala. Struja I_{ddM} je proporcionalna sa $(V_{dd}\text{-}2V_t)^2$, tj:

$$I_{ddM} \sim (V_{dd} - 2V_t)^2 \tag{10}$$

U pretpragovskom režimu snaga disipacije prelaza određena je sa [6]:

$$P_{dpsub} = 2n\varphi_t I_{ddMsub} \left(t_r + t_f\right) f, \tag{11}$$

gdje je

$$I_{ddMsub} \sim \varphi_t^{\ 2} e^{\frac{V_{ddsub}/2 - V_t}{n\varphi_t}}. \tag{12}$$

Iz formula (9) i (10), odnosno (11) i (12), proizlazi da je potrošnja prelaza u standardnom CMOS režimu $P_{dp} \sim (V_{dd} - V_t)^3$ a u pretpragovskom $P_{dpsub} \sim \varphi_t^3$. Budući da je $\varphi_t = 26mV << V_{dd}$, onda je i $P_{ddsub} << P_{dp}$.

Najčešće se dinamička snaga disipacije izračunava (procjenjuje) u odnosu na frekvenciju takta. Naime, veći broj logičkih kola ne mijenja stanje tokom svakog ciklusa takt signala. Zbog toga, izraze za dinamičku potrošnju treba pomnožiti sa faktorom aktivnosti $\alpha \leq 1$, u odnosu na frekvenciju takta, tako da su:

$$P_{dd} = \alpha f_c C_L V_{dd}^2 + \alpha f_c \frac{I_{ddM}}{3}\left(V_{dd} - V_t\right)\left(t_r + t_f\right) \tag{13}$$

$$P_{ddsub} = \alpha f_c C_L V_{ddsub}^2 + \alpha f_c 2n\varphi_t I_{ddMsub}\left(t_r + t_f\right). \tag{14}$$

Proizvod αf_c, gdje je f_c frekvencija takt signala, je aktivnost kola koja ukazuje na broj promjena njegovih stanja. Najčešće je faktor aktivnosti $\alpha < 0.5$. Empirijski je utvrđeno da statička CMOS digitalna kola imaju $\alpha \approx 0.1$.

Analitički izraz za potrošnju u mješovitom režimu P_{dpmix} isti je kao u pretpragovskom. Razlika je u naponu napajanja zbog čega $P_{dpmix} > P_{dpsub}$.

2.3. Logičko kašnjenje

U standardnom i mješovitom režimu logičko kašnjenje CMOS invertora proporcionalno je recipročnoj vrijednosti razlike napona napajanja i napona praga CMOS tranzistora [23], tj.:

$$t_p \sim \frac{C_L}{V_{dd} - V_t}, \tag{15}$$

gdje je C_L kapacitivno opterećenje. Logičko kašnjenje CMOS invertora u pretpragovskom režimu je proporcionalno umnošku linearne i eksponencijalne funkcije napona napajanja [24], tj.:

$$t_{psub} \sim C_L V_{ddsub} e^{\frac{V_t - V_{ddsub}}{n\varphi_t}}. \tag{16}$$

Za isti invertor sa naponom praga $V_t = 500mV$, pri $V_{dd} = 1.5V$ i $V_{ddsub} = 400mV$ maksimalna frekvencija invertora u standardnom CMOS režimu za više od četiri reda veličine veća nego u pretpragovskom režimu, tj. $f_M > 10^4 f_{Msub}$.

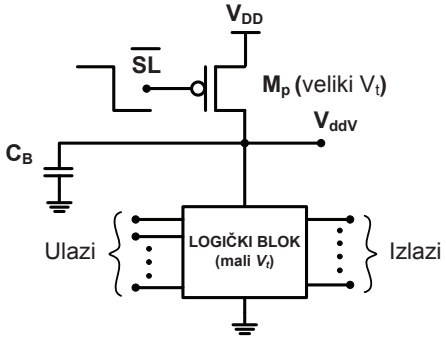
Analize potrošnje i logičkog kašnjenja pokazuju da se potrošnja smanjuje, a logičko kašnjenje povećava sa smanjenjem napona napajanja V_{dd}. Najbolja mjera energetske efikasnosti jeste proizvod potrošnje i logičkog kašnjenja - PDP (engl. *Power Delay Product*). Gdje je funkcija $PDP = f(V_{dd})$ minimalna to je optimalan iznos napona napajanja. U [21] je pokazano da je V_{ddopt} oko sredine mješovitog CMOS režima.

2.4. Tehnike projektovanja za malu potrošnju

Ukoliko su zadovoljeni zahtjevi u pogledu brzine obrade podataka najbolji izbor je pretpragovski CMOS radni režim. Generalno, može se reći da je za pretpragovski režim prihvatljiv frekventni opseg do nekoliko stotina kHz. Na frekvencijama koje su reda MHz, i veće, opredjelićemo se za standardni CMOS režim, ali sa što manjim naponom napajanja. Optimalan izbor podrazumijeva

napajanje iz nekoliko izvora sa različitim nivoima napona V_{dd}. To uključuje i mogućnost kombinovanja CMOS radnih režima.

U standardnom CMOS režimu koristi se multi V_{dd}/V_t tehnika optimizacije potrošnje i brzine. Iz (15) je očigledno da će se, pri istoj vrijednosti V_{dd}, logičko kašnjenje smanjivati sa smanjenjem napona praga V_t. Nažalost, tada se povećava struja curenja I_{dleak} (jed. 7), pa se povećava statička potrošnja. Kompromis između male potrošnje i dovoljne brzine može da bude riješen primjenom tranzistora sa različitim naponima praga. To je tzv. multipragovska tehnika ili MTCMOS [25, 26]. Kritični putevi signala projektuju se logikom sa manjim naponima praga. Tamo gdje kašnjenje nije kritično koriste se tranzistori sa većim V_t. Drugi pristup sa MTCMOS tehnikom baziran je na tzv. gejtovanom napajanju (sl. 5). U statičkim stanjima, odnosno u vrijeme neaktivnosti logike (*Standby Mode*) napon napajanja se isključuje tranzistorima sa velikim naponima praga. Na taj način se obezbjeđuje mala pretpragovska struja, a time i statička potrošnja. Tranzistori logičkog bloka su projektovani sa malim V_t tako da je sačuvana potrebna brzina.

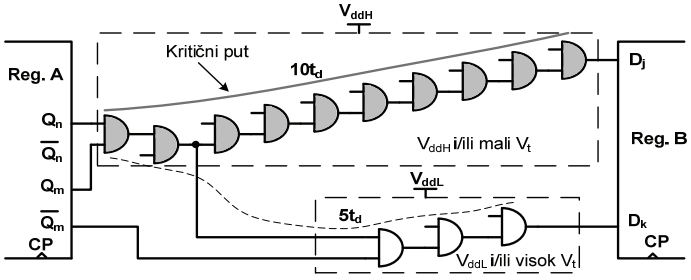


Slika 5: Blok šema MTCMOS sa gejtovanjem napona napajanja

Kontrolnim *signalom* „buđenja" $\overline{SL}$ (engl. *Sleep*), preko pMOS tranzistora sa visokim V_t, kontroliše se veza preko pravog V_{dd} i virtuelnog napajanja V_{ddV}. Dok je M_p isključen, kondenzator C_B održava virtuelno napajanje logičkog bloka.

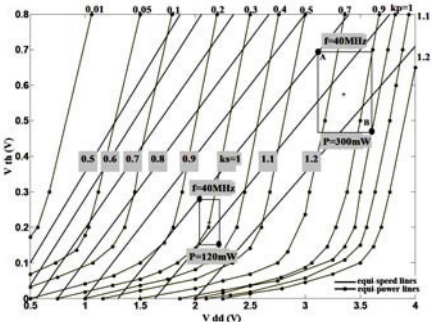
Smanjivanje curećih struja neaktivnih komponenti može da se ostvari nMOS tranzistorom između logičkog bloka i mase ili istovremeno i sa pMOS i sa nMOS tranzistorima [26]. Stanje pMOS tada se kontroliše signalom $\overline{SL}$, a nMOS sa SL.

Odnos potrošnje i kašnjenja, odnosno brzine procesiranja podataka, optimizuje se i konfiguracijama sa više napona napajanja. Logička kola na putevima sa kritičnim kašnjenjem napajaju se većim V_{ddH}, a kola čije kašnjenje nije kritično sa manjim naponom V_{ddL} (sl. 6). Broj naponskih nivoa može da bude veći, ali se pokazalo da se najveći efekat postiže sa dva napona napajanja [27]. Treba naglasiti da se prelazak sa logike sa V_{ddL} na logiku sa V_{ddH} napajanjem ostvaruje preko logičkih konvertora naponskog nivoa. I ovo ograničava broj nivoa napajanja.



Slika 6: Veza dva registra sa različitim putevima kašnjenja

Često se u istom digitalnom sistemu koriste tehnike sa više napona napajanja i više napona pragova – multi V_{dd}/V_t tehnike [27, 29]. Optimalna radna tačka (V_{ddopt}, V_{topt}) određuje se u V_{dd}-V_t ravni sa linijama konstantne potrošnje (engl. *equi-power*) i brzine (engl. *equi-speed*) (sl. 7). Ove linije zavise od tehnološkog procesa i arhitekture projekta.



Slika 7: V_{dd}-V_t ravan sa linijama konstantne potrošnje i kašnjenja [29]

Izbor optimalnog para (V_{ddopt},V_{topt}) zavisi od ograničenja tehnološkog procesa. Neka su ta ograničenja na primjer: V_{dd}=3.3 V±10% i V_t=0.55 V±0.1. Oblast dozvoljenih vrijednosti za ova ograničenja predstavljena je većim pravougaonikom na sl. 7. Za sve vrijednosti V_{dd} i V_t unutar ovog pravougaonika sistem zadovoljava sve zadate specifikacije. U uglu A sistem će imati najveće kašnjenje, a u uglu B najveću potrošnju električne energije. Linije konstantne brzine i potrošnje normalizovane su u tačkama A i B normalizacionim faktorima k_s i k_p, redom. Na osnovu toga određujemo uticaj promjene položaja i veličine pravougaonika u ravni V_{dd}-V_t na potrošnju i brzinu sistema. Tako, na primjer, za manji pravougaonik na sl. 14 definisan ograničenjima V_{dd}=2.1 V±5% i V_t=0.18 V±0.05, potrošnja je manja za 60% (k_p=0.4) pri istoj brzini rada (k_s=1).

Tabela 5: Optimalan odnos V_{dd} i V_t s obzirom na potrošnju [27]

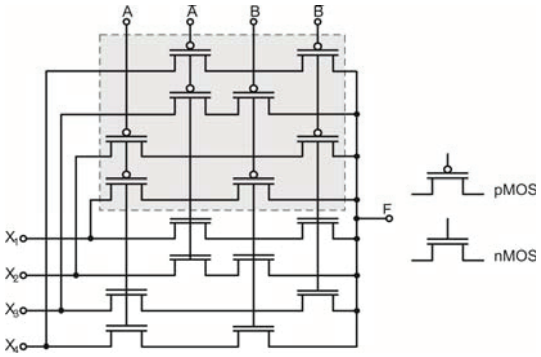
V_{ddi}, $i=1,2,3,4$, $V_t=const$	
(V_{dd1},V_{dd2}):	$\frac{V_{dd2}}{V_{dd1}} = 0.5 + 0.5\frac{V_t}{V_{dd1}}$
$(V_{dd1},V_{dd2}, V_{dd3})$:	$\frac{V_{dd2}}{V_{dd1}} = \frac{V_{dd3}}{V_{dd2}} = 0.6 + 0.4\frac{V_t}{V_{dd1}}$
$(V_{dd1},V_{dd2}, V_{dd3}, V_{dd4})$:	$\frac{V_{dd2}}{V_{dd1}} = \frac{V_{dd3}}{V_{dd2}} = \frac{V_{dd4}}{V_{dd3}} = 0.7 + 0.3\frac{V_t}{V_{dd1}}$
V_{ti}, $i=1,2,3,4$, $V_{dd}=const$	
(V_{t1},V_{t2}):	$V_{t2}=0.1V_{dd}+V_{t1}$
(V_{t1},V_{t2}, V_{t3}):	$V_{t2}=0.06V_{dd}+V_{t1}$ $V_{t3}=0.07V_{dd}+V_{t2}$
$(V_{t1},V_{t2}, V_{t3}, V_{t4})$:	$V_{t2}=0.04V_{dd}+V_{t1}$ $V_{t3}=0.05V_{dd}+V_{t2}$ $V_{t4}=0.06V_{dd}+V_{t3}$

Od svih mogućih kombinacija V_{dd}-V_t koje zadovoljavaju zadata vremenska ograničenja, samo jedna kombinacija (V_{ddopt}, V_{topt}) garantuje minimalnu potrošnju. Grupa autora u [30] predložili su jednačinu, baziranu na alfa modelu tranzistora, za proračun ukupne potrošnje sistema sa

optimalnim parom (V_{ddopt}, V_{topt}). Treba, međutim, naglasiti da je kontinualna promjena V_{dd} i V_t nepraktična. Projektanti, najčešće, mogu da biraju između nekoliko diskretnih vrijednosti (V_{dd}, V_t). Primjenom multi V_{dd} tehnike dinamička potrošnja može da se smanji od 10, pa do 50%, dok se primjenom multi V_t tehnike statička potrošnja može smanjiti za 50 pa čak i do 80% [29]. U radu [27] dat je optimalan odnos V_{dd} i V_t (tab. 5).

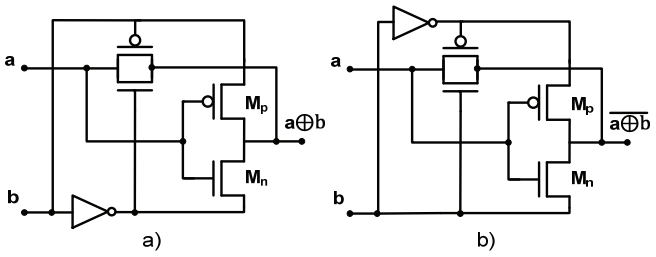
2.5. Alternativne CMOS topologije za malu potrošnju

Standardna CMOS kombinaciona logika zahtijeva par CMOS tranzistora po svakom ulazu. Od početka devedesetih godina prošlog vijeka do danas razvijeno je niz alternativnih topologija sa manjim brojem tranzistora. Osim povećanja stepena integracije funkcija u VLSI integrisanom kolu to je dovelo do smanjenja potrošnje ili povećanja brzine pri istoj potrošnji.
Među prvim alternativnim CMOS digitalnim logikama je prenosna logika. Za razliku od standardne logike kod koje je osnovna ćelija invertor, u prenosnoj logici je to transmisioni (prenosni) gejt. Dok su u standardnim logičkim kolima izlazni signali odvojeni od ulaznih, ovdje se ulazni signali preko prenosnog gejta prenose na izlaz. Otuda i potiče naziv prenosna logika. Na sl. 8 prikazan je multipleksor 4/1 (MUX 4/1) u prenosnoj logici. Pošto su za upravljanje prenosnim gejtom potrebni komplementni signali, sastavni dio mreža su i invertori.



Slika 8: MUX 4/1 u prenosnoj logici

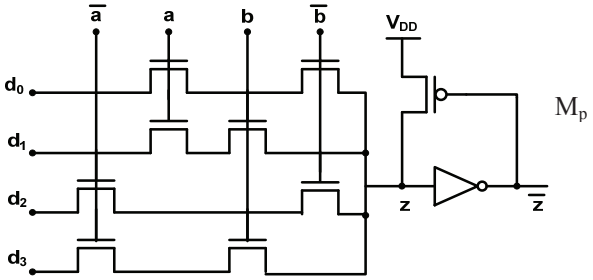
Prenosna logika se može dodatno pojednostaviti primjenom signala na linije napajanja invertora kao što je pokazano na primjeru sinteze XILI i XNILI kola na sl. 9. Invertori sa parom tranzistora (M_n, M_p) napajaju se signalima b i $\bar{b}$.



Slika 9: XILI (a) i XNILI (b) kola

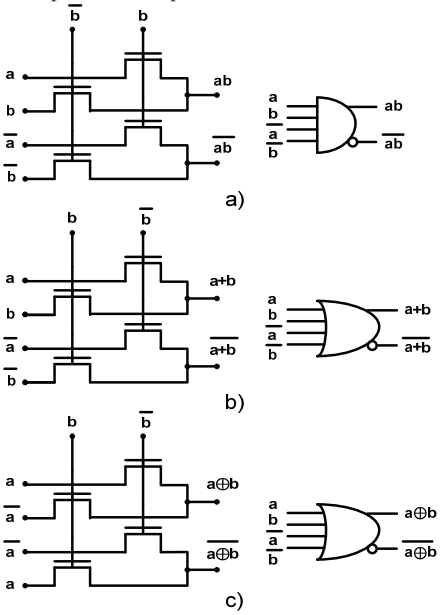
Pri sintezi logičkih funkcija u prenosnoj logici mora se voditi računa da između izlaza i makar jednog od ulaza postoji kontura male otpornosti. U protivnom, izlaz bi bio u stanju visoke impedanse sa nedefinisanim logičkim nivoom.

Kao prenosni gejt, umjesto para CMOS, može da se koristi samo nMOS tranzistor (sl. 10). Dvostrukim smanjenjem broja tranzistora smanjeni su statička potrošnja i parazitne kapacitivnosti i znatno povećan stepen integracije funkcija u VLSI kolu.



Slika 10: MUX 4/1 u prenosnoj nMOS logici sa pravim i komplementnim izlazom

Problem sa nMOS prenosnom logikom je u tome što je maksimalna promjena napona na jednom nMOS tranzistoru V_{dd}-V_{tn} i manja je za napon praga V_{tn} u odnosu na prenosni CMOS gejt. To ograničava broj serijskih tranzistora. Zato se koriste nMOS tranzistori sa veoma malim ili nultim naponom praga, pa govorimo o NTL (engl. *Non Threshold Logic*) ili ZTT (engl. *Zero Threshold Logic*) logici. Problem ovih logika je u maloj neosjetljivosti na smetnje.
Smanjenje logičke amplitude u nMOS prenosnoj logici posebno predstavlja problem kada se nMOS mreža završava invertorom. Taj problem se rješava pMOS tranzistorom M_p kao na sl. 9. Kada je $\overline{z} = 0$ M_p je uključen i pridržava napon na izlazu nMOS mreže na vrijednosti V_{dd}.

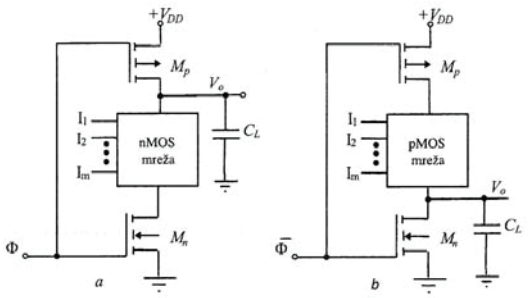


Slika 11: I/NI (a), ILI/NILI (b) i XILI/XNILI (c) logička kola u CPL

Tranzistori sa malim pragom koriste se i u tzv. komplementnoj prenosnoj logici – CPL (*Complementary Pass-Transisitor Logic*). Ova logika sastoji se od dvije mreže nMOS tranzistora sa zajedničkim kontrolnim i komplementnim prenosnim signalima (sl. 11).

2.5.1. Dinamička CMOS logika

Dinamička ili taktovana CMOS-C^2MOS (engl. Clocked CMOS) logička kola koriste parazitske kapacitivnosti MOS tranzistora za privremeno memorisanje logičkog stanja. Logičke funkcije se generišu u nMOS ili pMOS mrežama (Sl. 12) koje su taktovane signalima Ø preko gejtova tranzistora Mn i Mp. Dok je kod standardne statičke CMOS logike minimalan broj MOS tranzistora 2m (m je broj ulaza), u C^2MOS kolima je taj broj smanjen na m+2. Osim što se smanjenjem broja tranzistora povećava gustina pakovanja funkcija u integrisanom kolu, smanjena je i potrošnja električne energije.
Rad dinamičkih kola se odvija u dvije faze. U prvoj fazi (Ø=0) kondenzator C_L se puni do V_{dd} (nMOS mreža) ili prelazi do nule (pMOS mreža). Tada se stanje na izlazu uspostavlja na jedan od logičkih nivoa 1 ili 0. To je faza **postavljanja** ili **pretpolarizacije.** U drugoj fazi, (Ø=1) dolazi do evaluacije izlaza u funkciji ulaznih promjenljivih. Izlaz tada prepoznaje funkciju mreže, pa je ovo faza **prepoznavanja.**



Slika 12: C^2MOS logička kola

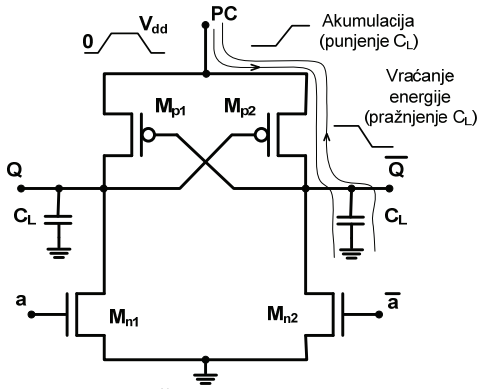
Zbog veće pokretljivosti elektrona od šupljine po pravilu se koriste logička C^2MOS kola sa nMOS mrežama. Praktično pMOS mreže koriste se samo kada su neophodne u kombinaciji sa nMOS mrežama (domino i NORA CMOS logika, na primjer).

Prednosti dinamičkih u odnosu na statička logička kola su u sljedećem:

- Logičke funkcije se generišu samo preko nMOS tranzistora, kao kod statičke pseudonMOS logike;
- Znatno manji broj tranzistora;
- Manje struje curenja i parazitne kapacitivnosti, što doprinosi smanjenju potrošnje i povećanju brzine.

Posebna klasa dinamičkih CMOS kola su „adijabatik" logička kola. Termin „adijabatik" opisuje termodinamičke procese u kojima količina toplote ostaje stalna (nema razmjene energije sa okolinom). Adijabatik logika, u idealnom smislu, označava digitalna kola bez gubitka (disipacije) električne energije. U praksi to označava logiku sa minimalnom potrošnjom električne energije u toku promjene stanja. Adijabatik prekidačka promjena stanja je mehanizam punjenja/pražnjenja koji izvoru vraća akumulisanu energiju u opteretnom kondenzatoru koristeći dinamički izvor napajanja. Dinamički izvor napajanja ili taktovano napajanje ima veoma važnu ulogu u adijabatik logici, jer osim napajanja obezbjeđuje vraćanje energije.

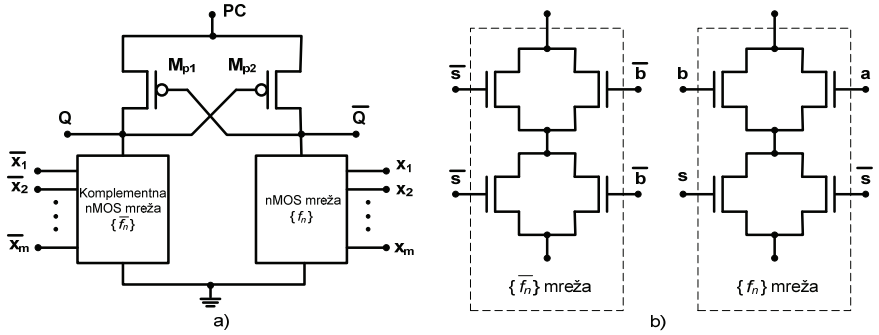
Danas postoje mnogobrojne tehnike adijabatske logike [31-36]. Proces vraćanja energije objasnićemo na primjeru ECRL (*Efficient Charge Recovery Logic*) invertora (sl. 20). Napajanje *PC* je trapeznim impulsima.



Slika 13: Šema ECRL invertora [31]

U početnom stanju a=1, pa je M_{n1} provodan (Q=0). Dok *PC* raste od 0 do V_{dd} , preko provodnog M_{p2} izlaz $\overline{Q}$ prati promjenu *PC*. Kada je *PC* dostigao vrijednost V_{dd}, tada je $\overline{Q}$ =1, a Q=0 i ta stanja su važeća logička stanja na ulazima narednog stepena. U toku pada *PC* od V_{dd} do nule desni kondenzator C_L se, preko provodnog M_{p2} i *PC*, prazni i tako izvoru *PC* vraća akumulisanu energiju.

Složenija ECRL kola posjeduju, umjesto tranzistora M_{n1} i M_{n2}, dvije komplementne nMOS tranzistorske mreže sa komplementnim pobudama (sl. 14). Komplementna mreža se dobija komplementovanjem ulaznih s signala i zamjenom logičkih operatora u funkciji f_n nMOS mreže. Tako, na primjer, funkcija f_n multipleksora 2/1 je $f_n = (\overline{s}a + sb)$ pa je funkcija komplementne mreže $\overline{f_n} = (s + \overline{a})(\overline{s} + \overline{a})$ (sl. 14b).



Slika 14: Blok šema složenog ECRL kola (a) i f_n i $\overline{f_n}$ mreže MUX2/1 (b)

Od ostalih adijabatik topologija navodimo sljedeće: PAL (*Pass-transistor Adiabatic Logic*) [32], CPAL (*Complementary* PAL), PFAL (*Positive Feedback Adiabatic Logic*) [31] itd. Smanjena potrošnja električne energije, u odnosu na standardnu CMOS logiku, kreće se od 50 do 90%.

3. TEHNIKE UPRAVLJANJA ENERGIJOM

Razvijeno je još niz tehnikaa sa osnovnim ciljem da se obezbijedi što efikasnije korišćenje raspoložive energije senzorskih čvorova. Jedna od tih tehnika jeste dinamičko upravljanje potrošnjom – DPM (engl. *Dynamic Power Management*). DPM se svodi na kontinualno prilagođavanje zahtjevima procesa koji je u toku. Polazi se od toga da se senzorski čvor projektuje po modulima sa što više nezavisnih funkcija i sa odvojenim napajanjem. Operativni sistem uključuje ili isključuje pojedine module, reguliše frekvenciju sistemskog takta, upravlja blokom za komnikaciju sa memorijom itd. Tako, na primjer, u toku očitavanja senzora, jedinica za komunikaciju može biti isključena. Drugim riječima, neaktivni moduli rade u pasivnom (standby) režimu rada. Na sličnom principu funkcioniše tzv. *clock gating* tehnika. Kontrolnom logikom se onemogućuje taktovanje modula ili njihovih dijelova koji ne mijenjaju stanje. Tako se eliminiše dinamička potrošnja.
Druga tehnika je dinamička promjena napona napajanja – DVS (engl. Dynamic Voltage Scaling) [37]. Ova tehnika omogućuje promjenu napona napajanja mikrokontrolera u funkciji frekvencije obrade podataka.
Dinamička kontrola napona praga tranzistora se svodi na smanjenje odvodnih struja i struja curenja. Ujedno se napon praga prilagođava zahtjevima za brzinom rada. Veća brzina zatijeva, kao što je već rečeno, manji napon praga tranzistora.

6. ZAKLJUČAK

Energetska efikasnost bežičnih senzorskih mreža je jedan od najvećih inžinjerskih izazova. Generalno, napajanje senzorskih čvorova je baterijsko. S obzirom na to da su često smješteni u nepristupačnim prirodnim okruženjima, proizilazi da je vijek trajanja senzorskog čvora ograničen kapacitetom baterije. Stoga treba koristiti i prirodne izvore energije gdje god je to moguće. Najveću primjenu imaju solarne ćelije
Pitanje energetske efikasnosti senzorskih čvorova mora se rješavati već na nivou funkcionalnog projekta. Hardversko rješenje mora da bude prilagođeno različitim tehnikama upravljanja potrošnjom i da uključi sve prednosti odabrane tehnologije. CMOS tehnologija još uvijek nema alternativu. Dobro projektovan senzorski čvor podrazumijeva modularnu arhitekturu sa više izvora napajanja i frekventnih opsega, tako se može koristiti pretpragovski CMOS režim gdje god je to moguće . U ovom režimu struje tranzistora su za nekoliko redova veličina manje nego u standardnom, pa je i statička potrošnja znatno manja. Manja je i dinamička potrošnja, jer je napon napajanja najmanje nekoliko puta manji. Nažalost, manje struje znači i manju brzinu rada. Zato pretpragovski režim treba koristiti u oblasti niskih frekvencija (do stotinjak kHz). Moduli srednjih frekvencija treba da rade u hibridnom, a viših frekvencija (iznad desetak MHz) u standardnom CMOS radnom režimu. To podrazumijeva da bi svaki senzorski čvor trebao da sadrži najmanje tri nivoa napona napajanja.
Topologija osnovnih ćelija utiče i na brzinu i na potrošnju električne energije. Izbor topologije zavisi od namjene modula, njegove složenosti i osjetljivosti na šumove. Generalno, što je manji broj tranzistora, manja je struja curenja cijelog čipa, pa je manja statička potrošnja. Ovo je pogotovo važno kod nanometarskih tehnologija kod kojih postoje i struje curenja gejta.
Treba na kraju istaći da je najveća potrošnja električne energije na nivou komunikacije. Ovo pitanje, međutim, prevazilazi okvire ovog rada.

7. LITERATURA

[1] Valery Butenko et al., Applications of Wireless Sensor Networks in next Generation Networks, ITU-T, *Series Y.2000: Next Generation Networks, Technical Paper*, February 2014, 1-94.
[2] John A. Stankovic, Wireless Sensor Networks, *Department of Computer Science, University of Virginia,* June 19, 2006, 1-19.
[3] Dr. Shu Yinbiao, Project Leader et al., Internet of Things: Wireless Sensor Networks, *White Paper, IEC, www.iec.ch*, Geneva 2014.
[4] I.F. Akyildiz et al., Wireless Sensor Networks: a survey, *Computer Networks 38, Elsevier* 2002, 393-422.
[5] Adel Nasiri et al., Indoor Power Harvesting Using Photovoltaic Cells for Low-Power Applications, *IEEE Trans. on Ind. Electronics, Vol. 56, No. 11,* November 2009.
[6] V. Škobić, B. Dokić, Ž. Ivanović, Solar Energy Harvesting for Wireless Sensor Nodes, *Proc. of Small Systems Simulation Symposium 2012, Niš,* 12-14 February 2012, 24-27.
[7] Benton H. Calhoun et al., Design Considerations for Ultra-Low Energy Wireless Microsensor Nodes, *IEEE Trans. on Computers, Vol. 54, No. 6*, June 2005, 327-339.
[8] M. Kosanović, Methods of Energy Saving in Wireless Sensor Networks, *http://www.yuinfo.org/zbornici/2011/html/pdf/163.pdf* (Last Accessed: 03/12/16)
[9] R. Sarpeshkar, Universal Principles for Ultra Low Power and Energy Efficient Design, *IEEE Trans. on Circuits and Systems – II, Vol. 59, No. 4,* April 2012.
[10] Y. Tsividis, C. McAndrew, Operating and Modeling of the MOS transistor, *Oxford University Press,* 2011.
[11] S. Nassif, Waiting for the Post-CMOS Godot, *Kegnot on Int. ACM Great Lakes Symposium on VLSI,* May 2011.
[12] Kiyoo Itoh, A Historical Review of Low-Power, Low-Voltage Digital MOS Circuits Development, *IEEE Solid-State Circ. Magazine,* February 4th 2013, 27-39.
[13] S. Hanson et al., Ultra low-voltage, minimum energy CMOS, *IBM J. Res and Dev, Vol. 50, No. 415,* July/September 2006, 469-490.
[14] J.L. Gao, Analysis of Energy Consumption for Ad Hoc Wireless Sensor Networks Using a Bit-Meter-per-Joule Metric, *IPN Progress Report 42-150*, August 15,2002, 1-19.
[15] L. Nazhandali et al., Energy Optimization of Subthreshold Voltage Sensor Network Processors, *Proc. of the 32nd Int. Sym. on Copm. Architecture (ISCA'05) 2005 IEEE*, 12.
[16] A.P. Chandrakasan et al., Next Generation on Micro-power Systems, *2008 Symposium on VLSI Circuits Digest of Technical Papers, IEEE,* 2-5.
[17] B.H. Calhoun et al., Sub-threshold Operation and Cross-Hieararchy Design for Ultra Low Power Wearable Sensors, *IEEE,* 2009, 1437-1440.
[18] Yoonmyung Lee at al., Circuit and System Design Guidelines for Ultra-Low Power Sensor Nodes, *DAC 2012,* June 3-7, 2012, San Francisco, 1037-1042.
[19] S. Hanson et al., A 0.45-0.7V sub-microwatt CMOS image sensor for ultra-low power applications, *IEEE Symp. on VLSI Circuits*, 2009.
[20] B.L. Dokic, A Review on Energy Efficient CMOS Digital Logic, ETAS-Engineering, Technology and Applied Science Research, Vol.3, No.6, 2013, 552-561.
[21] B. Dokic, A. Pajkanovic, Mixet Operating Mode of CMOS Digital Circuits, in print.
[22] A. Mishra, Leakage Current Minimization in Dynamic Circuits Using Sleep Switch, 978-1-4673-0455-9/12 © IEEE 2012.
[23] B.L. Dokic, Integrisana kola – digitalna i analogna, *Glas Srpske*, 1999.
[24] B.L. Dokic, A. Pajkanovic, Subthreshold Operated CMOS Analitic Model, *IX Int. Symp. INDEL 2012*, November 2012.
[25] M. Amis et al., Design and Optimisation od Multithreshold CMOS (MT CMOS) Circuits, *IEEE Trans. on Comp. Aided Des. of Integrated Circ. and Systems*, *Vol. 22 No10*, October 2003.

[26] S. Shigematsu et al., A1-V High Speed MT CMOS Circuit Scheme for Power-Down Application Circuits, *IEEE JSSC, Vol.32, No.6,* June 1997.

[27] M. Hamada et al., Utilizing Supplies Timing for Power Reduction, *Proc. of the IEEE CICC*, May 2001.

[28] C. Pignet et al, Static and Dynamic Power Reduction by Architecture Selection*, PATMOS,* 659-668, July 2006.

[29] Bojan Jovanović, Analitički model za procjenu dinamičke potrošnje aritmetičkih kola implementiranih na FPGA, *Doktorska disertacija, Elektronski fakultet Niš*, 2013.

[30] C. Shuster et al., Architectural and Technology Influence on the Optimal Total Power Consumption*, DATE*, 2006, 13-19.

[31] Rakesh K. Yadav et al: Adiabatic Technique for Energy Efficient Logic Circuits Design, *Proc. of ICETECT* 2011, 776-780.

[32] Vojin G. Oklobdžija et al., Pass-Transistor Adiabatic Logic Using Single Power-Clock Supply*, IEEE Trans. on Circ. and Sys-II: Analog and Digital Sig. Proc., Vol. 44, No. 10*, October 1997.

[33] Atul K. Maurya and G. Kumar: Energy Efficient Adiabatic Logic for Low Power VLSI Applications, *IEEE Int. Conf. on Communication Systems and Network Technologies* 2011, 460-463.

[34] Jiamping Hn, QiChen: *Modelling and Nier-Threshold Computing of Power-Gating Adiabatic Logic Circuits,* Electrical Review, ISSN 0033-2097, R. 88 NR76/2012, pp 277-280.

[35] D. Marković et al: Ultralow-Power Design in Wear-Threshold Region*,* I*EEE JSSC,* 2010, 237-252

[36] A. Pajkanović, T. J. Kazmievski, B. L. Dokić: Adiabatic Digital Circuits Based on Sub-threshold Operation of Pass-transistor and Slowly Ramping Signals*, Proc. SSSS 20/2,* Niš 2012, 48-53.

[37] B.H. Calhoun and A.P. Chandrakasan: Ultra- Dynamic Voltage Scaling (UDVS) Using Sub-Threshold Operation and Local Voltage Dithering, *IEEE Jour. of SSC, Vol.41, No.1*, January 2006.

[38] N.J. Jevtić, Automatska konfiguracija distribuiranih mernih sistema korišćenjem elektronskih specifikacija senzora, *doktorska disertacija, ETF Beograd*, 2015, 232 strane.

[39] Philip Teichman, Adiabatic Logic – Future Trend and System Level Perspective, Springer *Series in Advanced Microelectronics, Springer,* 2012.

A SIMPLE METOD TO IMPROVE MAGNITUDE RESPONSE OF CIC DECIMATION FILTERS

JEDNOSTAVNA METODA ZA POBOLJŠANJE MAGNITUDNOG ODZIVA CIC DECIMACIONIH FILTERA

Gordana Jovanovic Dolecek[1], Vlatko Dolecek[2], Isak Karabegovic[3]
[1]Department of Electronics, Institute INAOE, Puebla, Mexico
gordana@ieee.org
[2]Faculty of Mechanical Engineering, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina
vldolecek@gmail.com
[3]Technical Faculty, Bihac, Bosnia and Herzegovina
isak1910@hotmail.com

ABSTRACT:
The most simple decimation filter is Cascaded-Comb-Integrator (CIC) structure, which is usually used in the first decimation stage. However, this structure has pure magnitude response, i.e. low attenuations in the stopband and a high droop in the passband of interest. Different methods have been proposed to improve the CIC magnitude characteristic. However, this improvement usually results in an increase in filter complexity. In this paper we present a novel method to simultaneously improve the passband and stopband of the CIC filter with a low increase of complexity.We consider a two-stage structure in which the number of cascaded CIC at second stage is incresed by 1, which leads to a slightly improvement of alias rejection.Additionaly, a simple compensator which works at low rate descreases the passband droop. Additionally, the CIC improvement keeps the CIC reconfigurability for different CIC parameters.

Keywords: *decimation, aliasing, comb filter, CIC, two-stage,compensator.*

SAŽETAK:
Najjednostavniji decimacioni filter je kaskadni integrator-češalj (CIC) filter, koji se obično koristi u prvoj decimacionoj fazi. Međutim, ova struktura ima čist magnitudni odziv, tj. niska gušenja u nepropusnom opsegu i veliki pad u propusnom opsegu. Različite metode su predložene za poboljšanje magnitudne karakteristike CIC-a. Međutim, ovo poboljšanje obično rezultira povećanjem složenosti filtra. U ovom radu ćemo predstaviti novu metodu za istovremeno poboljšanje propusnog opsega i nepropusnog opsega u CIC filteru s malim povećanjem složenosti. Razmatramo strukturu s dvije faze u kojoj je broj kaskadnog CIC u drugoj fazi povećan za 1, što dovodi do neznatnog poboljšanja alias odbijanja. Osim toga, jednostavan kompenzator koji radi niskom brzinom smanjuje pad propunog opsega. Nadalje, poboljšanje CIC-a zadržava rekonfigurabilnost CIC-a za različite parametre.

Ključne riječi*: decimacija, aliasing, češalj-filter, CIC, dvofazni, kompenzator.*

---

1. INTRODUCTION

The most simple decimation filter is a cascaded-integratot-comb (CIC) filter [1]. Its corresponding transfer function is given as:

$$H(z)=\left[\frac{1}{M}\frac{1-z^{-M}}{1-z^{-1}}\right]^K, \tag{1}$$

where M is the decimation factor and K iz the order of the filter. Its structure is shown in Figure 1. Note that the structure does not require multipliers and remains the same for different values of M and K.

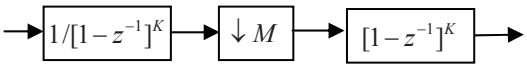


Figure 1: CIC structure.

However, its magnitude characteristic does not provide enough aliasing rejection and additionaly has a droop in the passband of interest, which may deteriorate the decimated signal. Different methods have been proposed to improve the CIC passband characteristic [2-6], increase aliasing rejections [7-8], and improve magnitude characteristic in both, passband and folding bands, [9-10]. Usually improvement of CIC filter results in an increase of complexity which may be inacceptable. The goal of this work is to introduce a simple modification of CIC filter, keeping its low complexity and reconfigurability. To this end we propose a two-stage structure followed by a wideband compensator at low rate. The rest of the paper is organised in the following way. Next Section describes two-stage structure and compensator. Third section presents the proposed modified two-stage structure along with the compensator. Finally the conclusions are given in Section 4.

2. REVIEW OF TWO-STAGE STRUCTURE AND COMPENSATOR

In this section we briefly describe a two-stage CIC structure and compensator from [4].

2.1. Two-stage structure

Considering that the decimation factor M can be written as a product of two integers M_1 and M_2, $M=M_1M_2$, from (1) we can write:

$$H(z)=\left[\frac{1}{M_1}\frac{1-z^{-M_1}}{1-z^{-1}}\frac{1}{M_2}\frac{1-z^{-M_1M_2}}{1-z^{-M_1}}\right]^K=H_1(z)H_2(z^{M_1}), \tag{2}$$

where

$$H_1(z)=\left[\frac{1}{M_1}\frac{1-z^{-M_1}}{1-z^{-1}}\right]^K;H_2(z^{M_1})=\left[\frac{1}{M_2}\frac{1-z^{-M_1M_2}}{1-z^{-M_1}}\right]^K;H_2(z)=\left[\frac{1}{M_2}\frac{1-z^{-M_2}}{1-z^{-1}}\right]^K. \tag{3}$$

Using the multirate identities and (2) we get a two-stage CIC structure shown in Figure 2.

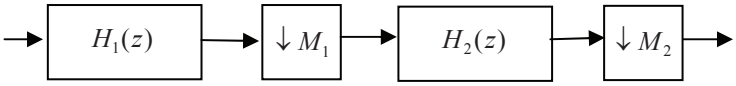


Figure 2: Two-stage CIC filter.

2.2. Compensator

We consider the compensation in the wideband defined by the passband frequency

$$\omega_p = \frac{\pi}{2M}. \tag{4}$$

In [4] it has been proposed the wideband compensator with the following transfer function:

$$G(z^M) = [-2^{-4}[z^{-M} - (2^4 + 2)z^{-2M} + z^{-3M}]]^{K_1}, \tag{5}$$

where the parameter K_1 depends on the CIC parameter K.

The interesting feature of this filter is that only the number of the cascaded filters K_1 changes with the change of the comb parameter K.

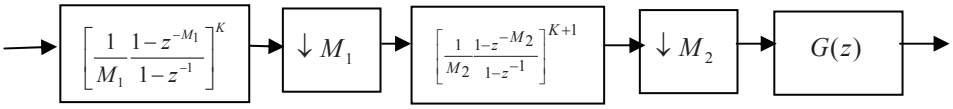
3. PROPOSED MODIFIED TWO-STAGE STRUCTURE

We propose the modified two-stage structure with the following transfer function:

$$H_m(z) = \left[\frac{1}{M_1}\frac{1-z^{-M_1}}{1-z^{-1}}\right]^K \left[\frac{1}{M_2}\frac{1-z^{-M}}{1-z^{-M_1}}\right]^{K+1} G(z^M) \tag{6}$$

The increasing of order of CIC filter in the second stage increases the alias rejection at a very low cost.

Additionally, the compensator filter which works at low rate improves the passband. The corresponding modified structure is shown in Figure 3.



Figures 3: Proposed modified CIC structure.

The parameters M_1 and M_2 are chosen taking $M_1 \approx M_2$. If the values are not similar then it is chosen $M_1 > M_2$. For example for M=25 we chose M_1=M_2=5. Similarly, in the case of M=15, then M_1=5 and M_2=3. The parameter of compensator is chosen as:

$$K_1 = \begin{cases} K & for \quad 3 \le K \le 5 \\ K+1 & for \quad K = 1,2 \end{cases}. \tag{7}$$

The method is illustrated in the following examples and the proposed filter is compared with the original CIC filter.

Example 1: Consider the decimation factor M=16 and K=4. In this case we have M_1=M_2=4 and according to (7) K_1=4. The magnitude responses of the modified CIC and the original CIC are shown in Figure 4. The zoom in the first folding band is also shown to demonstrate the improvement in the aliasing rejection. The zoom in the passband shows the improvement in the passband of the proposed filter in comparison with that of the CIC filter.

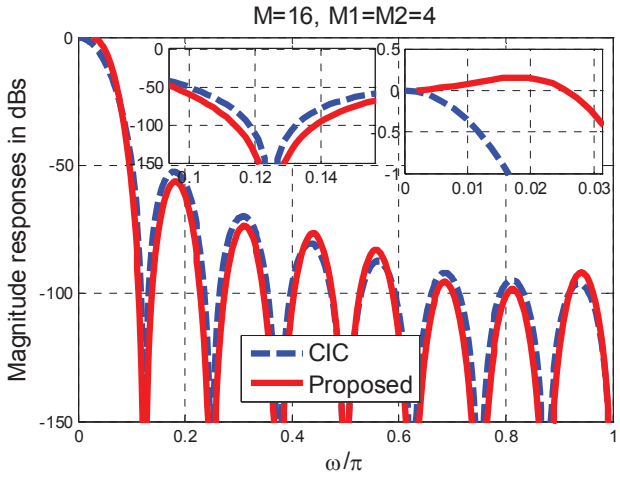


Figure 4: Illustration of Example 2.

Example 2: Here we consider M=20 and K=3, The factors M_1 and M_2 are not equall, and we take M_1=5 and M_2=4. The parameter K_1=3.The magnitude responses of the proposed, and modified CIC filters are shown in Figure 5, along with the corresponding zooms in the first folding band and the passband.

4. CONCLUSION

We present in this paper a simple method to improve magnitude characteristic of CIC filter in both,: passband and the folding bands. We propose a two-stage CIC structure in which the number of the cascaded filter in the second stage is increased by 1. In that way a slight improvement of alias rejection is improved at low cost, becuase the second stage works at low rate which is M_1 times less

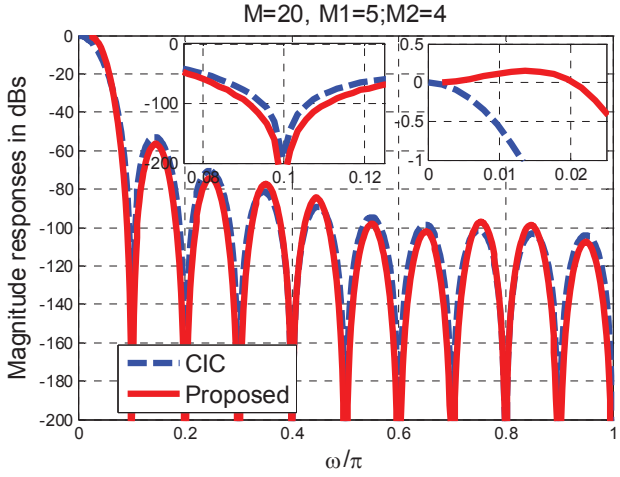


Figure 5: Illustration of Example 2.

than the high input rate.. Simmilarly, the passband is improved by cascading the wideband compensator at low rate. The provided examples illustrate the improvements in magnitude responses of the modified CIC filter in comparison with the original CIC filter..

ACKNOWLODGEMENT

This work is supported by Conacyt grant No. 179587.

5. REFERENCES

[1] E. Hogenauer, An economical class of digital filters for decimation and interpolation, *IEEE Transactions Acoustic, Speech and Signal Processing, ASSP-29,* 1981, 155-162.

[2] S. Kim, W. C. Lee, S. Alm, and S. Choi, Design of CIC roll-off compensation filter in a W-CDMA digital receiver, *Digital Signal Processing*, *16(6),* 2006, .846-854.

[3] G. Jovanovic Dolecek, and S. K. Mitra, Simple method for compensation of CIC decimation filter, *Electronics Letters*, *44(9)*, 1162-1163.

[4] G. Jovanovic Dolecek, Simple wideband CIC compensator, *Electronics Letters*, *45(24),* 2009, 1270-1272.

[5] G. Molnar, and M. Vucic, Closed-form design of CIC compensators based on maximally flat error criterion, *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Brief, 58,* 2011, 926-930.

[6] G. Jovanovic Dolecek, A. Fernandez-Vazquez*,* Trigonometrical approach to design a simple wideband comb compensator, *Int. Journal of Electronics and Communications, 68*, 2014, 437-441.

[7] M. Laddomada, M., Generalized comb decimation filters for Sigma Delta A/D converters: Analysis and design, *IEEE Trans. on Circuits and* Systems *I 54(5)*, 2007, 994–1005.

[8] G. Jovanovic Dolecek, and M. Laddomada, Design of two-stage nonrecursive rotated comb decimation filters with droop compensation and multiplierless architecture, *Journal of the Franklin Institute*, *352(3),* 2015, 913-929.

[9] A. Kwentus and A. Willson, Jr., Application of filter sharpening to cascaded integrator-comb decimation filters, *IEEE Trans. on Signal Processing, .45,* 1997, 457-467.

[10] G. Jovanovic Dolecek and A. Fernandez, Novel droop-compensated comb decimation filter with improved alias rejections, *Int. Journal for Elect.s and Comm. (AEUE)*, *67*, 2013, 387-396.

TECHNIQUES TO IMPROVE ALIAS REJECTIONS OF COMB DECIMATION FILTERS

TEHNIKE POBOLJŠANJA ALIAS ODBIJANJA ČEŠLJASTIH DECIMACIJSKIH FILTERA

[1]Gordana Jovanovic Dolecek, [2]Vlatko Dolecek
[1]Institute INAOE, Puebla, Mexico
gordana@ieee.org
[2]Faculty of Mechanical Engineering, Sarajevo, Bosnia & Herzegovina
vldolecek@gmail.com

ABSTRACT:
In Sigma Delta Analog Digital Converters (SD ADC) the rate of oversampled signal must be decreased to the Nyquist rate. This process is usually done in a digital form and is called decimation. Decimation itself introduces the unwanted spectrum replicas which are called aliasing. The aliasing degrades the decimated signal and must be eliminated by the decimation filter which precedes the process of decimation. The simplest decimation filter is a comb filter. However, this filter does not provide enough attenuation in the so called folding bands (bands around the comb zeros), necessary to eliminate aliasing. In this paper we will review the popular techniques to improve the alias rejections in a comb decimation filter, based on rotations of zeros of comb filter. We considered the recursive and nonrecursive structures.

Keywords: *A/D conversion, oversampling, decimation, antialiasing filter, zero-rotation*

SAŽETAK:
Kod Sigma Delta konvertora analognih signala u digitalne signale (SD ADC), brzina nepotrebnih samplova signala mora se smanjiti na brzinu po Nyquistu. Ovaj proces se obično odvija u digitalnom obliku, a zove se decimacija. Sama decimacija uvodi replike neželjenog spektra koje se zovu aliasing. Aliasing degradira decimacijski/decimovani signal i mora biti eliminirana decimacijskim filterom koji prethodi procesu decimacije. Najjednostavniji decimacijski filter je češljasti filter. Međutim, ovaj filter ne osigurava dovoljno gušenja u tzv. folding bands (oko nula češljastog filtera), koji su potrebni kako bi se uklonila aliasing. U ovom radu ćemo pregledati popularne tehnike za poboljšanje alias odbijanja kod češljastog decimacijskog filtera, zasnovanog na rotacijama nula češljastog filtera. Razmatrali smo rekurzivne i nerekurzivne strukture.

Ključne riječi*: A/D konverzija, nepotrebni samplovi, decimacija, anti-aliasing filter, nula-rotacija*

---

1. INTRODUCTION

Decimation is the process of decreasing the sampling rate of the signal in a digital form. Typical application is in Sigma-Delta Analog/Digital Converters (SD ADCs), where the oversampled signal must be decimated to the Nyquist rate [1]. This process may introduce aliasing if the signal is not previously filtered by a lowpass filter, called a decimation filter. The simplest decimation filter is a comb filter. Its transfer function in a recursive form is given as:

$$H(z) = \frac{1}{M}\frac{1-z^{-M}}{1-z^{-1}}, \tag{1}$$

where M is the decimation factor. The transfer function can also be presented in an equivalent recursive form:

$$H(z) = \frac{1}{M}\sum_{k=0}^{M-1} z^{-k}. \tag{2}$$

The magnitude characteristic of comb filter must have high attenuations in the bands around the zeros of comb filter, also called folding bands, where aliasing occurs:

$$\left[\frac{2i}{M}-\frac{\omega_p}{\pi};\frac{2i}{M}+\frac{\omega_p}{\pi}\right]; i = 1,2,\ldots,\lfloor M/2\rfloor, \frac{\omega_p}{\pi} = \frac{\pi}{RM}\frac{1}{\pi} = \frac{1}{RM}, \tag{3}$$

where R is a decimation factor of a residual decimation and ω_p is the passband edge.

However, comb filters do not provide enough attenuation in the folding bands, which may deteriorate the decimated signal. Different methods have been proposed to improve attenuations in the comb folding bands. Here we will consider the methods based on the rotation of zeros of comb filters.

2. COMB ZERO ROTATION

2.1. Recursive zero rotation

The comb zeros rotations to improve the alias rejection in comb filters is introduced by Presti [2]. The method is generalised by Laddomadda in [3].

By applying a clockwise rotation of α radians to all zeros of Eq. (1) it is obtained the following transfer function, [2]:

$$H_u(z) = \frac{1}{M}\frac{1-z^{-M}e^{j\alpha M}}{1-z^{-1}e^{j\alpha}}. \tag{4}$$

By applying the oposite rotation, the following transfer function is obtained [2]:

$$H_d(z) = \frac{1}{M}\frac{1-z^{-M}e^{-j\alpha M}}{1-z^{-1}e^{-j\alpha}}. \tag{5}$$

These two filters have complex coefficients, but they can be cascaded, thus obtaining a filter $H_r(z)$ (rotated term) with real coefficients [2]:

$$H_r(z) = H_u(z)H_d(z) = \frac{1}{M^2}\frac{1-2\cos(\alpha M)z^{-M}+z^{-2M}}{1-2\cos(\alpha)z^{-1}+z^{-2}}. \tag{6}$$

The cascade of two filters given in Eqs.(1) and (6) is referred as Rotated Sinc (RS) filter in [2]:

$$H_R(z) = H_{COMB}(z)H_r(z)\,. \tag{7}$$

Figure 1 a. presents the gain response for M=15, K=3 and α=0.08 for RS and comb filters.

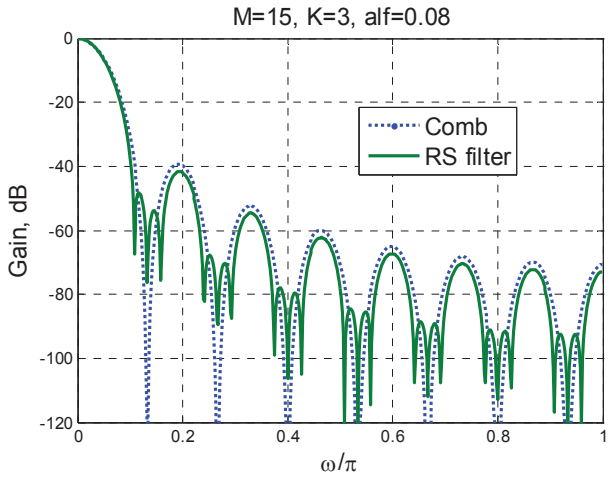


Figure 1: Comb and RS filter.

Note the following:

- Folding bands are wider and with increased attenuation relative to the comb folding bands.
- The filter (6) needs two multipliers, one working at the high input rate.
- Additionally, the perfect pole-zero cancellation in (6) can be lost during the quantization of the coefficients in (6), resulting in instability.
- The most critical is the first folding band of a comb filter where the worst case aliasing occurs because it has less attenuation than other folding bands.

Different methods have been proposed to address some of those issues.

2.2. Nonrecursive zero rotation

One-stage structure [4]

Dividing the nominator and the denominator of (6) and after some small computations we arrive at:

$$H_r(z) = \frac{1}{M^2}\left[\sum_{i=0}^{M-2} c_i\left(z^{-i} + z^{-(2M-2-i)}\right) + c_{M-1}z^{-(M-1)}\right], \tag{8}$$

where

$$c_i = 2\cos(\alpha)c_{i-1} - c_{i-2}\;;\quad c_0 = 1; c_1 = 2\cos(\alpha)\,. \tag{9}$$

As an example, considering M=6 and α=0.08 we have:

$$H_r(z)=\frac{1}{6^2}[\sum_{i=0}^{4}c_i(z^{-i}+z^{-(12-2-i)})+c_4z^{-5}]= \\ \frac{1}{6^2}[c_0(1+z^{-10})+c_1(z^{-1}+z^{-9})+c_2(z^{-2}+z^{-8})+c_3(z^{-3}+z^{-7})+c_4(z^{-4}+z^{-6})+c_5z^{-5}] \quad ,(10)$$

where according to (9) we have:

$$c_1=1.9936,\ c_2=2.9745,\ c_3=3.9363,\ \ c_4=4.8729,\ \ \ c_5=5.7784. \quad (11)$$

The rounding is applied to the filter coefficients in (10) to avoid multipliers. The corresponding gain responses are given in Figure 2.

Note that the nonrecursive rotated term (8) has an increased number of adders. This problem is treated in [5] where a two stage structure has been proposed and the nonrecursive rotate filter is applied only at the second stage.

Two-stage structure [5]

To decrease the number of adders in [4] it has been proposed a two-stage structure where only in the second stage is applied a nonrecursive rotation term;

$$H_{rr}(z)=\frac{1}{M_2^2}[\sum_{i=0}^{M_2-2}c_i(z^{-i}+z^{-(2M_2-2-i)})+c_{M_2-1}z^{-(M_2-1)}], \quad (12)$$

where M_2 is the decimation factor of the second stage.

As an illustration we consider M=12, M_2=4, and K=4. The corresponding coefficients from (12) are:

$$c_1=1.9378,\ c_2=2.7552,\ c_3=3.4. \quad (13)$$

Like in method [4], the coefficients (13) are rounded. Figure 3 presents the gain responses of RS filter and the corresponding comb.

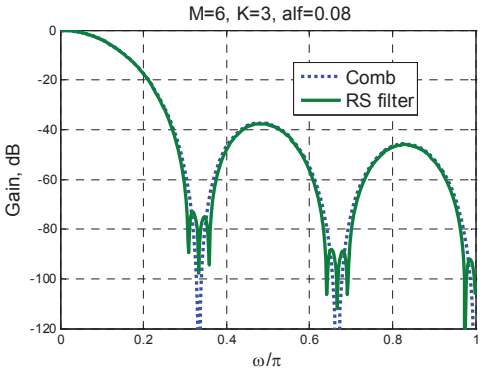


Figure 2: Illustration of method [4].

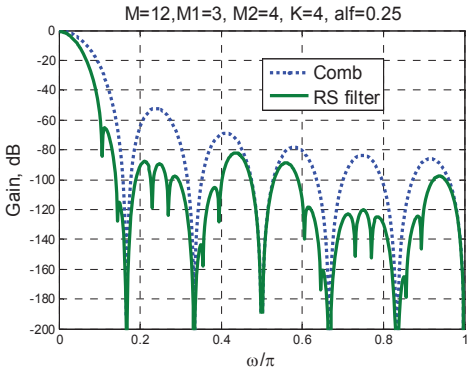


Figure 3: Illustration of method [5].

3. CONCLUSION

We present the methods based on the comb zero rotation to improve the comb aliasing rejection. Two modifications of the original method introduced by Presti are ellaborated. Both methods propose a nonrecursive structure for the rotated term and a multiplierless design, thus avoidng the possible instability due to finite precision effects.

ACKNOWLEDGEMENT
This work was supported by CONACYT Mexico under grant No.179587.

4. REFERENCES

[1] G. Jovanovic Dolecek, (Ed), *Multirate systems: Design and applications*, Hersey, Idea Group Publishing, 2003.
[2] L. Lo Presti, Efficient modified-sinc filters for sigma-delta A/D converters, *IEEE Trans. on Circ. and Syst.-II, 47(11),2000,* 1204–1213.
[3] M. Laddomada, M., Generalized comb decimation filters for Sigma Delta A/D converters: Analysis and design, *IEEE Trans. on Circuits and* Systems *I 54(5)*, 2007, 994–1005
[4] G. Jovanovic Dolecek and A. Fernandez-Vazquez, On nonrecursive rotated comb filter, *IEEE MWSCAS 2012,* August 2012, 474–477..
[5] G. Jovanovic Dolecek, and M. Laddomada, Design of two-stage nonrecursive rotated comb decimation filters with droop compensation and multiplierless architecture, *Journal of the Franklin Institute, 352(3),* 2015, 913-929.

USAGE OF THE INTERNAL OPTICAL ENCODER FOR THE DETECTION OF WHEEL SLIP/SLIDE AND ANTISLIP CONTROL IN RAILWAY TRACTION SYSTEMSPROCESS

PRIMENA INTERNOG OPTIČKOG ENKODERA ZA DETEKCIJU KLIZANJA U PROTIVKLIZNOJ ZAŠTITI PRI ŽELEZNIČKIM VUČNIM PROCESIMA

Branislav Gavrilovic[1], Zoran Bundalo[2]
[1]Railway College of Vocational Studies, zdravkaCelara 14, Belgrade, Serbia,
gavrilovicbranislav5@gmail.com
[2]Railway College of Vocational Studies, zdravkaCelara 14, Belgrade, Serbia,
cheminot@gmail.com

ABSTRACT:
This paper presents a mechatronic approach for the detection of wheel slip/slide and antislip control of locomotive with ac traction motors, to enable an optimal use of adhesion in poor contact conditions. The proposed technique explores the variations in wheelset dynamic properties caused by condition changes at the wheel-rail contact and detects slip conditions from measurement of train speed with internal optical encoder of the wheelset axle indirectly. The modeling of a typical traction system, consisting of an induction traction motor (with associated power inverter and field-orientated control) connected to a wheelset via a gearbox, is introduced. The development of the slip detection and control scheme is presented, and the effectiveness of the proposed technique is demonstrated using computer simulations.

Keywords: *electric locomotives, AC traction motor, slip-slide control system, adhesion coefficient, anti-slip drive.*

SAŽETAK:
U radu je predstavljen mehatronički pristup detekcije klizanja u protivkliznoj zaštiti železničkih vozila sa trofaznim vučnim asinhronim motorima koji omogućava optimalno korišćenje athezije između točka i šine. Posredstvom internog optičkog enkodera i merenja brzine osovinskih sklopova vozila omogućena je objektivna detekcija promene dinamičkih uslova i klizanja između točkova i železničkih šina. Opisan je model tipičnog asinhronog vučnog pogona koji se satoji od trofaznog motora (sa indirektnom vektorskom kontrolom) povezanog preko reduktora za osovinski sklop vozila. Efikasnost predloženog rešenja za detekciju klizanja potvrđena je i računarskom simulacijom.

Ključne reči: *električne lokomotive, asinhroni vučni motor, koeficijent athezije, protivklizna zaštita.*

---

1. INTRODUCTION

Serbian Railways (ŽS) has ordered 21 electric FLIRTs (Fast Light Innovative Regional Train) from Stadler Rail for commuter rail services in the Belgrade region. This generation electric multiple unit FLIRTs use AC motors for wheel set traction motor that are significantly more

reliable and unsophisticated if compared to the previous DC motors used for drives. The three-phase asynchronous traction motor is the motor used most frequently for modern locomotive drives because of its excellent reliability, its simple and thus low-cost construction and low maintenance costs. The three-phase asynchronous traction motor is also known as squirrel-cage rotor. On the other hand, AC motor rotation speed adjustment differs essentially from DC motor rotation speed change. Thus, aiming to control and adjust slip and slide processes of drive wheel sets it is necessary to apply different principles of electrical machine operation parameter tracking, measurement and adjustment.

A appeareance and principal sketch of this type of vehicle showing its main electrical components is given in Figure 1.

There is a line side and motor side of the intermediate DC-link. The vehicle's interface to the rest of the power system is a voltage-source converter (VSC), mentioned as the 'line-side converter', behind a step-down transformer. The line-side converter's task is to supply the DC-link capacitance with energy from the overhead contact line in order to keep the DC-link voltage constant. The DC-link capacitance is the energy source for the motor VSC, often called the motor-side inverter, and the induction motor.

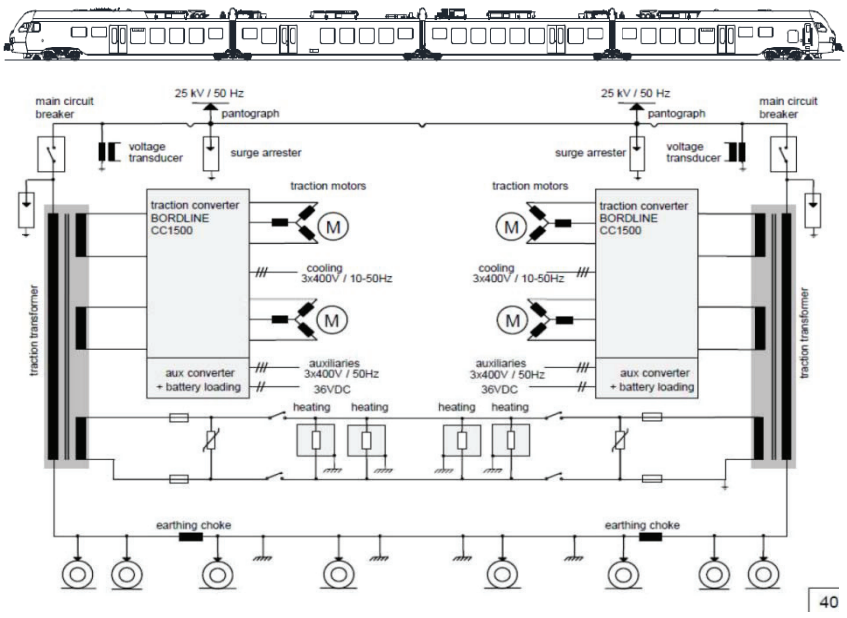


Figure 1: A appeareance and principal sketchof the electric FLIRTsfrom Stadler Rail

For high-power locomotives, Gate Turn-Off (GTO) thyristors as semiconductors has been common until recently, but the use of Insulated-Gate Bipolar Transistors (IGBT) is increasing as the development proceeds. In order to reduce harmonics the semiconductors are commonly switched with a pulse-width modulated (PWM) pattern.
The line-side converter is able to operate in all four quadrants, independently controlling active and reactive power. Great features of this technology are the possibility for feeding power back into the network when regenerative braking and improving active power flow by inductive and capacitive reactive power. The line-side converter is able to operate in all four quadrants,

independently controlling active and reactive power. Great features of this technology are the possibility for feeding power back into the network when regenerative braking and improving active power flow by inductive and capacitive reactive power.
Control of these systems is complex but it is all carried out by microprocessors. The control of the voltage pulses and the frequency has to be matched with the motor speed. The changes which occur during this process produce a set of characteristic buzzing noises which sound like the "gear changing" of a road vehicle and which can clearly be heard when riding on the motor car of an AC driven electric multiple unit (EMU).

The locomotive wheel set slippage is evident when the locomotive traction force exceeds adhesion force. The main locomotive traction law is the following [1]:

$$F_{TR} \leq \psi_{ath} \cdot P_{ath} \tag{1}$$

where: ψ_{ath} – locomotive wheel-sets' adhesion to rail coefficient; P_{ath} – locomotive adhesion weight.

In order to maintain stable traction mode (to avoid wheels slip) it is necessary to maintain formula (1) inequality condition. The change of locomotives wheel-sets adhesion coefficient value in different seasons is provided in figure 2.

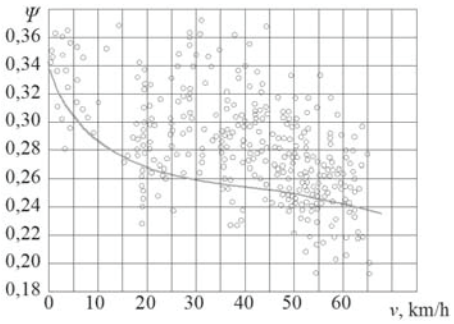


Figure 2: Locomotive adhesion coefficient dissipation dependence on locomotive speed in different seasons

The estimation of adhesion coefficient of a newly made electric FLIRTs is carried out by means of practical tests in different seasons and different day time. In order to obtain objective results several hundred of practical tests are carried out. Figure 2 shows that adhesion coefficient values are highly dissipated as there are many factors that influence in case of equal train mass [2].

The electric FLIRTs adhesion coefficient value in the season change time (dissipated, e.g. 0.33 to 0.2) is as shown in figure 2. However, when operating the said electro motor unit in season change time, the rolling stock mass is not adjusted due to the changes of adhesion conditions. Caused by the decrease of the adhesion coefficient the traction power becomes insufficient for this rolling stock towing. In such a case sand is sprinkled intensively to increase the adhesion coefficient. However electro motor unit starting traction time is increased due to intensive slipping, thus causing accelerated wheel set and rail wear.
The article discusses theoretical and practical aspects of formation of wheel set rolling surface conicality, rail tilt angle and wheel pair position in the track, redistribution of electric multiple unit drive wheel set axis force to rail in traction mode at slip conditions.

There are analyzed peculiarities of locomotive adhesion weight optimum usage, axis force change in traction mode. The influence of adhesion ratio change to traction characteristic and traction force change are described. There are examined various electric multiple unit construction schemes with AC traction motor drive.

2. AUTOMATIC CONTROL OF SLIPPING PROCESS OF LOCOMOTIVES WITH AC TRACTION MOTORS

Figure 3 shows automatic wheel-sets anti-slip and slide control system that is proposed by the authors for computer aided control of locomotive wheel set slipping and sliding process that is comprised: wheel set speed sensors BR1- BR6 that are mounted in traction motors, A and B bogie wheel set speed tolerance signal comparison blocks SCBI, SCBII [3]. When tolerance of one of individual wheel sets of bogies (A or B) is exceeded, there are generated control signals A and B that adjust signals sent by computer aided control system (in Fig. 3 markedrespectively as X_A and X_B) to inverter elements IGBT transistors that have changing on and off cycles.
The automatic control system of slipping process that is proposed by the authors shall decrease the value of supply power and its frequency of one bogie from the two asynchronous engines for a short time. Thus the rotation speed of one bogie of traction motor-wheel set shall be equalized and wheel to rail adhesion shall be restored. Such dynamic characteristics are shown in figure 4 in green as E_1-Y_1 with supply power frequency $f_1(1)$. E_2-Y_2 at supply power frequency $f_1(2)$, E_3-Y_3 with supply power frequency $f_1(3)$. When adhesion conditions are restored, there is automatic restoration of ATM supply power and its frequency value, i.e. it returns to any point of the previous operating characteristic (figure 4). Traction forces are not disrupted in locomotive control process as slipping process is controlled automatically.

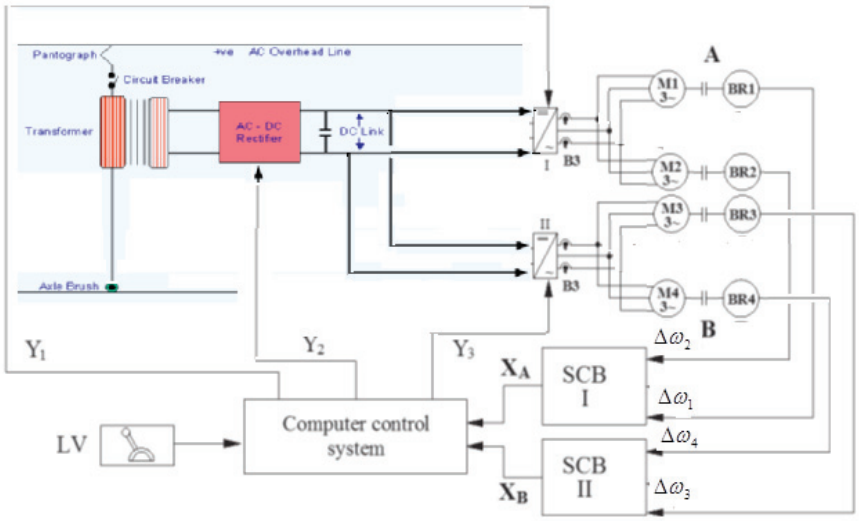


Figure 3: Circuit diagram of electro locomotive with AC traction motors automatic wheel-sets anti-slip and slide control system process parameters computer drive: SCBI –traction motors speed control block (bogie A); SCBII – traction motors speed control block (bogie B)

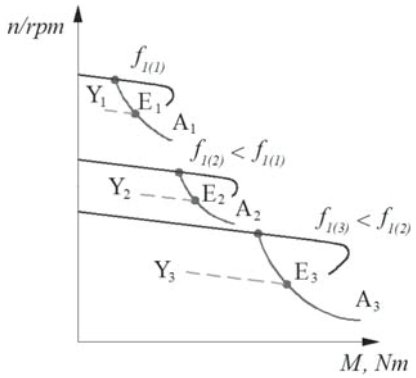


Figure 4: Artificial asynchronous mechanical characteristics of asynchronous motor when ATM frequency rotation speed control method is applied

3. ALGORITHM FOR SLIPPING PROCESS PARAMETER ADJUSTMENT AND CONTROL

The authors provide computer aided control system of locomotive wheel set slipping and sliding process control. Variants of the control algorithm: a – wheel set speed tolerance signals are compared with the tolerance signals in blocks SCBI, SCBII and they are adjusted by changing parameters of that inverter to control signals Y_1 and Y_3 (thereof the respective two asynchronous traction engines (individual controlled) are powered). b – in case with controlled parameters of inverters I and II the process of bogie wheel set slippage is continued and bogie wheel set speeds are not equalized, the generator voltage of synchronous traction motor is limited by decreasing excitation current with signal Y_2 (general parameter control).
Computer aided control system of electro locomotive wheel set slipping-sliding process consists (figure 3): M_1, …, M_4 – asynchronous traction motors; speed sensors of BR traction motors; LV – locomotive driver; SCBI – bogie A wheel set speed tolerance signal comparison unit; SCBII- B– bogie wheel set speed tolerance signal comparison unit; Y_1 – control signal that adjusts inverter I electrical parameters; Y_2 – synchronous traction motor signal that adjusts AC-DC recifer; Y_3 – control signal that adjusts inverter II electrical parameters; R – excitation current regulator of synchronous traction generator; $\Delta\omega_1$,..., $\Delta\omega_4$ – speed tolerance signals of traction motor; X_A – total compared bogie A wheel set speed tolerance signal; X_B – total compared bogie B wheel set speed tolerance signal.

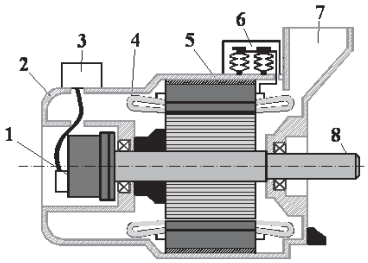


Figure 5: Asynchronous traction motor with internal optical encoder: 1– encoder; 2 – stator; 3 - terminal box; 4 – stator windings; 5 – ferromagnetic core; 6 – clamps; 7 – cooling channel; 8 – shaft

Authors propose to install an encoder in ATM rotation speed and location coordinate measurement sensors BR that are installed in the traction motor (see figure 5). The encoder is analogous or digital converter with analogous signal at the output or a certain number of pulses that is proportional to rotation speed or turn angle [4].
To use an encoder in ATM vector control system is suggested in literature [1, 2, 3]. The encoder consists of a light source, mask, code disk and sensors. The code disc contains artificial spaces that make light permeable and impermeable segments. Light sensitive sensors are mounted behind the code disc. The scheme of optical encoder is provided in figure 6 [4].

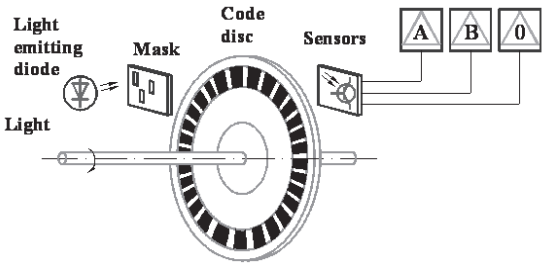


Figure 6: Optical encoder scheme

Railway vehicle slip can be detected as shown in Fig. 7.

Proposed control strategy require the detection method (a) by dividing vehicles into existing line and highspeed line, and comparing speed of four axles and vehicle speed transmitted by communications, and by setting detection reference speed v_{dm}.
(a) slip speed $v_s \geq$ detection reference value v_{dm}
(b) motor acceleration $\alpha_M \geq$ detection reference value α_{dm}
(c) slip acceleration $\alpha_S \geq$ detection reference value $\alpha_{dm.}$

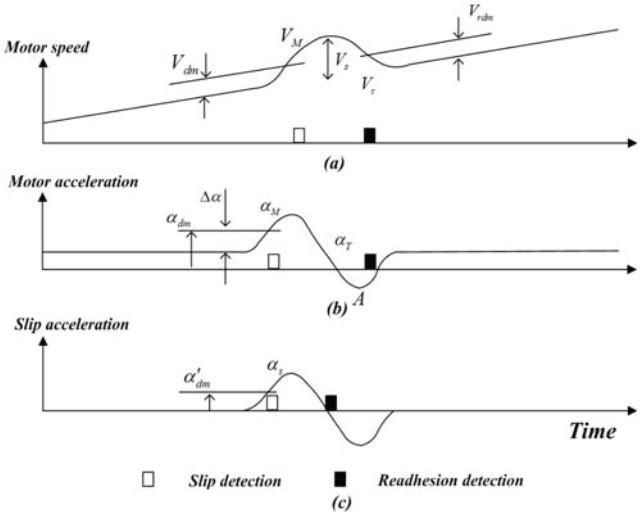


Figure 7: Detection methods of re-adhesion and slip

If slip speed is faster than detection reference value, it is possible to detect stably about changing environment. But rapid control is impossible because of slow detection. In the case of (a), though

slip detection is stable, detection is slow. In the cases of (b) and (c), detection speed is faster than the case of (a). But, since they are sensitive to small changes of motor speed, being unstable to system disturbances, for complemental purposes, it is necessary to use low-pass filter component of acceleration speed as slip detection.
When encoder is installed in the ATM control system that is proposed by the authors, there can be received analogous or digital information, thus developing analogous-digital (hybrid) locomotive electrical drive control system [5].
All of them are suitable for computer system of electro locomotive wheel set slipping-sliding process control that is proposed by the authors.

4. TESTS OF LOCOMOTIVE WHEEL SET SLIPPING AND SLIDING PROCESS COMPUTER AIDED CONTROL SYSTEM IN DIFFERENT CONDITIONS

The proposed algorithm for slipping process parameter adjustment and control ensures highlyefficient wheel-to-rail force transmission by means of continuous wheel force at its rim; slip control; limitation of wheel acceleration; reliable determination of the reference speed, which should represent the true train speed.
The algorithm protects the mechanical components against excess stress and reduces wear on the rails and wheel-set by avoiding: wheel blocking (flat spots on the running surface); synchronous drifting of the wheel speeds (worn rail heads); inherently stable rotational vibrations in the drive train.
The proposed algorithm continuously monitors the movement of the vehicle and the running wheels. If the movement variables deviate from the tolerance values, the tractive effort demanded by the overall control level is automatically reduced to a level which can be physically transmitted from the wheel to the rail.
Due to continuous monitoring of the movement variables relating to the vehicle and the wheels, it is ensured that traction is kept under control under different track conditions.
The worst case scenario for wheel slip is if there is a sudden reduction of adhesion on the track when there is a high level of tractive effort applied. Fig. 8 compares wheel and (equivalent) vehicle angular velocities during the vehicle acceleration from an initial speed of 10 km/h. At the time t= 4 s, the adhesion of the track is reduced to well below the tractive effort, and consequently a severe wheel slip occurs and the slip ratio reaches as much as 60 % in less than 0.5 s before being detected. The re-adehsion control is clearly effective in reducing the torque output from the motor rapidly and the recovery time takes about 1.5 s.

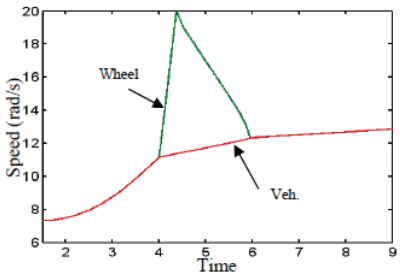


Figure 8: Adhesion control – reduced adhesion at t= 4 s (initial vehicle speed of 10 km/h)

If the adhesion is already low when a tractive effort is applied and increased gradually, the wheel slip (when it occurs) tends to be less severe as the net torque driving on the wheelset is relatively

low. On the other hand the torsional vibrations will also be smaller and less sensitive to slip conditions. However, the proposed control scheme appears to deliver a robust performance in different conditions as illustrated in Figs. 9 and 10. At the low (initial) speed of 10 km/h, the peak slip ratio reaches approximately 20 % and the wheel slip is quickly detected and a complete adhesion is achieved within a fraction of a second. At the higher speed of 100 km/h, the peak slip ratio is about 14 % but the recovery time takes somewhat longer as the system has to overcome a higher level of kinematic energy stored in the wheelset.

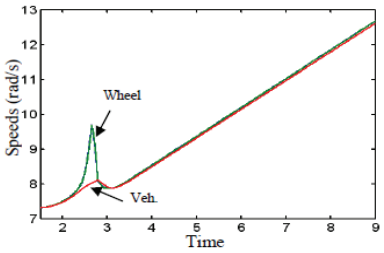


Figure 9: Adhesion control – low adhesion from t= 0 s (initial vehicle speed of 10 km/h)

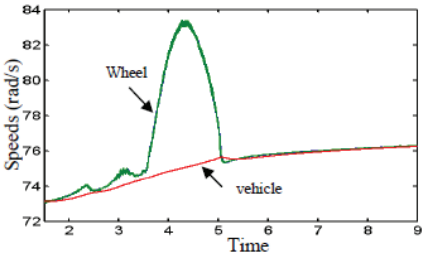


Figure 10: Adhesion control – low adhesion from 0 s (initial vehicle speed of 100 km/h)

Fig. 11 shows the simulation results using a more rigid axle where the torsional frequency is changed from 60 to 80 Hz. Again the detection of a wheel slip and a complete adhesion are achieved in less than 2 s. In this, a second (smaller) wheel slip is observed which is quickly detected and eliminated by the controller – a clear evidence that the system operates very closely to the maximum adhesion region on the creep-creep force curve which is expected

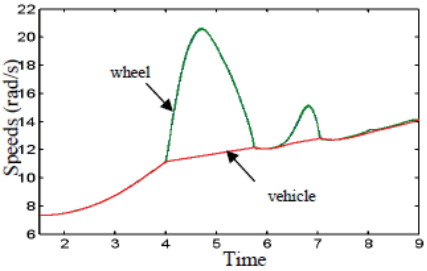


Figure 11: Reduced adhesion at t= 4 s (a more rigid axle, initial vehicle speed of 10 km/h)

5. CONCLUSIONS

1. The non-traditional computer aided slipping an sliding control system of locomotive AC traction motors that is proposed by the authors allows automatic continuous control of electrical parameters of the AC-DC recifer and the inverter in traction mode (dynamic mode) with the simultaneous slipping process control.

2. When the provided slip and slide control system of locomotives with AC traction motors is used**,** train driver does not need to interrupt traction mode control and this way there are no conditions for the formation of the rolling stock longitudinal tensile and compression forces.

3. When the provided slip and slide control system of locomotives with AC traction motors is used, there is optimal traction force control.

4. When the provided slip and slide control system of locomotives with AC traction motors is used, the adhesion coefficient is little dependant on the season.

6. When the provided slip and slide control system of locomotives with AC traction motors is used, the adhesion coefficient is recovered automatically and there is no need to put sand under the wheels to increase the adhesion.

6. REFERENCES

[1] L. P.Lingaitis, L.Liudvinavičius, Electric drives of traction rolling stocks with AC motors,*Transport* 2006, 21(3): 223−229.

[2] K. Kondo, Anti-slip control technologies for the railway vehicle traction,*Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC),2012 IEEE* , no., pp.1306 - 1311.

[3] D. Frylmark., S. Johnsson, *Automatic Slip Control for Railway Vehicles*, M.S. thesis, Dept. of Elect. Eng., Linkopings univ., Linkopings, Sweeden, 2003.

[4] **A.** Mirabadi; N. Mort, F. Schmid, "Application of sensor fusion to railway systems," M*ultisensor Fusion and Integration forIntelligent Systems*, International

[5] P. Pichlik, Hybrid Slip Control Method for Railway Traction, *Processing of the 17th International Student Conference on Electrical Engineering - POSTER 2013*, Prague, 2013, pp.35-41.

PERFORMANCE MODELLING OF MAC PROTOCOL FOR GPRS

MODELIRANJE PERFORMANSI MAC PROTOKOLA ZA GPRS

Zlatan Jukic, Muhammad Faisal Hayat
Institute of telecommunications, Vienna University of Technology
Email: Zlatan.Jukic@tuwien.ac.at, Muhammad.Faisal.Hayat@tuwien.ac.at

---

ABSTRACT:
This paper presents the analysis and performance evaluation of the Radio Link Control/Media Access Control (RLC/MAC) protocol in General Packet Radio Service (GPRS) networks. The aim of our study is to model the Media Access Control protocol that provides coordinated access to the shared channels resources of GPRS radio interface. After describing a simple functional model for a single node in GPRS system, a detailed analysis is presented to model the behavior of a single GPRS cell. A Markov chain is developed to describe the single cell system and the expressions for the uplink throughput and mean transfer delay are derived using this Markov chain.

Keywords: *General packet radio service, Radio Link Con- trol/Media Access Control, Markov chain*

SAŽETAK:
U ovom radu prikazana je analiza, dimenzioniranje i evaluacija performansi (RLC/MAC) familije protokola bezicnog mobilnog sistema (GPRS) "General Packet Radio Service". Cilj našeg istraživanja je bio da se pronadje univerzalna, efikasna, optimalna i napredna tehnika modeliranja mreznih bezicnih protokola RLC/MAC (Radio Link Control/Media Access Control) na primjeru GPRS sistema ali i svih ostalih bezicnih protokola, bez obzira kojoj generaciji protokola ili kojem mobilnom telefonskom ili telekomunikacionom sistemu pripadaju. Osnovni zadatak prikazane tehnike modeliranja je analiza, proracun i evaluacija performansi bezicnih mobilnih radio sistema koji se koriste u mobilnim telekomunikacijama. U ovom radu demonstriran je model koji analizira GPRS RLC/MAC protokol cija je osnovna funkcija uspostavljanje pouzdane veze izmedju BSS podsistema i mobilne pretplatnicke stanice, odnosno mobilnog telefona. MAC protokol obezbjedjuje brzi pristup razdjeljenim kanalskim resursima vazdusnog interfejsa a RLC protokol distribuira vece LLC okvire podataka u manje RLC blokove i istovremeno posjeduje mehanizme retransmisije pogresno prenesenih RLC blokova. U svrhu analize i proracuna performansi mreznih protokola i njihovih sistema koristena je tehnika Markovljevih lanaca kojom se eficijentno analiziraju, racunaju i dimenzioniraju svi relevantni parametri koji onda odredjuju performanse pomenutih protokola i njihovih sistema.

Ključne riječi: *GPRS (General packet radio service), RLC/MAC (Radio Link Control/Media Access Control), BSS (Base Station Subsystem), LLC (Logical Link Control), Markov Chain (Markovljev lanac)*

---

1. INTRODUCTION

GPRS is a packet-switched extension in the existing GSM infrastructure. To provide a packet oriented service to mobile users (MS), the conventional GSM system is expanded with two

additional nodes called the serving GPRS support node (SGSN) and GPRS support node gateway (GGSN) as shown in Fig. 1. A new type of logical radio channels called packet data traffic channels (PDTCH) is provided which are optimized for the transmission of packet data [1], [2]. The packet switching technique allows multiple users to share the same channel resources. As GSM and GPRS users also use the same up- link/downlink channels in a dynamic manner, this allows better and more effective utilization of the existing resources. Packet data units (PDUs) that are transmitted over the packet data traf- fic channels of radio link are called radio blocks. For optimal performance of GPRS, appropriate logical link control (LLC) and radio link control/medium access control (RLC/MAC) layers have been developed. The LLC layer provide logical links between MS and SGSN while the RLC/MAC layer has sole responsibility for managing the coordinated access of mobile users to the shared channel resources. These channels are shared on the basis of so-called request-assignment mechanism. Moreover, a reliable data transfer is ensured using the selective retransmission of erroneous radio blocks. The behavior of RLC/MAC protocol under different radio channel states and traffic conditions has a strong impact on the overall GPRS network performance [4]. There are numerous studies on the basis of both simulations and mathematical modelling to evaluate the performance of GPRS protocol at different layers [3], [4], [5]. The authors in [5] derived the expressions for LLC frame transfer delay. They calculated the probability of retransmission at RLC/MAC layer level using an iterative method under the assumption of having an infinite number of retransmissions per LLC frame. The authors in [4], on the other hand used a finite number of retransmissions with the assumption that error is corrected anyhow in the last retransmission. They developed closed form expressions for LLC frame transfer delay and throughput at LLC layer. Both studies ignored the effect of request-assignment mechanism in RLC/MAC protocol, and authors in [6] also incorporated the reservation mechanism effect to derive the expressions for the uplink throughput and delay using the Markov chains theory. In this paper, we describe the behavior of a single mobile node using a simplified functional model. On the basis of this node behavior a single GPRS cell is then modelled using a queueing theoretical approach. Additionally, the system is analyzed under Engset traffic assumptions, which are more realistic from practical point of view, considering a limited number of mobile users contending for channel resources. Using Markov chain methodology, we calculate the mean number of busy channels, uplink throughput and mean transfer delay. The rest of the paper is organized as follows. In Section II, we describe the behavior of LLC/RLC/MAC protocol layers along with a single GPRS node model.

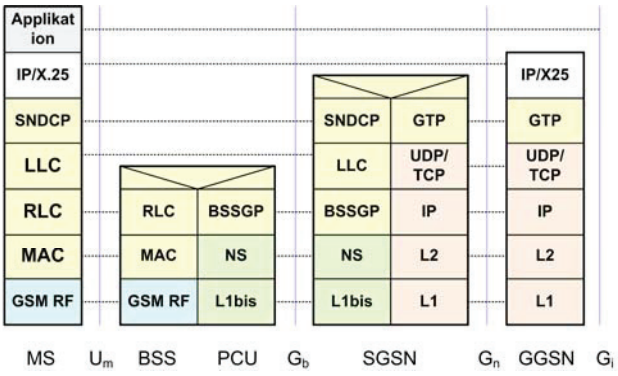


Fig. 1: GPRS layered architecture

In Section III, we use the single node behavior to model a single cell system and a Markov chain has been developed to describe the states of the system under consideration. The Markov chain is then used to derive the expressions for performance analysis of the system in terms of delay and throughput. In Section IV, some important results are presented.

2. GPRS DATA LINK LAYER

As in conventional wireless communication systems, the data link layer of GPRS consists of two parts. The logical link control (LLC) layer and the radio link control/medium access control (RLC/MAC) layer as shown in Fig. 1. The function of LLC layer is to generate frame and maintain logical links between corresponding peers in MS and SGSN. The PDUs of higher layers are converted into variable sized LLC frames and these frames are then sent to RLC/MAC layer. RLC/MAC layer divide the frames into fixed sized blocks called RLC blocks and enable efficient use of shared channel resources between different MS in a single GPRS cell. RLC operates in an acknowledged mode with functionality of selective retransimission of erroneous RLC blocks. The MAC uses a slotted ALOHA protocol for shared medium access. The MAC protocol controls the different logical channels needed to share the common transmission resources by several MSs. The uplink channel resources are shared on a request- assignment basis [6]. There are two types of uplink channels: packet random access channel (PRACH) and packet data traffic channel (PDTCH). PRACH is the request access channel and is used only in uplink to initiate uplink transfer on contention basis. Packet data transfer channel (PDTCH) is reserved for data transmission, i.e. uplink/downlink data packets are sent on this channel. The uplink PDTCHs are shared between several MSs and one PDTCH is mapped onto one physical channel. Depending on the workload of GPRS systems the number of PRACH channels can increase or decrease. If the base station receives a request packet without collision or without error, and if a channel is sufficiently available to reward this request, the base station informs the mobile station about the reservation of resources. The information about the reservation includes PDTCH frequency and time-slots that will be used for data transmission. The mobile station now sends its data to the reserved slots. On the other hand, if the request-packet is lost (due to collision or channel errors), or if there are not enough free PDTCH channels, the mobile station will not get a reservation. In this case a retransmission is scheduled.

3. MODEL AND ANALYCITAL ANALYSIS

In this section, we develop an analytical model for analyzing the performance of a single cell in a GPRS system. We first describe the states of a single mobile user. Then the behavior of complete single cell system consisting of mobile users using uplink channels is modelled. The symbols for various parameters used in analysis are given below:

Symbol	Description
n	total number of uplink channels in a single cell
m	total number of mobile users in a single cell
s	maximum number of waiting users
r	maximum number of retransmissions
λ_i	arrival rate per mobile customer
μ_i	service rate per uplink channel
p_e	probability of erroneous transmission

Following the MAC protocol described in Section II a single mobile station can be in any of the following states 1) idle 2) transmitting 3) retransmitting and 4) waiting state as shown in Fig. 2. In order to carry out the analysis, the following assumptions are taken.

- Errors over radio channels are independent.
- Errors over request and data channels are independent and over-all error probability pe is assumed during the transmission of a complete frame.
- Error probability is taken as constant over the transmis- sion of a complete frame.

- After (r − 1)th retransmission, if there are erroneous RLC/MAC blocks, they are corrected anyhow in the rth retransmission.
- A single mobile generate requests for uplink channels with a renewal process with exponential gap distribution and the lengths of data packets to be transmitted are also exponentially distributed

With above mentioned assumptions, different transitions among the states of a mobile user are shown in Fig. 2. It is important to mention that mobile goes to the waiting state if request is not succeeded or if it does not find any free channels to transmit the data. It goes to retransmitting state occupying the same channel if error occur in the current transmission. The complete system with m mobile users and n channels may be mapped to a queueing model as shown in Fig. 3. The corresponding state transition diagram is shown in Fig. 4.

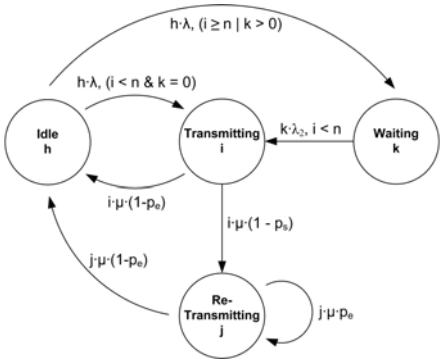


Fig. 2: GPRS single mobile transition diagram

The model is based on the observation that at any time t, maximum n mobile users can be in transmitting or retransmitting state. Anyone of the remaining users which comes in and finds all channels busy goes to the waiting state. The waiting users are assumed to be served in a FIFO manner with the availability of free channels. If a mobile user is granted access to a channel, it is served with a rate μ and if the data transmission is erroneous with the probability pe, the user is supposed to hold the channel with the possibility of maximum r retransmissions.

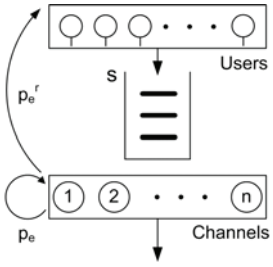


Fig. 3: GPRS single cell queueing model

After each transmission/retransmission the user either goes to the idle state or the retransmission state depending upon the error probibilty p_e. However, after r retransmission, the transmission anyhow is supposed to be successful and the user again comes into the idle state where it can request again with a rate λ. It is important to mention that from the protocol point of view, the above analysis is based on the assumption that every successful request by a user means there is a free channel available for that user. The state transitions in Fig. 4 are briefly explained as follows. A state is represented by (i, j, k), where $i : 0 \leq i \leq n$ represents the number of busy channels, $j : 0 \leq j \leq (m - n)$ represents the waiting users and $r : 0 \leq k \leq r$ is used to show the number of retransmissions.

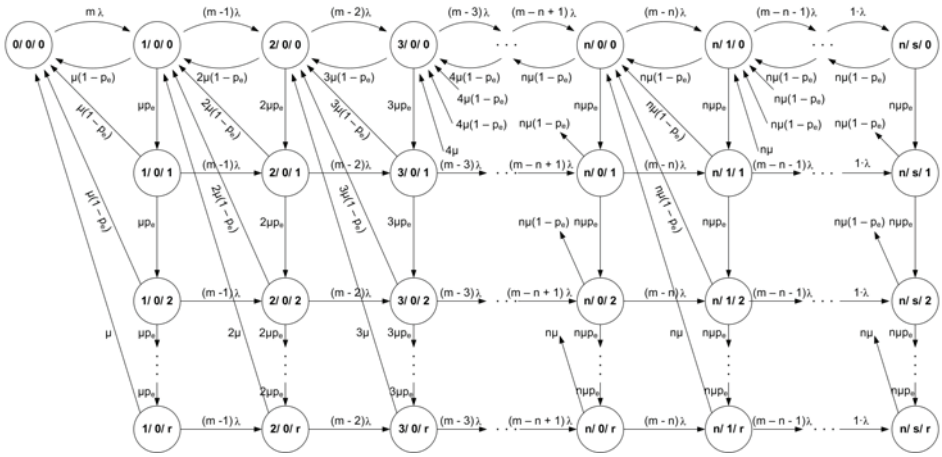


Fig. 4: GPRS single cell transition diagram

Therefore, transitions along x-axis $(i; j; k)$ to $(i + 1; j; k)$ or $(n; j; k)$ to $(n; j + 1; k)$ show the arrival of customers in the system. If all channels are not busy, the customer can occupy a free channel while if no free channel is available, an arrived user wait in the FIFO queue. The transitions along y-axis $(i; j; k)$ to $(i; j; k + 1)$ show the retransmissions. The state space can additionally be divided into a boundary and a repeating portion. The boundary states represent the states where all channels are either busy or all channels are empty and repeating portion shows states when channels are neither full nor empty. Using the state space, the state probabilities p_i can be calculated by solving a system of linear equations given by $pQ = 0$ where $p = [p_0 \quad p_1 \quad p_2 \quad p_3 \quad p_4 \quad \ldots]$ and Q is an infinitesimal generator matrix Q given by

$$\begin{bmatrix} -m\lambda & m\lambda & 0 & \cdots \\ \mu(1-p_e) & -[\mu(1-p_e)+(m-1)\lambda] & (m-1)\lambda & \cdots \\ 0 & 2\mu(1-p_e) & -2\mu(1-p_e)-(m-2)\lambda & \cdots \\ 0 & 0 & 3\mu(1-p_e) & \cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{bmatrix}$$

Performance measures: Using the state probabilities, the mean number of busy channels can be described by:

$$E[N] = \sum_{i=0}^{n} \sum_{j=1}^{m-n} \sum_{k=1}^{r} i p_i \tag{1}$$

The mean transmission delay can be easily found using Little formula. The mean arrival rate for this purpose can be calculated as: $\lambda_{eff} = \lambda(m - E[N])$, and then mean transmission delay is given by:

$$E[T_f] = \frac{E[N]}{\lambda_{eff}} \tag{2}$$

The throughput of the system can be written as:

$$Th = \sum_{i=0}^{n} \sum_{j=1}^{m-n} i p_i \mu_i \tag{3}$$

4. NUMERICAL RESULTS

In this section, some numerical results are presented for the average per channel throughput and the mean transfer delay experienced by frames. The effect of increasing the probability of erroneous transmission on per channel throughput is shown in Fig. 5 for m = 50, n = 20, and r = 3, under different values of offered load per channel. It is clear that, with an increase in the probability of error, the throughput decreases as expected. For the probability of error upto 50 percent, it decreases slowly, however, there is steep fall beyond that point under all different offered load values. In the next Fig. 6, the mean transfer delay is evaluated with the same parameters and it is clear that for an increasing probability of error the average time for successful transmission increases. In Fig. 7, under the same conditions, the average channel throughput from user perspective is plotted against the offered load under different values of error probability pe. The result shows that with an increase in the arrival rate the average per channel throughput initially increases at high rate and then becomes saturated after a certain point, which represents the best possible performance.

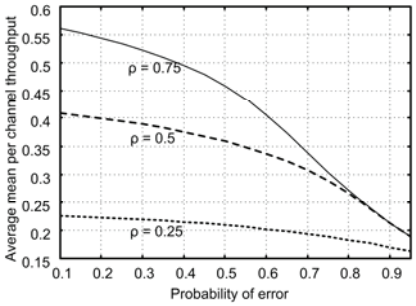


Fig. 5: Average per channel throughput *Th* versus number of channels, *m* = 50, *n* = 20, *r* = 3

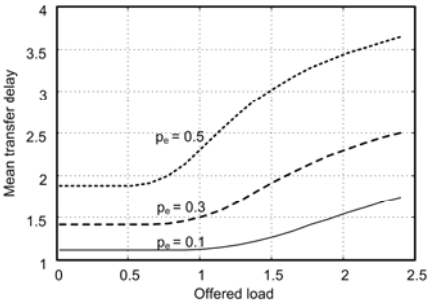


Fig. 6: Average transfer delay $E[T_f]$ versus offered load per channel ρ, *m* = 50, *n* = 20, *r* = 3

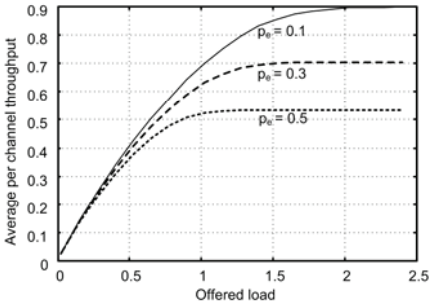


Fig. 7: Mean per channel throughput $T\,h$ versus offered load per channel ρ, m = 50, n = 20, r = 3

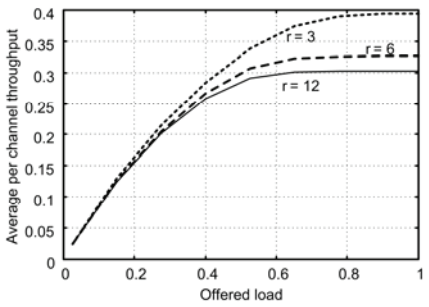


Fig. 8: Mean per channel throughput Th versus offered load per channel ρ, m = 50, n = 20, p_e = 0.7

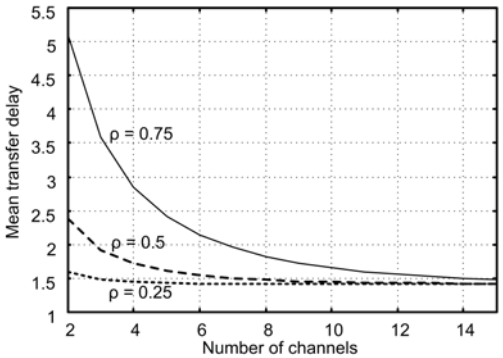


Fig. 9:Mean transfer delay $E[T_f]$ versus mean number of channels n, m = 50, p_e = 0.3, r = 3

Moreover, with an increase in the probability of error in transmission, the average per channel throughput from user point of view decreases. Fig. 8 shows the same effect of increasing the load on per channel throughput as Fig. 5 under different values of r. With the increase in the number of retransmissions r, the average per channel throughput decreases also from the user point of view. Finally the effect of increasing the number of channels at constant offered load on the mean transfer delay is shown in Fig. 9. The mean transfer delay actually decreases with an increase in the number of available channels under the same load conditions.

5. REFERENCES

[1] Digital cellular telecommunications system (phase 2+); general packet ra- dio service (gprs); mobile station (ms)-base station system (bss) interface; radio link control/medium access control (rlc/mac) protocol (gsm 04.60).

[2] Technical specification group gsm/edge radio access network; mobile station (ms)-base station system (bss) interface; radio link control/medium access control (rlc/mac) protocol 3gpp ts 44.060 v8.8.0 (2010-03).

[3] G. Brasche. Evaluation of a mac protocol proposed for a general packet radio service in gsm. In *Proc. IEEE Vehicular Technology Conference VTC'96*, pages 668–672, 1996.

[4] C. Demetrescu. Llc/mac analysis of general packet radio service. *GSM Bell Labs Tech. Journal*, 4(3):37–50, 1999.

[5] R. Ludwig and D. Turina. Link layer analysis of the general packet radio service for gsm. In *IEEE 6th International Conference on Universal Personal Communications*, volume 2, pages 525 – 530, San Diego, CA , USA, 1997.

[6] K. Premkumar and A. Chockalingam. Performance analysis of rlc/mac and llc layers in a gprs protocol stack. *IEEE Transactions On Vehicular Technology*, 53(5):1531–1546, 2004.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ARCHITECTURES FOR INTEGRATION OF FIBER AND WIRELESS ACCESS NETWORKS

KOMPARATIVNA ANALIZA AKTUELNIH MREŽNIH ARHITEKTURA BEŽIČNIH I OPTIČKIH TELEKOMUNIKACIONIH MREŽA I SISTEMA

Zlatan Jukic, Ammar Rafiq
HTL Rankweil & TU Wien
Department of CS&E UET, Lahore
Email: Zlatan.Jukic@tuwien.ac.at,

ABSTRACT:
Due to the increasing growth in applications, services, and use of computer networks the demand for higher and higher bandwidth is getting stronger, requiring the service providers to offer faster and enhanced Internet connectivity. With the increase in bandwidth demand and with the demands of client asking for seamless connectivity, the need is to enhance the access networks with tremendous capabilities that were not acknowledged in past. This emergence needs to integrate both optical and wireless networks to capture the benefits of both technologies in one architecture. This article discusses the current available Fi-Wi network architectures supporting bandwidth-hungry emerging applications and scaling these architectures on some parameters to fully exploit the convergence of various optical and wireless technologies. After discussing the different integration architectures of Fi-Wi, we would like to choose an architecture that suits the applications like energy consumption metering at residential premises, as well as, event and ambient parameters observation at substations, power lines and vaults.

Keywords: *Fi-Wi, EPON, Wireless Sensor Networks, Passive Optical Networks (PON), Subscriber Stations, Central Office, Optical Line Terminal, Optical Network Unit*

SAŽETAK:
Intenzivan i ubrzan razvoj i enorman rast razlicitih aplikacija, servisa i usluga u domenu bezicnih telekomunikacija kao i koristenje racunarskih mreza namece Telekomu i svim ostalim davaocima telekomunikacijskih usluga potrebu prosirenja postojecih resursa frekventnog opsega. Potrebno je i neophodno u funkciji porasta broja aplikacija obezbijediti brzi prenos i stim u vezi poboljsati mogucnosti brzeg povezivanja i konekcije sa internetom kako bi se na drugoj strani povecala brzina obrade i davanja usluge. Realizacija ovog cilja mora da ide u pravcu realizacije mogucnosti kontinuiranog i nesmetanog povezivanja i prakticki nicim ogranicene stalne povezanosti korisnika i davaoca usluga. Sposobnost i brzina ostvarenja veze sa vlastitim provajderom kao i brzina prenosa i razmjena podataka sa sto manje gresaka i kasnjenja u prenosu podataka u cilju dobijanja potrebne usluge postaje relevantan parametar koji definira kvalitet usluge i performanse mreze u danas kompleksnom virtualnom okruzenju i novoj generaciji mreza. Zahtjev za povecanje propusnosti cjelokupne mreze prije svega namece nuznost povecanja sposobnosti tzv. pristupnih mreza novim performansama i mogucnostima koje se u proslosti zbog razlicitih pristupnih platformi i ostalih razloga nisu mogle realizirati. Ovaj novi pravac i trend razvoja trebao bi integrirati opticke i bezicne telekomunikacijske mreze sa svim njihovim

prednostima i performansaama u razlicitim arhitekturama koje nastaju u funkciji mogucih i tehnicki izvodivih kombinacija oba tipa tehnologija. Ovaj rad prezenzira aktualne pristupe i domete tzv. Fi-Wi i WLAN-W mrežnih arhitektura ciji je zadatak da ponude kvalitetna rjesenja na upravo gore pomenute probleme. Nova generacija mreza objedinjena u novim arhitekturama treba u praksi da postane standard koji podrzava razvoj i realizaciju novonastalih aplikacija bez obzira na njihov broj i obim, jednom rjecju da postane imperativ naprednije komunikacije koja sprecava prekide i nudi kontinuitet prenosa i kozistentnost tehnologija i rjesenja u virtualnim okruzenjima. Nakon razmatranja razlicitih arhitektura integracijske Fi-Wi i WLAN, zelimo odabrati jednu arhitekturu koja odgovara potrebama aplikacija kao što su mjerenje potrosnje energije u stambenim prostorima, kao i promatranje funkcioniranja trafostanica, strujnih i naponskih vodova, trezora itd.

Ključne riječi: *Fi-Wi (bezicna mreza, IEEE-802.11), WLAN (radio mreza), EPON (eternet pasivna opticka mreza) , Wireless Sensor Networks (bezicne senzorske mreze), Passive Optical Networks (PON), (pasivne opticke mreze), Subscriber Stations (pretplatnicke stanice) , Central Office (odasiljanje raznih informacija), Optical Line Terminal, (opticki linijski terminal) Optical Network Unit (opticke mrezne jedinice)*

---

1. INTRODUCTION

People are required to conform to technology. It is time to reverse this trend, time to make technology conform to people [1]. With the emergence of the perfection of current available technologies, revolution could be done by concatenating Passive Optical Networks (PONs) with Wireless Networks so that utilization of both technologies would be for a large number of promising applications. This idea has recently been discussed in different papers [2][3][4]. The objective of this paper is to review the current available integrated architectures supporting bandwidth-hungry emerging applications and scaling these architectures on some parameters to fully exploit the convergence of various optical and wireless technologies.

i. Optical Access Networks:

In today's era of rapid and fast access networks, broadband access has become increasingly essential and promising approach for today's access networks. Passive Optical Networks (PON's) have emerged as the most leading access solution as it offers enormous bandwidth rates, high reliability, substantial product cost savings and massive quality improvement as compared to traditional copper-based networks [5].
Many studies on Passive Optical Networks found that over the last decade, the bandwidth demand has been mounting tremendously. Corporate Subscribers as well as residential subscribers both demand first-mile access solutions. Residential subscribers demand unlimitedly increased due to voice and video call services. On the other hand, corporate users demand such broadband infrastructure through which they can connect their local-area networks to the Internet backbone [2][6][7].

a) Passive optical network (PON):

A passive optical network (PON) is a point to multipoint optical system that brings optical fiber cabling and signals all or most of the way to the end user to serve multiple premises. PON comes in three flavors as FTT**X** depending on where the PON terminates. [4] Flavors are

- **FTTH (**Fiber to the Home)
- **FTTB (**Fiber to the building)
- **FTTC (**Fiber to the Curb)

The basic architecture of PON consists of an OLT and multiple ONUs. The OLT known as Optical line terminal is attached at the service provider's central office and ONUs (Optical Network Units) are attached near end users. A PON reduces the amount of fiber and central office equipment required compared with point-to-point architectures. No active components are acquired by PON. It is purely based on passive components which include optical fiber, splices & splitters. Transmission is performed between OLTs & ONUs. The direction is towards ONU from OLT for down streaming and vice versa for up streaming. Typically, up to 32 ONUs can be connected to an OLT which covers more subscribers with high data rate. Such architecture of PON promises to provide such broadband network that offers more reliability, huge coverage and substantial cost savings as less equipment, infrastructure and space is needed to implement passive networks[8][9].

b) Ethernet Passive optical network (EPON):

With the huge success and adaptation, research in PON has been ongoing for the past fifteen years within the ITU-T and IEEE standards bodies as humongous data traffic is putting pressure on carriers to upgrade their networks. EPON and G-EPON are the latest ratified IEEE standards and GPON is the latest ratified ITU-T standard [9]. EPON stands for Ethernet Passive Optical Network that improves more PON behavior in terms of more uninterrupted data, ice and video services as it offers reduced cost, higher bandwidth and broader range coverage than PONs. As name suggests, EPON relies on Ethernet standard unlike other PON technologies. As the figure1 depicts, the architecture of EPON involves OLT and ONU. OLT works in the premises of central office and ONU resides near customer premises which may be building, curb or the customer residence itself. The optical line terminal is typically be an Ethernet switch which provides easy-to-manage connectivity to Ethernet-based, IP equipment both for subscriber and service providers. EPON system uses an optical splitter architecture so that service provider's services are used to serve multiple premises the transmission is performed between both two terminals i.e. OLT and ONU. In case of downstream, EPON architecture becomes a point-to-multipoint network.ad has bandwidth available to it at all times.

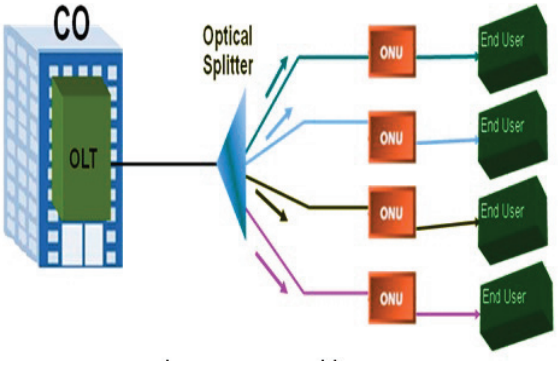


Fig. 1: EPON Architecture

On the other hand, for upstream transmission, PON is a multipoint-to-point where ONUs competes for bandwidth. The flexible architecture of EPON lets the customers to enjoy video on demand, IPTV, interactive gaming and much more services which would not be possible earlier with great bandwidth speed at less rates [10].

ii. Wireless Network Access:

The acceptance of wireless networks has no need to prove. Every fourth person of this world is a wireless user. The fame of wireless LANs is primarily to their convenience, cost efficiency,

mobility, expandability, productivity and ease of integration with other networks and network components. The bundle of benefits offer by wireless networks to its users emerge the need of utilizing these benefits in more reliable and efficient way. The famous forms of Wireless access networks come in three types: Wi-Fi, WiMAX and WSN.

a) Wireless Fidelity (Wi-Fi):

Wi-Fi is defined by IEEE *802.11 standards* as "*wireless local area network (*WLAN*) products that are based on the Institute of Electrical and Electronics Engineers".* Wi-Fi-based networks are becoming progressively more ubiquitous, and today, we see that, Wireline local area network has embedded in everything, and it generally works. The resources could be shared over the network via wireless technology giving rise to high speed internet connections. The devices using Wi-Fi connect to a network resource using access points also known as hotspots. The indoor range of hotspots is about 20 meters and greater area range for outdoors, is achieved by using multiple overlapping access points. Range of Wi-Fi lies between 1MBps to 54 Mbps depending on the IEEE 802.11x standard [12].

b) World Interoperability for Microwave Access (WiMAX):

WiMAX is a new-generation broadband that is based on IEEE 802.16 standard. WiMAX is gaining recognition for its plenty of benefits which include carrier-class, high speed wireless broadband at a much lower cost while covering large distance than Wi-Fi. WiMAX is designed to cover large area i.e. it is known for addressing Metropolitan Area Networks (MAN). An ideal range of WiMAX network is in between 80-90 kilometers and can exchange data at speeds up to 40mbps [13].

c) Wireless Sensor Network (WSN):

Wireless Sensor Network) is composed of small spatially distributed sensor devices that cooperate mutually for sensing a physical phenomenon have long been considered for monitoring critical infrastructures. The WSN architecture is composed of base stations and a number of wireless sensors. The Sink node is used to connect number of wireless sensors to base station. The data is routed to sink node via passing through multiple sensor nodes. The sink node is further is responsible for communicating with base station for transmitting and receiving data. [14]

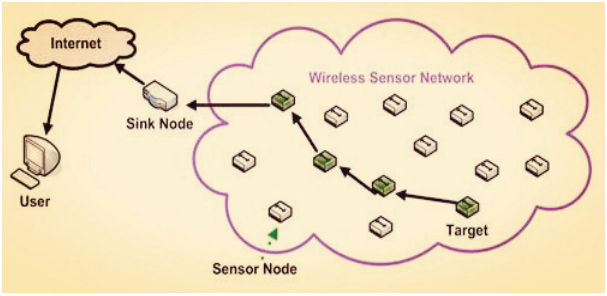


Fig. 2: WSN Architecture

Wireless Sensor networks are new trend to handle the data for smart environments which include whether for home, buildings, industrial, shipboard, utilities, transportation systems automation, or elsewhere. There are some other application too where it is impractical to deploy wring and cabling for getting sensed data e.g. aircraft, defense purposes and many more. In the field of

medical, WSN outcomes are tremendous. Via WSN, wireless devices make less persistent patient monitoring and health care possible. The benefits of Wireless Sensor Networks offer very low cost, high tolerance to failures and collaborative tasks [15][16].

2. RELATED WORK

Due to the increasing growth in applications, services, and use of computer networks the demand for higher and higher bandwidth is getting stronger, requiring the service providers to offer faster and enhanced Internet connectivity. Traditional wired access techniques can only support bandwidth up to several Mb/s and a transmission distance of up to several hundred meters. To support higher bandwidths and longer transmission distances, fiber-based broadband access techniques are implemented. Passive Optical Networks (PON) has emerged as a dominant broadband access network due to their longevity, low operational costs, and high capacity. Fibers are progressively permeating from the curb (FTTC), to the whole building (FTTB), and eventually to the home (FTTH). Ethernet PON (EPON) is one of the popular standards of PON. EPON deliver high data rates utilizing full advantage of PON physical layer architecture, while also making use of Ethernet technology in the data link layer. On the contrary, the wireless access technique also continuously expands its transmission bandwidth and radio coverage. After huge success of the Wi-Fi (IEEE 802.11) technique, the new generation of wireless technique WiMAX (IEEE 802.16) [17,18,19,20] is growing mature and being deployed to provide even higher bandwidth, wider radio coverage, and better QoS support. However, it may be costly in numerous cases to run fiber to every home from the CO; further-more, because of the limited spectrum it may be impossible to provide wireless access to every use from CO. One attractive and feasible solution is to converge fiber and wireless access networks technologies as many features of EPON and WIMAX are interrelated. Hence, running fiber from the CO toward the user and then having wireless access technologies take over may be a good negotiation.
In this section, we provide an overview of the related work that has been performed in efforts for the convergence of fiber access networks with wireless access networks.

A. WiMAX and EPON – Single-stage

It is the most simple and intuitive architecture that connects a WiMAX base station to an EPON ONU, where WiMAX is considered as a generic user [2]. As long as they support a common standard interface, such as Ethernet, no special requirements are needed for satisfying the interconnection between two system boxes. In the upstream direction, subscribed stations (SS) send packets to a base station (BS), and then the BS forwards the packets to its associated ONU. The ONU further forwards the packet to the OLT after making frame re-encapsulations. In the downstream direction, a reverse packet forwarding process involves the packet forwarding from an OLT to an ONU, through a WiMAX BS, and finally to a targeted SS. As shown in Fig. 3 every ONU can be equipped with wired interfaces, hence enabling the system to also offer wired access services and consequently realize the convergence of services. A limitation to this architecture is the physical boundary between two system boxes that do not allows the ONU and the WiMAX BS to share any real time state information on their downstream scheduling and upstream bandwidth demands.

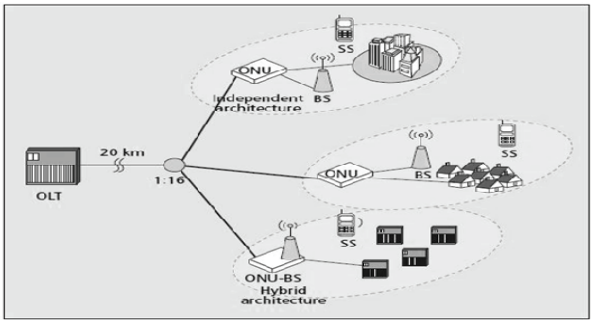


Fig 3: Architectures for the integration of EPON and WiMAX [27]

B. WiMAX and EPON – Multi-stage

By taking advantage of next generation EPON techniques (i.e., 10G EPON [21]) and mesh networking capability of WiMAX we can make further extensions to develop more advanced Multistage EPON and WiMAX integrated systems. A new IEEE working group, i.e., P802.3av, has been formed recently to standardize 10G EPON, which aims to upgrade transmission capacity of EPON to 10 GB/s. A typical multistage integration architecture, which consists of four hierarchies, including (1) 10G EPON, (2) EPON, (3) WiMAX Point-to-Point (PtP) mesh network (between base stations), and (4) WiMAX access network (for SSs) is shown in the figure 4. To interconnect multiple EPON OLTs the 10G EPON access network functions as a backhaul. The stage from EPON OLT to ONU-BS is exactly the same as the previous two-stage integrated architectures. However, for the stage of WiMAX access network, in addition to installing an ONU-BS to serve a single WiMAX micro-cell, we can also take advantage of WiMAX PtP networking capability to build a WiMAX star or hub communication network, as illustrated in fig. 4, in which a central ONU-BS functions as a relay station to forward all the packets from its neighboring BS [2]. In rural areas the WiMAX star network can be efficient for network access, where users are disperse and the aggregate user bandwidth is low. Finally, the multistage integration architecture allows for the heterogeneousness of access node.

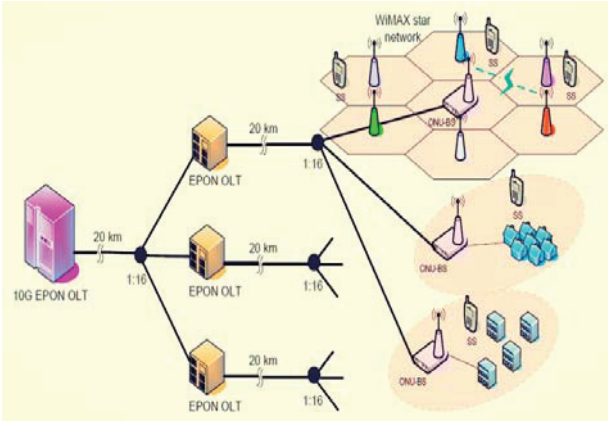


Fig.4: Multistage integrated broadband access network [2]

There are several advantages of multistage architecture[2]: (a) the architecture can cover a huge broadband service area, (b) better network capacity utilization can be expected due to the benefit of traffic multiplexing among a large group of users, (c) there is flexibility in network design and operation due to the heterogeneousness of the access node in architecture, (d) the architecture can support the handover operation across micro-cells as in the previous two-stage architectures.

C. Hybrid Wireless-Optical Broadband-Access Network (WOBAN)

A WOBAN consists of a wireless network at the front end, and it is supported by an optical network at the back end as shown in fig. 5. Unlike standard PON where ONUs connect and serve the end-users, in WOBAN architecture the ONUs will connect to wireless BSs for the wireless portion of the WOBAN. The wireless BSs that are directly connected to the ONUs are known as wireless "gateway routers," because they are the gateways of both the optical and the wireless worlds. The wireless routers/BSs in front end of a WOBAN to efficiently manage the network. Hence, the front end of a WOBAN is essentially a multi-hop wireless mesh network with several wireless routers and a few gateways to connect to the ONUs and thus to rest of the through OLTs/CO. Standard technologies such as Wi-Fi or WiMAX are employed by the wireless portion of the WOBAN. WOBAN can potentially support a much larger user base with high bandwidth needs because of the ONUs being located far away from the CO as efficient spectrum reuse can be expected across the BSs with much smaller range but with much higher bandwidth. Typically in a WOBAN [3], subscribers with wireless devices at individual homes, are dispersed over a geographic area. An end-user sends a data packet to one of its neighborhood wireless routers. This router then injects the packet into the wireless mesh of the WOBAN.

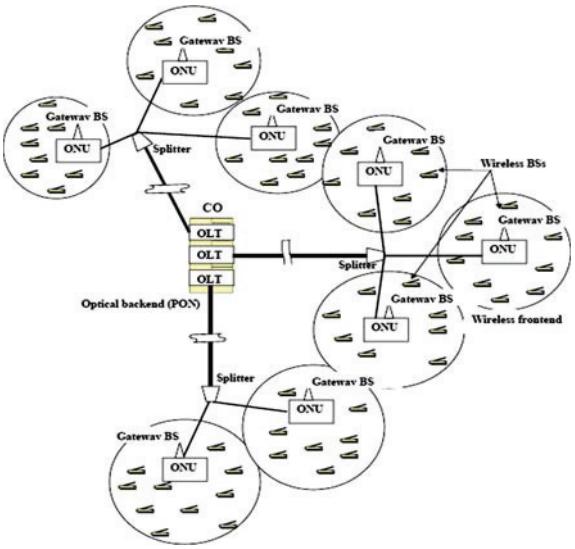


Fig 5: Architecture of WOBAN ([3])

After possible multiple hops the packet travels through the mesh, to one of the gateways (and to the ONU) and is finally sent through the optical part of the WOBAN to the OLT/CO. In the wireless front end (from a wireless user to a gateway/ONU), the upstream of a WOBAN is an any cast network, i.e., an end-user can try to send its packet(s) to any one of the gateways (from where each packet will find its way to the rest of the Internet). In the optical back end, the upstream (from an ONU to an OLT/CO) of a WOBAN is a multipoint media-access network, where ONUs are deployed in a tree network with respect to their OLT, and they cope for a shared upstream resource

(or bandwidth), but in the downstream direction of the wireless front end (from a gateway/ONU to a wireless user),this network is a unicast network, i.e., a gateway will send a packet to only its specific destination (or user). In the optical back end, the downstream (from an OLT/CO to an ONU) of a WOBAN is a broadcast network, where a packet, destined for a particular ONU, is broadcast to all ONUs in the tree and processed selectively only by the destination ONU (all other ONUs discard the packet), as in a standard PON[15+]. The advantages of WOBAN over wired optical and wireless networks are summarized as[3]: (a) A WOBAN can be very cost effective as compared to a wired network, (b) The users inside the WOBAN can seamlessly connect to one another through the wireless part of architecture, (c) A WOBAN should be more robust than the traditional wireline network, (d) Due to high-capacity optical trunk, WOBAN have much higher capacity than the relatively low capacity of the wireless network, (e) WOBAN is more reliable then the wireless network.

D. EPON and Wireless Sensor Network Architecture

Another previously proposed architecture [2], the Hybrid Architecture is an enhanced integration of an ONU and a WiMAX BS into a single system box which is termed as ONU-BS. At the hardware configuration level, there are three sub-CPUs in the system box, where the CPU 1 is responsible for the control and communication in the EPON segment, the CPU 2 manages the WiMAX segment, while the CPU 3 functions as a central controller which is responsible for coordination and information exchange between the two former CPUs.

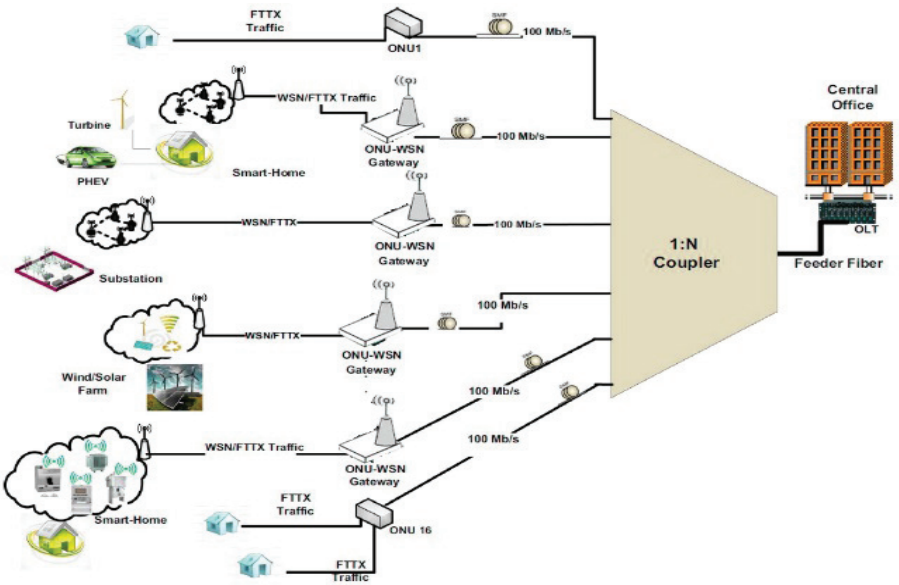


Fig. 6: Fi-WSN architecture for the smart grid ([22])

We can further integrate these 3 sub-CPUs into one large CPU unit with each CPU can manage the functions of other CPUs. At the software level, the figure 5 illustrates the function modules for which each of three sub-CPUs are responsible. The sub-CPU 1 manages the EPON functional components, including EPON packet scheduler, priority queues, and EPON packet classifier. The sub-CPU 3 manages the functional components of WiMAX packet re-constructor and WiMAX packet scheduler. Finally, the central controller, namely the second sub-CPU, is responsible for the

coordination of the whole system box and the state and control information exchange between the other two CPUs. The equipment cost is significantly reduced in the Hybrid architecture as only a single system box is required at the boundary of the two networks.The integrated ONU-BS has complete information on bandwidth request and allocation and packet scheduling of both ONU and WiMAX BS, it is possible to employ effective mechanisms for bandwidth requests in the upstream direction of the EPON system, and bandwidth allocation and packet scheduling in the downstream direction of the WiMAX system. The hybrid architecture achieves better performance in terms of throughput and service QoS, when compared to the previous independent architecture.

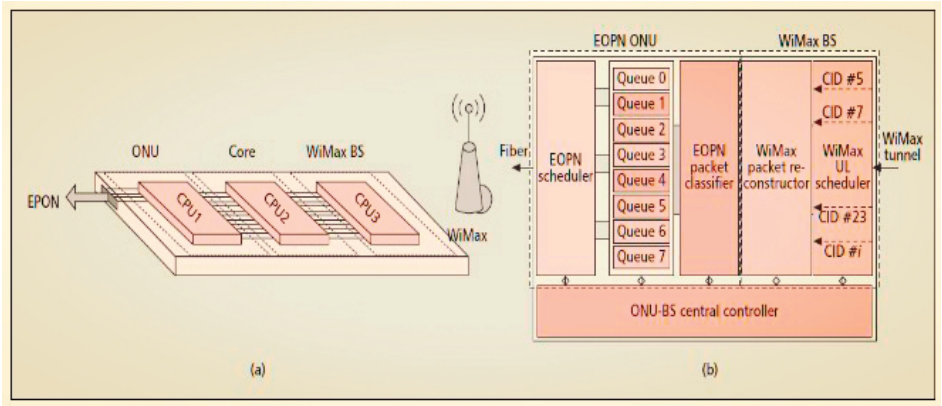


Fig 7: Functional module of ONU-BS [27]

E. Direct Unified Connection Oriented Architecture

WiMAX and EPON operate under same principles specifically in the aspect of bandwidth request and allocation. This enables us to employ a common bandwidth request and allocation protocol for both of EPON and WiMAX in the integrated architectures. According to the previously proposed connection oriented architecture in [2] which runs the WiMAX control protocol in the PON section, a sub-layer is inserted for each data frame in PON, which encapsulates Ethernet frame into the payload of a WiMAX PDU, and then transmits the WiMAX PDU over the PON. The MAC of this PDU manages the control information exchange, such as bandwidth request and grant. As a result, a single set of WiMAX MAC layer control protocol can control and manage both PON and WiMAX networks, and the whole integration system is operated under a unified connection-oriented control protocol.

The Direct Mode based on the unified connection-oriented architecture involves directly forwarding the bandwidth requests from each SS to an OLT without any interception and digestion by an intermediate ONU-BS. After receiving the bandwidth request information from the SSs, the OLT makes bandwidth allocation for each ONU-BS, and the ONU then further allocates the granted bandwidth to each of its associated SSs. As shown in Fig. 8(a), bandwidth request information of CID x1 and x2 is directly forwarded to the OLT through ONU-BS1. The OLT makes a bandwidth allocation and grants an aggregate bandwidth to ONU-BS1, i.e., Grant for ONU-BS1, and then ONU-BS1 makes a further bandwidth allocation to each of the SSs, e.g., Grant for SS1 [2].

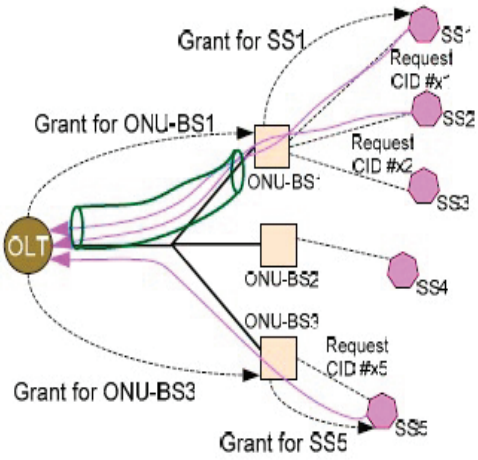


Fig 8: (a) – Direct Mode ([2])

F. Centralized Unified Connection Oriented Architecture

The above mentioned Direct Mode in section F can be further extended in such a way that instead of first allocating the bandwidth to each ONU-BS and then allocating the granted bandwidth to each SS, the OLT can directly allocate bandwidth to each of the SSs as shown in figure 8 (b). In this case, the intermediate ONU-BS performs no other processing other than receiving and passing the network control and management information between the central OLT and all the SSs. The centralized mode when compared with the direct mode, shows even better opportunities for efficient bandwidth allocation among SSs as it implements the control on bandwidth allocation far enough to the lowest SS stage. However, there is a heavy control burden on the central OLT as it needs to process all the control messages and make bandwidth allocation to each SS [2].

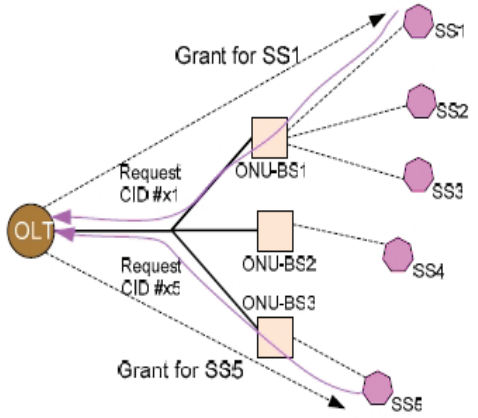


Figure: 8 (b) Centralized Mode ([2])

G. Reliable Integrated Access Network

A reliable integrated access network is similar to a single stage WiMAX and EPON integrated network, however with added features of more reliability in several ways. Since an integrated network spreads over a large area it is vulnerable to faults at various places affecting a large number of connected users. A fault that occurs between an optical splitter and an OLT is a serious one as it can cause all the subscribed users of an integrated network to lose services. However, by taking the advantage of the tree topology of an EPON system, reliable integrated access networks provide an effective solution to this problem by deploying another independent fiber between the optical splitter and the OLT. In this way when one fiber gets cut, the redundant fiber can continue to transfer data.

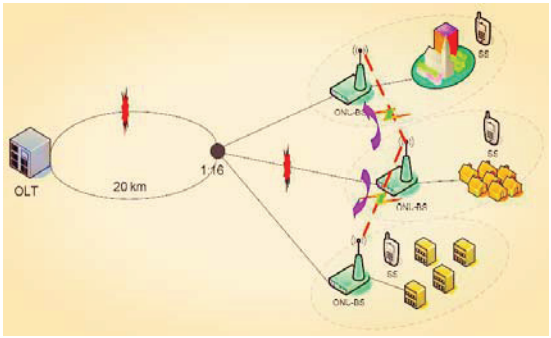


Fig. 10: Reliable Integrated Access Networks [2]

Another, less serious type of fault can occur if the fiber is cut between an optical splitter and the ONU affecting a single ONU-BS. However, by taking advantage of the mesh-networking capabilities of WiMAX, reliable integrated access networks can establish direct point-to-point wireless links between a BS and all its neighboring BSs. In this way if the fiber get cuts between the optical splitter and the ONU-BS, the affected BS can still communicate through its neighboring BSs. Figure 9 illustrates the network failures and solutions provided by the Reliable Integrated Access Networks.

3. Discussions

In the discussions heading, the review of different integrated architectures were done at some broader level to have a look on their assumed benefits by scaling these architectures on different parameters. These parameters are: Reliability, Scalability, Access Technologies, Architecture cost, Bandwidth support and Mobility at Subscriber Station (SS). The comparison table of different architectures is shown in Table 1. In this paper we have discussed the architectures that integrates the wired access networks such as EPON with the wireless access networks such as WiMAX and the Wireless Sensor Networks. The combination of wireless and optical presents a persuasive solution that optimizes the best of both worlds. Such integration allows us the advantage of the high bandwidth of fiber communication and the mobility and non-line of signal (NLOS) features of wireless communication. Considering the significance of these architectures we tend to compare them against few parameters listed in table 1.

Table 1: Comparasion of different Fi-Wi architectures

Fi-Wi Architectures	*Reliability Level*	*Scalability Level*	*Access Technologies*	*Architecture Cost*	*Bandwidth Support*	*Mobility*
Single-Stage EPON	Medium	Medium	Wi-Fi/ WiMAX	High	High	Yes
Hybrid EPON	Medium	Medium	Wi-Fi/ WiMAX	Low	High	Yes
Direct Mode	Medium (Less OLT Dependent)	Medium	Wi-Fi/ WiMAX	Moderate	High	Yes
Centralized Mode	Low (More OLT Dependent)	Medium	Wi-Fi/ WiMAX	Moderate	High	Yes
WOBAN	High	High	Wi-Fi/ WiMAX	Moderate	High	Yes
Multi-Stage EPON	Medium	Highest	Wi-Fi/ WiMAX	Highest	Highest	Yes
Fi-WSN	Medium	Very High	WSN	Moderate	Very High	Yes
Reliable Integrated Access Network	Best	Medium	Wi-Fi/WiMAX	Very High	Higher	Yes

An integrated system covers a large service area therefore network failure can affect a large number of users. There can be several locations in an integrated system where the failures can be occur as discussed in Reliable Integrated Access Networks. Thus reliability is an important issue for an integrated system. The network scalability is another challenging issue for the hybrid optical-wireless networks. As the bandwidth demand increases, an optical-hybrid network should enable scalable gateway router deployment and capacity enhancement. Another important factor to consider when comparing these architectures is the cost, the more costly it is to deploy an architecture the less efficient it is, except in some particular cases. Cost of the architecture increases as the number and complexity of the equipment required to functionality increases. As the demands for higher and higher bandwidth are constantly rising, the bandwidth offered by architecture is another important factor. Several scheduling and dynamic bandwidth allocation schemes have been developed to optimize the bandwidth offered. Mobility of such Fi-Wi architectures is always remained the key factor as Wireless networks were emerges to support mobility.

As table is self-explanatory by showing the comparison of different Fi-Wi architectures out of which Fi-WSN turns out to be the best one because of its balanced features that attracts both subscribers and service providers to implement such architecture at broad level in coming future. From the study of different architectures, the comparison of all Fi-Wi architectures was shown in table1. In this section, six different parameters were examined in all architectures to make judgment of the best one from all. These parameters were discussed briefly in this section**:**

1) Reliability

Reliability is always the major concern for all the customers as they want such architectures which are reliable and can be able to resist in unwanted conditions. The table1 shows that the best Fi-Wi architecture which is more reliable is" Reliable Integrated Access Network". This architecture has the capacity to bear the unexpected situations and have the alternative solutions to manage the network in these conditions. As this architecture establishes direct point-to-point wireless links between a BS and all its neighboring BSs, such as if a fiber link is damaged or cut due to some reasons between base station and optical network, the network still be in the active mode as the BS can still communicate with service providers through the relay of its neighboring BSs. Then comes WOBAN, which is "self-organizing" because of its fault tolerance capability and because of its robustness with respect to network connectivity and load balancing features. And all the rest architectures were at medium level as some prioritization policy and backup issues are there.

2) Scaling

As far as scaling is concerned, multi-stage EPON leads as different levels are possible in this architecture to easily add up more and more customers in a network. And talking about Fi-WSN, one of the leading factors of this architecture includes scaling of network can be easily achieved by adding more and more ONU-WSN gateways. Along with WOBAN, all other Fi-Wi architectures also have good scalability. Multi-stage Fi-Wi architecture can provide more bandwidth that helps to scale the network more amicably.

3) Access Technologies

Fi-WSN supports Wireless sensor network along with gateway to manage the network in an efficient way, whereas all other architectures can make use of either Wireless Fidelity (Wi-Fi) and World Interoperability for Microwave Access (WiMAX).

4) Architecture Cost

The cost of hybrid architecture is low of all as only a single system box is required at the boundary of the two networks. Whereas the highest cost is related to Single stage EPON architecture since two independent system boxes, i.e., an ONU and a WiMAX BS, at the boundary of the two access networks are needed.

5) Bandwidth Support

Remembered, the ultimate goal of Fiber-Wireless (Fi-Wi) network integration was to provide such network capable of supporting bandwidth-hungry emerging applications in a seamless way for both fixed and mobile clients. Therefore, all architectures support excellent bandwidth rate but Multi stage EPON architecture is at top in providing highest bandwidth support among all as it can support 10GPON architecture.

6) Mobility

Mobility of such Fi-Wi architectures is always remained the key factor as Wireless networks were emerges to support mobility. Hence all architectures support mobility.
From the results of the table, the Fi-WSN turns out to be the best one because of its balanced features that attracts both subscribers and service providers to implement such architecture at broad level in coming future. As it provides good reliability, more scalability, high bandwidth rate and moderate architecture cost. Fi-Wireless Sensor Networks (WSN) is the ideal system that can be used in the access for different applications like energy usage monitoring at domestic premises, as well as, event and ambient observing/monitoring at substations, power lines and vaults.

4. CONCLUSION

Upcoming and future applications will change once and for all our perception of network infrastructures. With bandwidth demand being increased exponentially and with clients asking for seamless connectivity no matter where they are it is obvious that access networks will have to be enhanced with tremendous capabilities that were not needed in the past. For this purpose, integration of optical and wireless networks was done to fulfill the demands of more bandwidth support along with mobility and scalability. Different integrated architectures were reviewed and compared on some parameters to fully exploit those technologies and therefore all these open

issues need to be explored before a commercial deployment of such architectures becomes a reality. As far as the applications like monitoring and metering for different aspects on the subscriber station (SS) are concerned, the EPON integrated with Wireless Sensors Networks (Fi-WSN) looks to be a promising solution to handle the above mentioned parameters. More work could be done on the utilization of Fi-WSN for handling complex applications like event and ambient monitoring at the SS, power lines, gas supply lines, water supply lines and vaults.

5. REFERENCES

[1] J. Kowalski, G. J. and M. T. Maybury. "Information storage and retrieval systems: theory and implementation", vol. 8, 2000.

[2] Shen and R. Tucker. "Fixed mobile convergence (FMC) architectures for broadband access: integration of EPON and WiMax", Proc. SPIE 6784, Network Architectures, Management, and Applications, November .2007. doi:10.1117/12.743433

[3] S. Sarkar, S. Dixit, S and B. Mukherjee. "Hybrid wireless-optical broadband-access network (WOBAN): a review of relevant challenges", Lightwave Technology, Journal of, vol. 25, issue 11, pp. 3329-3340.2007.

[4] N. Zaker, B. Kantarci, M. Erol-Kantarci and H.T. Mouftah, "Smart grid monitoring with service differentiation via epon and wireless sensor network convergence". Optical Switching and Networking. 2014.

[5] M. DeAndrade, L. Kramer and B. Mukherjee. "Evaluating strategies for evolution of passive optical networks," *IEEE Commun Mag*, vol. 49, pp. 176–184, 2011.

[6] D. E. Clarke, "Passive optical network," U.S. Patent 5,341,365, August. 1994.

[7] G. Pesavento and M. Kelsey, "PONs for the broad-band local loop," Lightwave, PennWell, vol. 16, no. 10, pp. 68 – 74, September 1999.

[8] B. Mukherjee, Optical Communication Networks, McGraw-Hill, New York, 1997.

[9] A.Banerjee, A, Y. Park, F. Clarke, H. Song, S. Yang, G. Kramer,, K. Kim and B. Mukherjee, B, "Wavelength-division-multiplexed passive optical network (WDM-PON) technologies for broadband access: A review". Journal of optical Networking, vol. 4, issue. 11, pp. 737–758, 2005.

[10] Kramer & G. Pesavento. "Ethernet passive optical network (EPON): building a next-generation optical access network", Communications magazine, IEEE, vol. 40(2), pp. 66-73.2002.

[11] B. Fong, N. Ansari, A. C. M. Fong and G. Y. Hong, "On the scalability of fixed broadband wireless access network deployment". Communications Magazine, IEEE, vol, 42(9), pp.S12-S18.2004.

[12] W. Lehr & L. W. McKnight. "Wireless internet access: 3G vs. WiFi?", Telecommunications Policy, vol. 27(5), pp. 351-370.2003 [14] L. F. Lewis. "Wireless sensor networks." Smart environments: technologies, protocols, and applications, pp.11-46. 2004.

[13] S. Banerji & R. S. Chowdhury "Wi-Fi & WiMAX: A Comparative Study". Indian Journal of Engineering, Vol.2, Issue. 5, 2013.

[14] V. C. Gungor,, B. Lu & G. P. Hancke. "Opportunities and challenges of wireless sensor networks in smart grid", Industrial Electronics, IEEE Transactions on, vol. 57(10), pp. 3557-3564. 2010.

[15] J. L. Hill, "System architecture for wireless sensor networks", Ph.D. dissertation, Dept. Computer Science, University of California, 2003.

[16] F. Y. Ren, H. N. Huang & C. Lin. "Wireless sensor networks". Journal of software, vol. 14(7), pp. 1282-1291.2003.

[17] IEEE 802.16-2004, "Air interface for fixed broadband wireless access systems," October 2004.

[18] WiMAX Forum, "Mobile WiMAX –Part I: a technical overview and performance evaluation," August.2006.

[19] IEEE 802.16 Working Group: http://www.ieee802.org/16/. [Online on May 23, 2014.]
[20] G, Nair, et al., "IEEE 802.16 medium access control and service provisioning," Intel Technology Journal, vol. 8, no.3, pp. 213-228, August 2004
[21] 10G EPON IEEE working group (WG): http://www.ieee802.org/3/av/index.html. [Online on September 18, 2007].
[22] N. Zaker, et al., "Smart grid monitoring with service differentiation via EPON and wireless sensor network convergence", Journal of Optical Switching and Networking. 2014.
[23] N. Ghazisaidi, M. Maier, "Fiber wireless (fiwi) access networks: challenges and opportunities, *IEEE Networking*, vol. 25(1), pp. 36–42.2011.
[24] M .Levesque, M .Maier, F. Aurzada, M. Reisslein, "Fi-Wi access networks based on next-generation PON and gigabit-class WLAN technologies: a capacity and delay analysis, IEEE/ACMTrans.Net- working, http://dx.doi.org/10.1109/TNET.2013.2270360, (inpress).
[25] M. Maier, Smart grid communications over next-generation PONs, in: Proceedings of Photonics North Conference, Ottawa, ON, Canada, 2013.
[26] M Maier, "Fiber-wireless sensor networks (Fi-WSNs) fors mart grids, in: 2011 13thInternationalConference on Transparent-OpticalNetworks (ICTON), IEEE, 2011, pp.1–4.
[27] Gangxiang Shen, Rodney S. Tucker, and Chang-Joon Chae "Fixed Mobile Convergence Architectures for Broadband Access: Integration of EPON and WiMAX ", IEEE Communications Magazine • August 2007

SELF-DRIVING CAR BASED ON MACHINE LEARNING

SAMOVOZEĆI AUTOMOBIL BAZIRAN NA MAŠINSKOM UČENJU

Ernest Gungl, Zmago Brezočnik
Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, University of Maribor
ernest.gungl@um.si, zmago.brezocnik@um.si

ABSTRACT:
Who has not heard of the famous Google autonomous car without a steering wheel that takes a passenger to a destination without his or her intervention? In this paper, we present our approach toward a simple self-driving car based on machine learning. First, we need to learn a car how to drive on the road, how to deal with different types of road surfaces, how to avoid obstacles, when to stop, and the like. In order to reduce costs, we made an electric car model instead of using a real car. We equipped it only with the most necessary equipment (computer system and software, camera, sensors, wheel controller and position meter) that allows its learning and autonomous driving. The results of applying machine learning using neural networks to our self-driving car model are promising.

Keywords: *self-driving cars, machine learning, neural networks*

SAŽETAK:
Tko još nije čuo za slavni Google autonomni automobil bez upravljača koji odvozi putnika do odredišta bez njegove ili njene intervencije? U ovom radu ćemo predstaviti naše stanovište prema jednostavnom autonomnomvozilu zasnovanom na strojnom učenju. Prvo, moramo naučiti automobil kako voziti na cesti, kako se nositi s različitim vrstama cestovnih površina, kako izbjeći prepreke, kada stati, i slično. Kako bi se smanjili troškovi, napravili smo električni model automobila umjesto da koristimo pravi automobil. Opremili smo ga sa samo najpotrebnijom opremom (kompjuterski sistem i softver, kamera, senzori, kontrolor točkova i mjerač pozicije) koja omogućuje njegovuo učenje i autonomnu vožnju. Rezultati primjene strojnog učenja pomoću neuralnih mreža na naš samovozeći model automobila su obećavajući.

Ključne riječi: *samovozeći automobili, mašinsko učenje, neuronske mreže*

---

1. INTRODUCTION

The autonomous or self-driving car is a subject of many research groups [1]. The first autonomous car was developed in Japan by S. Tsugawa in 1977 [2]. The great success experienced Pomerleau's article about his self-driving car ALVINN [3]. It used neural networks. For correcting a car to a lane, artificial training examples were used. It didn't use any special algorithm for lane recognition [4]. A big step on the way to driverless cars was the DARPA grand Challenge project organized by US Defense Department's Defense Advanced Research Project Agency (DARPA). The winner was Stanford's Stanley vehicle with modified Volkswagen (2007) [2]. Google started a driverless car program in 2010. For their autonomous cars they use a combination of Google maps data, radars, and LIDAR [4, 2]. Lane recognition techniques are very important [4]. There are two sorts of autonomous cars. The first ones are purpose-made autonomous cars what means that they are

developed from scratch to be autonomous cars, the others are the ordinary cars equipped with a driving robot with legs and arms to manipulate different functions (the accelerator, the clutch-pedal, the brake-pedal, the steering wheel, the gearbox lever) in the car [1]. An autonomous car should drive from one location to another without human intervention. It is equipped with cameras, sensors, lasers, radar systems, GPS receiver, and other devices for recognizing its surroundings in combination with a machine learning that allows them to choose the right way to their destinations [2]. The Report from BI Intelligence predicts that there will be 10 million self-driving cars on the road by 2020 [5].

Although there are many highly developed autonomous cars in the world, it is still a challenge to an engineer to do his/her own self-driving car. We constructed a small model of a car equipped with a necessary electro-mechanical equipment and a computer that are needed for the self-driving car. A camera takes a picture of the lane as it seen by our car, the picture is sent to a PC computer, which modifies it appropriately for easier future processing. A neural network (forward propagation) algorithm "looks at" that picture and tells the position controller how it should rotate a steering wheel to keep the car in the lane. To learn a car, we should drive it manually (with a radio remote controller) in the lane that should have similar characteristics to the one our car will drive after it will be learned [3, 6]. A learning algorithm (back propagation) observes our driving and learns itself (sets the weights of a neural network). An autonomous car example is perfect for supervised learning because for every input (a picture taken by the camera) there is a known output (a steering wheel position) [3, 6]. That easily allows us to check whether the algorithm works or not (comparison between the real and predicted values).

In Section 2 we describe our autonomous car construction. The architecture of a neural network as an intelligent part of the car follows in Section 3. Section 4 is dedicated to collecting training examples and learning a neural network. Our work concludes with a discussion of results, problems, and future improvements.

2. THE AUTONOMOUS CAR CONSTRUCTION

Figure 1 (left) presents basic logic blocks of our autonomous car. Simple μC system reads the current value of a position detector and forwards that information to a PC computer in the phase of collecting training examples. After that, when our neural algorithm is trained (self-diving phase), the simple μC system controls the position of a steering wheel by using the steering wheel controller/driver in order to be synchronized with the prediction given by a neural network. It also controls the speed of a car by using the drive wheel controller/driver. USB camera for taking input images is connected to the PC computer.

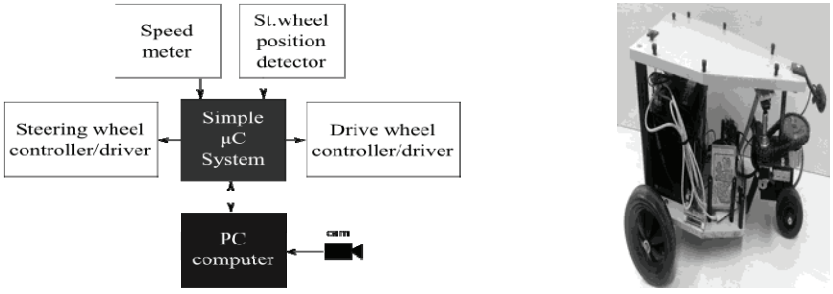


Figure 1: Block diagram (left) and our model of a self-driving car (right)

We constructed our car model like a tricycle. That construction allows that our car is very responsive at turns. Electromotor that turns "steering wheel" left and right is not connected directly to it but over a chain transmission in relation 2:1 to reduce the speed of turns. Speed is additionally reduced electrically by PWM. Reduced speed allows better position adjustment. The same wheel is also used as a drive wheel. Speed and direction of a car are controlled by a microcontroller that sends required PWM values to a drive wheel controller/driver board. Because the microcontroller system knows about the speed of a car through generated PWM values, an external speedometer isn't used. Car battery of 12 V is used as a power source. Electronic components and a PC computer are mounted on two plastic sheets that also serve to increase the rigidity of a mechanical construction. A model of a self-driving car is shown in Figure 1 (right). A camera is mounted on the plastic sheet above the steering wheel.

3. NEURAL NETWORK AS THE INTELLIGENT PART OF THE CAR

Although supported vector machines are currently more popular (require less computational power and converge quicker) [6], we decided to use traditional and powerful Neural Networks for our project. The main reason for such a decision is that we have successfully implemented Neural Network algorithm for handwritten numbers recognition in one of our previous projects from machine learning. Thus, we hoped that we could use parts of our work for our self-driving car. Artificial neural networks arose from a desire to mimic a human brain and use one algorithm to solve many different problems as opposed to classical programming where in general we need a new algorithm for each new problem [6].

For our autonomous car, we implemented a simple neural network with three layers: an input layer, hidden layer, and output layer (Figure 2). In general, more hidden layers give better results [6], but they also introduce a more expensive computation. Some popular projects with a relatively large number of features (inputs to a neural network) used only one hidden layer and results were successful [3]. Therefore, we started with default configuration with only one hidden layer.

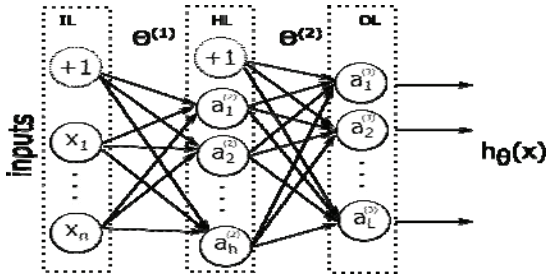


Figure 2: Neural network architecture with three layers (input, hidden and output)

Input (IL), hidden (HL), and output (OL) layer have input (x_1, x_2, …, x_n), hidden ($a_1^{(2)}$, $a_2^{(2)}$, … ,$a_n^{(2)}$), and output ($a_1^{(3)}$, $a_2^{(3)}$,…, $a_L^{(3)}$ units (circles in the picture), respectively (Figure 2). As the name suggests, input layer allows users to enter data into a neural network. In our autonomous car example, we feed our neural network with pixels taken from the car's camera. A number of input units also called features, equals the dimension of a picture that is 40 by 30 pixels. Therefore, our input layer has n = 1200 input units or features.

The rule of thumb for the number of units of a hidden layer is to use the same number of units as we have the number of input units or maybe three to four times as much as inputs units [6]. But as we have seen in one of our previous projects from machine learning (number recognition), we

used 16 times less hidden units as we had input units and algorithm worked quite well (a 95% prediction). We chose h = 75 hidden units.

What about output units for our project? Well, that's as simple as a decision about the number of input units. This number equals the number of positions we can measure for our steering wheel. Because position measuring mechanism allows the resolution to 127 steps per 180 degrees of rotation of steering wheel, our neural network should have 127 output units. Later on, we have reduced this number of positions in software (Eq. 1) to only 32, so finally our neural network has L = 32 output units.

$$Position1To32 = roundUp\left(\frac{Position1To127}{4}\right) \tag{1}$$

Input units differ from other units because they do not perform any calculations, they merely present input values to the neural network. All other units do a calculation. All activation units calculate Sigmoid function of a linear combination of their input values and weights (parameters Θ) [6, 7, 8]. Eq. 2 shows expression for the activation unit a_1 in the layer 2.

$$g\left(z_1^{(2)}\right) = \frac{1}{1+e^{-z_1^{(2)}}};\ z_1^{(2)} = x_0.\theta_{1,0}^{(2)} + x_0.\theta_{1,1}^{(2)} + \cdots + x_n.\theta_{1,n-1}^{(2)} + x_{n+1}.\theta_{1,n}^{(2)} \tag{2}$$

Outputs of activation units of the hidden layer become inputs for the activation units of the output layer (feed-forward algorithm). Finally, we calculate outputs $h_\Theta(x)$ of our neural network that is a prediction of a new steering wheel position according to a picture (features) we feed to a neural network input. We calculate parameters Θ in the phase of learning a network (back-propagation algorithm). Initial Θ values are chosen at random. We perform forward-propagation algorithm and calculate $h_\Theta(x)$. Because we have a supervision learning (outputs of all training examples are known), we calculate an error which is defined as a difference between prediction value $h_\Theta(x)$ and known output. In MATLAB we realized cost function $J(\Theta)$, that for all outputs L accumulates errors for all training examples m (Eq. 3) and its partial derivatives (back-propagation algorithm) [6, 7]. Finally, we used optimized algorithm implemented by Carl Edward Rasmussen (150 iterations) that calculates our parameters Θ [6]. To prevent the problem of an overfitting (good prediction only for training examples), we add a regularization expression at the end of the cost function with a regularization parameter λ (sl and sl+1 are the number of units in layer l and l+1, respectively) [6].

$$J(\Theta) = -\frac{1}{m}\left[\sum_{i=1}^{m}\sum_{k=1}^{L} y_k^{(i)} \log h_\Theta\left(x^{(i)}\right) + \left(1 - y_k^{(i)}\right) \log\left(1 - h_\Theta\left(x^{(i)}\right)_k\right)\right] + \frac{\lambda}{2m}\sum_{l=1}^{L-1}\sum_{i=1}^{sl}\sum_{j=1}^{sl+1}\left(\Theta_{ji}^{(l)}\right)^2 \tag{3}$$

As suggested in [6], we used matrices for the most of our neural algorithm implementation to increase the speed of calculation. Namely, matrix calculations (in comparison to FOR loops implementation) should be due to their perfect math implementation much faster [6], what is very important for computer vision that in general deals with „big data".

4. TRAINING A NEURAL NETWORK

We wrote an application in Python that runs in four different modes: camera preview, collecting training examples, learning, and self-driving. For training our neural network, we need a lot of representative training examples (lane picture + steering wheel position pairs) [3]. For picture capturing (collecting training examples and self-driving mode), the application uses OpenCV library to take images from a cam with the lowest possible resolution (160 x 120). With OpenCV,

images are additionally reduced to 40 by 30 pixels and converted to a grayscale presentation (reduced number of features) and then to a real number presentation (between 0 and 1) of pixels. Images are converted to a line vector and put into a matrix. Corresponding positions of a steering wheel are also collected in a vector and together with matrix of pictures stored in a MATLAB mat file. To solve the problem of large amount of training examples that couldn't be in the memory at the same time, the application allows to setup the maximum number of training examples per file. The process of creating training examples is shown in Figure 3 (left). When training examples are collected, MATLAB (learning mode) read those files in sequence and calculates weights of a neural network. We built a training range in our laboratory (Figure 3, right) and drove a car in both directions to get two different classes of representative training examples. Figure 4 shows a sequence of pictures as seen by our neural network. When a self-driving function is chosen, the calculated parameters are loaded by the application and the car is ready to drive autonomously.

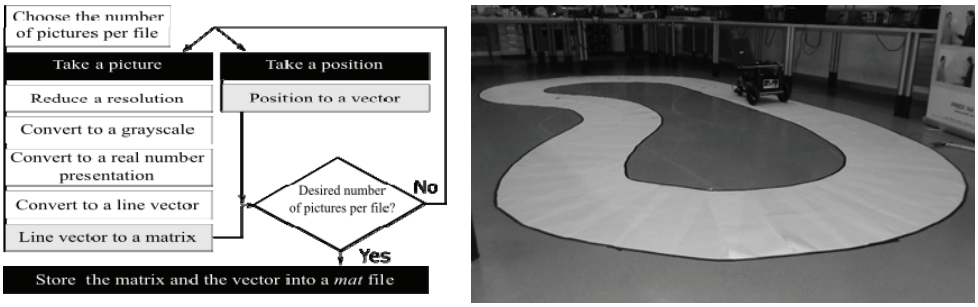


Figure 3: Creating training examples (left) and our laboratory training range (right)

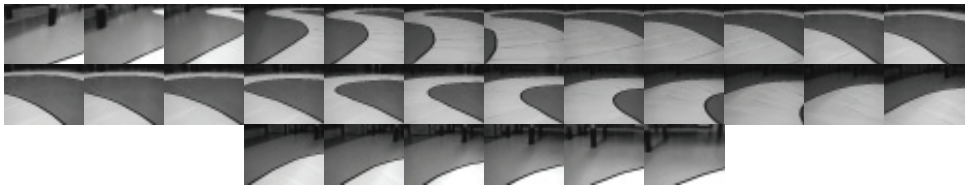


Figure 4: The sequence of the lane images (double turn) as input to our neural network

5. CONCLUSION

After collecting training examples and learning a neural network, we switched the application into a self-driving mode. We put a car in the middle of the lane. Results of driving were satisfied. The car drove very accurately along the lane. But because testing a car on the same road as we learned it is not machine learning [6, 3], we turned a training range around (all turns are mirrored) and try on the other side. The test was also adequate but for a shade worse at some turns. Then we added training examples from that lane, too. Results on critical turns improved. We again turned a training range around and results were satisfactory. Analysis of training examples shows evident imitation of predicted values of steering wheel positions by a neural network (predicted) with those that are known in advance (real) as shown in Figure 5 (left). From that picture, we can also see three regions: driving a car on the training range in one direction (the first and the last region) and in the opposite direction (range in the middle of the graph). The deviation between the real and predicted position is shown in Figure 5 (right).

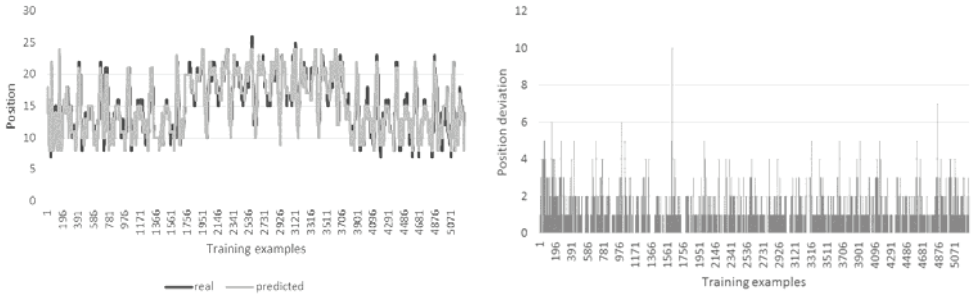


Figure 5: Evident imitation of steering wheel positions (left) and deviation between the real and predicted position for 5071 training examples (right)

Calculation (Eq. 4) shows that the average deviation between the real and predicted position for all training examples is 0.86 position unit what is quite well. If we zoom Figure 5 (left), we see an evident deviation between the real and predicted values for some training examples. We attribute those deviations to the fact that we constantly corrected direction of our car even on the straight line. We did that because we weren't skilful to drive a car with a remote controller. It was our first experience with it. Sometimes we also caught ourselves in driving out of the lane. We also did not drive our car always exactly on the same path.

$$AD = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}|real_i - predicted_i| \tag{4}$$

Our car has problems when it does not start in the middle of the lane, but on the left, on the right, or beside the road. It does not correct its location to the middle of the road where we learned it. We attribute that behaviour to the fact that it does not have training examples for that situation as mentioned in [3].

First we wish to add training examples that allow our car to correct its location on the lane when for some reasons it drifts out of the middle of the lane or out of the lane. We could produce artificial training examples as suggested in [3]. We are going to use a similar algorithm that was used for direction controlling also for the control of speed. Instead of a steering wheel position information, we would use PWM values for a particular input picture. An important part of a self-driving car is also an obstacle detection that currently is not implemented and is a subject of future completions. And finally, we are going to add GPS system that would roughly direct our car on the road network and machine learning would help it with watching a concrete live situation. Our car does not use any special algorithm for a lane recognition (neither do some real self-driving cars) [3], but it might be promising in a real environment outside of a laboratory [2, 4]. Despite the fact that our car has some unsolved problems with driving in the lane we are satisfied with our first results that allow us to do further research and improvements.

4. REFERENCES

[1] C. Pozna and F. Troester, "The Driving Robot of the ACC Autonomous Car," in *11th International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology" TMT 2007, 05-09 September, pp. 639-642*, Hammamet, Tunisia, 2007.

[2] Morgan Stanley, "Autonomous Cars: Self-Driving the New Auto Industry Paradigm," 6 November 2013. [Online]. Available: http://orfe.princeton.edu/~alaink/SmartDrivingCars/PDFs/Nov2013MORGAN-STANLEY-BLUE-PAPER-AUTONOMOUS-CARS%EF%BC%9A-SELF-DRIVING-THE-NEW-AUTO-INDUSTRY-PARADIGM.pdf. [Accessed 3 November 2015].

[3] D. A. Pomerleau, "Efficient Training of Artificial neural Networks for Autonomous Navigation," *Neural Computation,* vol. 3, no. 1, pp. 88-97, 1991.

[4] T. Ogawa in K. Takagi, „Lane Recognition Using On-vehicle LIDAR," v *Intelligent Vehicle Symposium 2006, June 13-15*, Tokyo, Japan, 2006.

[5] J. Greenough, "10 million self-driving cars will be on the road by 2020," 29 July 2015. [Online]. Available: http://www.businessinsider.com/report-10-million-self-driving-cars-will-be-on-the-road-by-2020-2015-5-6. [Accessed 1 October 2015].

[6] A. Ng, "Machine Learning," Stanford University, [Online]. Available: https://www.coursera.org/learn/machine-learning. [Accessed 4 January 2016].

[7] C. Gershenson, "Artificial Neural Networks for Beginners. Formal Computational Skills Teaching Package," Cornell University Library, 2003.

[8] R. Rojas, Neural Networks: A Systematic Introduction, Berlin: Springer, 1996.

MONITORING OF COOPERATION BETWEEN AUTONOMOUS VEHICLES IN ROUNDABOUT ENVIRONMENT

MONITORING KOOPERACIJE AUTONOMNIH VOZILA U KRUŽNOM TOKU

Lejla Banjanovic-Mehmedovic, Adnan Husejnovic, Ivan Bosankic, Suad Kasapovic
[1,4](Faculty of Electrical Engineering, University of Tuzla, Tuzla, Bosnia and Herzegovina
lejla.mehmedovic@untz.ba, suad.kasapovic@untz.ba)
[2](The Public Institution Mixed Secondary School of Electro-mechanical Engineering
Lukavac, Bosnia and Herzegovina
husejnovic.adnan@hotmail.com)
[3](IVL Firm, Tuzla, Bosnia and Herzegovina
ivan.bosankic@ivl.ba)

ABSTRACT:
There are many different applications in Intelligent Transport systems (ITS) which are being developed based upon vehicle to vehicle, and vehicle to infrastructure communication. The cooperative intelligent transport system (C-ITS) have recently received a lot of attention. C-ITS is a technical system that implements cooperative behaviour based on communication between two or more actors in the system.This paper presents a framework of wireless cooperation between the autonomous vehicles in roundabout environment. Using ZigBee communication between Arduino based autonomous vehicles and remote computer, graphical monitoring of complete cooperation processes in real-time is realized. Apart from the exchange of state information and planned behaviours, it is shown that agreement about passing throgh roundabout play the most important role in C-ITS.

Keywords: *Intelligent Transport Systems, autonomous vehicles, cooperation behavior, roundabout, monitoring, wireless communication*

SAŽETAK:
Postoji više različitih aplikacija u domenu Inteligentnih Transportnih sistema (ITS) koje su zasnovane na komunikaciji tipa vozilo-vozilo i vozilo-infrastruktura . Kooperativni inteligentni transportni sistemi (C-ITS) u zadnje vrijeme privlače značajnu pažnju. C-ITS je tehnički sistem koji implementira kooperativno ponašanje zasnovano na komunikaciji između 2 ili više učesnika. Ovaj rad prezentira bežičnu kooperaciju robotskih platformi u scenariju kružnog toka u saobraćaju. Korištenjem ZigBee komunikacije između Arduino baziranih autonomnih vozila i udaljenog računara, realizovan je grafički monitoring kompletne kooperacije u realnom vremenu. Pored razmjene informacija o statusu autonomnih vozila i planiranih ponašanja, pokazuje se da je "dogovor" o prednosti prolaska kroz kružni tok najvažnija stavka kooperativnih inteligentnih transportnih sistema (C-ITS).

Ključne riječi: *inteligentni transportni sistemi, autonomna vozila, kooperativno ponašanje, kružni tok, monitoring, bežične komunikacije*

---

1. INTRODUCTION

Cyber-Physical Systems (CPS) is emerging as an integrative research field aimed toward a new generation of engineered systems [1]. CPSs are mostly distributed parameter systems (DPSs) which combine real-time computing, embedded systems, wireless sensor networks, control theory, signal processing and knowledge creation using artificial intelligence [2].
Intelligent Transport systems (ITS) fall in the framework of cyber-physical systems due to the interaction between physical systems (vehicles) and a distributed information gathering and dissemination infrastructure. There are many applications in ITS which are being developed based upon vehicle to vehicle and vehicle to infrastructure communication [3]: vehicle tracking, collision avoidance, controller design and cooperative driving challenges.
Based on the differences in sensing the driving environment, we distinguish between autonomous vehicles and connected vehicles [4]. Autonomous vehicles rely solely on on-board sensors based on cyber-physical sensing technologies, such as radar, lidar, machine vision. Connected vehicles exchange (state and control) information with each other via Vehicle-to-Vehicle (V2V) communication or with road infrastructure via Vehicle-to-Infrastructure (V2I) communication to improve situation awareness. With respect to control, the controllers or decision making systems of Intelligent Vehicles (IV) can be either non-cooperative or cooperative. IVs with non-cooperative control strategies make control decisions for their own sake, i.e. they do not consider the responses of surrounding vehicles to the control actions and there is no negotiation nor consensus in the decision-making process. IVs with cooperative control strategies coordinate their behaviour and take into account the expected response of other vehicles when making decisions.
The cooperative intelligent transport system (C-ITS) have recently received a lot of attention. Within this scope, C-ITS is defined according to the following definition:
C-ITS is a technical system that implements cooperative behaviour based on communication between two or more actors in the system [5].
Cooperative behaviour is in turn defined as: *A cooperative behaviour includes two or more actors working towards a common or mutually beneficial goal, purpose, or benefit; enabled by interaction and information exchange between the actors* [5].
Cooperative behaviour involves actions such as sharing information, taking turns, following instructions from others, etc. Typical goals within the transport system context are, the improvement of safety and increased transport efficiency. Apart from the exchange of system state information, interaction about intentions, planned behaviours, and agreements play an important role in C-ITS.
Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems (CVIS) [6] focused on vehicle-to-vehicle (V2V) and vehicle-to-infrastructure (V2I) communication issues. In COOPERS [7,8], a set of vehicles is connected via wireless communication with the infrastructure to exchange information related to the road segment along which the vehicle is traveling, the goal being to increase road safety.
Within C-ITS, information is shared between many actors such as vehicles, infrastructures, cloud services, etc. However, only sharing information is not enough to be considered a C-ITS, cooperation and interaction between the actors in the system is also required [5].
This paper proposes the vehicle-to-vehicle (V2V) cooperation approach in roundabout environment applied on the autonomous robot vehicles using wireless communication.
The rest of this paper is organized as follows. Section 2 describes the state of the art for roundabout management. Section 3 describes the proposed cooperation architecture for vehicle-to-vehicle cooperation in roundabout environment. Section 4 describes the experiments results. Finally, Section 5 gives some concluding remarks.

2. ROUNDABOUT MANAGEMENT

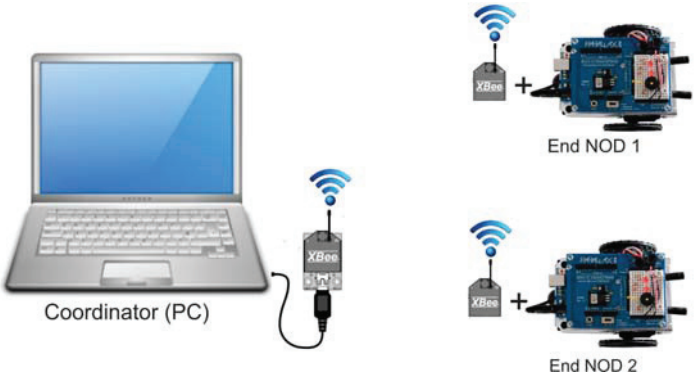
Roundabout intersections have recently become very popular, since they reduce number of conflict

points which is characteristic for classic intersections, reduce driving speeds and increase driver attention [9]. The traffic flow can be as high as 70.000 vehicles per day. In such roundabouts, waiting times are high, and collisions happen often [10]. When traffic is heavy, waiting time is a significant problem. Possible solutions include installation of traffic lights at roundabout entry, which can decrease waiting times during increased traffic flow times [11], especially if it is optimized [12].
With introduction of the smart vehicles, an alternative method for roundabout management has emerged. In paper [13], a new concept for lateral control on roundabouts is introduced, taking into account entrances, exits and lane changes inside the roundabouts. The experiments have been tested in a 3D simulator that emulates the behavior of driverless vehicle from the real world - Cybercars. Using vehicle-to vehicle communication (V2V) and vehicle-to–infrastructure (V2I), vehicle gaps can be reduced, thus increasing roundabout traffic flow [14]. Besides that, no communicating vehicles should be identified and reported by the road-side infrastructure [15]. In [16], a microscopic traffic simulator was developed to study intelligent traffic management techniques and evaluate their performance at roundabout and crossroads.

3. COOPERATION BETWEEN AUTONOMOUS VEHICLES IN ROUNDABOUT TEST-BED

The proposed cooperative architecture is based on two types of nodes (Figure 1):

- *The base node or coordinator* receives data from the end nodes and therefore, it must have the ability to monitor the process of cooperation between the end nodes.
- *The mobile sensor nodes* are autonomous mobile robot platforms, which have the ability to react to the changing state of the environment as well as to make cooperation decisions.



Figures 1: Experimental test-bed for monitoring of cooperation scenario of two autonomous vehicles

The architecture of cooperative driving of autonomous vehicles consists of three layers: vehicle level, management (cooperation level) and communication level.

1). Vehicle level. The modified Parallax BoeBot mobile robots are used as autonomous vehicles in our experiment. This mobile robot consists of the two geared motors mounted on aluminum chassis, batteries and control electronics. To achieve advanced performance and utilize Arduino libraries, BasicStamp was replaced by Arduino Uno microcontroller board, which with its small dimensions fits the BasicStamp socket on Board of Education. Arduino Uno is based on

ATmega328 microcontroller. Each autonomous vehicle has QTI sensors for line following (as road detection). For detecting obstacles and other vehicles, the robot was also equipped with Parallax Ping))) ultrasonic sensors distances.

2). Cooperation level. For turning and leaving the square, the cooperation algorithm creates the counter, which incrementing identifies the specific output, where the vehicle leaves the square. After selecting the start and end positions and priorities of autonomous vehicles (in scope of monitoring application of Coordinator node), it is necessary to open the communication port of Coordinator and sends a request for communication to autonomous vehicles (end nodes). The autonomous vehicles are waiting for a communication request and upon receipt of the same, send response as identification of two-way communication. Then, they are waiting for data from a coordinator (start position, end position and priority) and start signal. After receiving the start signal, the autonomous vehicles check the sensor condition (if there are obstacles, or not to continue the movement). The autonomous vehicle sends data about the current position during movement in the square as to Coordinator as to other autonomous vehicle. On the basis of state (priority, the selected start and end positions of each autonomous vehicles, their mutual positions in the square), the coordination between autonomous vehicles are made as long as the state of the semaphore flag don't move from state 0 to state 1.

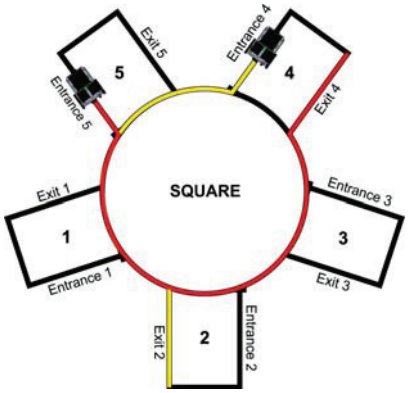
3). Communication level. The communication between the nodes are established through a wireless communication using XBee modules and ZigBee protocol. XBee is the name for a series of radio modules by Digi International designed for wireless communication. XBee radio supports AT and API mode for sending and receiving data [17]. In API mode, Xbee modules communicate using the packages. The requests are sent with the proper identification name ApiId (*ApiId.ZNET_TX_REQUEST* and *ApiId.ZNET_RX_RESPONSE*).

The each autonomous vehicle receives the series of data from Coordinator: identification of robot, starting and end positions, priority of vehicle, number of turning in roundabout environment, signal for start and semaphore level.

Each vehicle sends the next data to Coordinator: identification of robot, number of turning in roundabout environment, signal for ending, semaphore level and status of communications.

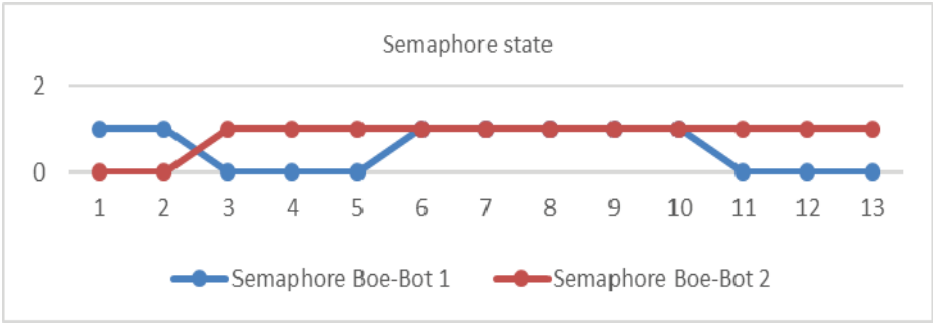
4. EXPERIMENTAL RESULTS

The one example of experimental scanario is presented on Figure 2. The first autonomous vehicle is on entry 4 and the destination position is exit 2. The another vehicle is on entry 5 and the destination position is exit 4. We assume that vehicle 2 has higher priority then vehicle 1. In this case, the vehicles have a common part of the path, from the entrance 5 toward exit 2.



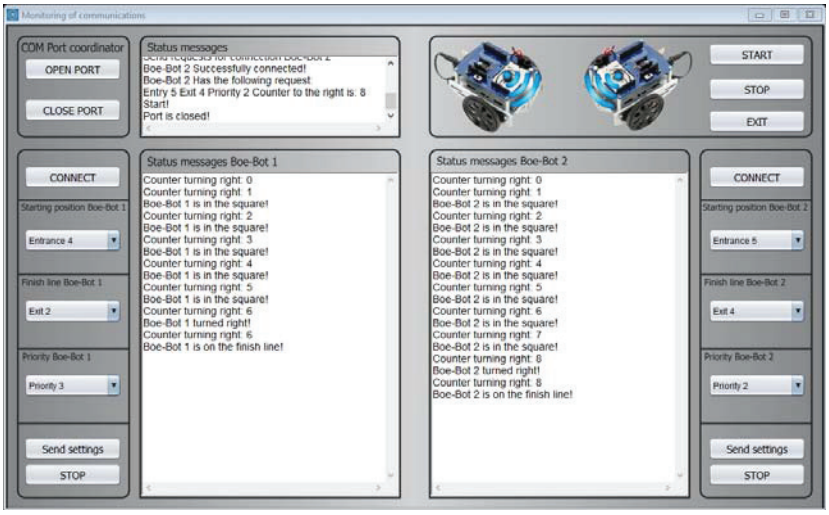
Figures 2: Example of the scenario proposed in roundabout environment.

Figure 3 presents the state of semaphore from proposed experimantal scanario. In the beginning, the vehicle 1 was moving, the semaphore was on 1, while the vehicle 2 was waiting (its semaphore flag was 0). The vehicle 1 had information that the vehicle 2 has a higher priority and it was located on entry 5. The vehile 1 stopped in order the vehile 2 could unobstructed passed. In that case, the state of vehicle 1 was 0, it sent a signal to the vehicle 2 for starting the moving and setting the state flag 1. When the vehicle 2 moved away enough, it sends a signal to the vehicle 1 to continue moving, the status flag of vehicle 1 becomes 1 and it continues until to planned exit.



Figures 3: Behavior of autonomous vehicles over the test scenario.

The monitoring of cooperation between the coordinator and two autonomous vehicles in roundabout scenario setting is presented on Figure 4. The program packet Eclipse (Java) is used for realization of the graphical monitoring of autonomous vehicle cooperation.



Figures 4: Monitoring of wireless based cooperation between robot vehicles

The option OPEN PORT opens port for communication between the coordinator and the autonomous vehicles (end nodes). The connecting of each autonomous vehicles, the choice of input, output and priority, sending selected settings and manually stoping of the individual

vehicles is done from the control panel for each vehicle. The status information for individual vehicles are displayed in the "Status messages". After the specified settings, the manually start and stop of system is done by pressing the START and STOP button.

5. CONCLUSION

This paper describes the results of vehicle-to vehicle (V2V) experiments implementing cooperative maneuvering of two autonomous vehicles. By the practical implementation of the ZigBee network through autonomous vehicles cooperation, it has been shown that it may be an appropriate starting point for the realization of complex wireless sensor networks in intelligent transport system environment. It is shown that is possible to monitor the complete cooperation processes in real-time.
Future research will be along the lines of using the presented methodology in more complex traffic situations, for example where information about a larger number of vehicles is required.

6. ACKNOWLEDGMENT

The paper is granted by Ministry of Civil Affairs of Bosnia and Herzegovina (Grant for project: "Behaviour Prediction of Cooperative Vehicles in Intelligent Transport Systems").

7. REFERENCES

[1] C. Sang, U. Suh, J. Tanik, J.N. Carbone and A. Eroglu. (Editors), *Applied Cyber-Physical Systems*, Springer 2014.
[2] Z. Song, Y.Q. Chen, C.R. Sastry and N.C. Tas, *Optimal Observation for Cyber-physical Systems*, Springer, 2009.
[3] J. Ward J, S. Worrall, G. Agamennoni and E. Nebot, *The Warrigal Dataset: Multi-Vehicle Trajectories and V2V Communications, IEEE Intelligent Transportation Systems magazine*, 2014.
[4] M. Wang, S. Hoogendoorna, W. Daamena, B. van Arema and R. Happeeb, *Game theoretic approach for predictive lane-changing and car-following control, Transportation Research Part C Emerging Technologies*, 2015.
[5] M. Aramrattana, T. Larsson, J. Jansson and C. Englund, *Dimensions of Cooperative Driving, ITS and Automation*, *IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, Korea, 2015.
[6] CVIS project." [Online]. Available: http://www.cvisproject.org/
[7] "COOPERS project." [Online]. Available: http://www.coopers-ip.eu/
[8] J. Piao and M. McDonald, *Safety impacts of variable speed limits—A simulation study*, *Proc. IEEE 11th Conf. Intell. Transp. Syst.*, Beijing, China, pp. 833–837, 2008.
[9] P. Lipar and J. Kostjansek, *Traffic Calming in Slovenia*, *3rd Urban Street Symposium*, Seattle, Washington, 2007.
[10] I. Legac, H. Pilko and N. Subic, , in *Conference proceedings Transport, Maritime and Logistics Science, 14th ICTS 2011*, Slovenia, 2014.
[11] J. Ben-Edigbe, A. Abdelgalil and I. Abbaszadehfallah, *Extent of Delay and Level of Service at Signalised Roundabout*, *International Journal of Engineering and Technology, Volume 2, No. 3,* pp. 419-424, March, 2012.
[12] Y.-J. Gong and J. Zhang, *Real-Time Traffic Signal Control for Modern Roundabouts by Using Particle Swarm Optimization-Based Fuzzy Controller*, Publisher Cornell University Library, 2014.
[13] J. P. Rastelli, V. Milan´es, T. De Pedro and Lj. Vlacic, *Autonomous driving manoeuvres in urban road traffic environment: a study on roundabouts*, in *Proceedings of the 18th World Congress The International Federation of Automatic Control*, Milan, Italy, 2011.

[14] H.K. Kim, Y.B. Lee, C.Y. and Y.P. Oh, *Development and Evaluation of Smart Roundabout Using Connected Vehicle*, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, *Vol. 34, No. 1*, pp. 243-250, 2014.

[15] V. Rajeev, and D. Vecchio, *Semiautonomous Multivehicle Safety*, *IEEE Robotics & Automation Magazine, Vol. 18, No. 3*, pp. 44–54, 2011.

[16] L. C. Bento and U. Nunes, *Intelligent traffic management at intersections supported by V2V and V2I communications*, in *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, 2012.

[17] S. Kasapovic, E. Doric, L. Banjanovic-Mehmedovic, *An approach to wireless sensor network design in home environment using ZigBee protocol, Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM), 2015 23rd International Conference,* pp.185-189*,* 2015.

WEB APLIKACIJA EDIJAGRAM

WEB APPLICATION EDIJAGRAM

M.Sci. Suad Sućeska
suad_s@bih.net.ba

SAŽETAK:
Web aplikacija eDijagram je namjenjena za kreiranje dijagrama od podataka iz raznih vrsta izvora: baza mySQL, fajl .csv, fajl .xml. Fajlovi moraju biti odgovarajuće forme, a nakon pregleda ih u aplikaciju unosi administrator aplikacije. Aplikacija omogućava: kreiranje detaljnog dijagrama od podataka iz odabrane tabele ili fajla, kreiranje 4 posebna dijagrama od podataka iz odabranih tabela i/ili fajlova, kreiranje dijagrama od podataka iz 2 do 4 odabrane tabele i/ili fajla radi poređenja. Pored prve dvije vrste dijagrama dati su tabelarno i odgovarajući podaci, a pored treće vrste dijagrama razlike vrijednosti podataka između raznih tabela i/ili fajlova.

Ključne riječi: *Web aplikacija, baza podataka, dijagram*

ABSTRACT:
Web application eDijagram (eDiagram) has purpose to create a diagram of data from different sources: database mySQL, file .csv, file .xml. The files have to have appropriate form, and after review application administrator imports them into the application. The appliaction enables: creating detailed diagram of data from selected table or file, creating 4 separated diagrams of data from selected tables and/or files, creating diagrams of data from 2 to 4 selected tables and/or files because of comparation. The data are given in the form of table near by first two kind of diagrams, and by side the third there are the data differences between different tables and/ or files.

Keywords: *Web application, database, diagram*

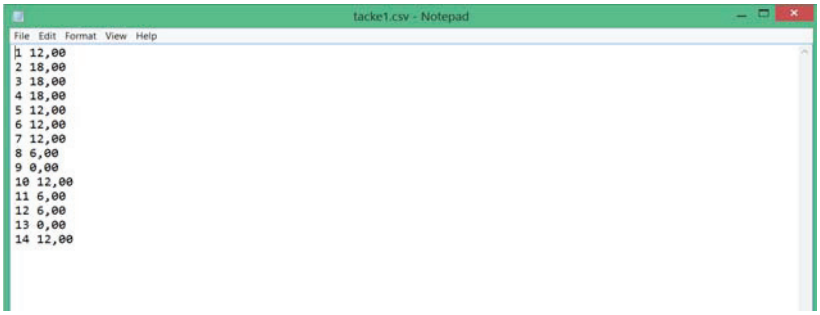
---

1. UVOD

Većina Web i LAN aplikacija prikazuje podatke iz baza ili fajlova u odgovarajućim poljima svojih formulara. Web aplikacija eDijagram je namjenjena za prikazivanje podataka, skladištenih u raznim formama na serveru na Internetu, u vidu dijagrama koji se mogu pregledati u Web browser-u. Kao izvor podataka aplikacije mogu se koristiti odgovarajuće formatirani fajlovi: csv, xml, ili baza mySQL. Aplikacija je rađena u novijim tehnologijama, pa je za njeno korištenje potrebno imati Web browser koji podržava HTML 5.

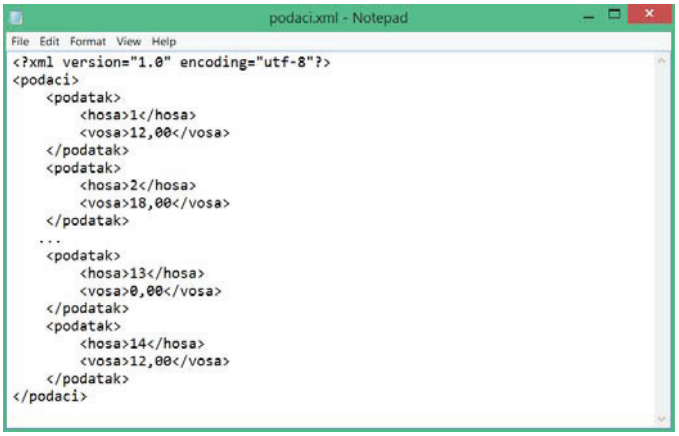
2. O APLIKACIJI

Web aplikacija eDijagram (http://aplikacije.suads.com.ba/eDijagram/) namjenjena je za prikazivanje dijagrama na Internetu od podataka iz raznih vrsta izvora: baza SQL, fajl .csv, fajl .xml. Fajlovi moraju biti odgovarajuće forme. Podaci u .csv fajlu trebaju biti slijedeće forme:



Slika 1: Fajl .csv sa prikazom forme podataka

Iz slike 1 se vidi da su podaci za X i Y osu razdvojeni sa blank (' ') karakterom. Prva kolona sadrži brojeve tipa integer koji se prikazuju na X osi. Druga kolona sadrži decimalne brojeve, na 2 decimale, a decimalni separator je zarez (,). Podaci u .xml fajlu trebaju biti slijedeće forme:

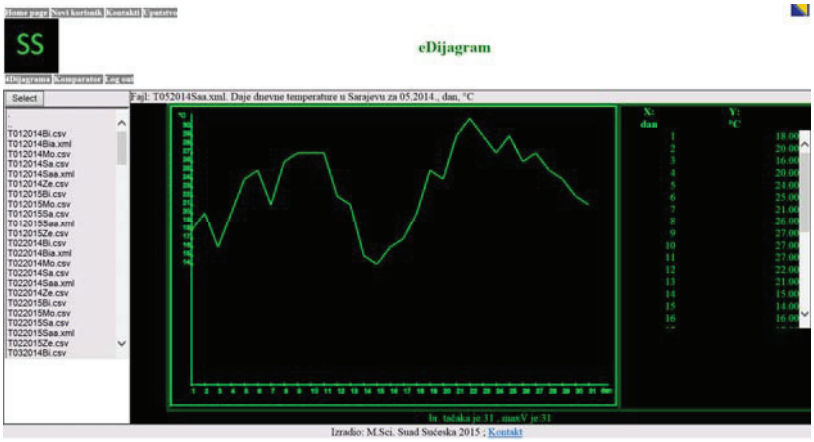


Slika 2: Fajl .xml sa prikazom forme podataka

Slika 2 prikazuje formu podataka za korištenje u aplikaciji eDijagram. Nakon xml header-a je tag <podaci> koji sadrži podatke pojedinih tačaka dijagrama koji se nalaze unutar tagova <podatak> i </podatak>. Podaci tačaka za X osu su smješteni unutar tagova <hosa> i </hosa> i tipa su integer. Podaci tačaka za Y osu su smješteni unutar tagova <vosa> i </vosa>, decimalnog su tipa sa 2 decimale i decimalni separator je takođe zarez (,).
Za dobivanje podataka za tačke dijagrama iz baze potrebno je u bazi kreirati odgovarajuću tabelu koja obavezno treba da sadrži polja sa koordinatama tačaka (X, Y), pri čemu polje X treba biti tipa integer, a polje Y decimalnog tipa sa dvije decimale. Podaci iz baze za dijagram se dobivaju pomoću odgovarajućeg .txt fajla.
Zbog sigurnosnih razloga fajlove, nakon pregleda, u aplikaciju unosi administrator. Aplikacija omogućava brzo i detaljno pregledanje podataka, kao i poređenje više dijagrama.

2.1. Opis rada aplikacije

Korištenje Web aplikacije eDijagram zahtijeva registriranje i logiranje korisnika, što se može uraditi na polaznoj stranici aplikacije. Ova stranica sadrži gornji menu, pozdravni tekst i polja za logiranje na aplikaciju. Gornji menu sadrži dugmad: 'Home page', 'Novi korisnik', 'Kontakti' i 'Uputstvo'. Pomoću dugmeta 'Home page' se korisnik uvijek može vratiti na polaznu stranicu. Dugme 'Novi korisnik' služi za dobivanje stranice za registraciju novog korisnika, gdje je potrebno unijeti: ime, prezime, email i lozinku, pa kliknuti na dugme 'Kreiraj'. Dugme 'Kontakti' omogućava bilo kom posjetiocu dobivanje stranice pomoću koje može da kontaktira voditelje aplikacije. Dugme 'Uputstvo' služi za dobivanje stranice sa uputstvom, koje treba obavezno pročitati prije prvog korištenja aplikacije.
Korištenje aplikacije zahtijeva logiranje registrovanog korisnika. Logiranje se vrši na polaznoj stranici. Dio podataka za logiranje je dodatno zaštićen SHA1 enkripcijom. Nakon uspješnog logiranja korisnika dobiva se stranica 'Dijagram' koja sadrži dijagram koji može prikazati podatke iz bilo kog fajla (csv, xml, txt) odabranog u okviru 'Fajl'. Podaci X i Y ose se prikazuju i u okviru 'Podaci' pored dijagrama.



Slika 3: Dijagram 'Podaci' sa podacima iz fajla T052014Saa.xml

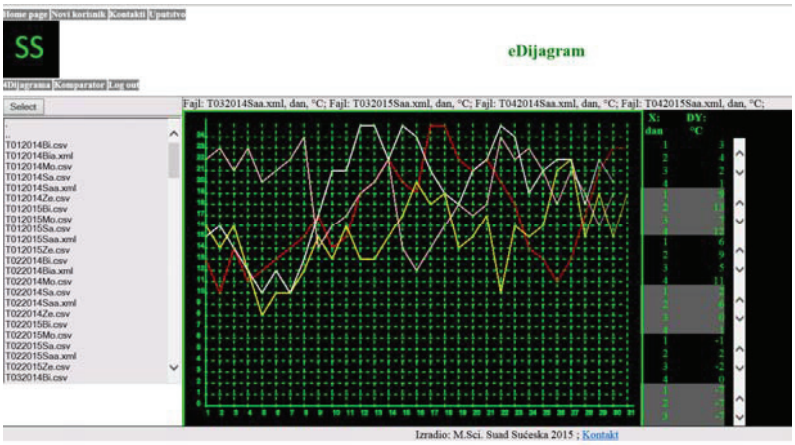
Iz donjeg menu-ja mogu se pokrenuti stranice sa dijagramima '4Dijagrama' i 'Komparator', kao i odlogirati sa aplikacije pomoću dugmeta 'Logout'. Klik na dugme '4Dijagrama' daje stranicu koja može prikazivati istovremeno 4 dijagrama sa odgovarajućim okvirovima 'Podaci x' smještenim pored
dijagrama. Odabir fajlova sa podacima se vrši iz padajućih listi 'Fajl x' smještenih iznad odgovarajućeg dijagrama 'Dijagram x'. Ova stranica omogućava dobivanje do 4 dijagrama iz odabranih fajlova sa podacima smještenim u tabeli desno od svakog dijagrama. Za tačnije dijagrame je potrebno koristiti stranicu 'Dijagram'.



Slika 3: Stranica '4Dijagrama' sa podacima iz fajlova T052014Saa.xml, T072014Saa.xml, narudzbeT.txt, T022014Sa.csv

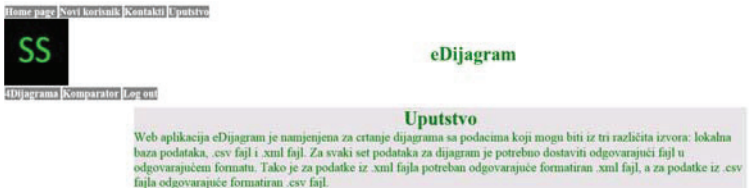
Klik na dugme 'Komparator' daje stranicu koja može na jednom dijagramu istovremeno prikazati podatke do 4 odabrana fajla, tako da se oni mogu međusobno porediti. Za ovaj dijagram X i Y vrijednosti svih odabranih fajlova trebaju biti jedne jedinice mjere (KM, °C,...). Za odabir više od jednog fajla potrebno je, pri klikanju na naziv fajla, na tastaturi držati pritisnuto dugme 'Ctrl'. Nakon odabira fajlova klik na dugme 'Select' kreira u okviru 'Dijagrami' odgovarajuće dijagrame. Sa desne strane dijagrama nalaze se brojne vrijednosti razlika Y vrijednosti podataka fajlova (DY) za određene vrijednosti na X-osi. Redni brojevi tabela sa razlikama odozgo na dole se odnose na slijedeće odabrane fajlove:

Redni broj tabele	Razlika podataka fajl – fajl
1.	2 - 1
2.	3 - 1
3.	3 - 2
4.	4 - 1
5.	4 - 2
6.	4 - 3



Slika 4: Dijagram 'Komparator' sa podacima iz fajlova: T032014Saa.xml, T032015Saa.xml, T042014Saa.xml, T042015Saa.xml

Za aplikaciju je napravljeno i odgovarajuće uputstvo (Slika 5), koje se dobiva klikom na dugme Uputstvo koje treba pročitati prije registracije korisnika.



Slika 5: Stranica sa uputstvom za korištenje aplikacije

3. PRIMJER PRIMJENE APLIKACIJE

Aplikacija eDijagram omogućava prezentiranje podataka putem Interneta u formi dijagrama i tabela. Mogu se prezentirati bilo kakvi numerički podaci dati u fajlovima (csv, xml) u formama datim na slikama 1 i 2, ili iz tabele iz baze mySQL i fajla (txt).
Primjer primjene Web aplikacije eDijagram je prikazivanje dnevnih temperatura u određenom mjesecu u četiri grada BiH (Bihać-Bi, Mostar-Mo, Sarajevo-Sa, Zenica-Ze) za period od 01.2014 do prethodnog mjeseca tekuće godine. Prvobitno su podci za fajlove (T*MjesecGodinaGra*.xml) dobivani sa Web site-a: http://www.accuweather.com/en/ba/sarajevo/ (slovo 'a' iza 'Gr') . Zbog bolje tačnosti traženi su podaci od Federalnog hidrometeorološkog zavoda Sarajevo. Ovi podaci su dati u fajlovima: T*MjesecGodinaGr*.csv. Aplikacija je naročito zgodna za slikovit prikaz vrlo aktuelne teme 'Promjena temperature okoline' za što se može koristiti dijagram 'Komparator'. Na ovom dijagramu se odmah mogu uočiti promjene temperature za isti period u odnosu na prethodno izmjerene vrijednosti. Kako se radi o Web aplikaciji dostupnoj na Internetu, pregledanje dijagrama ovih podataka je omogućeno svakom korisniku putem Interneta. Zainteresovani korisnici mogu kontaktirati voditelja aplikacije i dostaviti podatake za kreiranje dijagrama temperatura, ili nekih drugih mjerenih vrijednosti (SO2, CO, CO2, ...) za svoje mjesto prebivališta ili za neke druge mjerene vrijednosti.

4. ZAKLJUČAK

Aplikacija eDijagram omogućava prikazivanje dijagrama na Internetu kreiranih od podataka iz raznih vrsta izvora: baza SQL, fajl .csv, fajl .xml. Fajlovi moraju biti odgovarajuće forme. Dijagram 'Komparator' je naročito zgodan za poređenje podataka iz više fajlova (do 4 fajla). Fajlove može poslati bilo koji korisnik, a u aplikaciju ih unosi administrator aplikacije. Aplikacija je rađena u novijim tehnologijama, pa je za njeno korištenje potrebno imati Web browser koji podržava HTML 5.

5. LITERATURA

[1] http://www.accuweather.com/en/ba/sarajevo/
[2] http://www.w3.org/Style/CSS/current-work
[3] Federalni hidrometeorološki zavod Sarajevo: Podaci o temperaturama za period 01.2014-10.2015
[4] Brett McLaughlin, *What is HTML 5?,* O'Reilly Media, 2011
[5] Estelle Weyl, *What's New in CSS 3,* O'Reilly Media, 01.09.2012
[6] Nicolas C. Zakas, *Professional Java Script for Web Developers - 3 edition*, Wrox, 18.01.2012

MOBILE APPLICATION FOR EMAIL ENCRYPTION USING AES ALGORITHM

MOBILNA APLIKACIJA ZA ŠIFRIRANJE E-MAILA POMOĆU AES ALGORITMA

Lucija Brezočnik
Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Maribor, Slovenia
lucija.brezocnik@um.si

ABSTRACT:
This paper presents a mobile application we have developed for the exchange of encrypted emails on Android smartphones. Despite the fact that it is not safe to send sensitive information in emails, users still do it. A miscreant could capture the email content and/or attachments without the user even being aware of it. Because of that, we implemented the application in such a way that a user can write an email and then send it in an encrypted form. The user can decide to encrypt only some parts of the text in the email and send other parts unencrypted. It is also possible to send an email with or without an encrypted attachment. A recipient can see the email in his/her mail client in encrypted form. Our application may be used to decrypt the message or the attachment. The application is written in Java and encryption is done by using AES (Advanced Encryption Standard) algorithm.

Keywords: *email encryption system, AES algorithm, email protocols, mobile application*

SAŽETAK:
Ovaj rad predstavlja mobilnu aplikaciju koju smo razvili za razmjenu šifriranih emailova na Android pametnim telefonima. Unatoč činjenici da nije sigurno slati osjetljive podatke putem emailova, korisnici to i dalje čine. Osoba neprimjerenog ponašanja mogla bi snimiti sadržaj emaila i/ili dodatke a da korisnik toga uopće nije svjestan. Iz tog razloga, implementirali smo aplikaciju na takav način da korisnik može napisati email i zatim ga poslati u šifriranom obliku. Korisnik može odlučiti da šifrira samo neke dijelove teksta u emailu a poslati druge dijelove nešifrirane. Također je moguće poslati email sa ili bez šifriranog dodatka. Primatelj može vidjeti poruku u šifriranom obliku u njegovoj/njenoj ulaznoj pošti emaila. Naša aplikacija se može koristiti za dešifrovanje poruke ili dodatka. Aplikacija je napisana u Java a šifriranje se vrši pomoću AES (Advanced Encryption Standard) algoritma.

Ključne riječi: *sistem za šifriranje emaila, AES algoritam, email protokoli, mobilne aplikacije*

---

1. INTRODUCTION

Through years, email exchange has become one of the most used communication channels and nowadays people use it on a daily basis. Because of its ubiquity, the content of emails has become a desirable data source for miscreants. Unfortunately, webmail services (e.g., Gmail, Yahoo! Mail, Outlook) do not offer true end-to-end encryption, therefore, we have developed a mobile application for Android smartphones, which offers the end-to-end encryption to avoid emails being eavesdropped on while travelling through networks. Encryption in the application is done by

using the AES algorithm implemented in Java. AES is a symmetric algorithm, meaning that the same key is used both for data encryption and decryption [6]. In general, the email exchange is carried out by using multiple protocols. The SMTP protocol is used for email delivery and for retrieving emails, either IMAP or POP3 is used [2]. The difference between these two is that IMAP does not delete an email when it is read, but POP3 generally does. In our application, we used the SMTP and the IMAP protocols.

Section 2 gives a short overview of the AES algorithm. Our application is presented in Section 3. Section 4 highlights the most important application's features and proposes its further extensions.

2. AES ALGORITHM

The AES algorithm, originally known as Rijndael, is a cryptographic algorithm, which was published by NIST (National Institute of Standards and Technology) in 2001 [1, 6], intended for replacing DES (Data Encryption Standard) [3]. It is a symmetric block cipher which uses 128, 192, and 256 bits long cipher keys for processing data blocks of 128 bits. Depending on the key lengths, AES has 10, 12, or 14 rounds. Because of the different key lengths, it is common for the algorithm to be referred as AES-128, AES-192, and AES-256. It is not a Feistel cipher and is fast in both software and hardware implementations [5].
The structure of AES can be explained in four main steps [1]. The first step includes derivation of the round keys from the cipher key. The second, third, and fourth steps refer to the rounds. In the first round (the second step) the *AddRoundKey* transformation is executed. The remaining rounds, except the last one, execute transformations in the following sequence: *SubBytes*, *ShiftRows*, *MixColumns*, and *AddRoundKey* (the third step). In the last step, the final round is processed by transformations in the following sequence: *SubBytes*, *ShiftRows,* and *AddRoundKey*.

2.1. The *SubBytes* transformation

In this non-linear byte substitution, each byte in a State (i.e. a 4x4 column-major order matrix of bytes) is replaced with SubByte $s_{i,j}$ using the Rijndael S-box as shown in Figure 1.

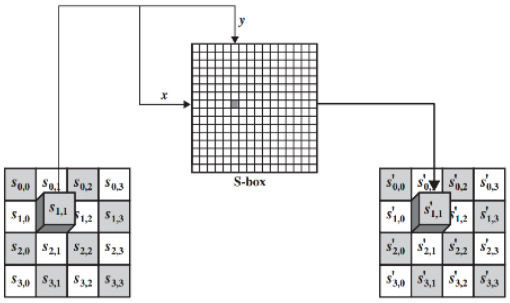


Figure 1: SubBytes transformation [6]

2.2. The *ShiftRows* transformation

The *ShiftRows* is a transformation that processes the rows of the State. The last three rows are shifted by different offsets as shown in Figure 2. The first row remains unchanged.

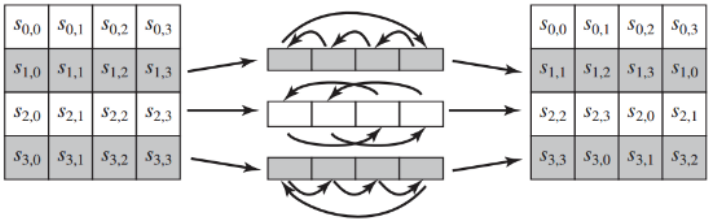


Figure 2: ShiftRows transformation [6]

2.3. The *MixColumns* transformation

As the name implies, this transformation is done on the columns of the State, mixes their data and produces new columns (Figure 3). The transformation takes all of the columns of the State and multiplies them individually with a fixed constant matrix. The mixing is important for obtaining a diffusion on the level of bits.

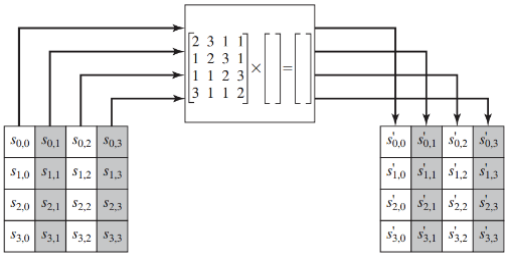


Figure 3: MixColumns transformation [6]

2.4. The *AddRoundKey* transformation

This transformation combines a column of the round subkey with a column of the State by using a simple bitwise XOR operation, as shown in Figure 4.

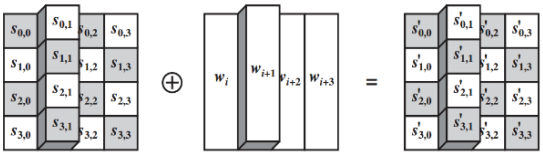


Figure 4: AddRoundKey transformation [6]

3. APPLICATION

We developed a mobile application, which offers various functionalities. There are mainly three key sets of application, which are presented in the following subsections. The home screen of the application is shown in Figure 5. In our application, we used the SMTP protocol for sending emails and the IMAP protocol for retrieving them. For a successful presentation of the application functionalities, the use of Google Mail service is needed. Selected parts of the message and/or

attachments are encrypted by using the AES algorithm and the Base64 algorithm. The key exchange must be done by using the safe channel.

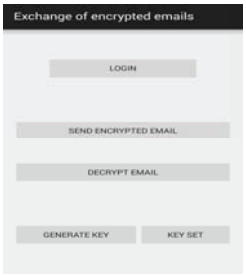


Figure 5: Home page of application

3.1. Key generation and key selection

The application enables the user to generate a 128-bit, 192-bit or the 256-bit key, depending on which button is selected, as shown in Figure 6. The generated key is stored in the selected mobile phone directory. If the user does not correspond to any folder, a new one can be created by using the application. The key selection is enabled by clicking the *Key set* button. After selection, the phone directories are available for search to find the right key. To select the desired key, the user clicks on the file and approves the selection in the alert dialogue.

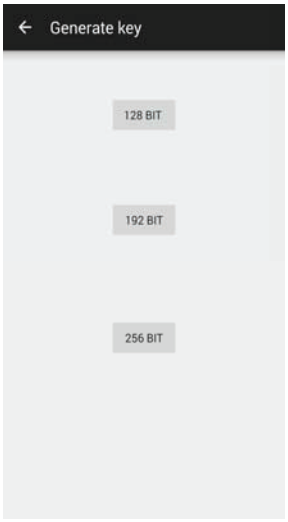


Figure 6: Generate key screen

3.2. Sending encrypted emails

The sending of encrypted emails is very simple. The user composes an email in the same way as in any other application. In the first text field, he/she enters the email subject, in the second one comma-separated email addresses of recipients if there are more than one, and the email content in the last text field. The latter adjusts its height according to the user input. Figure 7a presents an example of a composed email.

The decision on which part or parts of the text to encrypt is very easy. After selecting a word or words in a message the user has to click on the *Encrypt* button. After the button is pressed, the text is wrapped with the custom XML tag, as shown in Figure 7b.

The user can also add attachments and send them in encrypted form. To choose the desired attachment, he/she has to press the *Attachment* button and find it in the phone directory.

When the message is written and the email parts to be encrypted have been chosen, the email is ready to be sent. To send such a prepared email, the user must click on the *Send* button.

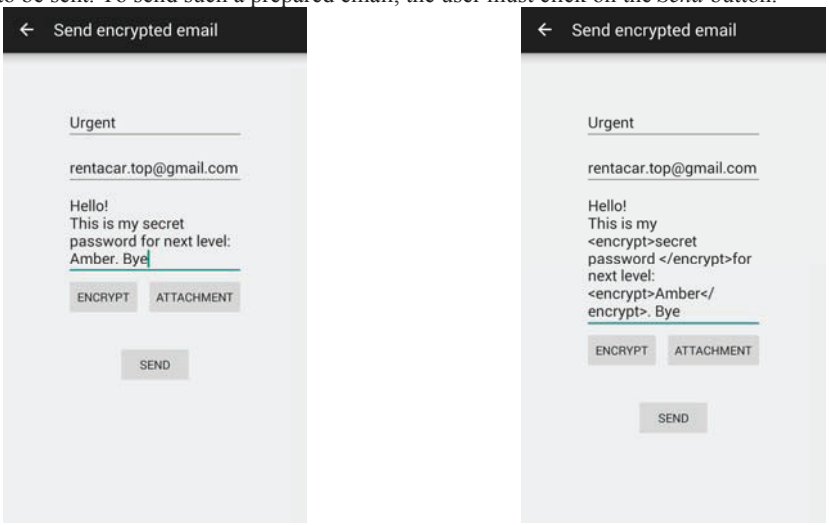


Figure 7: (a) Example of a composed email (b) Example of a composed email with custom XML tags

3.3. Decryption of an encrypted email

The recipient receives an email in his/her inbox in the encrypted form as shown in Figure 8. The part or parts of the message that were not surrounded by custom XML tags are seen in a non-encrypted form.

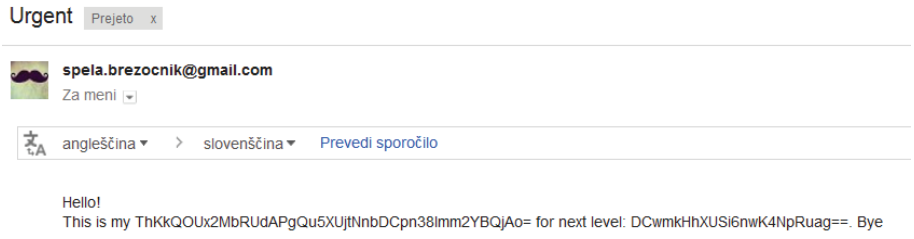
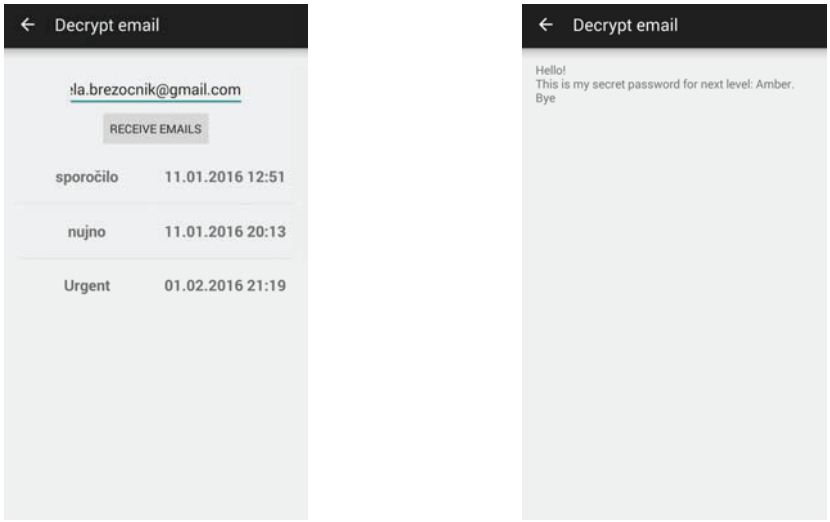


Figure 8: Example of a received encrypted email in recipients' inbox

For decryption, the application has to acquire the desired email from the user's inbox. Because a user always knows which mail he/she wants to decrypt, but has multiple emails in his/her inbox, it is not optimal to acquire all of the emails from the inbox, but just emails from the desired sender. As shown in Figure 9a, the user enters the email address of a sender, from which he/she wants to decrypt a received encrypted email, and clicks on the *Receive emails* button. The result of this request is a list of emails from the specific sender with displayed email subject and date of the receipt.

The user can now click on any of the emails on the list and decrypt them, (Figure 9b) but it is crucial to choose the right key for decryption—it must be the same as the one that was used for encryption. Otherwise, the chosen email will not be decrypted correctly. If an email contains an encrypted attachment, the application decrypts it too and saves it to *../Download* folder on the user's mobile phone.



(a) (b)

Figure 9: (a) List of emails from required sender (b) Example of decoded email

4. CONCLUSION

A mobile application for exchange of encrypted emails was successfully developed. The application was tested by users who placed an emphasis on its ease of use. One of the most important areas the application is highly recommended to use is a sensitive area of information privacy.

We would like to highlight the following features of the developed application. The distinction between what part or parts of the text must be encrypted and which not, is enabled. Encryption is done with AES algorithm that is implemented in Java. Encryption of email attachments is enabled, as well as decryption of encrypted parts of the text and attachments. It is feasible to choose a different key for encryption of each email to increase the level of security.

It is possible to upgrade this application with a feature for choosing other encryption algorithms, such as RC6, Rabbit, etc. or use mixed AES and ECC encryption algorithm that has been proposed by Chen JunLi et al. [4].

5. REFERENCES

[1] Announcing the Advanced Encryption Standard (AES), available at http://csrc.nist.gov/publications/fips/fips197/fips-197.pdf, 2016.
[2] T. Dean, *Network+ Guide to Networks*. Cengage Learning, 2010.
[3] N. Ferguson, B. Schneier and T. Kohno, *Cryptography Engineering – Design Principles and Practical Applications*, Indianapolis, IN: Wiley Publishing, 2011.
[4] C. JunLi, Q. Dinghu, Y. Haifeng, Z. Hao and M. Nie, Email encryption system based on hybrid AES and ECC, *Wireless Mobile and Computing (CCWMC 2011), IET International Communication Conference on*, 2011, 347-350.
[5] B. Schneier, J. Kelsey, D. Whiting, D. Wagner, C. Hall, N. Ferguson, T. Kohno and M. Stay, *The Twofish Team's Final Comments on AES Selection*, 2000.
[6] W. Stallings, Advanced Encryption Standard, *Cryptography and Network Security – Principles and Practice*, (Boston: Prentice Hall, 2011) 148-183.

PREDLOG SOFTVERSKOG SISTEMA ZA AUTOMATSKO REAGOVANJE NA ANOMALIJE U MREŽI I UŽIVO HVATANJE PODATAKA POTREBNIH ZA ISTRAGU DIGITALNE FORENZIKE

A PROPOSAL OF SOFTWARE SYSTEM FOR AUTOMATIC RESPONSE TO ANOMALIES IN NETWORK AND LIVE CAPTURE OF DATA NECESSARY FOR DIGITAL FORENSICS INVESTIGATION

Mladen Vukašinović
ANU Crne Gore, mladen@ac.me
Univerzitet Mediteran u Podgorici, Fakultet za Informacione Tehnologije,
Vaka Đurovića b.b. 81000 Podgorica, fit@unimediteran.net

SAŽETAK:
Digitalna forenzika ima svoju tehničku komponentu, odnosno alate u obliku odgovarajućeg softvera i hardvera, ali i svoju pravnu komponentu u smislu poštovanja određenih principa, pravila i metodologije. Na tržištu postoji veliki broj komercijalnih alata tako da izbor adekvatnih alata zavisi od njihove upotrebljivosti kod konkretnih slučajeva.
Ovaj rad opisuje predlog softverskog sistema koji bi automatski reagovao na anomalije u mreži i sakupljao podatke koji bi mogli da se iskoriste u svrhe istrage digitalne forenzike. Na osnovu eksperimentalnih rezultata su napravljene skripte i alarmi koji će ubudeće automatski da reaguju na pojavu anomalija u računarskim sistemima.

Ključne riječi: *digitalna forenzika, digitalni podaci, zaštita računarske mreže.*

ABSTRACT:
Digital forensics has a technical component, and tools in the form of appropriate software and hardware, but also its legal component to respect certain principles, rules and methodologies.
On the market there are a number of commercial tools so that the choice of appropriate tools depends on their usability in specific cases.
This paper proposes a software solution that could be installed on the computer system and that would automatically respond to anomalies in the system and automatically collecting digital data.
All data would be stored and later could be in the original composition to inspect and examine whether it might serve as evidence for Digital Forensics.

Keywords: *digital forensics, digital data, the protection of computer networks.*

---

1. UVOD

Digitalna forenzička istraga se suočava mnogobrojnim problemima.
Digitalno porijeklo koje opisuje prethodno ili istorija digitalnog objekta je ključna osobina za forenzičku istragu
Digitalni dokaz je potreban ali ne i dovoljan uslov za građenje slučaja. Ovakvi dokazi su krhke prirode i lako mogu biti modifikovani, uništeni i izgubljeni[3].

Prilikom očuvanja digitalnih dokaza, istražitelji se susrijeću sa mnogim problemima kada pokušavaju da dobiju podatke sa diska pokrenutog sistema ili memorije koristeći samo softverski pristup. Softver mora da komunicira sa operativnim sistemom svo vrijeme dok sistem radi. Istražitelji su predložili razna hardverska i softverska rešenja. Da bi ona bila u potpunosti djelotvorna potrebno je da budu instalirana prije nego se incident desi.
U ovom radu je predloženo softversko rešenje koje bi bilo instalirano na računarskom sistemu i koje bi automatski reagovalo na anomalije u sistemu i automatski sakupljalo digitalne podatke. Svi podaci bi bili sačuvani i kasnije bi se mogli u originalnom sastavu pregledati i ispitati da li mogu poslužiti kao dokazi za digitalnu forenziku.

2. DIGITALNA FORENZIKA

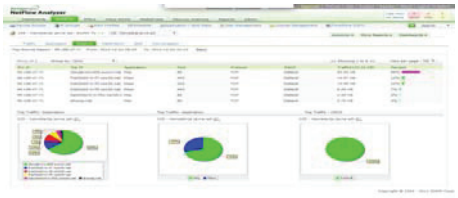
Digitalna forenzika je nauka indetifikacije, prikupljanja, čuvanja i prezentovanja podataka koji su elektronski procesuirani i smješteni na kompjuterskim medijima uz očuvanje integriteta originalnog dokaza.
Digitalna forenzika je relativno nova naučna disciplina koja ima potencijale da značajno utiče na specifične tipove istraga i krivičnih gonjenja. Ona se značajno razlikuje od tradicionalnih forenzičkih disciplina. Alati i tehnike koje ova disciplina zahtijeva lako su dostupni svakome. Digitalni forenzičari vrše analizu i ispitivanje dokaza na svakoj lokacije a ne samo u kontrolisanim uslovima.
Digitalna forenzička istraga je proces koji korišćenjem naučnih metoda i tehnologije, razvija i testira razne teorije kroz hipoteze, analizirajući digitalne uređaje, medije, koji predstavljaju relevantan dokaz u sudskom postupku. Glavni cilj istrage je da se utvrdi istina o protivpravnoj aktivnosti kao i način izvršenja krivičnog djela. Digitalni dokaz u tom slučaju predstavlja digitalni objekat koji sadrži pouzdane informacije koje podržavaju hipotezu ili je pobijaju[5].
Digitalna forenzička istraga se zasniva na principima digitalne forenzičke nauke.
Kada se dogodi digitalna kriminalna radnja, digitalni forenzičari rade uviđaj, izlaze na mjesto zločina, prave fotografije zateknutog stanja i pišu izvještaje sa relevantnim informacijama koji se tiču te kriminalne radnje.

3. ISTRAŽNE METODOLOGIJE

Istražne metodologije obuhvataju forenzičke analize svih vrsta digitalnih istraga kriminalnih radnji.
Cilj definisanja modela digitalnih istraga je da se oblikuje i standardizuje proces digitalne istrage[1].
One trebaju da bude primjenljive na sve vrste trenutnih digitalnih zločina kao i na one koji će se desiti u budućnosti. Takođe one moraju da prevaziđu ograničenja dosadašnjih modela i da se obezbijedi standardizovan okvir koji podržava sve faze istrage. Treba uzeti i uobzir da se digitalni dokazi ne nalaze isključivo na računarima već i na raznim drugim medijima (mobilni telefoni, elektronska pošta, veb stranice, socijalne mreže itd. [2].
Postoje više vrsta istražnih metoda(modela): The DFRWS model, The Abstract Digital Forensic Model, The Ciardhuain model,The Beebe i Clark model,The Kruse i Heiser model, DOJ model, The Carrier i Spafford model, Model "Odgovor na incident" i The Eoghan Casey model.
Za sve njih je zajedničko: Identifikacija/Rukovanje, Forenzička akvizicija, Forenzička analiza i Prezentacija.
Ovi modeli trebaju da pomognu digitalnim istražiteljima da u zavisnosti od slučaja primjene neki od datih modela na konkretan slučaj istrage.
U ovom radu su korišćeni modeli: Model "Odgovor na incident" i The Eoghan Casey model.

4. SOFTVERSKI SISTEM ZA AUTOMATSKO REAGOVANJE NA ANOMALIJE U MREŽI I UŽIVO HVATANJE PODATAKA

Eksperimenti su rađeni na Pentiumu® Dual-Core CPU E5200 @ 2.50GHz, 2.50GHz, 2,00GB RAM 32-bit Operating System, x64-based processor, Microsoft Windows 7.
Na njemu je instalirana Whiresharka Versija 1.12.2 (v1.12.2-0-g898fa22 from master-1.12) i korišćen je NetFlow Analyzera 9.8.5 Licence tip free.
NetFlow Analyzer je instaliran na HP Serveru Blade. Flow informacije su se prikupljale sa centralnog rutera koji se nalazi na granici između Interneta i intranet računarske mreže, kao i sa uređaja koji je predstavljen kao firewall. Izvršen je unos imena hostova u DNS softvera.
Na Intel® Pentiumu® Duo CPU @ 2.80GHz, 2.79GHz, 0.768GB RAM,
Microsoft Windows XP professional (SP2) Versija 2002., je instaliran preko Live Cd-a Back Treck 3 version 7.1.12.
Upad je izvršen korišćenjem nasumično izabranog računara iz mreže. Na računaru je pokrenut live cd BackTrack 3. Računar je dobio slobodnu adresu preko dhcpa. Preko softvera NetFlow Analyzera je detektovana ip adresa koja nije registrovana u dnsu. Zatim je pokrenut i softver Whireshark koji je "uživo hvatao podatke" sa te ip adrese. Na slici 1. dat je prikaz podatka koje je uhvatio NetFlow Analyzer. Na graficima je. prikazana ip adresa koja nije unešena u dns, 89.188.47.71. Sa nje je izvršen napad u mreži. Na graficima možemo da vidimo koje su bile korišćene odredištne ip adrese, njihovi brojčani i slovni prikazi, aplikacije koje su korišćene, portove, protokole, veličine podataka, vrijeme kada se to desilo, itd. Sa slike 1. se može zaključiti da host komunicira sa raznim hostovima van računarske mreže po portovima 80 koje koristi aplikacija http i portovima 443 koje korist https aplikacija. Protokol koji se koristio za komunikaciju je TCP. Vidi se i ostvareni saobraćaj ka svakoj adresi. Ovdje je dat prikaz slovni adresa koje komuniciraju koji je povučen sa DNS servera.



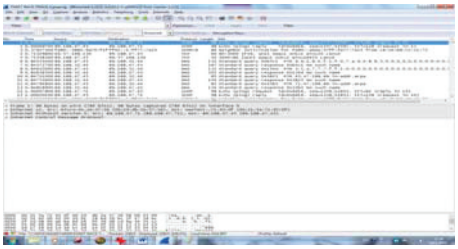
Slika 1: Pregled ostvarenih konekcija određenog hosta sa DNS prikazom



Slika 2: Pregled ostvarenih konekcija određenog hosta bez DNS prikaza

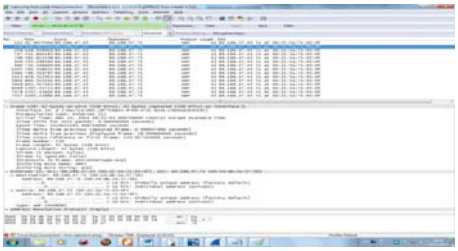
Sa slike 2. se može zaključiti da razni hostovi van računarske mreže komuniciraju sa nadlgedanim hostom po portovima 80 koje koristi aplikacija http i portovima 443 koje korist https aplikacija. Protokol koji se koristio za komunikaciju je TCP. Specijalini procesi DSCP, 101001 i CS4. Vidi

se i ostvareni saobraćaj ka svakoj adresi u MB (KB) i procentualni saobraćaj ka pojedinačnim adresama.



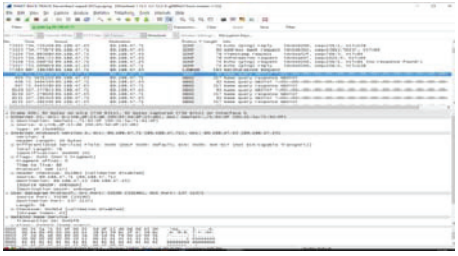
Slika 3: Uhvaćeni paketi svih ip adresa u mreži bez korišćenja filtera

Sa slike 3. se može vidjeti koje sve adrese komuniciraju sa našim hostom. Koji protokoli se koriste u komunikaciji. Koja je dužina poslatih paketa. Opis pojedinačnih komunikacija.



Slika 4: Uhvaćenih paketi sa praćenog hosta ARP protokol

Sa slike 4. se može zaključiti da je praćeni host koristio ARP protokol u komunikaciji sa našim hostom. I da je učestalo ponavljao isti zahtjev.
Iz analize sadržaja paketa se može vidjeti da praćeni host sa IP adresom 89.188.47.71 ima MAK (fizička adresa) adresu 00:19:db:2e:57:56.



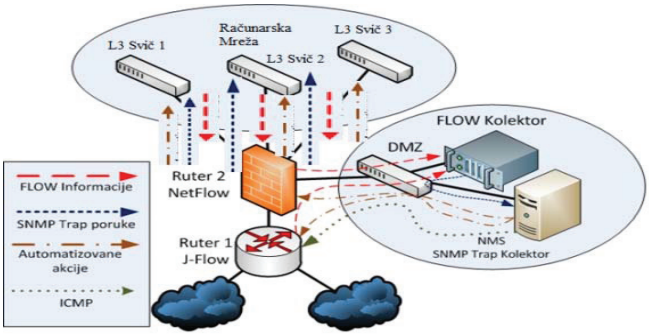
Slika 5: Uhvaćeni paketi sa praćenog hosta NBNS, LANMAN protokoli

Korišćeno je filtiranje podataka sa sledećim komandama u Whiresharku:
(ip.addr eq 89.188.47.71), (ip.addr eq 89.188.47.45 and ip.addr eq 89.188.47.71) .
Na prethodnim slikama se može vidjeti izvorna ip adresa, odredištna ip adresa, protokoli koji su korišćeni, informacije o dužini paketa, vrijeme, mac (fizička adresa) računara (slika 4), itd.
Na osnovu dobijenih podataka hvatanja podataka uživo možemo zaključiti da je sa praćenog hosta izvršeno skeniranje hostova računarske mreže, učestalo slanje ping paketa kao i pokušaj otkrivanja

pasvorda na hostovima. Za sve ove radnje su korišćeni protokoli TCP, UDP, ARP, NBNS, SMB, SNMP, LANMAN.
Pošto imamo informaciju o IP adresi i MAC adresi hosta onda smo u mogućnosti i da detektujemo fizičku lokaciju računara sa kojega je izvršen upad u mrežu.
Dok Wireshark hvata podatke u unutrašnjem saobraćaju mreže, Netflow Analyzer hvata podatke koji se ostvaruju van mreže do praćenog hosta.
Kombinacijom ova dva softvera u uživom hvatanju podataka mi dobijamo informacije koje je sve komunikacije imao neki host sa ostalim hostovima u i van mreže.
Slabosti ovog sistema su:
1.Wireshark mora da se pokrene od strane administratora po detektovanju prijetnje
2. Netflow Analyzer ne hvata podatke u unutrašnjem saobraćaju.

4.1 Automatsko slanje alarma i automatsko pokretanje Wiresharka

U ovom poglavlju je napisano šta treba da se uradi da bi se sam proces hvatanja podataka uživo automatizovao.
Na osnovu dobijenih eksperimentalnih rezultata dat je predlog programskog koda u visual bejziku koji može pri detektovanju prijetnji da pokreće Wireshark, kao i programski kodovi koji mogu da blokiraju protokole, portove i aplikacije koje predstavljaju prijetnju po računarski sistem. Dat je predlog povezivanja interfejsa svičeva u računarskoj mreži sa Netflow Analyzerom tako da bi mogao da se detektuje saobraćaj i unutar računarske mreže a ne samo spolja i dat je predlog pravljenja alarma koji će ubuduće da reaguju na pojavu protokola, portova, aplikacija i dscp procesa koji predstavljaju prijetnju po računarski sistem pri napadu iz mreže.
NetFlow Analyzer posjeduje mogućnost da osim slanja upozorenja na e-mail adresu administratora pošalje i SNMP trap poruke. U ovom slučaju koristi se jedan od djelova SNMP protokola, trap. Trap je poruka u jednom smjeru od mrežnih uređaja kao što su ruteri, svičevi ili serveri (NetFlow Analyzer server/kolektor) koja se šalje do SNMP trap kolektora (menadžer aplikacije). Trap kolektor prestavlja kombinaciju hadvera i softvera u cilju prikupljanja poruka. SNMP trap poruka prenosi se preko UDP protokola, što znači da nepostoji garancija da će poruka biti registrovana od strane trap kolektora. Najpoznatije SNMP trap poruke su link up, link down i agent reset (kada se uređaj ponovo uključi). Pored uobičajenih poruka postoje specijalne trap poruke koje kreiraju razni proizvođači hadvera i softvera i daju im raznolika značenja. NetFlow Analyzer kolektor ima set SNMP trap poruka koje se kreiraju na osnovu zadatih parametara, kada se dogodi upozorenje koje je predhodno kreirano. Upozorenja koja se kreiraju od strane NetFlow Analyzer servera mogu se proslijediti putem trap poruka do Trap kolektor servera. Trap kolektor server ima mogućnost čuvanja i skladištenja upozorenja na jednom mjestu.
Pripreme za prosleđivanje SNMP trap poruka[4] se sastoje od sledećih koraka:
• konfiguracije UDP porta na strani trap kolektora na kojem će se vršiti osluškivanje (broj UDP porta je 162),
• izbora tipa upozorenja SNMP Trap na strani NeFlow Analyzer servera i parametara kako bi se poruke mogle prosleđivati do trap kolektor server. Parametri uključuju unos sledećih vrijednosti:
• <Ime Servera> - Ime ili IP adresa servera na kojem je pokrenut trap kolektor.
• <Broj Porta> - Broj porta na kojem trap kolektor osluškuje trap poruke.
• <Community String> - String karaktera koji se zadaje trap kolektoru.
Pomoću SNMP trap poruka i trap kolektora sa definisanjem filtera i odgovarajućih akcija moguće je automatizovati odgovore na pristigla upozorenja.



Slika 6: Elementi sistema automatskog upravljanja – Povezivanje svičeva sa Flow kolektorom

Flow kolektor (agent) je zasnovan na Ubuntu (Linux) server operativnom sistemu, a SNMP Trap kolektor (menadžer) na Windows operativnom sistemu, dok su programi koji vrše izmjenu konfiguracije uređaja pisani u Visual Basic script programskom jeziku sa CLI komandama uređaja.

Primjer sistema automatskog upravljanja implementiran je na heterogenoj arhitekturi.

Mrežni uređaji sa slike 13, L3 svič 1, L3 svič 2, L3 svič 3 eksportuju informacije do flow koleketora. Predhodno je potrebno izvršiti konfiguraciju ovih uređaja kako bi na pravi način mogli da eksportuju flow informacije. Flow kolektor prikuplja flow informacije koje dobija od strane eksportera sa uređaja i vrši njihovu analizu i prikaz. Na flow kolektoru se podešavaju filteri koji u slučaju prekoračenja praga vrijednosti ili ostvarivanja zadatih parametara kreiraju poruke upozorenja. Poruke upozorenja sa informacijama šalju se email porukom administratoru ili SNMP Trap porukom do NMS (*network management system*) servera, odnosno SNMP Trap kolektora [5].



Slika 7: Šematski prikaz procesa upravljanja

Visual Basic skripta (Programski kod 1) koju će pokrenuti trap kolektor ima za cilj da pokrene Wireshark program.

Programski kod 1 za pokretanje Wiresharka

```
set WshShell = WScript.CreateObject("WScript.Shell")
WshShell.Run "C:\ putty.exe 89.188.47.45  -l
korisnik -pw lozinka"
WshShell.Run "C:\Program Files\Wireshark>Wireshark.exe"
WshShell.AppActivate "89.188.47.45  - Wireshark "
WshShell.SendKevs "ctrl+e"
```

Visual Basic skripta (Programski kod 2) koju će pokrenuti trap kolektor ima za cilj da blokira IP protokol na hostu.

Programski kod 2 za blokiranje LANMAN protokola na hostu

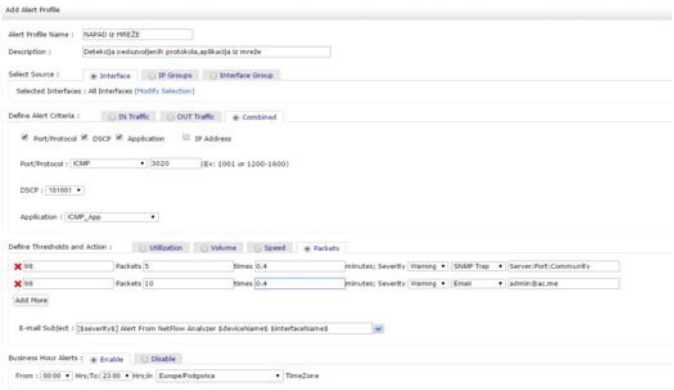
```
set WshShell = WScript.CreateObject("WScript.Shell")
WshShell.Run " C:\ putty.exe 192.168.1.1 -l korisnik -pw lozinka "
WScript.Sleep 5000
WshShell.AppActivate "192.168.1.1 - PuTTY"
WshShell.SendKeys "enable{ENTER}"
WshShell.SendKeys "password{ENTER}"
WshShell.SendKeys "configure terminal{ENTER}"
WshShell.SendKeys "int GigabitEthernet 0/3{ENTER}"
WshShell.SendKeys "access-list  host_access_in extended deny LANMAN host 89.188.47.71 any
eg  any{ENTER}"
WshShell.SendKeys "exit{ENTER}"
WshShell.SendKeys "exit{ENTER}"
```

Programski kod 3 za blokiranje ARP protokola na hostu

```
set WshShell = WScript.CreateObject("WScript.Shell")
WshShell.Run " C:\ putty.exe 192.168.1.1 -l korisnik -pw lozinka "
WScript.Sleep 5000
WshShell.AppActivate "192.168.1.1 - PuTTY"
WshShell.SendKeys "enable{ENTER}"
WshShell.SendKeys "password{ENTER}"
WshShell.SendKeys "configure terminal{ENTER}"
WshShell.SendKeys "int GigabitEthernet 0/3{ENTER}"
WshShell.SendKeys "access-list  host_access_in extended deny ARP host 89.188.47.71 any eg
any{ENTER}"
WshShell.SendKeys "exit{ENTER}"
WshShell.SendKeys "exit{ENTER}"
```

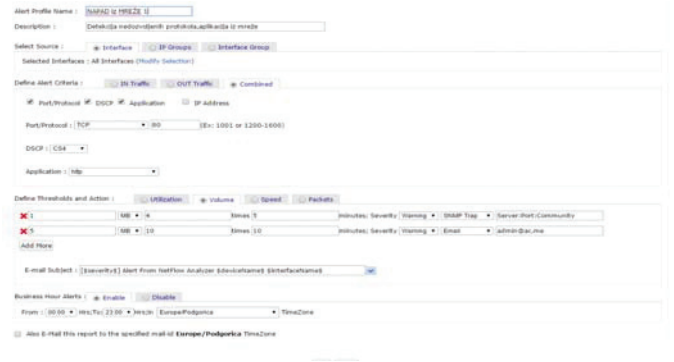
Programski kod 4 za blokiranje TCP protokola na hostu

```
set WshShell = WScript.CreateObject("WScript.Shell")
WshShell.Run " C:\ putty.exe 192.168.1.1 -l korisnik -pw lozinka "
WScript.Sleep 5000
WshShell.AppActivate "192.168.1.1 - PuTTY"
WshShell.SendKeys "enable{ENTER}"
WshShell.SendKeys "password{ENTER}"
WshShell.SendKeys "configure terminal{ENTER}"
WshShell.SendKeys "int GigabitEthernet 0/3{ENTER}"
WshShell.SendKeys "access-list  host_access_in extended deny TCP host 89.188.47.71 any eg
any{ENTER}"
WshShell.SendKeys "exit{ENTER}"
WshShell.SendKeys "exit{ENTER}"
```



Slika 8: Slanje SNMP Trap poruke upozorenja za ICMP protokol, DSCP i ICMP aplikaciju

Na slici 8 dat je primjer kreiranja upozorenja i prosleđivanja putem SNMP Trap poruke kao i putem emil poruke. Poruke će biti kreirane kada se ispune parametri koji su zadati. U ovom lučaju poruke će se poslati ako ICMP aplikacija bude slala paket dužine 98 pet puta u roku od 40 sekundi.



Slika 9: Slanje SNMP Trap poruke upozorenja za TCP protokol, DSCP-CS4 i HTTP aplikaciju

Na slici 9 dat je primjer kreiranja upozorenja i prosleđivanja putem SNMP Trap poruke kao i putem emil poruke. U ovom slučaju poruke će se poslati ako http aplikacija bude pravila saobraćaj od 1 MB i ako se to ponovi 4 pet puta u roku od 5 minuta biće poslata Trap poruka, a ako saobraćaj bude 5 MB i ako se to 10 puta ponovi u roku od 10 minuta Email poruka će biti poslata administrator.

Akcije na pristigle trap poruke mogu biti različite samo treba da se odredi koja akcija će se izvršiti na odgovarajući tip upozorenja.

Korišćenjem ovakvog tipa softverskog upravljanja omogućilo bi se automatsko reagovanje na anomalije u mreži i uživo hvatanja podataka koji bi pomogli u istrazi digitalne forenzike.

5. ZAKLJUČAK

Digitalna forenzička istraga je proces koji korišćenjem naučnih metoda i tehnologije, razvija i testira razne teorije kroz hipoteze, analizirajući digitalne uređaje, medije, koji predstavljaju relevantan dokaz u sudskom postupku. Glavni cilj istrage je da se utvrdi istina o protivpravnoj aktivnosti kao i način izvršenja krivičnog djela. Digitalni dokaz u tom slučaju predstavlja digitalni objekat koji sadrži pouzdane informacije koje podržavaju hipotezu ili je pobijaju.
Svaki proces ima neki svoj početni korak.Početni korak može, da bude signaliziran od strane alarma nekog sistema za zaštitu. Sistem za detektovanje napada ili sistem za detektovanje zlonamjernih aktivnosti, senzora zaštite na mreži, administratora sistema nakon pregleda log fajlova. Može biti iniciran na tradicionalan način, u slučaju da korisnik prijavi moguću kriminalnu aktivnost, što za posledicu ima izlazak istražnog tima na fizičko mesto krivičnog djela.
Eksperimentisanje-predstavlja probanje novih i neisprobanih tehnika i metoda koje su zasnovane na naučnoj osnovi uz rigorozno dokumentovanje za potrebe testiranja. Rezultat eksperimenta može biti ili odbijen ili opšte prihvaćen.
U ovom radu je dat predlog automatskog reagovanja softverskog sistema na uočene anomalije u računarskom sistemu. Sistem bi automatski prikupljao uživo podatke koji bi bili sačuvani i reagovao bi protiv-mjerama na određeni incident.

4. LITERATURA

[1] Reith M., Carr C., Gunsch G., An examination of digital forensics, *International Journal of Digital Evidence, 1(3), 2002, 12-374267-4.*
[2] Prosise C. Mandia K, Incident response and computer forensics*, second edition 2003.*
[3] Casey E., Digital Evidence and Computer crime, *Academic press, San Diego 2000*.
[4] CSCare, Inc., "Trap Console - User's Guide", *San Jose, CA 95134, September 2006.*
[5] Eoghan Casey, *Handbook of Digital Forensics and Investigation, Elsevier Academic Press 2010, ISBN 978-0.*

IZAZOVI U PRIMJENI DIGITALNIH CERTIFIKATA U CRNOJ GORI

CHALLENGES IN DEPLOYMENT OF DIGITAL CERTIFICATES IN MONTENEGRO

Kenan Duraković[1], Ivana Ognjanović[2], Ramo Šendelj[2],
[1]Ministarstvo za informaciono društvo i telekomunikacije Crne Gore,
kenan.durakovic@mid.gov.me
[2]Univerzitet Donja Gorica, {ivana.ognjanovic, ramo.sendelj}@udg.edu.me

---

SAŽETAK:

Proces izdavanja digitalnih certifikata za potrebe državnih organa u Ministarstvu za informaciono društvo i telekomunikacije započeo je u decembru 2009. godine, kada je formirano certifikaciono tijelo za izdavanje digitalnih certifikata za državne organe. Ovim aktivnostima je prethodilo donošenje zakonske i podzakonske regulative koja uređuje pitanja elektronskog dokumenta, elektronskog potpisa i elektronske trgovine uopšte, čime je stvoren ambijent za elektronsko poslovanje u Crnoj Gori.

Godinu dana kasnije, Pošta Crne Gore je registrovana za izdavanje digitalnih certifikata za javne potrebe za građane i pravna lica. Veliki broj aplikacija i web servisa elektronske uprave zahtijevaju i omogućavaju autentifikaciju i digitalno potpisivanje korišćenjem digitalnog identiteta.

U ovom radu se daje analiza trenutne situacije upotrebe i korišćenja digitalnih certifikata, kao i pregled pravne regulative koja propisuje obavezujuću primjenu elektronskog potpisa. Uvidom u analizu trenutne situacije, primjetno je da trend izdatih certifikata nedovoljno raste. Nedovoljan broj servisa koji su ponuđeni građanima i pravnim licima, očigledno nedovoljno "popularna" cijena digitalnih certifikata, ali i nedovoljna upućenost građana, znatno usporava ovaj pozitivni trend.

Takođe, navedena analiza se u radu koristi kao osnova za predlog smjernica i preporuka koje bi bilo neophodno implementirati kako bi unaprijedili i podstakli upotrebu digitalnih certifikata sposobnih da ubrzaju i pojednostave segmente poslovanja i upravljanja i racionalno trošenje resursa.

Ključne riječi: *Certifikaciono tijelo, digitalni certifikati, elektronski potpis, interni CA*

ABSTRACT:

The process of issuing digital certificates to government authorities within the Ministry for Information Society and Telecommunications has begun in December 2009th, when a certification authority was established for issuing digital certificates to government authorities. These activities have been preceded by the adoption of laws and regulations governing the issue of electronic documents, electronic signature and electronic commerce in general, which created the environment for e-business in Montenegro.

A year later, the Montenegro Post Office has been registered for issuing digital certificates for public needs to citizens and legal entities. A large number of applications and web services of electronic government require and offer authentication and digital signing using the digital identity.

This paper presents an analysis of the situation which is current in practice and use of digital certificates, as well as an overview of legislation that sets out mandatory application of electronic

signatures. By the analysis of the current situation, it is noticeable that the trend of issued certificates growth is insufficient. Moderate number of services offered to citizens and legal entities, obviously not "popular" price of digital certificates, as well as insufficient awareness of citizens, significantly slows down this positive trend.
Also, this analysis is used in this paper as the basis for the proposal of the guidelines and recommendations that would be necessary to implement, in order to enhance and encourage the use of digital certificates, which have potential to accelerate and simplify the business segments, management and rational expenditure of resources.

Keywords:*Certification Authority, Digital Certificates, Electronic Signature, Internal CA*

---

1. UVOD

Infrastruktura javnog ključa- PKI (eng. *Public Key Infrastructure*) je skup hardvera, softvera, ljudi, politika i procedura potrebnih za kreiranje, upravljanje, distribuciju i upotrebu digitalnih sertifikata. PKI sistem čini kombinacija tehnologije enkripcije i servisa, a sastoji se od više međusobno povezanih aplikacija i alata za upravljanje i nadgledanje. Da bi bilo moguće digitalno potpisati dokumenta potrebno je imati digitalni sertifikat. Digitalne sertifikate izdaju sertifikaciona tijela. Sertifikaciono tijelo (eng. *Certification Authority*) izdaje digitalne sertifikate organizacijama ili pojedincima poslije potvrde njihovog identiteta [1].

Elektronski potpis predstavlja važan segment elektronskog poslovanja. To je tehnologija čijom se primjenom omogućava provjera autentičnosti potpisnika, zaštita integriteta podataka koji se prenose i neporečivost elektronskog potpisivanja dokumenta. Primjena je omogućena korišćenjem digitalanog sertifikata kojim se elektronskim putem potvrđuje veza između podataka za provjeru elektronskog potpisa i identiteta potpisnika. Pravno gledano, digitalni potpis ima istu važnost kao i svojeručni potpis. Digitalni certifikat se često naziva i virtuelnom ličnom kartom [2].

Savremene računarske mreže se uglavnom baziraju na Internet tehnologijama i protokolima koji su podložni mogućim napadima koji narušavaju bezbjednost podataka i identitet subjekata. Ključni problem leži u činjenici da podaci egzistiraju u elektronskom obliku koji nije neposredno vidljiv i zbog toga postaju izloženi novim vrstama napada, a osnovni razlozi, za to, leže u samim osnovnim karakteristikama arhitekture računarske mreže Internet/Intranet tipa: (i) TCP/IP protokoli nisu projektovani da zadovolje zahteve za zaštitom informacija; (ii) Internet je mreža sa komutacijom paketa, u kojoj se jednostavno pristupa informacijama koje se prenose i moguće je ubacivanje poruka nepoznatog porekla i sadržaja. U cilju rešavanja navedenih problema, uporedo sa razvojem računarskih mreža, razvijaju se i specijalizovani softverski i hardverski sistemi zaštite [3].

Crna Gora je kao mala država, koja je u proteklom periodu praćena recesijom, ostvarila značajan iskorak u razvoju ICT-a, jer se prema istraživanju Svjetskog ekonomskog foruma u 2015. godini po konkurentnosti upotrebe informaciono komunikacionih tehnologija, nalazi na 56. mjestu od 143 države koje su obuhvaćene istraživanjem. Većina ciljeva, koji su zacrtani u Strategiji razvoja informaciong društva do 2016. godine (http://www.mid.gov.me/biblioteka/strategije) su ispunjeni, pogotovo u oblasti obrazovanja, zdravstva, socijalnog staranja i elektronske uprave. U julu 2014. godine Crna Gora je prva u regionu donijela Zakon o elektronskoj upravi (http://www.mid.gov.me/
biblioteka/zakoni) i zakonski regulisala način postupanja organa i pravnih lica, kad u vršenju svojih nadležnosti ostvaruju komunikaciju sa građanima elektronskim putem.

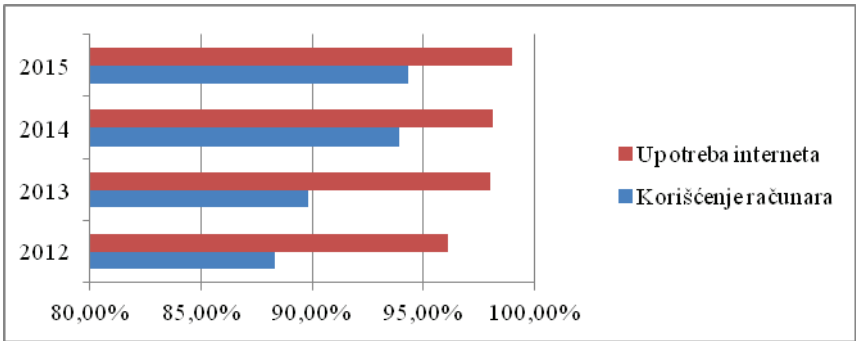
Cilj ovog rada je da se prikaže analiza trenutne upotrebe i nivoa korišćenja digitalnih certifikata u Crnoj Gori, kao i pregled pravne regulative koja propisuje obavezujuću primjenu elektronskog

potpisa. Navedena analiza se takođe koristi kao osnova za predlog smjernica i preporuka koje bi bilo neophodno implementirati, kako bi unaprijedili i podstakli upotrebu digitalnih certifikata.

Rad je organizovan na sljedeći način: U poglavlju 2 se navodi presjek trenutnog stanja upotrebe PKI sistema u Crnoj Gori kroz navođenje pravnog okvira, kao i podataka o uspostavljanju internog i javnog certifikacionog tijela. Poglavlje 3 je fokusirano na primjenu digitalnih certifikata, dok se poglavlje 4 odnosi na mjere za unapređenje primjene i dalji razvoj. Poglavlje 5 zaključuje rad sa osnovnim zaključcima i identifikovanim smjernicama za veću primjenu i upotrebu digitalnih certifikata u Crnoj Gori.

2. UPOTREBA PKI SISTEMA U CRNOJ GORI

U današnje vrijeme sigurnost informacija je veoma delikatna stvar, jer sve više i više se informacije šalju elektronski i neke od njih zahtijevaju posebno rukovanje i kvalitetne standarde. [4, 5] Kada je u pitanju istraživanje o upotrebi informaciono-komunikacionih tehnologija u Crnoj Gori u 2015.godini, koje je sproveo Zavod za statistiku Crne Gore u skladu sa metodologijom Eurostat-a, a koje obuhvata domaćinstva[1] sa najmanje jednim članom koji ima između 16 i 74 godine starosti, 55,9% domaćinstava ima pristup računaru, 40,6% ima pristup lap top-u, dok 94,9% ima mobilni telefon. U Crnoj Gori 67,5% anketiranih domaćinstava je izjavilo da ima pristup Internetu kod kuće. Kada su u pitanju preduzeća[2], koje je sprovedeno na reprezentativnom uzorku od 600 preduzeća na teritoriji Crne Gore, 94,3% preduzeća ima pristup računaru, dok 99% preduzeća ima pristup internetu. U odnosu na prethodno godine, evidentno je da se procenat pristupa i korišćenja računara i inzterneta iz godine u godinu povećava, kako je prikazano na Slici 1.



Slika 1. Korišćenje računara i pristup internetu u preduzećima u Crnoj Gori

U Crnoj Gori postoje dva certifikaciona tijela za izdavanje kvalifikovanih digitalnih certifikata. To su Ministarstvo za informaciono društvo i telekomunikacije koje izdaje digitalne certifikate za potrebe državne uprave i Pošta Crne Gore kao javno certifikaciono tijelo za građane i pravna lica u Crnoj Gori**.** Interno certifikaciono tijelo- CA (engl. *Certification authority*) u Ministarstvu za

[1] http://www.monstat.org/userfiles/file/ICT/2015/Upotreba%20ICT%20u%20domacinstvima%20u%202015%20godini.pdf
[2] http://www.monstat.org/userfiles/file/ICT/2015/Upotreba%20ICT%20u%20preduzecima%20u%202015%20%20godini%20%20Saopstenje.pdf

informaciono društvo i telekomunikacije uspostavljen je sa ciljem da se primjenom digitalnih certifikata omogući sigurna i pouzdana korespodencija između državnih organa.

Ministarstvo za informaciono društvo i telekomunikacije Crne Gore u cilju izgradnje bezbjednog informacionog društva, predlaže i sprovodi aktivnosti iz svoje nadležnosti, kako bi građanima i pravnim licima omogućilo efikasnu i bezbjednu upotrebu javnih servisa. U nastavku ovog poglavlja biće naveden pravni okvir koji reguliše oblast korišćenja elektronskog potpisa, kao i dat opis uspostavljanja i funkcionisanja internog i javnog certifikacionog tijela u Crnoj Gori.

2.1. Zakoni i podzakonski akti koji regulišu ovu oblast

Crna Gora je u prethodnom periodu sprovela sve neophodne aktivnosti u okviru pravnog regulisanja korišćenja elektronskog dokumenta i elektronskog potpisa. Zakoni kojima je regulisana ova oblast su: (i) Zakon o elektronskom potpisu (http://www.mid.gov.me/biblioteka/zakoni); (ii) Zakon o elektronskoj trgovini (http://www.mid.gov.me/biblioteka/zakoni); (iii) Zakon o elektronskom dokumentu (http://www.mid.gov.me/biblioteka/zakoni).

Izmjene i dopune ovih zakona vršene su u kontinuitetu, a uslijedilo je i usvajanje ostalih podzakonskih akata koja uredjuju ovu oblast: (i) Uredba o djelokrugu, sadržaju i davaocu usluga certifikovanja elektronskih potpisa za organe uprave (http://www.mid.gov.me/biblioteka/uredbe); (ii) Pravilnik o mjerama i postupcima upotrebe i zaštite elektronskog potpisa, sredstava za izradu elektronskog potpisa i sistema certifikovanja (http://www.mid.gov.me/biblioteka/pravilnici); (iii) Pravilnik o evidenciji, registru i obaveznom osiguranju davalaca usluga certifikovanja (http://www.mid.gov.me/biblioteka/pravilnici).

2.2. Interno certifikaciono tijelo

Proces izdavanja digitalnih certifikata za potrebe državnih organa u Ministarstvu za informaciono društvo i telekomunikacije započeo je u decembru 2009. godine, kada je formirano certifikaciono tijelo za izdavanje digitalnih certifikata za državne organe. Ministarstvo za informaciono društvo Vlade Crne Gore upravlja infrastrukturom javnih ključeva za interne potrebe državne uprave Crne Gore. U okviru internog CA je za potrebe davanja usluga certifikovanja uspostavljeno jedno certifikaciono tijelo, koje izdaje certifikate državnim službenicima [6].

Infrastruktura PKI sistema internog CA sastoji se iz dva dijela: (i) organizaciono uređenje službi; i (ii) serverska i bezbjednosno - komunikaciona infrastruktura.

Interni CA za obavljanje svoje djelatnosti koristi jedan izdavač certifikata sa samo-potpisanim certifikatom (engl. *single rooted Certification Authority*), povjerljivu infrastrukturu i angažuje pojedince odgovorne za:

- ukupni rad (*Policy Management Authority* - PMA);
- izvođenje postupaka upravljanja certifikatima i upravljanje infrastrukturom, privatnih kriptografskih ključeva, servera i programa (*Operations Authority* - OA); i
- identifikaciju korisnika (*Registration Authority* - RA) [7].

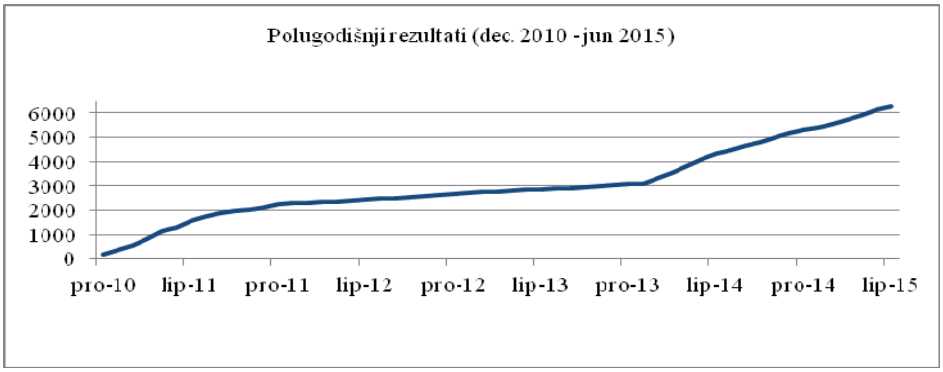
2.3. Javno certifikaciono tijelo

Certifikaciono tijelo (CA) koje izdaje digitalne certifikate za građane i pravna lica uspostavljeno je 2010. godine kod Pošte Crne Gore A.D. Podgorica. Javni CA izdaje sledeće digitalne certifikate: (i) Kvalifikovani digitalni certifikat izdat na pametnoj kartici ili eTokenu; (ii) Kvalifikovani digitalni certifikat (bez medija); (iii) Digitalni certifikat za SSL server.

U početku rada Javnog CA, digitalni certifikat najviše se izdavao pravnim licima za potrebe prijave IOPPD obrazaca Poreskoj upravi. U prethodne dvije godine, zabilježen je porast u primjeni digitalnog certifikata kroz korišćenje sistema za elektronsko podnošenje prijava i odjavu boravišta lica i servisa elektronskog potpisivanja projektne dokumentacije koje je omogućilo Ministarstvo za održivi razvoj i turizam i servisa Crnogorskog elektroprenosnog sistema koji je omogućio strancima da uz pomoć digitalnog certifikata učestvuju na tržištu električne energije u Crnoj Gori.

3. PRIMJENA DIGITALNIH CERTIFIKATA

Najvažniji zadatak za što veću primjenu digitalnih certifikata je sposobnost javnih institucija da uz pomoć informaciono-komunikacionih tehnologija obezbijede elektronske servise građanima i biznisu.
Donošenjem Zakona o elektronskoj upravi (http://www.mid.gov.me/biblioteka/zakoni), objavljenom u "Službeni list CG", br. 32 od 30. jula 2014, Crna Gora je zakonski regulisala način postupanja državnih organa, organa državne uprave, organa lokalne samouprave, organa lokalne uprave, javnih službi i pravnih lica koja vrše javna ovlašćenja kad u vršenju svojih nadležnosti ostvaruju komunikaciju sa građanima, privrednim društvima, drugim pravnim licima i preduzetnicima elektronskim putem, i kad obrađuju, razmjenjuju i objavljuju podatke i informacije u elektronskom obliku. Članom 7 navedenog Zakona propisano je da je Organ dužan da, u cilju stvaranja mogućnosti za podnošenje podnesaka preko portala e-uprave (https://www.euprava.me/), za taj portal pripremi odgovarajuće aplikativno rješenje za prijem svih vrsta podnesaka koji se tom organu mogu podnijeti u elektronskom obliku u skladu sa zakonom kojim se uređuje postupak pred tim organom. Takođe, na portalu e-uprave se centralizovano i na jednom mjestu vrši autentifikacija i autorizacija korisnika.
Od početka uspostavljanja Internog CA do kraja 2015. godine izdato je oko 450 digitalnih certifikata za državne službenike izdatim na USB eTokenima, koji služe za provjeru autentičnosti potpisnika, zaštitu integriteta podataka koji se prenose i neporecivost elektronskog potpisivanja dokumenta. Takođe, Interni CA izdao je i 25 certifikata državnim institucijama za uređaje, koji služe za potrebe svojih servera i uspostavljanja bezbjedne komunikacije korisnika sa različitim aplikacijama. Do kraja 2015. godine broj izdatih digitalnih certifikata, koje je izdao Javni CA iznosi 6569**.** Broj izdatih digitalnih certifikata fizičkim licima, koje je izdao Javni CA do kraja 2015. godine iznosi 530. Trend rasta izdatih certifikata iz godine u godinu se povećavao kako je prikazano na Slici 2.



Slika 2. Trend rasta izdatih certifikata od strane Pošte CG

Iako navedeni indikatori o upotrebi digitalnih certifikata ukazuju na očiglean trend rasta, evidentna je mala zainteresovanost i privrede i fizičkih lica u Crnoj Gori. Razlog za malom zainteresovanošću privrede i fizičkih lica se može identifikovati u:

(i) nedovoljnom broju *Web* servisa koji se nude u Crnoj Gori. U tom smislu, Strategija razvoja informacionog društva u Crnoj Gori predviđa da se do kraja 2016. godine na portalu eUprave implementira 200 najčešće korišćenih elektronskih usluga državnih organa i lokalne samouprave. Trenutno je na Portalu eUprave građanima i privrednim subjektima ponuđeno 138 e-servisa, od čega se za 28 e-servisa zahtijeva prijava upotrebom digitalnog certifikata, dok se digitalni certifikat koristi za elektronsko potpisivanje u 26 e-servisa.

(ii) visokoj cijeni koju Pošta Crne Gore nudi za uslugu izdavanja digitalnog certifikata, kako je prikazano u Tabeli 1. Pošta Crne Gore je, krajem 2014. godine, donijela *Odluku o izmjenama i dopunama Odluke o utvrđivanju cijena izdavanja i obnove digitalnih certifikata*. Ovim izmjenama, ponuđeno je izdavanje digitalnih certifikata za kriptovanje i smanjene su cijene digitalnih certifikata u slučajevima tzv. „grupnih certifikata". Novi proizvod koji je nazvan „grupni certifikat" predviđa da se na jednom eTokenu izda do 10 certifikata, a cijena je korigovana na način da izdavanje tzv. nosećeg/glavnog certifikata košta 110€, a svih ostalih certifikata 60€. Takodje, certifikatima bez medija, čija je cijena izdavanja 30€, produžen je rok važenja sa jedne na tri godine, čime je smanjena ukupna cijena koju bi korisnik platio za tri godine.

Tabela 1. Cijene izdavanja digitalnih certifikata

VRSTA CERTIFIKATA	ROK VAŽENJA	BROJ (količina) CERTIFIKATA	CIJENA (sa PDV)
Kvalifikovani digitalni certifikat (izdat na smart kartici ili tokenu)	3	1-5	110€
		6-10	105€
		11-25	100€
		26-	90€
Kvalifikovani digitalni certifikat (bez medija)	1	1-10	30€
		11-20	27€
		21-	25€
Digitalni certifikat za SSL server	1	1-5	100€
		6-	90€
Obnova certifikata (izdatog na mediju)	-	1-5	60€
		6-10	57€
		11-25	54€
		26-	51€

4. MJERE ZA UNAPRIJEĐENJE PRIMJENE DIGITALNIH CERTIFIKATA

Nedovoljan broj *Web* servisa i elektronskih usluga koji se nude građanima i privredi u Crnoj Gori, kao i visoka cijena koju Pošta Crne Gore nudi za uslugu izdavanja digitalnog certifikata, Crnu Goru svrstava u red država sa veoma malom primjenom digitalnih certifikata. Međutim, na osnovu standarda i dobre prakse koja se primjenjuje u razvijenim zeljama Evropkse unije, kao i na globalnom nivou [5, 8, 9, 10, 11], a u cilju približavanja savremenom poslovanju putem elektronskih komunikacija i pospješenja veće upotrebe digitalnih certifikata, mogu se definisati sljedeće mjere koje:

(i) *Promjena modaliteta plaćanja digitalnih certifikata*. Umjesto što se izdavanje digitalnog certifikata trenutno naplaćuje za period od tri godine, trebalo bi obezbjediti naplatu na godišnjem nivou i u tom slučaju digitalni certifikati bi bili dostupniji građanima i privredi.
(ii) *Razvijanje novih elektronskih usluga* koje koriste digitalni certifikati i koji su u skladu sa potrebama građana, kao i razvijanje usluga koje doprinose razvoju poslovanja
(iii) *Edukacija građana i pravnih lica* o upotrebi i namjeni digitalnih certifikata
(iv) *Uvođenje novih tehnologija* kroz funkcionalnost korišćenja digitalnog certifikata putem mobilnog telefona. Za razliku od drugih mehanizama provjere identiteta, za ovaj proces nije potreban poseban hardver ili čitač kartica.
(v) *Uvođenje vremenskog pečata i nacionalnog sata* doprinijelo bi onemogućavanju lažiranja trenutka elektronskog potpisivanja, i samim time pospješilo veći nivo povjerenja u korišćenje digitalnog certifikata.

Iako su smjernice jasne, uspjeh njihove primjene i implementacije leži i u prikupljanju povratnih informacija na nacionalnom nivou, slušajući zajednice korisnika u obezbeđivanju njihovog unapređenja poslovanja [8, 10].

5. ZAKLJUČAK

Evidentno je da je i nakon 5 godina rada Internog i Javnog CA tijela u Crnoj Gori veoma mali broj izdatih certifikata. Analizom trenutnog stanja možemo zaključiti da se mali broj izdatih digitalnih certifikata ogleda u visokoj cijeni certifikata, kao i nedovoljnom broju razvijenih servisa koji su interesantni korisnicima. Kako bi se u Crnoj Gori stvorilo elektronsko poslovno okruženje mora se raditi na popularizaciji upotrebe digitalnih certifikata.

Takođe, potrebno je prezentovati glavne prednosti usvajanja digitalnog certifikata kroz ostvarenje informacione bezbjednosti, uključujući zahtjeve za autentičnost i povjerljivost.

Uvođenje novih tehnologija i servisa u primjeni digitalnih certifakata je ključno za njihovu dalju upotrebu. Izgradnjom infrastrukture i implementacijom vremenskog žiga u Crnoj Gori u potpunosti bi se zaokružila PKI infrastruktura [10, 11], čime bi bilo onemogućeno lažiranje trenutka elektronskog potpisivanja. Primjene preporuka u RFC 3161 „Internet X.509 Public Key Infrastructure Time-Stamp Protocol – TSP" (http://www.rfc-base.org/rfc-3161.html), a prema međunarodnim standardima (ETSI TS 102 023[3], ETSI TS 101 861[4] u potpunosti su zaokružile države iz regiona Srbija i Hrvatska koje u skladu sa donešenim pravilnicima izdaju vremenske žigove koji sadrže jasno izražen datum i vrijeme formiranja vremenskog žiga, kao i identifikaciju izdavaoca vremenskog žiga.

5. LITERATURA

[1] M. Đuruć, S. Adamović, „Razvoj servisa za digitalni potpis sa sopstvenim modulom za generisanje ključeva i digitalnih sertifikata", Univerzitet Sinergija, Bijeljina, [online: http://naucniskup.sinergija.edu.ba/wp-content/uploads/2015/12/22.pdf]

[2] J. V. Boettcher, A. Powell, „Digital Certifikates - What Are They, and What Are They Doing in My Browser?" [online: http://www.cren.net/crenca/docs/syllabus.pdf]

3 https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102000_102099/102023/01.02.02_60/ts_102023v010202p.pdf

4 https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/101800_101899/101861/01.02.01_60/ts_101861v010201p.pdf

[3] V. Korać, „Infrastruktura sa javnim ključevima u funkciji zaštite informacionog toka i elektronskog poslovanja", Centar za nove tehnologije Viminacium, 2010

[4] F. Pop, C. Dobre, D. Popescu, V. Ciobanu, V. Cristea, „Digital Certificate Management for Document Workflows in E-Government Services", Lecture Notes in Computer Science, 2010, Vol6228, pp 363-374

[5] R. Housley, T Polk, „Planning for PKI: Best Practices Guide for Deploying Public Key Infrastructure", John Wiley & Sons, Inc. New York, NY, USA, 2001, ISBN:0471397024

[6] Ministarstvo za informaciono društvo i telekomunikacije, Izvještaj o funkcionisanju digitalnih certifikata u Crnoj Gori, 2012

[7] Ministarstvo za informaciono društvo i telekomunikacije, Pravilnik o postupcima izdavanja certifikata, 2012.

[8] A. Jafri, J. Leung, „PKI Deployment – Business Issues", Oasis PKI Member Section, 2005 [online: http://www.oasis-pki.org/whitepaper/deployment.pdf]

[9] R. Hunt, „Technological infrastructure for PKI and digital certification", Computer Communications, Vol. 24, Issue 14, 2001, pp. 1460–1471

[10] C. Lambrinoudakis, S. Gritzalis, F. Dridi, G. Pernul, „Security requirements for e-government services: a methodological approach for developing a common PKI-based security policy", Computer Communications, Vol.26, Issue 16, 2003, pp 1873–1883

[11] Hunter, B. „Simplifying PKI usage through a client-server architecture and dynamic propagation of certificate paths and repository addresses", In Proc. 13th International Workshop on Database and Expert Systems Applications, 2002.

JEDNA REALIZACIJA FAZNOG UPRAVLJANJA TIRISTORSKIM PRETVARAČIMA POMOĆU MATLABA

ONE REALIZATION OF PHASE CONTROL FOR THYRISTOR CONVERTERS IN MATLAB

Marko Ikić
Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Elektrotehnički fakultet,
Vuka Karadžića 30, marko.ikic@etf.unssa.rs.ba

SAŽETAK:
U ovom radu biće prikazana simulacija jedne realizacije faznog upravljanja tiristorskim pretvaračima. Simulacioni model faznog upravljanja je realizovan u Matlab/Simulink okruženju, a njegova verifikacija je izvršena na nekoliko simulacionih modela tiristorskih pretvarača.

Ključne riječi: *fazno upravljanje, pretvarači, energetska elektronika, simulacija, Matlab*

ABSTRACT:
This paper presents a simulation of a phase control realization for thyristor converters. The simulation model of the phase control is implemented in Matlab/Simulink environment, and its verification is made in several simulation models of thyristor converters.

Keywords: *phase control, converters, power electronics, simulation, Matlab*

---

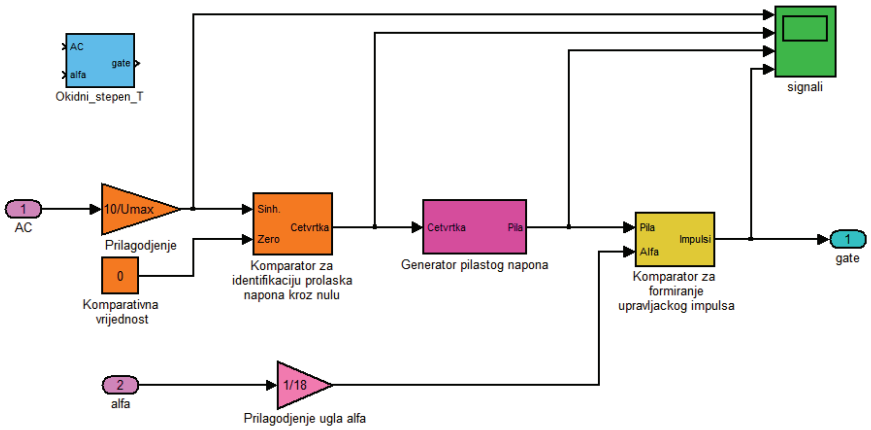
1. UVOD

Predmet ovog rada je izrada simulacionog modela faznog upravljanja tiristorskim pretvaračima (podešavačima/uobličavačima napona). Uopšteno, pretvarač energetske elektronike predstavlja pojedinačni stepen za pretvaranje električne energije (njenih parametara) zasnovan na snažnim poluprovodničkim elementima. U zavisnosti od toga da li se izlazni napon kod pretvarača energetske elektronike može mijenjati, govori se o neupravljivim (sa diodama kao poluprovodničkim komponentama) i upravljivim pretvaračima. Upravljivi pretvarači se dijele na punoupravljive (tiristori kao poluprovodničke komponente) i poluupravljivI (kombinacija dioda i tiristora). Regulacija napona ovih pretvarača se ostvaruje preko faznog upravljanja i prirodne komutacije (tiristorski pretvarači), dok se još može sresti i *on/off* upravljanje i prinudna komutacija (koristeći prekidače kao što su snažni tranzistori IGBT, MOSFET...).
U ovom radu biće prikazani samo pretvarači koji rade na principu faznog upravljanja tiristorskim prekidačima. Sam princip faznog upravljanja podrazumjeva upravljanje snagom pomoću ugla uključenja tiristora (α) tj. na izlaz pretvarača se proslijeđuje dio sinusnog mrežnog napona čime se utiče na srednju/efektivnu vrijednost izlaznog napona (pa samim tim i na snagu). Pošto talasni oblik izlaznog napona više nije sinusoidalan u njemu figuriše znatan sadržaj viših harmonika. Talasni oblik izlazne struje zavisi od karakteristika opterećenja a u skladu sa njim mijenja se i oblik ulazne struje. Pošto tiristor može da vodi struju samo u jednom smijeru, za rad sa naizmjeničnim naponom, potrebno je vršiti faznu regulaciju u obje poluperiode napona, koja se postiže korišćenjem različitih konfiguracija/topologija tiristorskih pretvarača. U cilju toga, konstruisan je okidni stepen u MATLAB/Simulink okruženju, koji na svom izlazu generiše

upravljačke impulse na bazi faznog upravljanja potrebne za adekvatno upravljanje tiristorskim pretvaračima.

2. REALIZACIJA FAZNOG UPRAVLJANJA

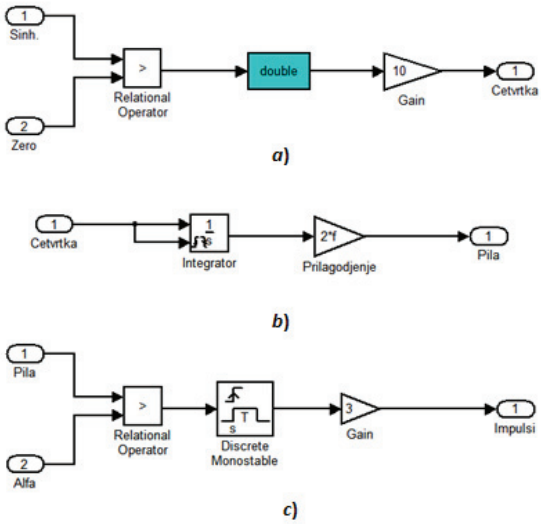
U moderno doba, skoro sve aplikacije i procesi se prvo simuliraju prije njihove stvarne primjene u praksi i realnom vremenu. Ovim se smanjuje značajan dio napora i troškova u samoj implementaciji. Performanse predloženih sistema/procesa mogu precizno da se procjenjuju korišćenjem odgovarajućih simulacionih modela pri čemu ti modeli treba da budu fleksibilni i precizni i da uzmu u obzir stvarne probleme. Ovo poglavlje rada govori o upotrebi i razvoju okidnog stepena za fazno upravljanje tiristorskim podešavačima napona realizovano u Matlab/Simulink okruženju. Na Slici 1. prikazan je funkcionalni blok okidnog stepena faznog upravljanja i blok struktura njegove realizacije. Kao ulazni parametri okidnog stepena predstavljeni su ulazni naizmjenični napon tj. sinhronizacioni napon određenog tiristora kao i njegov ugao uključenja (α). Izlazni parametar okidnog stepena je generisani upravljački impuls koji se vodi na gejt tiristora.



Slika 1: Funkcionalni blok okidnog stepena i blok struktura njegove realizacije

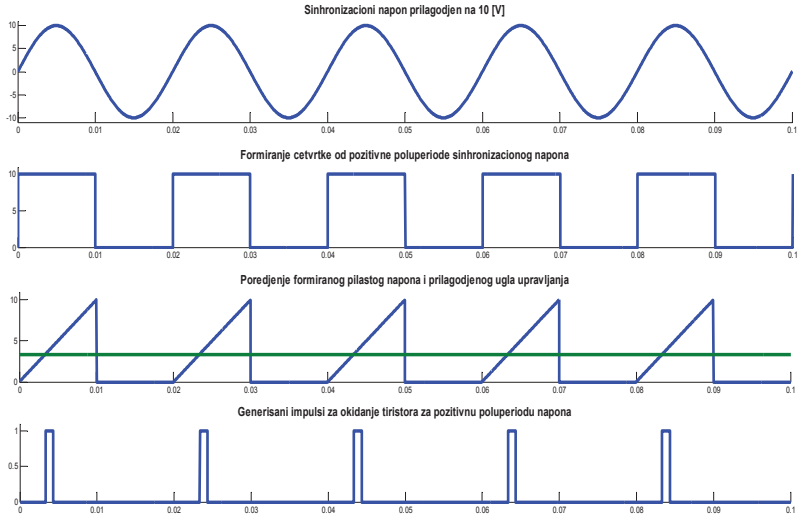
U praktičnim izvedbama upravljačkih kola uređaja energetske elektronike, a pri tome i tiristorskih pretvarača, poznato je da se za svaki tiristor projektuje okidni stepen za njegovo paljenje. Koncepcija jednog takvog okidnog stepena je zamišljena i realizovana kao model u Matlabu i sastoji se od sljedećih blokova: bloka za identifikaciju prolaska napona kroz nulu (formiranje četvrtastog napona od „korisne" poluperiode tj. sinhronizacionog napona), bloka za formiranje pilastog napona i bloka za formiranje impulsa za okidanje tiristora (komparacija pilastog napona sa naponom koji je prilagođen sa vrijednošću zadatog ugla paljenja tiristora).
Da bi se formirao korektan upravljački impuls koji odgovara zadatom uglu paljenja tiristora potrebno je na ulaz okidnog stepena dovesti odgovarajući sinhronizacioni napon (napon, poluperiodu napona, pri kojoj je upravljani tiristor direktno polarisan – ulaz „AC") kao i zadatu vrijednost ugla paljenja. Sinhronizacioni napon se dalje vodi na blok za formiranje četvrtastog napona koji je potreban za dalje formiranje pilastog napona sa kojim se vrši poređenje sa konstantnim naponom u funkciji ugla paljenja tiristora. Kao rezultat poređenja nastaje upravljački

impuls čija je širina definisana monostabilnim pojačavačem. Na Slici 2. su pokazane realizacije navedenih operacija i pripadajućih funkcionalnih blokova.



Slika 2: a) komparator za identifikaciju prolaska napona kroz nulu, b) generator pilastog napona, c) komparator za formiranje upravljačkog impulsa

Postupak formiranja upravljačkih impulsa za upravljanje tiristorom koji je direktno polarisan sa pozitivnom poluperiodom grafički je prikazan na Slici 3. sa koje se mogu uočiti opisane transformacije sinhronizacionog napona kao i njegovo poređenje sa uglom upravljanja.



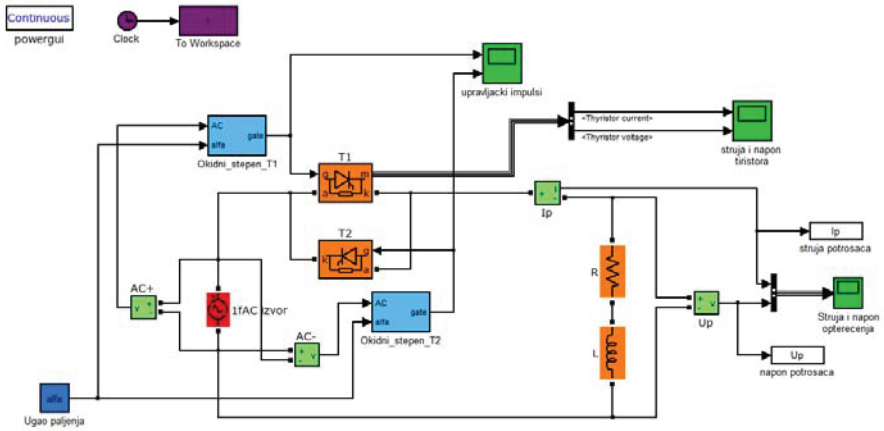
Slika 3: Princip formiranja okidnih impulsa za pozitivnu poluperiodu sinhronizacionog napona

3. VERIFIKACIJA MODELA FAZNOG UPRAVLJANJA

U ovom poglavlju rada je izvršena verifikacija realizovanog modela faznog upravljanja kroz realizaciju nekoliko simulacionih modela različitih tiristorskih pretvarača. Primjeri simulacija i njihovi rezultati su dati samo za neke od mnogobrojnih topologija ovih pretvarača kao i za različite vrste opterećenja priključenih na njih. Simulacije ovih pretvarača su realizovane/urađenje u programskom paketu MATLAB/Simulink-u u okviru biblioteke simbola SymPowerSystems.

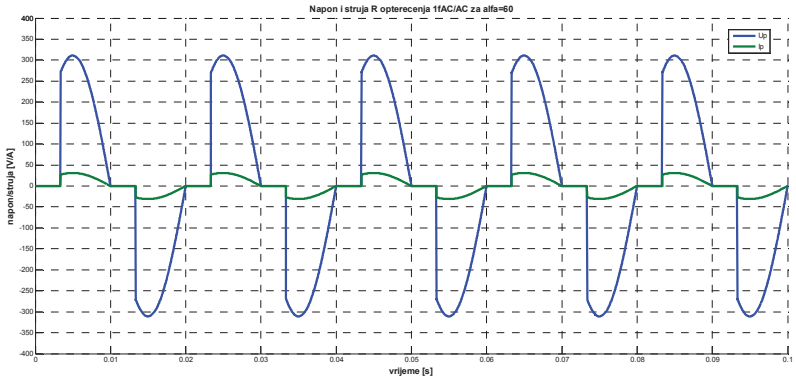
3.1. Jednofazni tiristorski podešavač napona

Simulacije rada jednofaznih tiristorskih podešavača napona su rađene za tri vrste opterećenja: omskog, induktivnog i omsko-induktivnog karaktera. Na sljedećim slikama pored izgleda simulacione šeme (Slika 4) dati su i rezultati dobijeni izvršavanjem simulacije. Rezultati simulacije su prikazani za prvih pet perioda (tj. za 0.1 sekundu simulacije) radi lakšeg i boljeg prikazivanja dobijenih rezultata.

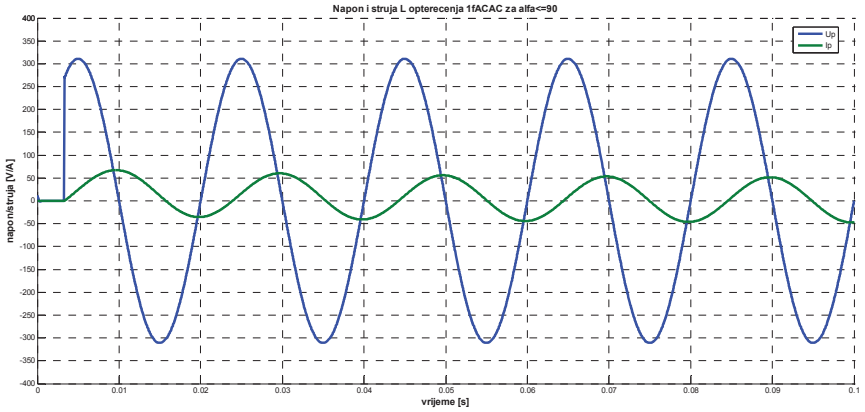


Slika 4: Simulacioni model jednofaznog tiristorskog podešavača napona

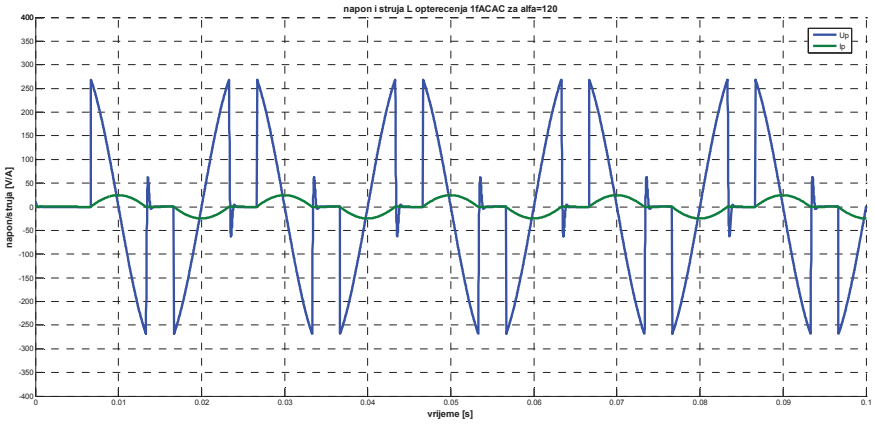
Na Slici 5 prikazani su rezultati simulacionog modela jednofaznog tiristorskog podešavača napona za čisto omsko opterećenje na izlazu te za ugao uključivanja tiristora od 60˚. Pošto je u pitanju čisto omsko opterećenje talasni oblici napona i struje su u fazi. Na slikama 6 i 7, prikazani su talasni oblici napona i struje na izlazu pretvarača za čisto induktivno opterećenje i to za dva slučaja, kada je ugao paljenja ≤90˚ i kada je jednak 120˚. Sa Slike 6 može se uočiti karakterističan slučaj da su napon i struja sinusnog talasnog oblika za ugao paljenja tiristora koji je manji ili jednak faznom stavu potrošača. Rezultati simulacije za omsko-induktivno opterećenje i ugao paljenja tiristora od 60˚ prikazani su na slici 8.



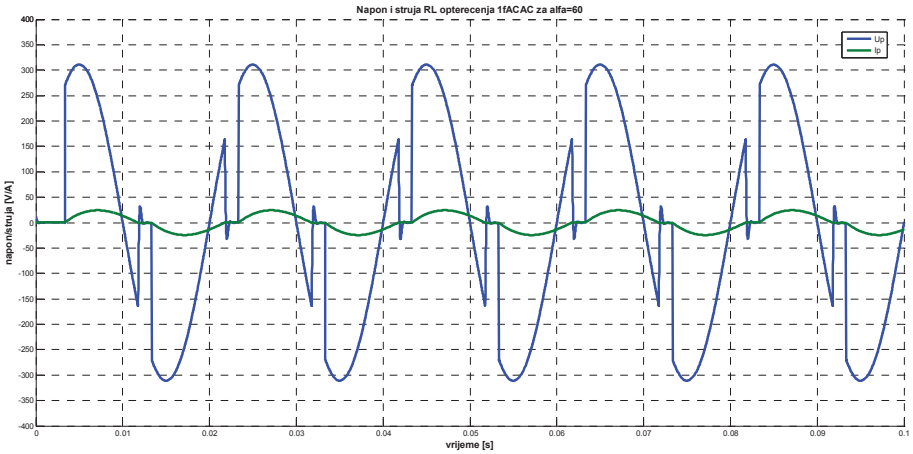
Slika 5: Talasni oblici napona i struje na čisto omskom opterećenju za α=60˚



Slika 6: Talasni oblici napona i struje na čisto induktivnom opterećenju za α≤90˚



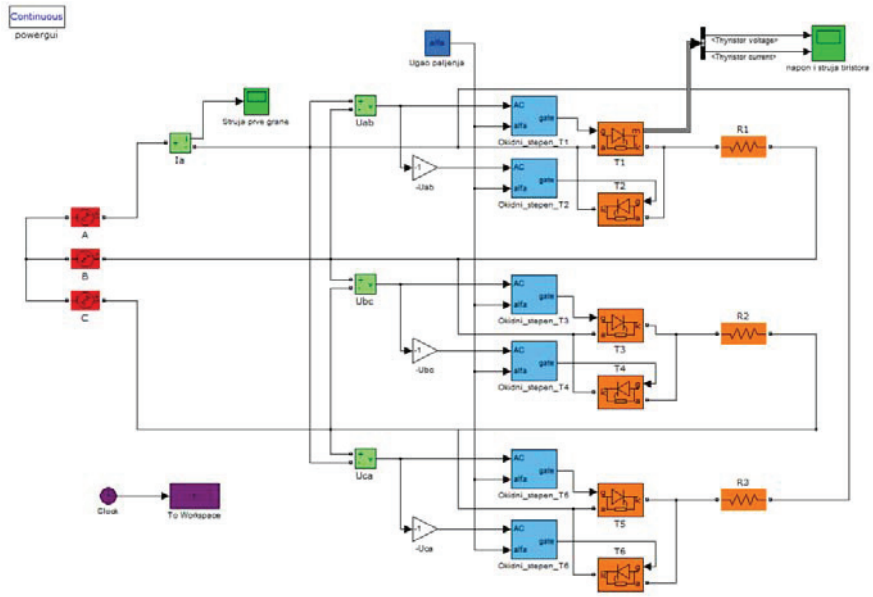
Slika 7: Talasni oblici napona i struje na čisto induktivnom opterećenju za α=120˚



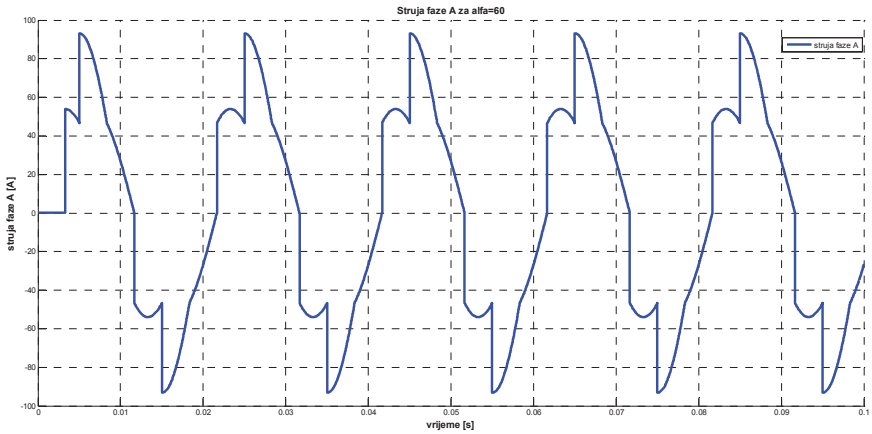
Slika 8: Talasni oblici napona i struje na omsko-induktivnom opterećenju za α=60˚

3.2. Trofazni tiristorski podešavač napona

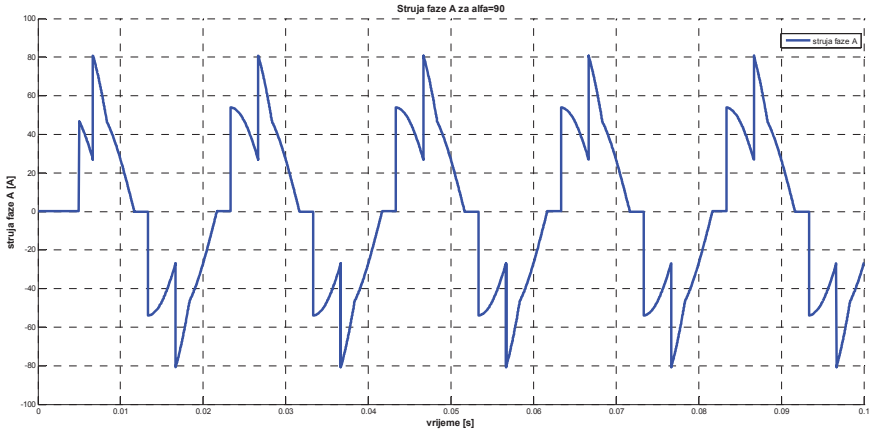
Simulacije rada trofaznih tiristorskih podešavača napona su rađene za dvije različite topologije spajanja omskog opterećenja: zvijezda i trougao spoj. Zbog ograničenja sadržaja ovog rada na sljedećim slikama biće prikazani rezultati simulacije trofaznog podešavača napona sa omskim opterećenjem spojenim u trougao. Pored izgleda simulacione šeme, na slikama 9, 10 i 11 dati su i rezultati dobijeni izvršavanjem simulacije – konkretno u ovom slučaju prikazana je struja faze A za dva različita ugla paljenja tiristora. Rezultati simulacije su prikazani za prvih pet perioda (tj. za 0.1 sekundu simulacije) radi lakšeg i boljeg prikazivanja dobijenih rezultata.



Slika 9: Simulaciona šema sa trofaznim podešavačem napona i opterećenjem spojenim u trougao



Slika 10: Talasni oblik struje prve faze za α=60˚



Slika 11: Talasni oblik struje prve faze za α=90˚

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu dat je prikaz jedne realizacije faznog upravljanja tiristorskim pretvaračima u Matlab/Simulink okruženju. Realizovani simulacioni model okidnog stepena tiristorskih pretvarača je verifikovan kroz proradu simulacionih modela različitih topologija tiristorskih pretvarača od kojih su neke prikazane u radu. Dobijeni simulacioni rezultati su upotpunili sliku korektnosti modela faznog upravljanja i njegove primjene u upravljanju tiristorskim pretvaračima.
Realizacija upravljanja tiristorskim podešavačima napona i formiranje simulacionih modela omogućuje dalji rad na ovu temu, kao što je ispitivanje karakteristika pogona za startovanje asinhronih motora (popularnih soft startera) ili snimanje karakteristika i uticaja uređaja za dinamičku kompenzaciju reaktivne snage koji rade na bazi tiristorskih pretvarača (TCR – Thyristor Controlled Reactor).
Ovaj rad, kao i urađeni modeli okidnog stepena i samih topologija pretvarača, će poslužiti kao dodatni materijal za realizaciju nekoliko laboratorijskih vježbi iz predmeta Energetska elektronika

na Elektrotehničkom fakultetu u Istočnom Sarajevu, pomoću kojih će biti olakšano savladavanje gradiva koje je predviđeno nastavnim planom i programom.

5. LITERATURA

[1] Ahmed Riyaz, Atif Iqbal, Shaikh Moinoddin, SK. MoinAhmed, Haitham Abu-Rub, Comparative performance analysis of Thyristor and IGBT based induction motor soft starters, *International Journal of Engineering, Science and Technology, Vol. 1, No. 1,* 2009, pp. 90-105.

[2] Tingjian Zhong, Li Zhu, Minghua Zhou, Yongtao Dai, Study on the Simulation of the Soft Start of the Asynchronous Motor with Pump Control Function Based on Thyristor, *Moder Applied Science, CCSE journal, Vol.3 No.5*, May 2009.

[3] Muhammad H. Rashid, *Power electronics handbook*, Academic press, 2001.

[4] Radojle Radetić, *Tiristorski pretvarači,* Tehnički fakultet Bor, 2004.

[5] J. Webster, Thyristor Phase Control, *Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering,* (John Wiley & Sons, Inc., 1999) 190-201.

MOBITEL U ŽIVOTU I UČENJU UČENIKA SREDNJE ŠKOLE

MOBILE LEARNING AND TEACHING HIGH SCHOOL STUDENTS

Nezir Halilović
Uprava za obrazovanje i nauku - Odsjek za islamsku vjeronauku Rijaseta Islamske zajednice u BiH
& Univerzitet u Zenici-Islamski pedagoški fakultet, nezirhalil@yahoo.com
Zelenih beretki 17, Sarajevo & Prof. Juraja Neidhardta 15, Zenica, Zenica

---

SAŽETAK:
Informacijska revolucija je u potpunosti izmijenila dosadašnje živote i navike ljudi koje je svjedoče. Jedna od najbržih i najintenzivnijih izmjena se odnosi na pojavu i korištenje mobitela u svakodnevnom životu. Mobiteli su postali sastavni i nezaobilazni dio života skoro svakog čovjeka. U ovom radu su predstavljeni rezultati istraživanja o tome koliko su mobiteli i smartfoni, kao naprednija generacija mobitela, zastupljeni u svakodnevnom životu učenika srednje škole, kao i da li i koliko koriste mobitel za potrebe učenja i redovne nastave. U radu su prezentirani rezultati empirijskog istraživanja na uzorku od 171 učenika srednje škole. Rezultati ukazuju da je mobitel postao sastavni dio svakodnevnog života učenika, kao i da se koriste u svrhu edukacijskih procesa u školi i van škole, ali na alternativne načine, ne kao dio redovnog školskog sistema.

Ključne riječi: *mobitel, smartfon, učenje*

ABSTRACT:
The information revolution has completely changed the previous lives and habits of the people he witnessed. One of the fastest and most intense changes concerning the existence and use of mobile phones in everyday life. Cell phones have become an integral and indispensable part of the life of almost every man. This paper presents the results of research on how many cell phones and smartphones, as well as more advanced generations of cell phones, are represented in the daily lives of high school students, as well as whether and how using a cell phone for the purpose of learning and regular classes. This paper presents the results of empirical research on a sample of 171 secondary school students. The results indicate that the cell phone has become an integral part of daily life of students, as well as being used for the purpose of educational process in the school and outside the school, but in alternative ways, as part of the regular school system.

Keywords: *mobile, smartphone, learning*

---

1. UVOD

Prije samo deceniju autori Dryden i Vos su lucidno primijetili i izrekli sljedeću konstataciju: „Samo kompjuter u vašem mobilnom telefonu ima više snage nego svi kompjuteri korišteni tokom II svjetskog rata." [1] Ova izjava je stara 15 godina a šta bi tek danas trebalo reći za aktualne verzije mobitela i smartfona? No pravo pitanje je ko smije prognozirati kakvo će stanje i mogućnosti mobitela biti za narednih deset godina. Nema dileme da su se mobiteli, a pogotovo smatrfoni, uspješno integrisali u naše svakodnevne živote. Većina ljudi dan počinje sa budilicom na mobitelu, na njemu provjerava pristigle e-mailove i status na društvenim mrežama, mobitel

služi kao podsjetnik obaveza, barem nekoliko aplikacija je dostupno da pomogne u rješavanju svakodnevnih poslova, na njemu se već gledaju omiljene serije, emisije i filmovi, te se sa njim nerijetko i liježe u postelju, itd. Ukratko, može se zaključiti da se od svih ljudskih izuma mobitel najuspješnije integrisao u svakodnevne ljudske živote. O tim pojavama svoj stav su dali istaknuti teoretičari. Tako Everett Rogers (1995.) je iznio ideju da se tehnološke promjene odvijaju linearno, ukazujući na osnovne tendencije tog procesa, tj. da grupa ljudi usvoji određenu tehnologiju, zatim ih još više usvoji tu tehnologiju, zatim još više, sve dok tehnologija ne postane sastavni dio kulture. Međutim, ne slažu se svi sa tim pristupom, pogotovo u novim okolnostima nastalim masovnom primjenom informacijsko-komunikacijskih tehnologija i pravom poplavom savremenih IKT uređaja, prvenstveno mobitela i smatfona. Primjera radi, C. Cristensen u svome djelu *The Innovator's Dilemma* (1997.) ističe da se tehnološke promjene ipak dešavaju nelinearno, tj. da su sve češće situacije da većina stanovništva skoro preko noći usvoji određenu novu tehnologiju, što posebno važi za tehnologiju mobitela i smartfona. Dok je razvoj i usvajanje radio-uređaja, TV-prijemnika, video-rekordera, kompjutera i drugih uređaja uglavnom tekao linearnim putem, za razvoj mobilnih telefona može se slobodno reći da je poremetio klasični linearni razvoj i odličan je primjer nelinaeranog razvoja. Kao nijedan uređaj i nijedna tehnologija do sada, mobilni telefoni su u rekordno kratkom roku prodrli do skoro svakog pojedinca i postali sastavni dio njegovog života. Guissani (2006.) ukazuje na činjenicu je da danas u svijetu postoje brojne zemlje koje imaju više aktivnih mobilnih telefona nego ljudi. Osim toga, još značajnija je činjenica da mobilne telefone najbrže usvajaju mlade generacije, svejedno da li se radi o razvijenim zemljama ili zemljama u razvoju, jer skoro svako dijete ima svoj vlastiti mobilni telefon.
Kada djeca jednom dođu do mobitela, nakon ispitivanja njegovih karakteristika i mogućnosti, oni ga počinju temeljito koristiti na mnoštvo inovativnih načina koje im mobiteli omogućavaju. U ovom radu su prikazani rezultati istraživanja o tome koliko su se mobiteli integrisali u svakodnevne živote učenika srednje škole, kada su došli u dodir sa njima, koliko vremena provode uz njih i da li ih koriste u obrazovne svrhe i kako procjenjuju njihove efekte.

2. KOMPJUTERIZACIJA MOBITELA – POJAVA SMARTFONA

Činjenica je da se danas u svim poljima ljudskog života dominantno koristi univerzalni medij – kompjuter uglavnom potpuno opremljen LCD monitorom, zvučnikom, modemom, pisačem, CD/DVD-om, itd. Kompjuter je najznačajniji i najpoznatiji predstavnik savremenih informacijsko-komunikacijskih tehnologija. Pod pojmom *informacijsko-komunikacijskih tehnologija danas se podrazumijeva širok spektar alata i tehnika koje se koriste prilikom kreiranja, skladištenja i distribucije podataka (sirovih činjenica, brojki i detalja) i informacija (organizirana, smislena upotrijebljiva interpretacija tih podataka) u svrhu kreiranja znanja (shvatanje i razumijevanje nekog skupa informacija, kao i načina na koji se one mogu najefikasnije upotrijebiti), te uspostavljanja komunikacije putem tih alata i tehnika*. U okviru njih razlikuju se tri osnovne komponente IKT-a: kompjutere, komunikacijske mreže i sposobnost (know-how). [2] Pod **kompjuterom** se podrazumijeva *elektronski sistem kome se mogu davati instrukcije za prijem, obradu, skladištenje i prezentovanje podataka i informacija*. Najpoznatiji, najzastupljeniji i najprodavaniji kompjuteri na tržištu su **mikrokompjuteri** ili **PC** (*personal computer*), među kojima se razlikuju **desktop kompjuteri** – miš, tastatura, monitor i centralna jedinica se mogu smjestiti na radni stol; **notebook kompjuteri** – poznatiji kao laptop kompjuteri, koje karakteriše lahka prenosivost, zbog čega se nazivaju još prenosivi (portabilni) i kod kojih su svi dijelovi, osim štampača, čvrsto spojeni u jednu cjelinu; **tablet PC kompjuteri** – u obliku običnog papira za pisma i težine do 1,3 kg, a kojima se upravlja pomoću elektronske olovke (*pen*) s mogućnošću priključka na tastaturu, te **hendheld (ručni) kompjuteri** – koji se dijele na dvije kategorije: **PDA uređaje** (*personal digital assistants* – lični digitalni pomoćnici) i **Palm PC kompjuteri** – veličine običnog džepnog kalkulatora koji mogu stati u dlan (*engl. palm*) ruke. [2]

Kategorija ručnih kompjutera je predmet ovog rada i isti se uobičajeno koriste za vođenje poslovnih kalendara, telefonskih imenika, adresara, elektronskih radnih tabela, kao rokovnik itd. Njihove mogućnosti permanentno narastaju i danas se ta vrsta kompjutera sve više integriše u mobilne telefone. Zbog toga se u ovom radu mobilni telefoni i smartfoni tretiraju kao hendheld – ručni – kompjuteri, a označavat ćemo ih zajedno pod pojmom: mobiteli. Mobiteli su nastali kao plod konstantnog progresa i zajedničkog rada stotina vrhunskih eksperata okupljenih u razvojne timove. Sinergijom mnoštva drugih uređaja (telefon, digitron, diktafon, kamera...) u jedan minijaturni, proizveden je univerzalni digitalni medij koji je ujedno i kompjuter, i mobilni telefon, i televizor, i radio prijemnik i navigacija, itd. U polju mobitela najočiglednije se ogleda značenje konvergencije, tj. objedinjavanja mnoštva mogućnosti koje su pojedinačno imali stariji uređaji. Sve do pojave mobitela na svjetskom tržištu su suvereno vladali relativno stabilni oligopoli – znalo se ko se bavi televizijom, ko kompjuterima, a ko telefonijom. Međutim, pojavom mobitela i njegovom ekspanzijom, tako reći preko noći, nastaje jedan potpuno novi komunikacijski sistem koji se nazva **medijamatika** koja postaje glavno obilježje informacijskog društva. Medijamatika nastaje kao rezultat kombiniranja tehničkih, ekonomskih i političkih trendova digitalizacije, liberalizacije, konvergencije i globalizacije u sektoru komunikacija.[3] Osim brzog širenja, mobilne telefone karakteriše i izuzetno dinamičan razvoj i permanentno unaprjeđenje karakteristika u svim pogledima. Razvoj tehnologije u ovom području je tako dramatičan da se jako mali broj stručnjaka uopće usuđuje predviđati dalji tok njihovog razvoja. Primjera radi, prije samo tri godine bilo je nezamislivo predvidjeti kakve će sve promjene mobilni telefon izazvati u našoj kulturi, ali već danas putem mobitela se može poslovati, komunicirati, informisati se, konektovati se na Internet, fotografirati, snimati video-klipove, plaćati račune itd. Osim toga, današnje muzičke i TV industrije se takmiče u nastojanju koja će prije i kvalitetnije svoje sadržaje ponuditi na mobitelu. Sve veći broj omladine se upoznaje i druži putem društvenih mreža koje svakodnevno prate putem svojih mobitela. Ono što se prije samo par godina činilo nevjerovatnim, danas je čista realnost, a malo ko može predvidjeti njen dalji razvoj. Naime, poznato je da su izum i širenje telefona izazvali komunikacijsku revoluciju, ali pred naletom mobitela, šta nekome danas znači „posjedovati fiksni telefon", a veliko pitanje „da li nam je danas (kada imamo mobitele i Internet) uopće potreban fiksni telefon?" sve više dobija na težini, tako da se lahko može uočiti tendencija da ljudi sve češće odjavljuju svoje fiksne telefone, jer su im suvišni. Druga tendencija je još važnija, a to je situacija da se mobiteli sve više koriste čak i u svakodnevnom druženju. Tako danas nije rijetka situacija vidjeti omladinu kako sjedi u kafiću, a da svi koriste mobitele sa vrlo oskudnom međusobnom komunikacijom. Jedina mjesta gdje se mobiteli ne smiju koristiti su škole i učionice, upravo ona mjesta u kojima bi se učenici prvo trebali upoznati sa tim uređajima i njihovim mogućnostima, te gdje bi trebali naučiti kako da iskoriste njihove mogućnosti za svoj individualni razvoj. Međutim, očigledno je da se to ne dešava. Naprotiv, učenicima se revnosno zabranjuje korištenje mobitela u učionicama, pa čak i školskim zgradama, a "prijestupnici" se uobičajeno kažnjavaju privremenim oduzimanjem istih i pozivanjem roditelja na "informativni razgovor".

3. MOGUĆNOSTI MOBITELA I SMARTFONA U UČENJU I NASTAVI

Ideja korištenja mobitela u obrazovne svrhe javila se vrlo brzo odmah nakon njihove pojave, a već je istaknuto da su se mobiteli najbrže i najpotpunije adaptirali u živote pojedinaca i usluge kompanija i to za svega nekoliko godina na globalnom nivou, tj. u svim zemljama svijeta. Mobitele danas jednako vole i posjeduju djeca iz siromašnih kao i najbogatijih svjetskih država. Sa druge strane, višestrukost upotrebe mobitela iz dana u dan stalno narasta, tako da je od početnog (mobilnog) telefonskog razgovora, slanja poruke SMS, slike MMS, itd., današnji mobitel uspješna „kreditna kartica" kojom sasvim uspješno plaćate parking prostor, rezervišete karte u kinu itd., navigacija prilikom putovanja u nepoznate predjele, globalna digitalna biblioteka, itd. Tendencija konstantnog povećanja mogućnosti mobitela je toliko izražena da je mogu pratiti samo stručnjaci iz te oblasti.

Pa ipak, mobitel je u formalnom obrazovanju naišao na otvorene blokade i osporavanja do te mjere je njihovo korištenje direktno zabranjivano (a negdje se još uvijek zabranjuje) u školama. Tako, npr. po pisanju Associated Press-a (2006.) u svim osnovnim i srednjim školama u New Yorku je zabranjeno korištenje mobitela, a u SAD-u 2008. godine. Razloga za to je mnogo a najistaknutiji su:

- **Učenici su koristili mobitele za chat** – dopisivanje slikajući pitanja sa testa i šaljući ga svima, pišući drugim učenicima pitanja ili odgovore na njih i sl.
- **Učenici su fotografirali druge učenike i nastavnike** u „nezgodnim" situacijama u svlačionicama, kupatilima i sl.
- **Učenici su razgovarali ili dopisivali se na časovima**, itd.

Nema sumnje da su u pitanju sasvim realni problemi, ali oni su doveli do klasične situacije da zbog problema nekolicine ispaštaju svi. Pri svemu tome, osnovni razlozi zabrane korištenja mobitela uopće nisu onemogućili njihovu "zlopotrebu" u navođene svrhe. Kratak pregled sadržaja na Youtube-u će pokazati koliko je samo neželjenih sadržaja iz učionice i školskog života završilo na Internetu, a skoro svake godine se u zemljama iz našeg susjedstva redovno ponavlja afera sa "otkrivenim testovima sa državne mature", te poništavanje tih rezultata.

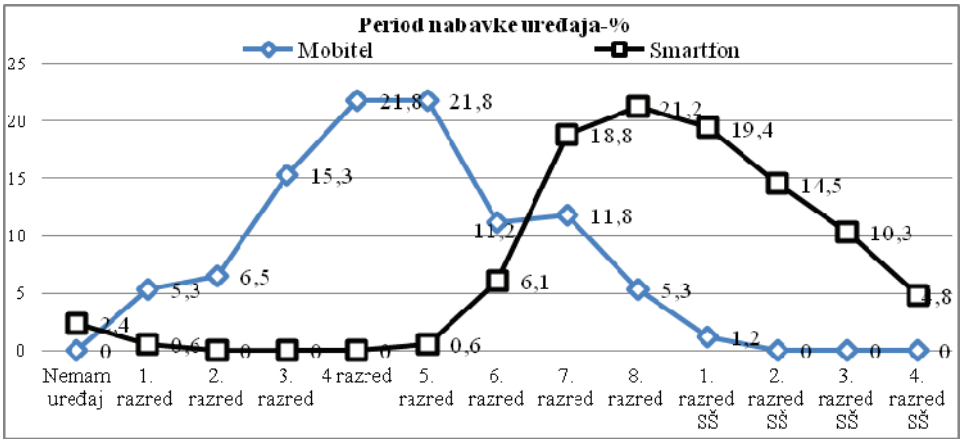
Uvažavajući činjenicu da se mobitel zaista može zlopotrijebiti u svakodnevnom školskom životu i to na onoliko načina koliko sa sobom nosi i savremenih mogućnosti, ipak se ne smije zanemariti ni činjenica da se sa savremenim mobilnim telefonima postigao dugo sanjani san: konačno svako dijete ima svoj kompjuter, barem neku njegovu verziju. Naime, današnji savremeni mobiteli su de facto pravi, moćni ručni kompjuteri, čije mogućnosti iz dana u dan očigledno sve više narastaju i polahko dostižu, ako već i ne prestižu, mogućnosti klasičnih PC kompjutera. Metamorfoza mobitela u kompjuter počela je onog trenutka kada se shvatilo da se *handheld* kompjuteri, koje niko nije htio kupiti, mogu uspješno integrisati u mobitele. (Anderson, 2007.) Od tada do danas samo pratimo kojom brzinom se dešava taj razvoj i koje sve mogućnosti svaka nova generacija mobitela integriše u sebe i stavlja na raspolaganje krajnjim korisnicima.

Prema procjenama nekih autora čak 95 % svega vizuelnog što djeca od 5 do 13 godina trebaju uraditi u školi može biti urađeno na današnjem mobilnom telefonu, s tim da se za uzrast od 14 do 18 godina taj procenat redukuje na 80% školskih obaveza. [4] Uzmimo u obzir da svaki novi mobitel ima displej na kome se mogu predstaviti svi sadržaji, od tekstualnih, grafičkih do multimedijalnih, te sve veći broj mobitela i svi smartfoni imaju mogućnost konekcije na Internet, što ih pretvara u prave male istraživačke centre. Ako se tome još doda i činjenicu da su djeca po svojoj prirodi mobilna, da vole pokrete i istraživanja, onda se razumije koje sve mogućnosti mogu postići u svojim istraživačkim igrama sa mobitelom, opremljenim dobrom kamerom, konekcijom na Internet i nekoliko savremenih aplikacija. Pri svemu tome, oni taj uređaj uvijek sa sobom nose.

Međutim, činjenica je da se još uvijek zabranjuje njihovo korištenje u školama. Jedan od razloga takvog stanja leži i u nepoznavanju mogućnosti mobitela u odgojno-obrazovnom procesu. U tom pogledu, a s obzirom na mogućnosti mobitela koje se sve više približavaju standardnom PC-u, a već je rečeno da ga u nekim segmentima i prestižu, može se slobodno ustvrditi da je zabrana korištenja mobitela potpuno identična zavrani korištenja PC-a u učionicama i školama!!!. Na tako radikalnu ideju se niko ne bi usudio jer je svjestan da bi se jako brzo našao pod kritikom javnosti. Nasuprot tome, svjedočimo kako se korištenje mobitela u svakodnevnom školskom životu generalno zabranjuje, pa i sankcioniše. Međutim, također i svjedočimo da usprkos svim zabranama mlade generacije i dalje koriste mobitele, između ostalog i za potrebe svog učenja u školi i vanškolskim aktivnostima, a u ovom radu su predstavljeni rezultati istraživanja u kojoj mjeri je to izraženo, te u koje svrhe. U suštini mogućnosti primjene mobitela u odgojno-obrazovne svrhe ograničene su jedino maštom i znanjem korisnika.

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA O KORIŠTENJU MOBITELA U UČENJU I NASTAVI KOD UČENIKA SREDNJE ŠKOLE

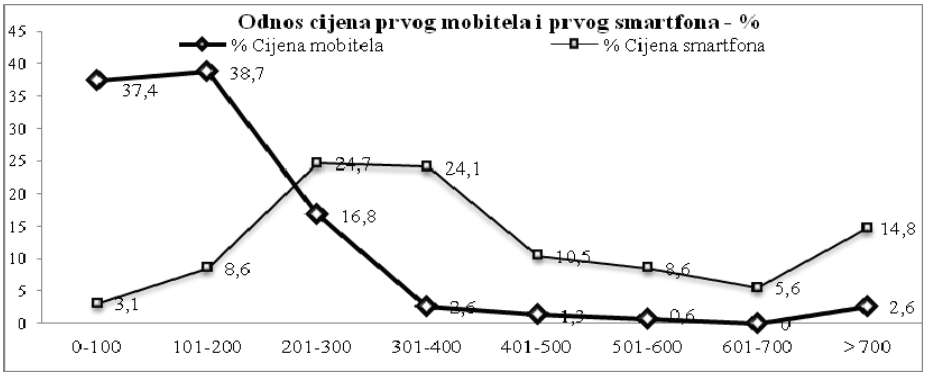
Istraživanje o realizirano je kao u Prvoj bošnjačkoj gimnaziji Sarajevo u toku školske 2014/2015. godine. Istraživanje je realizirano ispitivanjem anonimnim anketnim upitnikom sastavljenim od pitanja kombinovanog tipa (otvorena i zatvorena pitanja). Anketiranje je obavljeno uz prisustvo istraživača koji ujedno i poznaje sve ispitanike. Ispitanici su sa očiglednim zadovoljstvom pristali da se uključe u istraživanje. Istraživanjem su bili obuhvaćeni učenici od prvog do četvrtog razreda i to ukupno 171 učenik, od čega je bilo 56 muških (32,7 %) i 115 ženskih (67,3 %). Uzorak se sastojao od 92 učenika prvog razreda (53,8 %), 20 učenika drugog razreda (11,7 %), 43 učenika trećeg razreda (25,1 %), 16 učenika četvrtog razreda (9,4 %). Učenici obuhvaćeni uzorkom su po ostvarenim rezultatima jedni od najuspješnijih učenika u učenju te od 171 učenika, njih 137 je odlično (80,1 %), 30 vrlodobro (17,5 %) i svega 2 učenika (1,2 %) prolaze dobrim uspjehom. Velika većina učenika stanuje u velikom gradu, tačnije 142 (83 %), 18 ih stanjuje u manjem gradu (10,5 %), dok svega 2 učenika stanuju na selu (1,2 %). U pogledu socioekonomskog stanja kod većine ispitanika je stanje povoljno, tako 42 učenika (24,6 %) se izjasnilo da im je odlično stanje, 88 (51,5 %) se izjasnilo da im je stanje vrlodobro, 26 ispitanika (15,2 %) se izjasnilo da im je stanje dobro, samo 1 učenik (0,6 %) je istakao da mu je stanje slabo, dok 13 ispitanika (7,6 %) nije odgovorilo na ovo pitanje.
Jedno od vrlo značajnih pitanja iz upitnika se odnosilo na definiranje perioda u kojem su učenici nabavili mobitel i počeli ga koristiti o čemu govore rezultati iz sljedećeg grafikona:



Slika 1. Period nabavke prvog mobitela i smartfona kod učenika srednje škole

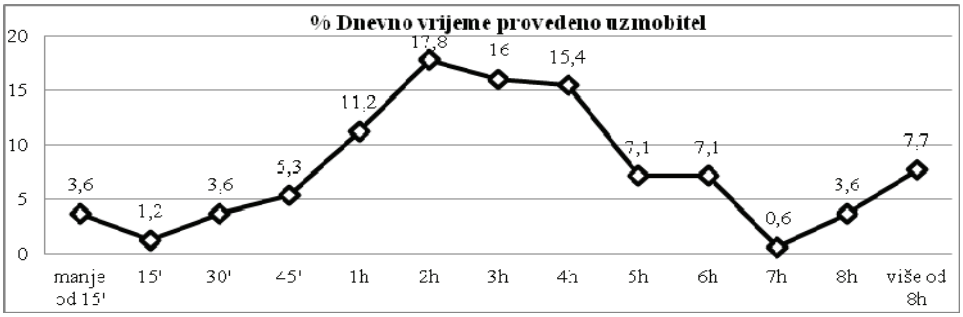
Grafikon otkriva da je većina učenika počela koristi mobitel na prijelazu iz razredne u predmetnu nastavu, tj. na prijelazu iz 4. u 5. razred osnovne škole. U srednjoj školi već gotovo svi učenici imaju mobitele i samo 2 učenika (1,2 %) njih je mobitel dobio tek u srednjoj školi. Potrebno je istaći da iako je upitnik nudio i mogućnost da se zakruži period prije prvog razreda, tj. obdanište, niko od ispitanika nije istakao da je dobio mobitel u tom periodu, kao ni u 9. razredu osnovne škole. Ovi rezultati ukazuju da su roditelji popustljiviji djeci u periodu prijelaza iz razredne u predmetnu nastavu, te da u tom periodu svojoj deci najviše nabavaljaju mobitele. U principu, do 6. razreda, tj. čiste predmetne nastave, mobitele već ima 70,7 % učenika. Za razliku od mobitela nabavka prvih smartfona je znatno novijeg datuma, baš kao i njihov izum i dostupnost širim

masama u pogledu cijene. Rezultati nedvojbeno ukazuju da je nabavka prvih smartfona vezna za starije razrede osnovne škole, kada su djeca znatno zrelija i odraslija.
Jedan od ciljeva istraživanja je bio i utvrditi koliko roditelji izdvajaju sredstava za nabavku prvih mobitela za svoju djecu.



Slika 2. Odnos cijena prvog mobitela i smartfona kod učenika

Istraživanje je pokazalo i da su roditelji štedljivi kada je u pitanju nabavka prvih mobitela djeci, te se djeci najčešće nabavljaju mobiteli (84,2 %) u vrijednosti do 300 KM. Sa druge strane, najznačajniji broj roditelja svojoj djeci nabavlja smartfone u vrijednosti od 200 do 400 KM.
U anketnom upitniku ispitanicima su ponuđeni različiti intervali svakodnevnog korištenja mobitela vidljivi iz sljedećeg gafikona.

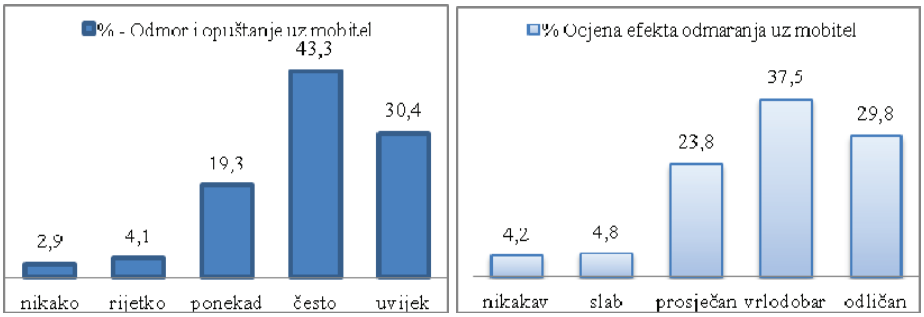


Slika 3. Dnevno vrijeme provedeno uz mobitel

Tabela otkriva da najveći broj učenika srednje škole (60,4 %) svakodnevno i intenzivno uz mobitel provodi od 1 do 4 sata vremena. U koju svrhu oni troše to vrijeme pokazali su sljedeći rezultati.

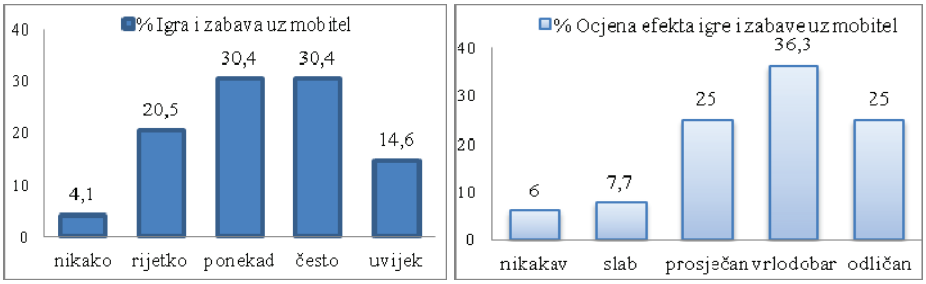
4.1. Svrha korištenja mobitela

Kao što je poznato mobitel se koristi u mnoštvo različitih svrha i namjena. U nastavu ovog rada su predstavljene neke od najčešćih namjena za koje učenici srednje škole koriste mobitel.



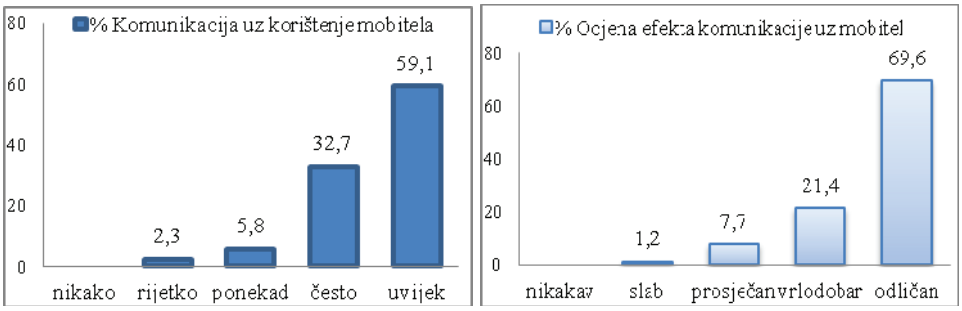
Slika 4. Grafikon stanja i ocjene korištenja mobitela za odmor i opuštanje

Dakle, 73,7 % učenika uvijek i često koristi mobitel u svrhu svoga odmora i opuštanja. Koliko je mobitel efikasan za tu svrhu govore i podaci da učenici visokim ocjenama ocjenjuju efekat koji se postiže korištenjem mobitela u svrhu odmora.
Sljedeća ponuđena svrha korištenja mobitela je bila igra i zabava:



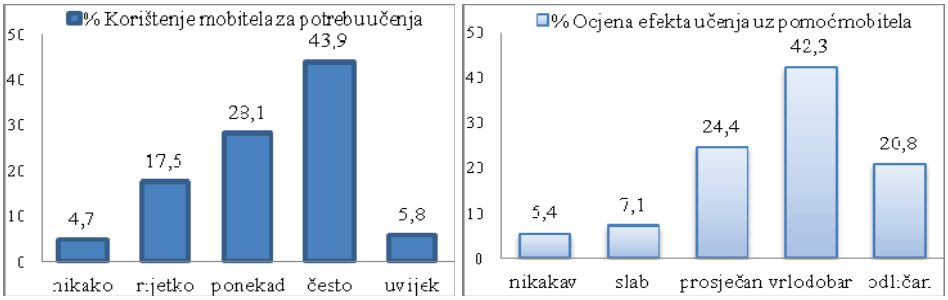
Slika 5. Grafikon stanja i ocjene korištenja mobitela za igru i zabavu

Rezultati ukazuju da ispitanici najčešće mobitel ponekad i često koriste za igru i zabavu. Što se tiče ocjene efekta igre i zabave uz mobitel, učenici visokim ocjenama ocjenjuju efekat igre i zabave uz mobitel.
Mobitel je nastao i ostao najznačajniji komunikacijski uređaj koliko se i danas koristi za tu svrhu govore sljedeći podaci:



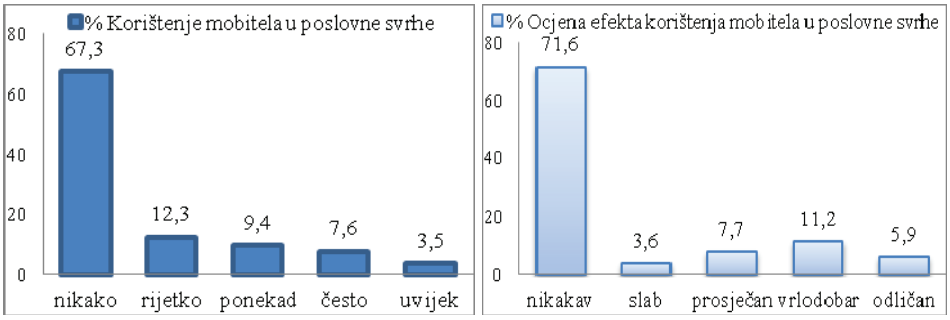
Slika 6. Grafikon stanja i ocjene korištenja mobitela za potrebe komuniciranja

Dakle, kumulativno 91,8 % učenika uvijek i često koristi mobitel za komunikaciju. Većina ispitanika ističe da su zadovoljni korištenjem mobitela u svrhu komuniciranja i efekat ocjenjuju kao odličan.
Jedno od najznačajnijih pitanja je da li i koliko učenici koriste mobitel u svrhu učenja:



Slika 7. Grafikon stanja i ocjene korištenja mobitela za potrebe učenja

Rezultati jasno ukazuju da najveći procenat učenika često koristi mobitel u svrhu učenja. Uočava se da efekat učenja uz mobitel korespondira sa iskazanim procentom korištenja u tu svrhu.
I na kraju, s obzirom da je mobitel neizostavni dio poslovnog svijeta, učenicima je ponuđeno da ukažu da li uopće i koliko koriste mobitel u poslovnu svrhu.



Slika 8. Grafikon stanja i ocjene korištenja mobitela u poslovne svrhe

Očekivano, s obzirom da se radi o učenicima srednje škole, rezutati su pokazali da najveći broj učenika nikako ili rijetko koristi mobitel za poslovne potrebe, mada se uočava manji broj učenika koji već u srednjoj školi svoje poslove završavaju mobitelom. S obzirom da ispitanici u toj životnoj fazi jako slabo koriste mobitel za posao i biznis, i efekat istog ocjenju kao nikakav.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu je aktualizirano pitanje informacijske revolucije i implikacija iste na procese učenja u školi i vannastavnim aktivnostima. Kao glavni predstavnik informacijsko-komunikacijskih uređaja posmatran je mobitel kao svojevrsna verzija hend-held kompjutera (ručnog kompjutera). Neosporna je činjenica da su današnje mogućnosti mobilnih telefona, a pogotovo tzv. smartfona (pametnih talefona) daleko iznad mogućnosti ranijih generacija PC kompjutera. Međutim, činjenica je da nema ni jedne škole u kojoj se u nastavi ne koriste kompjuteri, kao što je činjenica i

da skoro da nema ni jedne škole u kojoj se ne zabranjuje korištenje mobitela u nastavi, pa i u školi!!!
Rezultati istraživanja u elitnoj sarajevskoj školi su pokazali da, usprkos zabranama korištenja, učenici veoma rano dolaze u dodir sa mobitelima i smartfonima, da uz iste svakodnevno provode veliki dio svog vremena, kao i da ih koriste u razne svrhe među kojima se ističe i svrha učenja. Dakle, usprkos formalnim zabranama potvrđeno je da učenici svoje mobitele koriste za učenje, kako školsko, tako i vanškolsko, te da ispitanici pozitivno ocjenjuju efekat korištenja mobitela za tu svrhu.
Na taj način se potvrđuje očigledni nesklad između aktuelnog obrazovnog sistema i svakodnevne nastavne prakse i realnosti.
Kako ćemo izaći iz tog nesklada ostaje da se vidi. Nema sumnje da se mobitel može na mnoštvo načina zloupotrijebiti u školi i svakodnevnom životu, baš kao što nema sumnje i što rezultati potvrđuju da se može upotrijebiti na ispravan način i na opću korist i zadovoljstvo. Da bi se mobitel mogao pravilno koristiti u učenju učenika i svakodnevnoj nastavi u najmanju ruku je potrebno educirati učenike kako sve mogu te uređaje koristiti za svoje potrebe. Na žalost, naš obrazovni sistem je postavljen tako kao da ti uređaji uopće ne postoje, ili još gore, priznaje njihovo postojanje, ali ih tretrira kao nešto ilegalno i samo po sebi loše. U korištenju tih uređaja učenici su prepušteni sami sebi i snalaze se kako znaju i umiju, što već samo po sebi dovoljno govori!!!
Ovaj rad i nije nastao sa ciljem da ponudi konačni odgovor na ovo pitanje, ali rezultati koje je istraživanje donijelo jasno ukazuju na očiglednu potrebu za dodatnim istraživanjima o ovom pitanju na većim uzorcima, kao i na potrebu preispitivanja obrazovne prakse i našim školama, pa i nastavnih planova i programa.

6. LITERATURA

[1] Dryden, G. i Vos J. „Revolucija u učenju". Zagreb. Educa. 2001. Pp. 21

[2] Seen, J.A. „Informaciona tehnologija – principi – praksa – mogućnosti." Beograd. Pearson. 2007.

[3] Nadrljanski, Đ., Nadrljanski, M., Tomašević, M. *INFuture2007:* „Digitalni mediji u obrazovanju – pregled međunarodnih iskustava". 2007. Pp. 540

[4] Druin, A. „Mobile Technology for Children - Designing for Interaction and Learning". Morgan Kaufmann Publishers. Amsterdam • Boston • Heidelberg • London • New York • Oxford • Paris • San Diego • San Francisco • Singapore • Sydney • Tokyo. 2009. Pp. 90.

SISTEMI KUĆNE AUTOMATIZACIJE TEMELJENI NA UPRAVLJANJU POMOĆU GOVORA

HOME AUTOMATION SYSTEMS BASED ON VOICE CONTROL

Adnan Ramakić[1], Amel Toroman[2]
[1]Univerzitet u Bihaću, Rektorat, adnan.ramakic@unbi.ba
[2]Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet, amel.toroman@unbi.ba

---

SAŽETAK:
Razvojem tehnologije mnogi segmenti ljudskog života su u velikoj mjeri olakšani. Jedna od stvari koja je posljednjih godina doživjela veliki napredak i primjenu jeste kućna automatizacija. Kako se iz naziva može zaključiti radi se o automatizaciji kuće, poznato još pod nazivom Domotics. Ovi tipovi sistema koriste se za kontrolisanje osvjetljenja, kućanskih aparata, klima uređaja, sigurnosti itd. poboljšavajući kvalitetu življenja korisnika. U vezi s tim pojavljuje se termin pametna kuća, što je u radu detaljnije objašnjeno. U ovom radu glavni fokus je analiza ovih sistema koji su temeljeni na upravljanju pomoću govora, od funkcionisanja do najpoznatijih danas dostupnih sistema ovog tipa.

Ključne riječi: *Kućna automatizacija, pametna kuća, sistemi kućne automatizacije temeljeni na govoru*

ABSTRACT:
With development of technology many segments of human life are in great measure facilitated. One of the things that has in recent years undergone great development and application is home automation. As the name may conclude it is automation of home, otherwise known as domotics. These types of systems are used to control lighting, home appliances, air conditioners, security, etc., improving the quality of life of users. In this regard appears the term of smart house, which is explained in more detail in this work. The main focus of this work is the analysis of these systems, which are based on management by speech, from functioning to the most currently available systems of this type.

Keywords: *Home automation, smart house, home automation systems based on voice control*

---

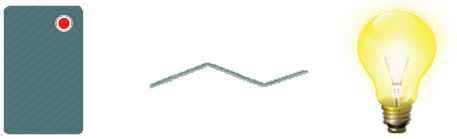
1. UVOD

Razvojem tehnologije mnogi segmenti ljudskog života su unaprijeđeni i olakšani u vrlo velikoj mjeri. Tehnologija se razvija svakim danom sve više, tako da stvari koje su možda bile nezamislive prije desetak godina danas se u velikoj mjeri primjenjuju. Jedan od klasičnih primjera je pametni telefon ili smartphone koji danas skoro da objedinjuje u jednom uređaju mobitel, tablet, računar itd. Logičan slijed događaja jeste da se i jedan dio te tehnologije prenese u mjesta gdje čovjek provede veliki dio svog vremena, u njegovu kuću. Korištenje tehnologije u kućama u velikoj mjeri olakšava ljudski život i povećava njegovu kvalitetu. Tema ovog rada je upravo kućna automatizacija s posebnim osvrtom za sisteme temeljene na upravljanju pomoću govora. Prije

nego se uopće nešto detaljnije kaže o navedenoj temi, prije svega je potrebno detaljnije opisati pojam kućne automatizacije, tj. što on to u suštini predstavlja.
Kućna automatizacija, poznata još i kao *Domotics,* kako se može zaključiti iz imena predstavlja automatizaciju kuće. Ovakvi tipovi sistema mogu kontrolisati osvjetljenje, kućanske aparate, klima uređaje, navodnjavanje i druge sisteme, a naravno sve u cilju očuvanja i poboljšanja komfora, kvaliteta življenja, energetske efikasnosti i sigurnosti. Posebno su ovi sistemi korisni za osobe s invaliditetom, starije osobe itd.[1].
Sistemi kućne automatizacije integriraju električne uređaje u kući s svim ostalim uređajima kako bi se kontrolisale već gore navedene aktivnosti, kao i mnoge druge. Uređaji su često spojeni kroz računarsku mrežu kako bi se mogli kontrolisati pomoću računara, mobilnog uređaja, tableta i slično[1]. Već spomenuti pametni telefoni u budućnosti će igrati jednu od najvažnijih uloga kod ovih sistema zbog već spomenutih razloga objedinjavanja više uređaja u okviru jednog kućišta.
Postoji mnogo različitih tipova sistema kućne automatizacije koji su tipično dizajnirani i kupljeni u različite svrhe. Jedan od glavnih problema u ovom području jeste da ti različiti sistemi nisu interoperabilni niti međusobno povezani. Primjeri ovih sistema su od jednostavnog udaljenog kontrolisanja osvjetljenja do potpuno integriranih i umreženih uređaja koji upravljaju svim aparatima u cijeloj zgradi, te se u suštini mogu i podijeliti u dvije grupe koje se razlikuju u kompleksnosti, jednostavni sistemi naspram umreženih sistema [2].
Termin pametnih kuća je prvi put korišten još davne 1984. godine od strane Američke asocijacije graditelja kuća (engl. American Association of House Builders) iako je prva „ožičena kuća" ustvari se izgradila još 1960-ih godina od strane hobista. I taj razvoj je ključan za to što se misli pod pametnim kućama. Za kuću se ne smatra pametnim to koliko dobro je izgrađena, niti kako efikasno je iskorišten prostor, niti da li prijateljska prema okolišu, koristeći solarnu energiju i reciklirajući otpadne vode npr. pametna kuća može ustvari i uključivati sve to, ali ono na osnovu čega se ona smatra pametnom jeste taj segment u kojem ona sadrži interaktivnu tehnologiju[3].
Pametna kuća onda može biti definisana kao rezidencija opremljena sa računarskim i informacionim tehnologijama koja predviđa i odgovara na potrebe stanara, radeći u tom smjeru da poboljša njihov komfor, praktičnost, sigurnost i zabavu kroz upravljanje tehnologijom unutar kuće i veza sa svijetom izvan nje. Bitno je napomenuti još i to da napredni kućni kontrolni sistemi imaju nekoliko imena, uključujući pametna kuća, kućna automatizacija i integrisani kućni sistemi[3].
U nastavku rada bit će nešto više govora o ovim tipovima sistema kao i o drugim bitnim stavkama koje se tiču sistema kućne automatizacije, te poseban osvrt na sisteme čije upravljanje je temeljeno na govoru.

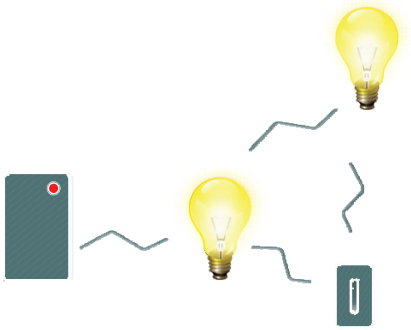
2. SISTEMI KUĆNE AUTOMATIZACIJE

U ovom dijelu bit će govora o jednostavnim i umreženim sistemima kućne automatizacije. Jednostavni sistemi kućne automatizacije često koriste jeftine RF (engl. radio frequency) kontrolisane uređaje koji komuniciraju u jednom smjeru (engl. simplex). Najjednostavniji od tih uređaja su daljinski upravljači koji su najčešće namijenjeni za regulaciju osvjetljenja. Pored njih tu su također vremenske stanice koje koriste istu tehniku za prijenos očitanja temperature sa vanjskih senzora u nekim vremenskim intervalima na unutarnje zaslone. Gledano s tehničke strane jedan daljinski predajnik može kontrolisati mali broj prijemnika ali niti jedan od tih uređaja nije umrežen, te budući da daljinski upravljač i prijemni uređaj komuniciraju direktno, sistem mora biti postavljen tako da je predajnik unutar opsega prijemnika, te ukoliko nisu, potrebno je imati repetitore. Radio signali su često jednostavni, AM modulirani signali koji koriste radio bandove kao npr. 433MHz. Poruke se generalno sastoje od binarnih adresa i komandi, gdje su za razliku od većine komunikacijskih sistema adrese kodirane u predajnik. Također mnogi prijemnici mogu biti programirani da „slušaju" jedan ili više specifičnih kodova predajnika, obično do pet različitih. Ovi sistemi su vrlo popularni za kućnu automatizaciju zbog svoje cijene i pakiranja koje se sastoji od daljinskog upravljača i nekoliko prijemnika koji se uključuju direktno u električnu utičnicu[2].



Slika 1: Upravljanje osvjetljenjem pomoću daljinskog upravljača, u jednom smjeru (Ilustracija na osnovu [2])

Sistemi kućne automatizacije koji za razliku od jednostavnih sistema imaju ugrađenu dvosmjernu (engl. duplex) komunikaciju, tj. mrežnu shemu koja može integrisati mnoge uređaje u kući i zgradi predstavljaju umrežene sisteme kućne automatizacije, gdje su najpoznatiji od njih Z-Wave, ZigBee, X10 itd. Ovi sistemi se oslanjaju na umrežavanje mreže tj. uređaji u mreži mogu biti korišteni kao repetitori pa čak i ruteri proširujući opseg koji može pokriti i velike zgrade. Budući da ti sistemi podržavaju dvosmjernu komunikaciju uređaji su obično sposobni pružiti smislene zadatke i naravno ova komunikacija omogućava uređajima da odgovore na komande i šalju poruke alarma i upozorenja[2]. U nastavku je ilustriran ovaj sistem (Slika 2). Kod ovog tipa sistema također postoje različite izvedbe i proizvođači, a da bi bili certificirani proizvođači za dizajniranje i proizvodnju uređaja sa Z-Wave ili ZigBee oni moraju biti članovi njihovih alijansi[2].



Slika 2: Umreženi sistem gdje su uređaji korišteni kao repetitori (Ilustracija na osnovu [2])

Pored navedena dva tipa postoji i X10 sistem koji je hibrid između prethodno dva navedena tipa. Početak razvijanja datira još od 1975. godine gdje je on predstavljen kao ožičeni sistem koji koristi vodove kao medij za prijenos, a od tada je nadograđen da također podržava radio komunikacije. Zamišljen je kao sistem sa jednosmjernom komunikacijom ali noviji uređaji podržavaju i dvosmjernu komunikaciju[2].
X10 predstavlja kontrolni protokol koji šalje pakete podataka duž strujnih vodova sa porukama. Podatkovni podaci se primjenjuju na vodove pomoću prijenosnika kao što je računarski interfejs ili daljinski upravljač, te su oni obrađeni od jednostavnijeg uređaja koji predstavlja prijemnik, kao npr. prekidač za osvjetljenje. Radi na principu kodiranja podataka u visoko frekventne praske, od 120KHz koje dodaje u vod. Svi uređaji kontrolirani od strane ovog protokola moraju imati adrese koje sadrže dva dijela. To su kućni kôd i kôd jedinice. Kućni kôd predstavlja slovo, od A do P, i treba biti jedinstven za kuću. Naravno može se zaključiti da sa 16 slova na raspolaganju kućni kôd ne može biti jedinstven za svaku kuću na svijetu, ali može biti jedinstven za imovinu koja dijeli neposredni strujni vod. Problem se nazire ovdje iz tog razloga što ovo često podrazumijeva da se ovdje uključuju i susjedi iz razloga što strujni vodovi spajaju u velike kanale pod cestom, te sve kuće koje dijele ove vodove će dijeliti i X10 poruke. To se može riješiti postavljajući filter između mjerača struje i ostatka kućne mreže. Drugi dio adrese predstavlja kôd jedinice kojih je 16 i predstavljeni su u heksadecimalnom zapisu[4].

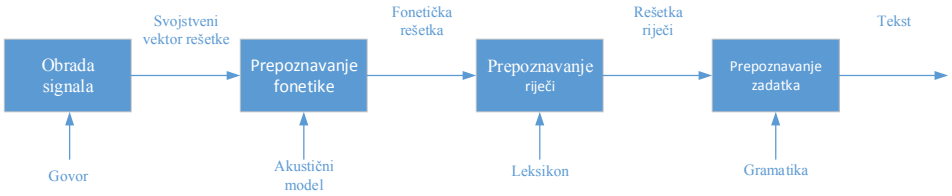
Svaka X10 poruka sastoji se iz sljedećih dijelova [4]: Startnog bloka poruke, adrese (kućni kôd ili kôd jedinice) i komandnog kôd, npr. upali, ugasi i sl.
Jednom kada se pošalje poruka ništa se ne dešava, prijemnik neće generisati zahvalnu poruku i slično, a pošiljalac ne šalje upit uređaju za potvrdu. To se dešava iz razloga što prijenosna kola su mnogo kompleksnija i skuplja nego prijemnik i zbog toga što dodavanje instalacije poruke bi povećalo troškove i za najjednostavnije prekidače za osvjetljenje. Međutim da bi se osigurala ispravnost podataka poruka se šalje dva puta i obje poruke se uspoređuju budući da električni šumovi na vodovima mogu oštetiti dijelove signala. To u prosjeku traje oko 0.64 sekunde za jednu poruku da bude primljena. Još jedan od problema koji se javlja su tzv. mrtve tačke (engl. dead spots) gdje sve poruke mogu biti "progutane" zbog toga što je električni šum proizveden od određenih aparata[4].
Još jedan od sistema koji je bitno spomenuti jeste C-Bus sistem koji je razvila Clipsal, Australijska kompanija, a koristio se za kontrolu različitih sistema osvjetljavanja na daljinu. Glavna namjena ovog sistema bila je u području osvjetljenja velikih objekata kao što su stadioni, arene, konferencijski centri itd.
Ovo implicira da sistem mora podržavati mnogo veće dužine kablova nego bi to bilo u kućnim primjenama i veći adresni prostor. Ovo se ostvarilo u oba slučaja, sa kablovima dužine 1km, što je moguće sa 100 aparata na podmreži, gdje je i svaka podmreža sposobna ostvariti konekciju sa drugih šest kroz mostove ili znatno više kroz današnje dostupne Ethernet mostove[4].
Kada se govori o sistemima i protokolima automatizacije može se reći da oni mogu biti podijeljeni na mnogo načina. Neke od bitnih osobina pri klasifikaciji jesu klasifikatori kao što su[5]: otvorenost, centralizacija i prilagodljivost sistema. Otvorenost se definiše kao zavisnost sistema o proizvođaču. Centralizacija ili centralizovani sistemi imaju središnu jedinicu koja upravlja cijelim sistemom. Pored centralizovanih sistema bitno je spomenuti da postoje i decentralizovani te hibridni sistemi[5].
Prema [6] top rješenja na tržištu kućnih sistema automatizacije za 2015. godinu su: HomeSeer, Control4, Crestron, Vera, Staples Connect, Iris, Savant, SmartThings,Wink i Nexia. Također, u [6] može se pogledati kriterij rangiranja kao i detaljniji opis navedenih sistema.

3. SISTEMI KUĆNE AUTOMATIZACIJE TEMELJENI NA UPRAVLJANJU POMOĆU GOVORA

Sistemi kućne automatizacije temeljeni na upravljanu pomoću govora danas sve više zauzimaju svoje mjesto u ovoj oblasti. Razlog za to je njihova praktičnost pogotovo kod sistema koji treba da koriste osobe sa invaliditetom. U ovom poglavlju bit će predstavljena najbolja rješenja ovog tipa trenutno dostupna na tržištu.
Interaktivne aplikacije koje operiraju pomoću poznavanja glasa, npr. integrisani sigurnosni sistem vrata i mogućnost kontrolisanja kućnih aparata jesu ključne stavke mreža kućne automatizacije. U suštini ova sposobnost zavisi od visokokvalitetnih tehnologija obrade glasa uključujući akustično echo otkazivanje, izobličenja slabog signala i tehnike redukcije buke. Sistem kućne automatizacije mora također biti skalabilan da omogući buduću nadogradnju, fleksibilan da podrži nadogradnje određenih polja, interaktivan, jednostavan za korištenje, isplativ i pouzdan[7].

3.1. Prepoznavanje govora

Prepoznavanje govora, često se spominje i kao automatsko prepoznavanje govora - Automatic Speech Recognition (ASR), a to je u suštini tehnologija gdje se ljudski govor obrađuje u tekst[8]. Ovaj proces može biti generalno podijeljen u četiri faze, što ilustrira i slika 3. Budući da postoji više načina prepoznavanja govora, sljedeća generalizacija iz [8] ne odnosi se potpuno na sve implementacije, ali predstavlja pregled.



Slika 3: Proces prepoznavanja govora (Ilustracija na osnovu [8])

Ulazni govor se prevodi u seriju svojstvenih vektora, te se onda oni transformiraju u odgovarajuće fonetičke reprezentacije. Nadalje ova reprezentacija se prevodi u riječi i vrši se provjera gramatike. Na kraju se dobije izlaz u digitalnoj reprezentaciji u formi teksta. Svojstveni vektori se promatraju kao dijelovi govora podijeljeni u manje blokove koji drže bitne akustične informacije od originalnog zvuka. Nakon toga slijedi interpretacija ovih vektora u kombinaciji sa akustičnim modelom koji sadrži akustična svojstva svakog jasnog zvuka i fonetičku reprezentaciju tog zvuka. Ovaj akustični model sad se koristi za mapiranje rešetke svojstvenih vektora u odgovarajuće fonetičke reprezentacije te se nakon toga traže riječi koje odgovaraju fonetičkoj kombinaciji koristeći leksikon. Poslije ovog koraka koristi se još provjera gramatike da se dobije konačni tekst[8].

3.2. Rješenja na tržištu

Na tržištu danas postoje različita rješenja za kućnu automatizaciju temeljenu na govoru, koja u većoj ili manjoj mjeri odgovaraju krajnjem korisniku. U nastavku slijede neka od najpoznatijih i najkorištenijih rješenja.

Amazon Echo

Amazon Echo je rješenje koje nudi kompanija Amazon, dizajnirano s fokusom na upravljanje pomoću glasa.

Uređaj se pokreće izgovaranjem ključne riječi Alexa ili Amazon [9]. Uređaj čim detektuje ključnu riječ spreman je za rad. Potrebno je samo pitati za informacije, muziku, novosti, vrijeme itd. i uređaj će odraditi svoj dio posla. Bilo da se kaže riječ buđenja ili pak pritisne dugme za akciju ili pak udaljeno dugme za govor potrebno je samo postaviti pitanje nekog tipa, npr. „Kakvo je vrijeme danas?" ili „Pusti muzičku listu." i Amazon Echo će uraditi željenu akciju. Servis za obradu glasa se konstantno nadograđuje i postaje bolji s vremenom. Amazon Echo koristi on-device detekciju ključne riječi, te kad izvrši detekciju iste, šalje tok zvuka na oblak (engl. Cloud) uključujući dio sekunde zvuka prije riječi buđenja. Ukoliko je zvuk poslan na sistem oblaka prsten koji se nalazi na gornjoj strani uređaja svijetli plavom bojom i na taj način korisnik zna da se vrši strujanje zvuka za obradu zahtjeva. Također moguće je izvršiti pregled glasovnih instrukcija posjetom „Povijesti" u postavkama u Amazon Echo aplikaciji. Interakcije su grupisane po pitanjima ili zahtjevima. Ponekad se može desiti da Amazon Echo nije u potpunosti razumio korisnika i prijevodi koji se vide u pregledanju povijesti možda neće prikazati konkretno što je kazano. Moguće je izvršiti i brisanje glasovnih interakcija i zapisa zvuka[10]. Slika 4 prikazuje Amazonov Echo uređaj.



Slika 4: Amazon Echo[9]

Ivee Sleek
Ivee Sleek omogućava upravljanje i kontrolu spojenih kućnih uređaja dajući glasovne komande. U mogućnosti je postaviti podsjetnike, alarm, čak i Internet sadržaj u realnom vremenu kao što je vrijeme, novosti i dionice[11]. Uređaj izgleda kao obični kućni digitalni sat, međutim radi se o vrlo naprednom uređaju kojim se upravlja glasom, također jednostavnim pitanjem npr. „Koliko je trenutno sati?" i uređaj će izvršiti obradu komande te odgovoriti u skladu sa pitanjem. Također moguće je s njim upariti i neke druge uređaje kao što je recimo Nest.

Honeywell Wi-Fi Smart Thermostat with Voice Control
Radi se o termostatu kompanije Honeywell koji omogućava upravljanje glasom. On omogućava sljedeće[12]: Glasom aktivirano prepoznavanje i kontrola, što znači da je omogućeno postavljane temperature dajući termostatu glasovne komande, dozvoljava korisnicima udaljeno praćenje i upravljanje kućnim komforom i korištenjem energije od bilo gdje i bilo kada, pregled vanjske i unutarnje temperature i vlažnosti na kućnom zaslonu, termostat uči o kućnim ciklusima grijanja i hlađenja da isporuči pravu temperaturu, podešavanje boja zaslona na dodir, automatska upozorenja, poboljšana cirkulacija zraka naprednom kontrolom ventilatora i regulacija temperature kroz kuću, fleksibilne programibilne opcije, uštedu energije odabirom programibilnog načina rada da se sačuva godišnje troškove grijanja i hlađenja, unutarnji senzor vlage, prikazan na zaslonu na dodir, sinkronizacija vremena preko Interneta, zaključavanje zaslona osjetljivog na dodir čime se osigurava sigurnost i pogodnost.

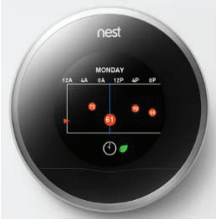
Ubi
Ubi predstavlja mali uređaj firme Unified Computer Intelligence Corporation koji radi na Android platformi. U lijepom kućištu objedinjeni su mikrofoni, zvučnici i senzori, a funkcionalnost mu je fokusirana na upravljanje pomoću glasa. Podržava Bluetooth i Wi-Fi, i reaguje na komande korisnika nakon što se pokrene frazom „OK Ubi"[13].
VoicePod
VoicePod predstavlja brend za cijelu novu klasu hardverskih proizvoda i softverskih aplikacija koji daje sposobnost kontrole glasom kućnim sistemima automatizacije. Iza njega stoji HouseLogix kompanija[14]. VoicePod daje kontrolu nad osvjetljenjem, uređajima za zabavu, alarmnim sistemima itd. Jedna od zanimljivijih stavki jeste da se može programirati da se zadaci izvode automatski, zavisno od vremena u danu[15].

Athom Homey
Homey predstavlja personalnog asistenta koji se brine o tehničkim dijelovima, vrši interakciju sa kućom i uređajima koristeći glasovne komande. S njim je moguće kontrolisati osvjetljenje, video, muziku, kućanske aparate, sigurnost itd.[16].

Nest termostat

Nestov termostat predstavlja uređaj koji je kreirala kompanija Nest Labs, a koju je kasnije Google preuzeo. Sastoji se od velikog broja mogućnosti međutim ono što je bitno istaći jeste njegov aspekt učenja. Kada se misli na ovaj aspekt misli se na mogućnost učenja analizirajući rutine korisnika[17].

Nest programira sebe tako da uči obrasce ponašanja i željenih temperatura za određene dane i vremena tokom sedmice i na osnovu toga gradi raspored. Ovaj učeći termostat ima tehnologiju očuvanja energije, a uz to i inovativan dizajn. Radi sa većinom sistema kućne automatizacije tako da ga je relativno jednostavno instalirati na mjesto već postojećeg termostata. Neke od zanimljivih stavki su recimo kružno sučelje koje blijedi prema crnom zaslonu kada nije u upotrebi te kada se korisnik približi senzori kretanja i osvjetljenja aktiviraju njegovo sučelje. Nest koristi različite ulaze za promatranje rutina iz dana u dan i koristi ih za održavanje HVAC (HVAC - heating – grijanje, ventilation – ventilacija, air condition – klimatizacija) rasporeda automatski, u zavisnosti od učenja. Ovo kompanija Nest naziva Nest Sense tehnologija. Također Nest kreira automatski modul odsustva baziran isto na učenju. Recimo postavlja temperaturu za minimalnu HVAC aktivnost kada korisnik nije kod kuće. Naravno moguće je i manualno podesiti te opcije. Dok aktivno grije ili hladi ovaj uređaj prikazuje procijenjeno vrijeme do željene temperature. Prikazuje zeleni list kada radi u režimu čuvanja energije. Koristi Wi-Fi konekciju za pristup korisničkom računu na nest.com. To omogućuje nadgledanje i podešavanje Nest-a udaljeno sa Web stranice. Nest podržava mobilne aplikacije za Apple iOS i Android uređaje, čime se mobilni uređaj pretvara u daljinski upravljač za Nest. Moguće je dodati Nest na bilo koji broj termostata u zgradi koja posjeduje više termostata. Iza Nest uređaja krije se kombinacija senzora, hardvera i popratnih algoritama. Nest je dizajniran za korištenje žica zajedničke za HVAC sisteme u kućama i generalno u ovom poslu danas [18]. Slika 5. prikazuje Nest termostat.



Slika 5: Nest termostat [19]

HAL

HAL predstavlja softver koji omogućuje kućnom računaru ili serveru da kontroliše kuću jednom kad se instalira. Radi na taj način da šalje komande širom kuće koristeći postojeće instalacije unutar kuće i zidova, što ga čini jako pristupačnim. Korisnik može koristiti npr. telefon u kući pritisnuti # tipku i izdati komandu HAL-u da recimo smanji osvjetljenje ili pak zatvori garažna vrata. Radi se o dvosmjernoj komunikaciji, gdje u suštini HAL potvrđuje da je izvršio zadanu akciju. HAL-ovo HomeNet web sučelje nudi kontrolu sa bilo kojeg računara sa pristupom Internetu[20].

HAL se može instalirati ili na postojeći računar ili na prekonfigurirani HAL server dodijeljen specifičnoj kući[21].

Zenno

Zenno predstavlja sistem kućne automatizacije koji omogućava jednostavne kontrole glasom za upravljanje kućnim sistemom zabave i elektroničkim uređajima. Može se koristiti sa pametnim telefonima ili nekim drugim uređajima, npr. pametnim satovima da bi se postigla željena interakcija sa kućom i kućnim sistemom[22]. Ovaj sistem uključuje sljedeće mogućnosti[22]:U bilo koje vrijeme i sa bilo kojeg mjesta kontrolu sa podrškom za višestruke platforme, razvojni

programeri imaju na raspolaganju Zennov SDK za privatne projekte, Smart Scenes tehnologiju koja može izvršavati višestruke akcije odjednom, korištenje Android Wear pametnog sata sa Zennom, kroz SDK Zenno omogućava programerima veliku kontrolu metoda za bilo koji DIY električni projekat od LED svjetala do RC auta.

CastleOS
CastleOS predstavlja pametni kućni operacijski sistem dizajniran da pruži napredne mogućnosti. CastleOS radi sa više pametnih uređaja i protokola između ostalih podržavajući i X10, Nest, Ecobee, Z-Wave itd. Dovoljno je jednostavno preuzeti CastleOS Kinect aplikaciju, spojiti se na Microsoft Kinect i vršiti glasovnu kontrolu u kući. CastleOS prepoznaje automatski hiljade komandi i prepoznaje svaki od pametnih uređaja po imenu[23]. CastleOS podržava mnogo različitih stavki od kojih su neke[23]:Alarm i sigurnost, kontrola klimatizacije, prilagođeno skriptiranje, upravljanje energijom, događaji i raspored, multimedijalna kontrola, obavijesti itd.

U prethodnom podpoglavlju dat je opis uređaja s pomoću kojih je moguće upravljati glasom u cilju stvaranja kućne automatizacije tj. pametne kuće. Naravno pored gore navedenih postoji još neka rješenja na tržištu međutim gore navedeni su među poznatijim. Definitivno među najpoznatije spada Amazon-ov Echo i Nest-ov termostat, ali također vrlo poznat je i Honeywell-ov pametni termostat. Većina od njih ima sličnu namjenu, povezivanje i interakciju s uređajima, kontrolisanje osvjetljenja, kućanskih aparata, kontrolu sigurnosti itd. Međutim ono što je potrebno izdvojiti jeste aspekt učenja kod Nest-ovog termostata. Kako je navedeno i ranije ovaj uređaj prati i uči obrasce ponašanja korisnika u vezi temperature i na osnovu toga kreira raspored. Budući da je cjenovni rang ovih sistema različit, sve zavisi od potreba korisnika, a naravno i od podrške od strane drugih uređaja. Prije nego se krene u realizaciju kućne automatizacije potrebno je detaljno analizirati korisnikove potrebe, financijske mogućnosti te na osnovu toga odabrati najbolje rješenje.

4. ZAKLJUČAK

Sistemi kućne automatizacije u posljednje vrijeme sve više zauzimaju svoje mjesto u svijetu tehnologije. Kako tehnologija napreduje u svim segmentima ljudskog života logično bi bilo zaključiti da će se proširiti i na mjesta gdje čovjek provede veliki dio svoga vremena, u kuću, te se često može susresti termin pametne kuće (engl. Smart home) u ovom kontekstu. Ovaj termin pojavio se još davne 1984. godine od Američke asocijacije graditelja kuća, i do danas je zadržan. Pametna kuća predstavlja rezidenciju opremljenu najnovijom tehnologijom koja omogućava korisniku automatizaciju poslova, sigurnost i mnogo toga. Automatizacija kuće, poznata još i kao Domotics predstavlja upravo ono što ime sugerira, a to je automatizaciju kuće. Na ovaj način korisnik, a pod korisnik misli se stanar naravno, može kontrolisati osvjetljenje, kućanske aparate, grijanje, klimatizaciju, sigurnost itd.
Glavni fokus ovog rada su upravo sistemi kućne automatizacije temeljeni na upravljanju pomoću govora. Prije svega, radi detaljnijeg razumijevanja sistema automatskog upravljanja opisan je pojam kućne automatizacije i pametnih kuća. Navedene su najvažnije stavke koje su bitne za ove sisteme, kao i najbolji sistemi kućne automatizacije dostupni na tržištu u 2015. godini. U vezi s tim predstavljeni su najpoznatiji sistemi kućne automatizacije kojim je moguće upravljati pomoću govora.
Opisana su neka od rješenja koja se nude na tržištu, a koja su manje ili više danas ono najbolje što se nudi. Neki od sistema koji su opisanu su Amazon Echo, rješenje kompanije Amazon kod kojeg je bitno reći samo ključnu riječ za buđenje i omogućena je glasovna komunikacija pomoću koje se izdaju komande ovom uređaju, koji pored mnogih funkcionalnosti koje nudi ima i lijep dizajn. Uz Echo opisani su još i IveSleek, Honeywell Wi-Fi pametni termostat za kontrolu glasom, Ubi, VoicePod itd. Na kraju je opisan i Nest termostat koji je akvizirao Google i koji predstavlja jedan

od najpoznatijih uređaja, prvenstveno termostata na tržištu s kojim su kompatibilni mnogi drugi uređaji.
Ono što je bitno na kraju reći da je kućna automatizacija, bila ona bazirana na komunikaciji i upravljanju glasom ili ne, neminovnost koja će u budućnosti predstavljati veoma važan segment ljudskog života, poboljšavajući sigurnost i komfor čovjeka, ali i mnoge druge segmente koji se tiču kuće i generalno ljudskog življenja.

5. LITERATURA

[1] Daniel Schermuk, Ezequiel Esposito, Federico Roasio, „Home Automation System using LPC1769", 2011. (Link: http://www.lpcware.com/system/files/CAE.pdf)
[2] THOR HÅDÉN, „IPv6 Home Automation", Bachelor of Science Thesis Stockholm, Sweden, 2009. (Link:https://people.kth.se/~maguire/DEGREE-PROJECT-REPORTS/090601-Thor_Haaden.pdf)
[3] Richard Harper, Editor, „Inside the Smart Home", Springer
[4] Steven Goodwin, „Smart Home Automation with Linux", 2010.
[5] Ondřej Nývlt, „Buses, Protocols and Systems for Home and Building Automation"
(Link:http://www.tecnolab.ws/pdf/Buses,%20Protocols%20and%20Systems%20for%20Home%20and%20Building%20Automation.pdf)
[6] http://home-automation-systems-review.toptenreviews.com/
[7] Andre Coucopoulos, „Voice Processing for Home Automation Systems", 2007.
(Link: http://ulp.zarlink.com/zarlink/home-automation-whitepaper-jan2007.pdf)
[8] Marika Hansson, Emil Johansson, Jacob Lundberg, Markus Otterberg, „Voice-operated Home Automation, Affordable System using Open-source Toolkits, Bachelor of Science Thesis in Computer Science, 2013. (Link: http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/203117/203117.pdf)
[9] Službena stranica Amazona (Link: http://www.amazon.com/oc/echo/)
[10] Službena stranica Amazona
(Link: http://www.amazon.com/gp/help/customer/display.html?nodeId=201602230)
[11] Službena stranica Helloivee
(Link: helloivee.com/products/sleek)
[12] Službena stranica Honeywell
(Link:http://yourhome.honeywell.com/home/Products/Thermostats/7-Day-Programmable/Wi-Fi+Smart+Thermostat+with+Voice+Control.htm)
[13] Službena stranica CNET
(Link: http://www.cnet.com/products/unified-computer-intelligence-corporation-ubi/)
[14] Službena stranica HouseLogic (Link: http://www.voicepod.com/about/)
[15] http://tech.co/check-2-voice-controlled-home-automation-systems-2013-11
[16] Službena stranica Athom (Link: https://www.athom.nl/)
[17] http://www.howtogeek.com/213173/should-you-buy-googles-nest-learning-thermostat/
[18] Stephanie Crawford & Bernadette Johnson "How the Nest Learning Thermostat Works" 6 March 2012., HowStuffWorks.com. <http://home.howstuffworks.com/nest-learning-thermostat.htm> 14 January 2016
[19] Službena stranica Nest Lab (Link: https://nest.com/)
[20] Službena stranica Home Automated Living HAL
(Link: https://www.automatedliving.com/HowItWorks.aspx)
[21] Službena stranica Home Automated Living HAL
(Link: https://www.automatedliving.com/Products.aspx)
[22] http://www.geeky-gadgets.com/zenno-voice-controlled-home-automation-system-unveiled-20-03-2015/
[23] Službena stranica CastleOS (Link: http://www.castleos.com/CastleHUB.aspx)

NOVE METODE UPOTREBE HEMOLOCK KLIPSA U ZATVARANJU ANEURIZME U NEUROKRANIJUMU

NEW METHODS OF USE HEM-O-LOCK CLIP IN CLOSURE OF ANERYSM IN NEUROCRANIUM

Kemal Dizdarevic[1], Samir Delibegovic[2], Mevludin Avdic[3], Salko Ćosić[4], Amir Arnautovic[5]

[1]Professor of neurosurgery, Neurosurgery Clinic, University Medical Center of University of Sarajevo, 71000 Sarajevo, Bolnička 25, Bosnia and Herzegovina, kemaldiz@bih.net.ba.

[2]Professor of surgery, Department of Surgery, University Clinical Center Tuzla, 75000 Tuzla, Trnovac b.b., Bosnia and Herzegovina, delibegovic.samir@gmail.com

[3]Professor of programming, The University of Tuzla, RGGF Tuzla, 75000 Tuzla, Univerzitetska 2, Bosnia and Herzegovina, mevludin.avdic@untz.ba

[4]Professor of mechanical engineering, The University of Tuzla, Faculty of Mechanical Engineering, 75000 Tuzla, Univerzitetska 1, Bosnia and Herzegovina, salko.cosic@untz.ba

[5]Professor of mechanical engineering, High Transportation School-Tuzla, 75000 Tuzla, Bosne srebrene 6, Bosnia and Herzegovina, amarnaut@gail.com

---

SAŽETAK:

U radu se istražuje mogućnost upotrebe plastičnog hem-o-lok klipsa pri zatvaranju aneurizme u neurokraniumu umjesto standardne metode sa titanijumskim (metalnim) klipsom.

U toku rada, izvršena su teoretska i eksperimentalna istraživanja i pokusi.

Teoretski proračuni su rađeni sa nelinearnom elastoplastičnom analizom klipsa i krvnog suda metodom konačnih elemenata sa programom ADINA R&D. Eksperimentalna studija je izvršena na psima.

Rezultati istraživanja primjene nove metode zatvaranja aneurizme u neuro-kraniumu upotrebom plastičnog Hem-o-lok klipsa umjesto metalnog pokazuju praktičnu i ekonomsku opravdanost.

Buduća istraživanja se mogu usmjeriti na širu upotrebu plastičnog Hem-o-lok klipsa u medicinskim zahvatima u neurokranijumu, kao i organizovanje njegove proizvodnje i alata za njegovu upotrebu na domaćem tržištu.

Ključne riječi: *Hem-o-lok klips, biomehnaika, metoda konačnih elemenata*

ABSTRACT:

In this study we research the possibility of the use of plastic Hem-o-loc clip for clipping of aneurysm in neurocranium instead of standard method with titanium clip. During the study, we performed theoretical and experimental research.

Theoretical estimate is performed using non-linear elastic-plastic analysis of clip and vessel, with method of finite element by software ADINA R&D. Experimental study was performed on dogs.

Results of this study of possible use of plastic clip in neurocranium have practical and economical validity. Future studies can me directed toward a wider use of plastic Hem-o-lok clip in surgical procedures, such as its production and development of the instruments.

Keywords: *Hem-o-lok clip, biomechanics, method of finite element*

---

1. UVOD

Četvrta generacija klipseva koji se upotrebljavaju u neurohirugiji napravljen je od titanijuma i njegovih legura[1]. Oni su standard u cerebrovaskularnoj neurohirurgiji. Plastični klispevi se ne upotrebljavaju u neurohrirugiji, premda imaju više praktičnih prednosti. Jedna dobro poznata je povezana sa njihovim dijamagnetksim i nesprovodnim karakteristikama koje rezultiraju u manje CT i MR artefakata nego standradni titanijumski klispevi[2].
U radu se istražuje mogućnost upotrebe plastičnog hem-o-lok klips (Slika 1) pri zatvaranju aneurizme u neurokraniumu umjesto standardne metode sa titanijumskim (metalnim) klipsom (Slika 2).



Slika 1. Hem-o-lok ML plastični klips



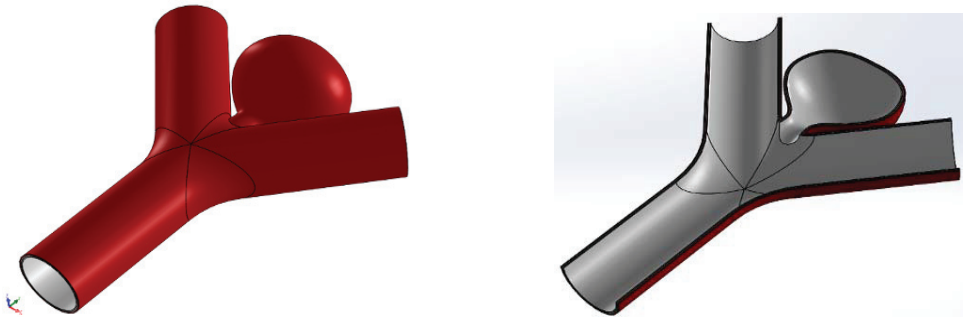
Slika 2. Yasargyl titaniumski klips

U tabeli 1 su prikazane komparativne vrijednosti nekih od parametara platinskog i plastičnog klipsa.

Tabla 1. Komparativni parametri titanijumskog i plastičnog klipsa

Opis	Yasargil Clip permanent FT	ML hem-o-lok
Maksimalna dužina (mm)	19.5	9.3
Dužina aktivnog kraka stezaljke (mm)	7.0	7.0
Masa (gr)	0.2	0.05
Magnetni permeabilitet (H/m)	1,25664133E-06	1,2566370639E-06
Effectivni atomski broj	22	8
Gustoča (g/cm^3)	4.5	1.410-1.420
Cijena (Euro)	200	5

Na slici 3 prikazan je model aneurizme u neurokraniumu, račvanje ICA (bifurkacija). Krvne žile imaju unutrašnji prečnik 3 mm, prečnik sfere aneurizme iznosi 7 mm, a prečnik najužeg dijela (vrat) iznosi u prosjeku 2 mm. Krvna žila je troslojna: unutrašnja tunika, mišićni sloj i vanjska tunika. Unutrašnji i vanjski sloj imaju debljinu stijenke po 0.11 mm, a stijenka mišićnog sloja je debljine 0,14 mm.



Slika 3. Model aneurizme u neurokraniumu

2. EXPERIMENTALNA STUDIJA

Studija je započeta nakon odobrenja Etičkog komiteta Veterinarskog fakuleta Univerziteta u Sarajevu. Deset pasa težine 12 kg, aklimatizirani na standardne laboratorijske uslove, smješteni su u kaveze (temepratura od 20 do 24 C, 12 sati svjetla, 12 sati mraka). Psi su randomizirani u dvije grupe i to: kod I grupe klispevi će nakon operativnog zahvata biti držani do 7 dana, a kod II grupe do 60 dana.

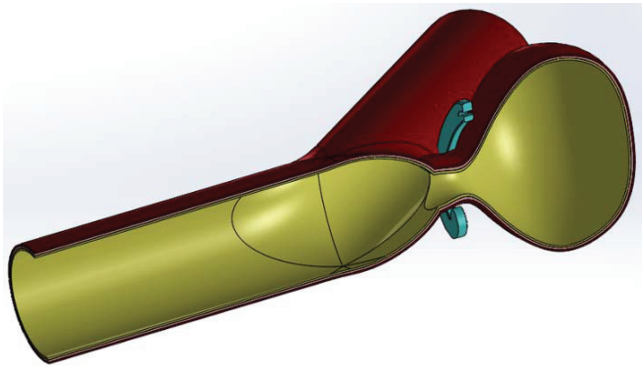
***Hirurška procedura**:* Nakon što su psi anestezirani upotrebom iv. Ketamina, fiksirani su adhezivnim trakama za hirurški sto u bočnom položaju. Glava je dezinficirana upotrebom povidon joda i osušena gazom.
Kraniotomija je izvršena na glavi psa i permanenti Yasargil FT 746 T klip (vanjska dužina 19.5 mm, masa 0.2 g) smješten je na arahnoideu frontobazalno, interhemisferično, pod uglom od 90º, a na drugom polu istog psa, plastični polymerni Hem-o-lok klips (vanjska dužina 9.3 mm, masa 0.05 g).
Kraniotomija i suturiranje kože izvršena je kontinuiranim 2-0 šavom. Tokom opservacionog perioda pratile su se eventualne lokalne ili sistemske kompolikacije
Sedmi dan nakon operativne procedure uradila se ponovna kraniotomija i uzet je postavljeni klips sa isječkom okolne arahnoideje.

***Eutanazija**:* Plasiramo i/v braunilu u *venu brachiocephalicu*, putem koje apliciramo opći anestetik, kombinaciju *ketamin: xylazin* (doze identične, prema protokolu anestezije).
Nakon prvog mjerenja pulsa i disanja, ukoliko su u anestiziološkim granicama, pristupamo aplikaciji preparata T61, koji se sastoji iz sljedećih aktivnih substanci: (*embutramid* 200 mg/ml, *mebezonium iodide* 50 mg/ml i *tetracain hydrochloride* 5mg/ml) u dozi 0,3 do 0,5 ml/kg tjelesne mase.
U našem slučaju, pošto je pas težak 15 kg doza je iznosila: 0,5 ml X 15 kg = 7,5 ml.
Nakon 5 minuta konstatovali smo zatajenje vitalnih funkcija rada srca i pluća, (exitus letalis persyncopem, et exitus letalis per suffocationem seu asphyxiam).
Histopatološka procedura: Biopsijski materijal je bio fiksiran u formalinu, i rezan u 5 standardnih rezova , obojen prema stadardnoj proceduri za H&E (hematoxylin eosin) bojenje. Mikroskopska analiza je izvršena sa Olympus BX41 mikroskopom.
Analizirao se uzorak tkiva oko titanijumskog odnosno plastičnog klipsa. Tkivna reakcija se gradirala na blagu, umjerenu i tešku.
Na mjestu plasiranja plastičnog klipsa (P-1) izazvan je intenzivan upalni odgovor, prije svega limfocita, histiocita i rijetkih polimorfonuklearnih leukocita, a na mjestu plasiranja titanijumskog klipsa (T-1) uočen je srednje intenzivan upalni odgovor istog sastava. Medjutim, zbog malog broja uzoraka, uočene razlike nisu statistički signifikantne.

3. TEORETSKA STUDIJA

3.1. Model, materijal i metode

Na slici 4 se vidi kako izgleda plastični hem-o-lok klips postavljen vertikalno na vrat aneurizme prije zatvaranja.



Slika 4. Model plastičnog hem-o-lok klipsa postavljen na vrat aneurizme prije zatvaranja

Proračun naponsko deformacijskog stanja plastičnog hem-o-lok klipsa pri zatvaranju aneurizme u neurokraniumu izvršen je sa nelinearnom elasto-plastičnom analizom sa licenciranim programom ADINA R&D. Model konačnih elemenata sastoji se od 5 grupa elemenata, a svaka grupa predstavlja detalj sistema klipsa i krvnog suda.
Fizičko mehaničke osobine plastičnog hem-o-lok klipsa koji je modeliran kao elastični bilinearni element su:

Modul elastičnosti: 1.6 N/mm^2
Poissonov koeficijent: 0.4
Napon popuštanja (Yield stress) σ_y =0.354 N/mm^2

Fizičko mehaničke osobine krvnog suda[5]:

Modul elastičnosti: 0.00596 N/mm^2

Poissonov koeficijent: 0.489

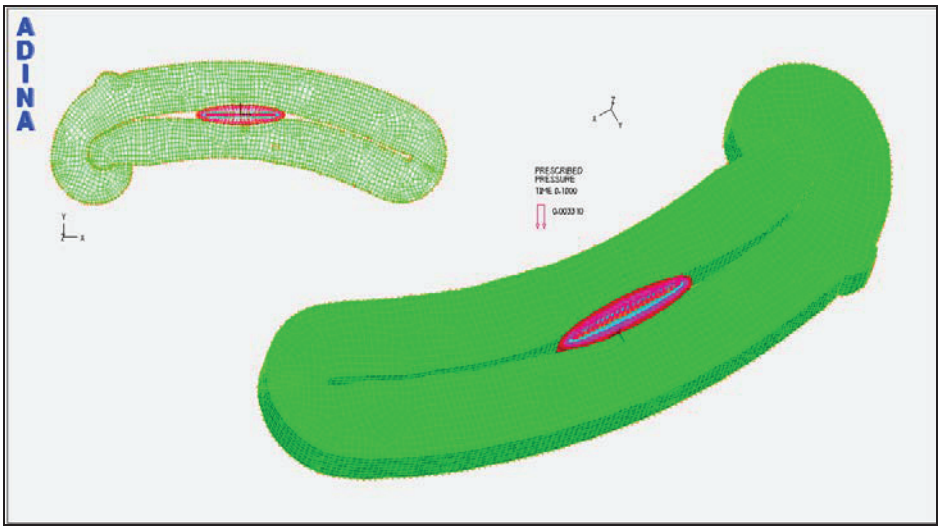
Model plastičnog hem-o-lok klipsa pri zatvaranju aneurizme u neurokraniumu se sastoji od 23616 čvornih tačaka i 30272 elementa i prikazan je na slici 5. Ponašanje klipsa simulirano je sa pritiskom na suženi prečnik sfere aneurizme. Prikliještenje sužene sfere aneurizme sa hem-o-lok klipsom simulirano je povećanjem pritiska od 0 do dvostruko većeg pritiska od normalnog u 100 koraka (normalni pritisak iznosi 250 mmHg ili 0,0333 N/mm^2).

3.2. Rezultati proračuna

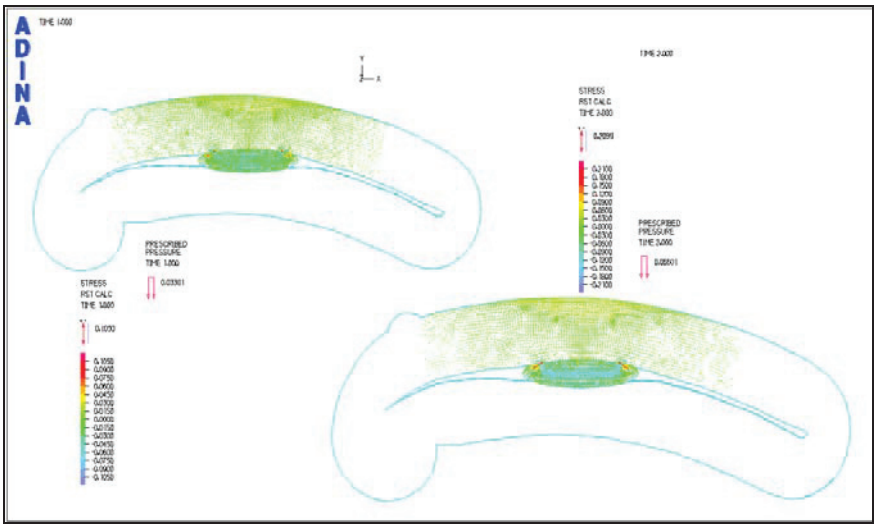
Model konačnih elemenata sklopa plastičnog hem-o-lok klipsa i zatvorene aneurizme u neurokraniumu predstavljen je na slici 5.

Rezultati proračuna daju grafički (vizuelni) prikaz vektora napona i pomaka u pravcu ose Y (pravac zatvaranja aneurizme) za normalnu i dvostruko veću vrijednost krvnog pritiska, a prikazani su na slikama 6 i 7.

Rezulatati proračuna modela konačnih elemenata plastičnog hem-o-lok klipsa pri zatvaranju aneurizme u neurokraniumu pokazuju da plastični hem-o-lok klips u potpunosti zadovoljava sa svojim karakteristikama funkciju za koju je bio namijenjen. Naime, pri maksimalnom funkcionalnom krvnom pritisku od 250 mm Hg, kao i pri dvostruko većem pritisku, nema razdvajanja krakova hem-o-lok klipsa po cijeloj njegovoj dužini, a time nema ni stvaranja prostora za prolazak krvne tečnosti, a što i jeste bila njegova namjena.



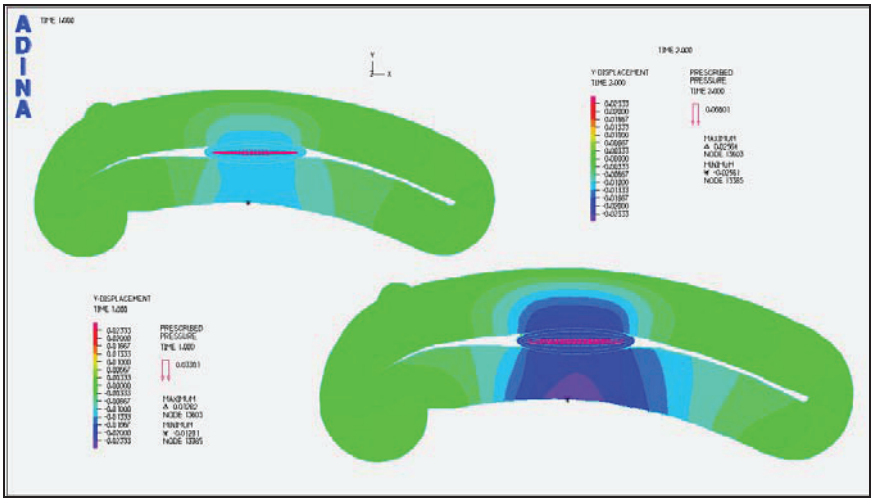
Slika 5. Model konačnih elemenata plastičnog hem-o-lok klipsa pri zatvaranju aneurizme u neurokraniumu



Slika 6. Model konačnih elemenata plastičnog hem-o-lok klipsa pri zatvaranju aneurizme u neurokraniumu sa vektorima napona (N/mm^2)

Uvidom u dobijene vrijednosti napona u materijalu hem-o-lok klipsa pri maksimalnom opterećenju (Maksimalno izračunato: σ_y =0.02564 N/mm^2), nema vrijednosti napona koje prelaze granicu popuštanja materijala hem-o-lok klipsa (Maksimalno dopušteno: σ_y=0.354 N/mm^2) (Slika 7).

Naprezanja i otpori naprezanja hem-o-lok klipsa i vrata aneurizme u neurokraniumu po osama x i z ne utiču na funkciju zatvaranja same aneurizme, tj. po tim pravcima nisu značajno opterećeni u odnosu na Y-pravac i zbog toga u ovom radu nisu analizirani i prikazani.



Slika 7. Model konačnih elemenata plastičnog hem-o-lok klipsa pri zatvaranju aneurizme u neurokraniumu sa pomacima u pravcu Y-ose (mm)

4. ZAKLJUČAK

Uspješan tretman intrakranijalnih aneurizmi traži multidisciplinarni pristup, gdje su hirurško klipsanje i endovaskularne procedure komplemenatrne, a ne trebaju biti kompetititvne.
Imaging studije bolesnika sa cerebrovaskularnim aneurizmama postaju krajnje sofistirane[3]. Stoga radiološke prednosti hem-o-lok klipsa mogu biti prevaga za buduću uputrebu u neurokranijumu.
Mnoge karakteristike hem-o-lok klispa koje uključuju težinu, snagu zatvaranja, biokompatiblnost[4] i cijenu, čine ga atraktivnim i potencijalno mogućim za upotrebu u cerebrovaskularnoj hirurgiji.
Danas, za pozicioniranje i uklanjanje hem-o-lok klipsa potrebna su dva posebna instrumenta, što čini hem-o-lok klips težim za upotrebu, dok za titanski klips to nije karakteristika.
Stoga je potrebno od proizvođača dalji razvoj konstrukcije instrumenata i hem-o-lok klipsa, kod kojih će se, poput titanijumskog klipsa, sa jednim instrumentom vršiti i aplikacija i uklanjanje klipsa.

5. LITERATURA

[1] Kakizawa Y., Seguchi T., Horiuchi T., Hongo K., Cerebral aneurysm clips in the 3-tesla magnetic field, *Laboratory investigation*, *J Neurosurg*, 2010, 113:859-69.
[2] Delibegovic S., Radiologic Advantages of Potential Use of Polymer Plastic Clips in Neurosurgery, *World Neurosurgery*, 2014, 3/4:549-551.
[3] Zachenhofer I., Image quality and artifact generation post-cerebral aneurysm clipping using a 64-row multislice computer tomography angiography (MSCTA) technology, a retrospective study and review of the literature, *Clin Neurol Neurosurg*, 2010, 112:386-391.
[4] Delibegovic S., Dizdarevic K., Cickusic E., Katica M., Obhođaš M., Oćus M., Biocompatibility of Plastic Clip in Neurocranium - Experimental Study on Dogs, *Turkish Neurosurgery*, 2016, *In Press, DOI*:, 10.5137/1019-5149.JTN.13979-15.
[5] Franceschini G., The mechanics of human brain tissue, *Trento*, 2006.
[6] ADINA R&D

ODREĐIVANJE KONCENTRACIJE 4'4-DIHIDROKSI-2,2-DIFENILPROPANA (BISFENOL) U DJEČIJOJ PASTI ZA ZUBE POMOĆU HPLC-A

DETERMINATION OF CONCENTRATION 4'4 -DIHYDROXY - 2,2- DIPHENYLPROPAN (BPA) IN CHILDREN'S TOOTHPASTE WITH HPLC

Damir Hrnjica[1], Huska Jukić[1], Asmir Aldžić[1], Suad Habeš[2] Ekrem Pehlić[1]
[1]Univerzitet u Bihaću
[2]Univerzitet u Sarajevu, Fakultet zdravstvenih studija Sarajevo,
damir1911@yahoo.com; huky_jukic@yahoo.com;
asmiraldzic@hotmail.com; hsuad@hotmail.com

SAŽETAK:

Unos bisfenola A u ljudski organizam u svakodnevnom životu je oralno, odnosno preko hrane i pića u koje je otpuštanjem i migracijom dospjeo bisfenol A, koji se nalazi u ambalaži, te kod djece preko predmeta i igračaka koje stavljaju u usta. Utjecaj ove molekule na rizik po ljudsko zdravlje i okoliš s naučnog stanovišta se intenzivno istražuje u posljenjih deset godina. Postoje naučne studije koje dokazuju da bisfenol A (BPA) uzrokuje poremećaje endokrinog sistema jer oponaša neke hormone u tijelu čovjeka iz grupe estrogena kao što su: estradiol, estriol i estron, te na taj način može negativno utjecati na zdravlje ljudi. Određivanje BPA je vršeno pomoću HPLC-UV metode. U marketima na području BiH su kupljeni proizvodi paradajz sosa upakovani u ambalažu sa oznakom , a koja je bila podvrgnuta eksperimentalnim uvjetima (vrijeme skladištenja). Određivanje koncentracije bisfenola A koji je migrirao iz ambalaže je testiran po metodi koja je normirana u EU (Europska unija) i nosi oznaku EN 13130, a u BiH ima oznaku BAS CEN/TS 13130-13.

Ključne riječi: *Bisfenol A, migracija, polimeri, monomeri, HPLC.*

ABSTRACT:

Bisphenol A is taken into a human body in a daily life orally, i. e. through food and drinks in which it got by release and migration from the packaging, and children get it through objects and toys which they put in mouth. The risky impact of these molecules on human health and the environment has been intensively researched from the scientific point of view over the last ten years. There are scientific studies that prove that bisphenol A (BPA) causes disorders of the endocrine system because it mimics some hormones in the human body from the group of estrogens such as: estradiol, estriol and estrone, and thus can negatively affect the health of people. Determination of BPA was performed by HPLC-UV method. Tomato sauce products, packed in containers labeled 07, have been bought in supermarkets in Bosnia and Herzegovina, and the package has been subjected to experimental conditions (storage time). Determination of bisphenol A, which has migrated from the packaging, bas been tested using the method that is standardized in the EU (European Union) and is labelled EN 13130, while it is labelled CEN / TS 13130-13 in Bosnia and Herzegovina.

Key words: *Bisphenol A, migration, polymer, monomer, HPLC.*

1. UVOD

Bisfenol A je organska molekula IUPAC (International Union of Pure and Apllied Chemistry) naziva 4'4-dihidroksi-2,2-difenilpropan koji se mnogo upotrebljava u industriji kao monomer u proizvodnji epoksi-fenolnih smola i polikarbonata, kao i inhibitor u polimerizaciji proizvodnje PVC-a [1]. Bisfenol A ima široku upotrebu pa se s toga proizvodi u velikim količinama, gdje se godišnja svjetska proizvodnja procjenjuje 3-4 miliona tona [2]. Istraživanja su pokazala da monomeri mogu migrirati iz polimera i preći iz ambalaže u proizvod, te se u znatnoj mjeri mogu naći u ljudskom organizmu i okolišu [3]. Dokazani su štetni učinci bisfenola A, i to u koncentracijama koje su niže od službeno „preporučene" dnevne doze za ljude (50 mikrograma na kilogram tjelesne težine) [4].

2. CILJ

Cilj rada jezasnovan na određivanju koncetracije bisfenola A u ispitivanim uzorcima koji su pakirani u ambalažu od polistirena i ostalih ambalažnih materijala kod kojih se koristi bisfenol A kao monomer-stabilizator.Također, cilj rada je da se vidi kako vrijeme skladištenja utječu na koncentraciju bisfenola A u prehrambenim proizvodima i nekim drugim artiklima koji su pakirani u plastičnu ambalažu. Nadalje, cilj rada je i poređenje dobivenih podataka sa drugim studijama koje su mjerile koncentraciju ovog monomera u zadatim medijama, a prvenstveno u hrani. Značaj rada se ogleda u tome što će ukazati na nivo koncentracije bisfenola A u prehrambenim i nekim drugim artiklima koji su upakovani u plastičnu ambalažu koja sadrži molekulu bisfenol A, tj. koja na sebi nosi reciklažnu oznaku 

. Također značaj rada se ogleda i u tome kako bi se podigla svjest potrošača o prisutnosti nepoželjnih hemikalija u hrani, koje migriraju iz ambalaže u prehrambene i neke druge proizvode.

3. MATERIJALI I METOD RADA

Materijali koji su korišteni za ispitivanje su: ambalažni materijali i to: tube dječije paste za zube. Prilikom postavljanja plana ogleda, te izbora materijala i metoda, uzeti su u obzir cilj i zadaci rada, kao i podaci iz literature o migraciji bisfenola A iz ambalaže u namirnice. Analize su rađene na način da se ambalaža podvrgne djelovanju različitih temperaturnih i vremenskih parametara. Ispitivani materijal kupljen je u marketima na području USK-a i BiH sa reciklažnom oznakom : **07**

3.1. Materijal - Tube dječija pasta za zube

Tuba dječije paste za zube kao uzorak je izrađena od neprozirne (bijele boje) elastične plastike pravilnog oblika zapremine 50 mL određenog proizvođača. Ambalaža dječije paste za zube su napunjene simultantom (deinozirana voda) i bile skladištene u termostatskoj peći na temperaturu od 25 °C. Paste za zube su bile skladištene u trajanju od 1–24 sata i 2, 4, 8, 16, 24, 32, 40 i 48 dana. Sadržaj iz tube paste za zube se prenese pomoću mikro šprice ustaklene bočice (vajlice) pogodne za HPLC analizu. Analiza dobivenih uzoraka su vršene tako da se parametri HPLC-a i UV detektora podešeni za traženukomponentu u uzorku.

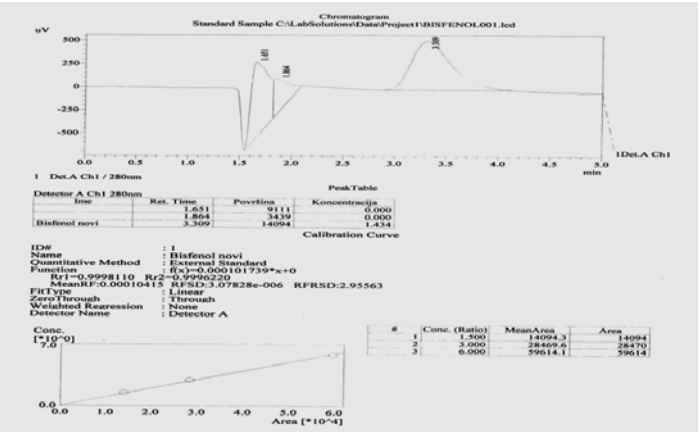
3.2. Metoda

Metoda kojom je mjerena koncentracija, tj. količina migracije bisfenola A iz ambalaže u simultante hrane je referentna metoda, a koja je normirana u EU i ima oznaku EN13130, a u BiH nosi oznaku: BAS CEN/TS 13130-13**.** Ovaj standardje namijenjenkako bi podržao direktivu 2002/72/EC, 89/109/EEC, 82/711/EEC i njegove izmjene i dopune 93/8/EEC, 97/48/EC i 85/572/EEC. Ovaj dionorme EN13130 treba čitati zajedno sa EN13130-1. Daljnji dijelovi EN 13130, pod zajedničkim naslovom *„Materijali i predmeti u dodiru s prehrambenim proizvodima*". Plastične tvari koje podliježu ograničenju, specifične migracije iz plastičnih materijala u hranu i simulantima hrane i određivanje specifičnih monomera i aditiva u plastici. Dio13: Određivanje 2,2 - bis(hidroksifenil) propana (Bisfenol A) u simulantima hrane.
Princip: Koncentracija bisfenola A u vodenom simulantu hrane se određuje tekućom kromatografijom visoke performanse (HPLC) s UV detektorom.
Reagensi: Svi reagensi moraju biti p.a., osim ako nije drugačije navedeno.
Analit: 2,2-bis (4-hydroxyphenyl) propan, (Bisphenol A ili 4,4'-(methylethylidene)-bisfenola ili 4,4'-isopropylidenediphenol), molekulske formule $C_{15}H_{16}O_2$, molekularna težina: 228,28, g/mol, čistoća > 99%.
Hemikalije Metanol, vodadeionizirana.
Uređaj za analizu

Instrumenti, posuđe, pribor, oprema koji su korišteni u labaratoriju.

- Analitička vaga
- Ultrazvučna kupka
- HPLC (UFLC Shimadzu, LC–20 AD)
- UV detektor (SPD–20 AV)
- HPLC kolona za odvajanje bisfenola A podrijeklom iz simulanta i/ili otapala koje se koristi (kolona C18: nehrđajući čelik 250 x 4,6 μm, obložena silikagelom, veličina čestica 5 μm)
- Protok: 1 mL/min
- Mobilna faza: 70:30 metanol: voda deionizirana
- UV detektor: 780 nm.

Kalibracija Izvaže se 37,5 mg ± 0,1 mg bisfenola A u 100 mL volmetrijskoj tikvici. Otopi se bisfenol A u metanolu HPLC čistoće i napunise do oznake. Prenese se mikro špricom u seriji od šest u 25 ml volmetrijske tikvice 0 μL, 20 μL, 100 μL, 200 μL, 300 μL i 400 μL standardne otopine (37,5 mg otopljeno u 100 mL metanola) i napuni do oznake s odgovarajućim analitom (deionizirana voda) i mješa dobro. Ovako dobivene kalibracijske otopine sadrže 0 μg/ml, 0,30 μg/mL, 1,5 μg/mL, 3,0 μg/mL, 4,5 μg/mL i 6,0 μg/mL bisfenola/simultanta hrane. Nakon završene kalibracije gdje je dobiven pravolinijski grafikon s poznatim koncentracijama standarda, dobiveno je retenciono vrijeme (vrijeme na kojem se pojavljuje tražena supstanca bisfenol A). Prema metodi dozvoljeno odstupanje retencionog vremena je 5 %.



Slika 1 . Kalibracioni hromotogram bisfenola A.

Na slici 1. je prikazan hromotogram za standardnu koncentraciju bisfenola A od 3 µg/mL. Ispod hromotograma je data tabela s očitanom vrijednošću koncentracije bisfenola A od 1.434 µg/mL, te površinom pika i retancionim vremenom od 3.309 min. U donjem dijelu slike data je tabela sa zadatim koncentracijama bisfenola A, te očitanim koncentracijama standarda i površinama pika. Također, prikazana je kalibraciona kriva za očitana tri pripremljena standarda bisfenola A i to za koncentracije 0 µg/mL, 1,5 µg/mL, 3 µg/mL i 6 µg/mL. Kalibraciona kriva predstavlja pravac koji prolazi krozkalibracione tačke koje je HPLC-UV detektor očitao. Kod kalibracione krive X-osa predstavlja očitanu površinu pika, a Y-osa očitanu koncentraciju.

Postupak Ultrazvučna kupka; Mobilna faza (metanol : deinozirana voda, 70:30) se stavlja u ultrazvučno kupatilo 10–15 sekundi da bi se istisnuo zrak iz mobilne faze.

HPLC-analiza Detektor mora biti u mogućnosti otkriti najmanje 6ngustupcubisfenola A u omjer signala i šumaza 3:1. Isti uslovi rada HPLC sistema su se održavali tokom mjerenja svih uzoraka.Vrijeme zadržavanja za bisfenol A u koloni je utvrđeno da bude 4,5 minuta.

Analiza uzoraka Uzorak dobiven tokom pripreme se prenese pomoću mikro-šprice (1 mL) u bočice (vajlice) koje se stave u kućište HPLC-a da bi se izvršila analiza uzoraka.

4. REZULTATI

Korištena je ambalaža pasta za zube koja je namjenjena za djecu do 7 godina starosti, a koja je imala reciklažnu oznaku „07" na ambalaži. Iz tabele 1. se vidi da vrijeme zadržavanja paste u ambalaži, može utjecati na koncentraciju BPA, tj. na nivo migracije monomera u pastu (simultant), ovisi o vremenu kontakta. Što je duže vrijeme kontakta simultanta s ambalažom to je i veća koncentracija ispitivane tvari, odnosno veća migracija monomera.

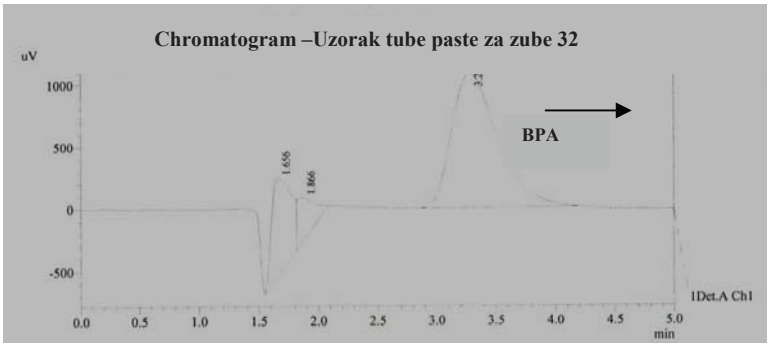
Tabela 1. Koncentracija BPA u uzorku, koji su u ambalaži tuba paste za zube.

Broj uzorka	Uzorak	Vrijeme skladištenja	Temperatura skladištenja °C	Koncentracija BPA (μg/mL)
1	Tuba paste za zube	1 [h]	25	0,000
2	Tuba paste za zube	2 [h]	25	0,000
3	Tuba paste za zube	3 [h]	25	0,000
4	Tuba paste za zube	4 [h]	25	0,000
5	Tuba paste za zube	5 [h]	25	0,000
6	Tuba paste za zube	6 [h]	25	0,000
7	Tuba paste za zube	7 [h]	25	0,000
8	Tuba paste za zube	8 [h]	25	0,000
9	Tuba paste za zube	9 [h]	25	0,000
10	Tuba paste za zube	10 [h]	25	0,000
11	Tuba paste za zube	11 [h]	25	0,000
12	Tuba paste za zube	12 [h]	25	0,000
13	Tuba paste za zube	13 [h]	25	0,000
14	Tuba paste za zube	14 [h]	25	0,000
15	Tuba paste za zube	15 [h]	25	0,000
16	Tuba paste za zube	16 [h]	25	0,000
17	Tuba paste za zube	17 [h]	25	0,000
18	Tuba paste za zube	18 [h]	25	0,000
19	Tuba paste za zube	19 [h]	25	0,000
20	Tuba paste za zube	20 [h]	25	0,000
21	Tuba paste za zube	21 [h]	25	0,000
22	Tuba paste za zube	22 [h]	25	0,000
23	Tuba paste za zube	23 [h]	25	0,000
24	Tuba paste za zube	24 [h]	25	0,000
25	Tuba paste za zube	2 [d]	25	0,000
26	Tuba paste za zube	4 [d]	25	0,000
27	Tuba paste za zube	8 [d]	25	0,351
28	Tuba paste za zube	16 [d]	25	1,729
29	Tuba paste za zube	24 [d]	25	1,759
30	Tuba paste za zube	32 [d]	25	1,858
31	Tuba paste za zube	40 [d]	25	1,885
32	Tuba paste za zube	48 [d]	25	2,977

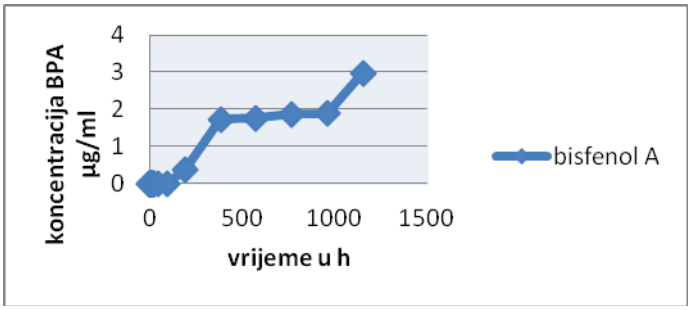
Oznake:[h]–sati**,** [d]–dani.

Iz tabele je vidljivo da u prvih 24 sata, kao i nakon 2 i 4 dana nije bilo migracije bisfenola A iz ambalaže u simultanat. Međutim, uzorak koji je skladišten 8 dana pokazao je migraciju ispitivane tvari BPA iz ambalaže u simultant u količini od 0,351 μg/mL. Koncentracija bisfenola A se povećavala u uzorcima koji su bili skladišteni 16, 24, 32, 40 i 48 dana. Kako se može vidjeti iz tabele 10 količina migracije BPA je ovisila o vremenu, tj. što je uzorak bio duže prisutan u ambalaži, to je i količina migracije monomera bila veća.

Na slici 2. je prikazan hromotogram za određivanje bisfenola A u uzorku tube paste za zube kod trideset drugog mjerenja. Mjerenje je izvršeno nakon izlaganju uzorka zadatim parametrima i to: 48 dana na 25°C. Na hromotogramu se jasno vidi pik bisfenola A koncentracije 2,977 μg/mL s retencionim vremenom od 3.149 miuta, što odgovara odstupanju do 5%. Površina pika koja označava bisfenol A je integrirana, a na osnovu koje se dobije tačna koncentracija bisfenola A.



Slika 2. Hromotogram uzoraka tube paste za zube kod 32. mjerenja



Slika 3. HPLC dijagram ovisnosti konc. BPA od vremena u ambalaži paste za zube.

Vidljivo je iz hromatograma i dijagrama da je prvamjerljiva koncentracije bisfenola A u simultantu je 0,351 µg/mL tj. nakon 8 dana prisutnosti simultanta u ambalaži paste za zube. Nakon mjerenjau narednih 8 dana tj. za šesnasest dana dolazi do naglog povećanja migracije bisfenola A iz ambalaže u simultant sa 0,351 µg/mL na 1,729 µg/mL, što je povećanje za 393 %. Na sljedećem mjerenju koje je vršeno nakon24 dana nije došlo do velike migracije bisfenola A iz ambalaže u simultant u odnosu na predhodno mjerenje i iznosilo je 1.759µg/mL. Koncentracija BPA nakon 32 dana je 1.858 µg/mL, što ne predstavlja veliku razliku u odnosu na predhodnu koncentraciju. Iz tabele se vidi da i nakon 40 dana nije bilo velikog odstupanja u migraciji BPA u odnosu na migraciju BPA za 32 dana. Nakon 16-og dana uspostavlja se blaga ravnoteža i dolazi do postepenog povećanja koncentracije bisfenola A u simultant, a taj lagani rast koncentracije BPA se održava sve do 40-og dana, nakon čega se ponovo javlja nagli skok koncentracije BPA u uzorku. Koncentracije BPA mjerena iz uzorka skladištenog 40 dana je iznosila 1,885 µg/mL, a izmjerena koncentracija BPA u uzorku skladištenog 48 dana je 2.977 µg/mL što predstavlja povećanje za 58 %. Iz diagrama je vidljivo da se najveća migracija dešava u periodu između osmog i šesnaestog dana kontakta simultanta s ambalažom.

5. ZAKLJUČAK

Brojna istraživanja su dokazala da plastična ambalaža koja je sastavljena od polimera ima osobinu da otpušta monomere iz polimernih molekula u određeni tečni ili čvrsti medij. Štetnost po ljudsko zdravlje mnogih monomera u sastavu polimernih materijala, tema je mnogih studija u zadnjih

nekoliko destina godina. Imajući u vidu ova istraživanja u ovm radu su analizirane količine migracije bisfenola A u hranu.

Ispitivanjem ambalaže pasta za zube koja je namjenjena za djecu do 7 godina, a koja je imala reciklažnu oznaku „07" na ambalaži, vidi se da vrijeme zadržavanja paste u ambalaži, može utjecati na koncentraciju BPA, tj. na nivo migracije monomera u pastu (simultant). Što je duže vrijeme kontakta simultanta s ambalažom to je i veća koncentracija ispitivane tvari, odnosno veća migracija monomera. U prvih 24 sata, kao i nakon 2 i 4 dana nije bilo migracije bisfenola A iz ambalaže u simultanat. Međutim, uzorak koji je skladišten 8 dana pokazao je migraciju ispitivane tvari BPA iz ambalaže u simultant u količini od 0,351 μg/mL. Koncentracija bisfenola A u uzorcima koji su bili skladišteni 16, 24, 32, 40 i 48 dana, se povećavala sa vremenom, tj. što je uzorak bio duže prisutan u ambalaži, to je i količina migriranog monomera bila veća. Kod prvog mjerenje koncentracije bisfenola A u uzorku ambalaže paste za zube za 1 sata i na temperaturi od 25°C. Hromotogram BPA pokazuje da nije bilo mjerljivih vrijednosti bisfenola A nakon ovog mjerenja, tj. nije bilo migracije BPA iz ambalaže u simultant. Međutim, na hromotogram za bisfenola A u uzorku ambalaže paste za zube kod 27. mjerenja tj. 8 dana i na 25°C, se jasno vidi pik bisfenola A koncentracije 0,351ěg/mL s retencionim vremenom od 3.293 minute, što odgovara odstupanju do 5%, a koje je zadato metodom. Znači tek nakon osam dana kontakta ambalaže sa simultandom dolazi do mjerljivih vrijednosti koncentracije BPA, tj. do povećane migracije. Pored pika na hromatogramu koji označava bisfenol A ima i drugih pikova koji predstavljaju druge spojeve koji su migrilali u medija, za koje vrijedi drugo retenciono vrijeme. Ovi pikovi predstavljaju drugu vrstu monomera koji nisu bili predmet ovih istraživanja. Utvrđeno je da na količinu migracije BPA iz ambalaže paste za zube u uzorak utječe vrijeme kontakta ambalaže sa simultantom, tj. koncentracija bisfenola A ovisi o vremenu kontakta sa ambalažom. Hromotogram bisfenola A u uzorku tube paste za zube kod trideset drugog mjerenja i to: 48 dana na 25°C, koncentacija bisfenola A iznosila je 2,977 μg/mL s retencionim vremenom od 3.149 minuta. Zanači prvamjerljiva koncentracije bisfenola A je nakon 8 dana prisutnosti simultanta u ambalaži paste za zube. U narednih 8 dana tj. za šesnaest dana došlo je do naglog povećanja migracije bisfenola A iz ambalaže u simultant sa 0,351 μg/mL na 1,729 μg/mL, što je enormno povećanje za 393 %. Na sljedećem mjerenju koje je vršeno nakon24 dana nije došlo do velike migracije bisfenola A iz ambalaže u simultant u odnosu na predhodno mjerenje i iznosilo je 1.759μg/mL. Koncentracija BPA nakon 32 dana je 1.858 μg/mL, što ne predstavlja veliku razliku u odnosu na prethodnu vrijednost. Nakon 40 dana nije bilo velikog odstupanja u migraciji BPA u odnosu na migraciju BPA za 32 dana. Nakon 16-og dana uspostavlja se blaga ravnoteža i dolazi do postepenog povećanja koncentracije bisfenola A u simultant, a taj lagani rast koncentracije BPA se održava sve do 40-og dana, nakon čega se ponovo javlja nagli skok koncentracije BPA u uzorku. Koncentracije BPA mjerena iz uzorka skladištenog 40 dana je iznosila 1,885 μg/mL, a izmjerena koncentracija BPA u uzorku skladištenog 48 dana je 2.977 μg/mL što predstavlja povećanje za 58 %. Kod ambalaže paste za zube najveća migracija se dešava u periodu između osmog i šesnaestog dana kontakta simultanta sa ambalažom. Ovim rezultatima se potvrđuju dosadašnji podaci da pH vrijednost može uticati na migraciju monomera. Što je medij kisliji kao što je u ovom slučaju, veća je i vrijednost migracije, što se slaže sa dosadašnjim istraživanjim.

Predpostavljajući da simultan (dejonizirana voda) ima gustoću 1 g/mL, onda izmjerena koncentracija BPA u simultantu koji je u kontaktu sa ambalažnim materijalom tube paste za zube je 2,977 mg/L ili 2,977 mg/kg.

Maksimalne vrijednosti koncentracije bisfenola A za sve ispitivane uzorke u kojima je otkriven bisfenol A prelaze propisanu graničnu vrijednost migracije (0,05 mg/kg) za BPA od strane normativa EU.

Uzorak simultanta koji je u kontaktu sa ambalažom paste za zube ima 59,54 puta veću vrijednost od propisane granične vrijednosti.

6. LITERATURA

[1] J. Lopez-Cerevantes i P. Paserio-Losada, Determination of bisphenol A in, and its migration from, PVC stretch film used for food packaging, *Food Additives and Contaminants,* Vol. 20, No. 6, 2003, 596–606.
[2] Linda-Jo Schierow, *Bisphenol A (BPA) in Plastics and Possible Human Health Effects*, Congressional Research Service 2010.
[3] Mario Ščetar, *Utjecaj ambalažnih materijala na prehrambene proizvode*, Sveučilište u Zagrebu 2010.
[4] Richter CA, Bironbau LS, Farabollini F, Newbold RR, Rubin BS, Talsness CE, Vanderbegh JG, Walser-Kuntz DR, van Saal FS, *In Vivo Efects of Bisphenol A in Labaratory Rodent Studies, Reproductive Toxicology* 2007.
[5] Yozo Nishikawa, *Effects of Bisphenol A on Human Health*, JMAJ, Vol 46, No3, 2003, 103–107.
[6] Alaska Community Action on *Toxics Fact* Sheet 2007.
[7] Francis A. Carey i Robert M. Giuliano, *Organycchemestry*, 2012.
[8] B. Nedić,), Tehnologoja prerade plastičnih masa, Kragujevac, 2008.
[9] G. Barič i G. Pehnec-Pavlović, *Proizvodnja i preradba polimera u svijetu, europi i hrvatskoj, Polimerni materijali i dodatci polimerima*, Zagreb. 2005.
[10] EFSA Journal Scientific Opinion on Bisphenol A: evaluation of a study investigating its neurodevelopmental toxicity, review of recent scientific literature on itstoxicity and advice on the Danish risk assessment of Bisphenol A, EFSA Panel on food contact materials, enzymes, flavourings and processing aids, 2010, 8(9):1829, Italy.
[11] S. Alagić i S. Urošević, *Organobromni usporivači gorenja - supstance nepoželjneza zaštitu materijala od dejstva vatre*, Zaštita materijala 2010, Vol 51, No.1
[12] N. Dimitrov, *Onečišćivači iz materijala i predmeta koji dolaze u neposredan dodir s hranom*, 5. Konferencija o sigurnosti i kakvoći hrane, Zagreb. 2011.
[13] B. Šarkanj, D. Kipčić, Đ. Vasić-Rački, F. Delaš, K. Galić, M. Katalenić, N. Dimitrov i T. Klapec, *Kemijske i fizikalne opasnosti u hrani*, Hrvatska agencija za hranu, Osijek, 2010.
[14] I. Vukojević, K. Galić i M. Vereš, *Ambalaža za pakiranje namirnica,* Zagreb, 2007.
[15] G. Barić, *Polimerna ambalaža u dodiru s hranom* – zakonodavstvo Europske unije, Časopis za plastiku i gumu, Vol.30, No.1, 2009**,** str. 58-59.

UTICAJ BISFENOLA A NA ZDRAVLJE ČOVJEKA

IMPACT BISPHENOL A ON HUMAN HEALTH

Damir Hrnjica[1], Huska Jukić[1], Asmir Aldžić[1], Suad Habeš[2], Ekrem Pehlić[1]
[1]Univerzitet u Bihaću
[2]Univerzitet u Sarajevu, Fakultet zdravstvenih studija Sarajevo,
damir1911@yahoo.com;huky_jukic@yahoo.com;
asmiraldzic@hotmail.com; hsuad@hotmail.com

SAŽETAK:

Bisfenol A je organska molekula IUPAC (International Union of Pure and Apllied Chemistry) naziva 4'4-dihidroksi-2,2-difenilpropan, a koristi se kao monomer u proizvodnji epoksi-fenolnih smola i polikarbonata, kao i inhibitor u polimerizaciji proizvodnje PVC-a. Epoksi-fenolne smole se koriste kao materijal za unutarnje zaštitne obloge za izradu limenki, te kao premaz metalnih poklopaca za posudeu kojima se čuva hrana i napitci, kao i za površinski premaz u velikim spremnicima za pitku vodu i alkoholna i bezalkoholna pića. Proizvodnja bisfenola A je velika gdje se godišnja svjetska proizvodnja procjenjuje 3-4 miliona tona. Mnoga istraživanja su dokazala da monomeri mogu migrirati iz polimera i preći iz ambalaže u proizvod, te se u znatnoj mjeri mogu naći u ljudskom organizmu i okolišu. Dokazani su štetni učinci bisfenola A, i to u koncentracijama koje su niže od službeno „preporučene" dnevne doze za ljude (50 mikrograma na kilogram tjelesne težine). Unos bisfenola A u ljudski organizam u svakodnevnom životu je oralno, odnosno preko hrane i pića u koje je otpuštanjem i migracijom dospjeo bisfenol A, koji se nalazi u ambalaži, te kod djece preko predmeta i igračaka koje stavljaju u usta. Zbog štetnog učinka bisfenola A na ljudsko zdravlje neke države kao što su: Danska, Francuska, Kanada i neke države u SAD-u slijedeći načelo predostrožnosti su 2010. godine uvele zabranu korištenja bisfenola A u ambalažama namjenjene djeci do 3 godine starosti. Utjecaj ove molekule na rizik po ljudsko zdravlje i okoliš s naučnog stanovišta se intenzivno istražuje u posljenjih deset godina. Postoje naučne studije koje dokazuju da bisfenol A (BPA) uzrokuje poremećaje endokrinog sistema jer oponaša neke hormone u tijelu čovjeka iz grupe estrogena kao što su: estradiol, estriol i estron, te na taj način može negativno utjecati na zdravlje ljudi.

Ključne riječi:*Bisfenol A, migracija, polimeri, monomeri, zdravlje.*

ABSTRACT:

Bisphenol A is an organic molecule IUPAC (International Union of Pure and Apllied Chemistry) named 4'4-dihydroxy-2,2-diphenylpropan, used as monomer in the manufacture of epoxy-phenolic resins and polycarbonate, as well as a polymerization inhibitor in PVC production. Many studies have shown that monomers can migrate from a polymer and enter from the packaging into the product, and to a large extent be found in the human body and the environment. Adverse effects of bisphenol A have been proven – in concentrations that are lower than officially "recommended" daily dose for humans (50 micrograms per kilogram of body weight). Bisphenol A is taken into a human body in a daily life orally, i. e. through food and drinks in which it got by release and migration from the packaging, and children get it through objects and toys which they put in mouth. Due to the adverse effect of BPA on human health and following the precautionary principle, some countries such as Denmark, France, Canada and some states in the U. S., banned the use of bisphenol A in packaging intended for children under 3 years of age in 2010. The effect of these molecules on human health and the environment has been intensively researched from the scientific point of view over the last ten years. There are scientific studies that prove that

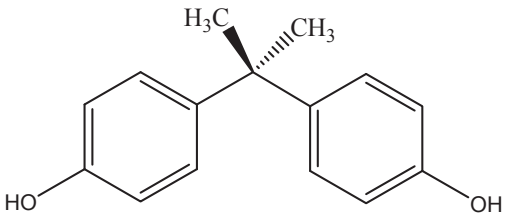
bisphenol A (BPA) causes disorders of the endocrine system because it mimics some hormones in the human body from the group of estrogens such as: estradiol, estriol and estrone, and thus can negatively affect the health of people.

Key words:*Bisphenol A, migration, polymer, monomer, health*

---

1. UVOD

Bisfenol A je hemijski spoj sa dvije funkcionalne grupe fenola koji se uglavnom koristi za proizvodnju polikarbonatne plastike i polioksida [1]. Bisfenol A (BPA ili 4,4'-dihidroksi-2,2-difenilpropan) je u čistom obliku bijeli ili svijetlo smeđi prah ili u obliku pahuljica. Molekulska formula je $C_{15}H_{16}O_2$, a struktura mu je slijedeća:

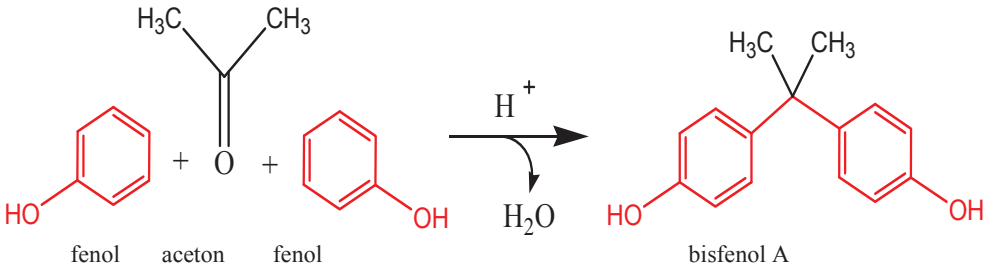


Slika 1. Strukturna formula BPA

Fizikalno-hemijska svojstva BPA su: talište, tačka topljenja:150 – 159°C, vrelište: 220°C (na 4mm Hg), gustoća: 1,195 (g/mL), topivost u vodi: 300 mg/L, zapaljivost: 523 °C. Označava se oznakom opasnosti Xn (štetno), svrstan je u 3. grupu prema reproduktivnoj toksičnosti, od oznaka upozorenja pridodani su mu R 37 (nadražuje dišni sistem), R 41 (opasnost od teških ozljeda očiju), R 43 (u dodiru s kožom može izazvati preosjetljivost) i R 62 (moguća opasnost smanjenja plodnosti). Oznake obavijesti uključuju S2 (čuvati izvan dohvata djece), S 26 (ako dođe u dodir s očima odmah isprati s puno vode i zatražiti savjet liječnika), S 36/37 (nositi odgovarajuću zaštitnu odjeću i rukavice), S 39 (nositi zaštitna sredstva za oči/lice) i S 46 (ako se proguta hitno zatražiti savjet liječnika i pokazati naljepnicu ili spremnik), [2].

2. DOBIVANJE BISFENOLA A (BPA)

Bisfenol A se dobiva od dva ekvivalenta fenola i jednog ekvivalenta acetona, koji je prvi put sintetiziran 1905. godine od strane Thomasa Zincke sa sveučilišta u Marburgu, Njemačka. Reakcija se katalizira hlorovodičnom kiselinom (HCl). Bisfenol A se koristi za dobivanje plastike. Ključan je polimer u proizvodnji poliepoksida i polikarbonata [3]. Plastika je uglavnom prozirna i elastična, a sadrže je slijedeći proizvodi: boce za vodu, flašice za bebe, sportska oprema, zubna plomba, sredstva za brtvljenje, leće, itd. Proizvodi od plastike sadrže bisfenol A još od 1950-ih. Bisfenol A se također koristi za sintezu polisulfata i ketona polietera i kao inhibitor polimerizacije u PVC-u. Bisfenol se može naći i unutar konzervi hrane i pića, iako je u Japanu počela proizvodnja konzervi i limenki bez te tvari, zbog sumnje na štetnost zdravlja. Bisfenol A se prije koristio kao fungecid (An Alaska Community Action on Toxics Fact Sheet). Svijetska proizvodnja Bisfenola A je procjenjena na preko 2,3 milijuna tona godišnje [4].



Slika 2. Dobivanje bisfenola A.

3. IZLOŽENOST NA BISFENOL A

Izloženost ljudi na bisfenol A je nedavno dobilo posebnu pozornost. Dokazano je da izlaganje na BPA se može doći kroz konzumiranje pića ili namirnica koje su u kontaktu s polikarbonatima (PC), plastičnim posudama i epoksidnim smolama [5]. Razne studije koje su proučavale migraciju BPA iz različitih ambalaža od plastičnih materijala pokazala su znatnu količini BPA u hrani koja dolazi u dodir s pomenutim ambalažnim materijalima [6]. Višegodišnjega istraživanja u Češkoj (2000-2006), dokumentuju trajnu pojavu bisfenol A (BPA), bisfenoldiglycidyleter (BADGE) i bisfenolFdiglycidyleter (BFDGE), uključujući njihove derivate, koji su migrirali iz ambalaže u hranu [7]. Najveća izloženost BPA je kod djece, jer najviše dolaze u dodir s plastčnim materijalima (igračke, dude, plastične čaše, flaše, tanjur, itd.), a koje najčešće stavljaju u usta i tako znatnu količinu BPA unose u organizam.

U studiji migracije iz polikarbonatnih boca, koncentracije migriranog BPA su bile <7,8 μg/dm^2 ili <5 μg/L. Kod studije migracije BPA iz polikarbonatnih bočica za djecu [8] korištene su nove i već korištene bočice za djecu. Kod novih bočica koncentracije migriranog BPA su bile 1,0 – 3,5 μg/L, dok je za korištene i izgrebane bočice koncentracije migriranog BPA bila znatno viša 10 – 28 μg/L. Slično tome, [9] su testirali migraciju BPA iz novih bočica (0,2 μg/dm^2), nakon 51 dan (6,7 μg/dm^2) i 169 dana (8,4 μg/L). Sve studije migracije BPA iz dječjih bočica rađene su u tzv. „realnim uvjetima", odnosno simuliralo se uzastopno pranje (deterdžent + vruća voda), sterilizacija, grijanje u mikrovalnoj itd. Rađeno je još dosta studija sličnog karaktera i sve su manje-više pokazale slične rezultate – kod „normalnih" uvjeta korištenja nisu pronađene značajne koncentracije BPA (uglavnom ispod LOD za zadanu metodu).

Najveće koncentracije BPA nađene kod studija polikarbonatnih bočica za djecu su bile do 50 μg/L. Na osnovu tih i sličnih podataka UK (Velika Britanija) Health and Safety Executive je u ime Europske unije 2002. napravio preliminarni izvještaj u kojemu je izračunato da je dnevni unos BPA za bebu 1-3 mjeseca (0,7 L hrane/dan) 35 μg/dan, a za bebu 4-6 mjeseca (1 L hrane/dan) 50 μg/dan. Usporedo su rađene i studije migracije BPA iz posuda za hranu i posuđa. Najviše koncentracije u posuđu su bile do 5 μg/L [10]. Predviđeni dnevni unos prema UK Health and Safety Executive preliminarnog izvještaja iz 2002. za stariju djecu (1,5 - 4,5 g.) dnevni unos BPA migriranog iz polikarbonatnih posuda za hranu je 10 μg/L [2], gornja granica unosa BPA za ljude prema Američkoj Agenciji za zaštitu okoliša (tabela 1).

Tabela 1. BPA ocjena ulazne granice za ljudsko zdravlje (U.S. Environmental Protection Agency 3/29/2010)

Autori	Limitirana doza (mg/kg/dan)	Učinak (Animalna doza umg / kg /dan)astudij
USEPA (Agencija za zaštitu okoliša Sjedinjenih Američkih Država) (Integrirani informacijski sistem rizika, IRIS (1993)	0,05	Smanjenje tjelesne težine (5) NTP 1982 studija karcinoma u dvije generacije štakora i miševa (kao što je citirano u USEPA 1993)
FDA (2008)	0,005 0,05 0,5	Sistemsko smanjena tijelesna masa i učinak na jetru (5) Neizlječivi reproduktivni učinci (50) Povratni reproduktivni učinci (50) (Sve se temelji na dvije generacije miševa studija (Tyl et al., 2008) i tri generacije štakora studija (Tyl et al., 2002)
EFSA (2006, 2008a-b) and EC (2003, 2008)	0,05	Koristi 5 (najniža vrijednost u gore navedenim studijama) Tylet al.(2002, 2008)
Japan (AIST, 2004)	0.05 0.5 0.046	Tjelesne težine (5) Reprodukcija (50) Tylet al., (2002, 2008) Efekti na jetru(23) NTP (1985) –kontinuirani uzgoj studija na miševima
Canada (2008)	Nije određen nivo koncentracije BPA	Tyl et al., (2002, 2008). Citirana brojna istraživanja učinka BPA s razinama u rasponu od 0,010 do 0,100 mg / kg / dan za razne efekte u miševa i / ili štakora, uključujući promjene u: majčina ponašanja, rodno specifična ponašanja, seksualna izvedba; novelty-seeking/impulse ponašanja, izbjegavanje odgovor; labirint performanse.
Willhite, et al. (2008) (NSF International)	0,016	Koristi 5 (najniža vrijednost u gore navedenim studijama) Tylet al., (2002, 2008)

4. ZDRAVSTVENI UČINCI ONEČIŠĆENJA S BISFENOLOM A

Mnogi liječnici i istraživači su zabrinuti za bisfenol A i ftalate jer oni mogu djelovati poput hormona u našem tijelu [12]. Hormoni kontroliraju metaboličke funkcije u našeg tijela. Većina istraživanja vezano za ove molekule dolazi iz pokusa na životinjama [13]. Bisfenol A može uzrokovati negativne promjene u stanicama dojke, maternice i prostate, što može povećati rizik od raka. Osim toga, bisfenol A je povezan s povećanim smetnjama u razvoju mozga i živčanog sistema u životinja. Bisfenol A i nonilfenol ksenoestrogeni imaju reproduktivnu i razvojnu toksičnost za muški reproduktivni sistem [14]. Epoksifenolne smola se koriste kao zaštitni sloj na metalnoj ambalaži. Ovi lakovi trebali bi osigurati slabu interakciju između hrane i ambalaže, tako

da se ne mijenjaju organoleptička svojstva hrane. U toksikologiji, najviše važani monomeri su Bisfenol A (BPA) i Bisfenol Diglicidil Eter (BADGE) [15]. Oni nagrizaju kožu, izazivaju alergije, astme i upalne reakcije [16]. S obzirom na toksičnost Bisfenola A, Europsko vijeće je donjelo odluku o gornjoj granici migracija ovog spoja u hranu ili vodu na 0,05 mg/kg [17]. Bisfenola A je u stanju poremetiti endokrini sistem. Ovaj tzv.endokrini disruptor može oponašati prirodni hormon, 17a-estradiol [18,19]. Tokom posljednjih desetak godina estrogeni učinci BPAsu daljnje istraživani in vitro i in vivo. Neke od tih studija ukazuju na to da BPA može imati estrogene učinke na koncentracije daleko ispod onih koji se testiraju u toksikološkim studijama [20].

4.1. Toksikološke značajke

- Apsorpcija, distribucija, biotransformacija i eliminacija

BPA se u čovjeku vrlo brzo apsorbira iz probavnog trakta, te se u stjenci crijeva i jetri metabolizira u BPA-glukuronid koji se zatim brzo izlučuje urinom [21]. Primijećena je velika razlika u toksikokinetici BPA između čovjeka i glodavaca (miševa): kod čovjeka metabolizirani BPA izlazi iz jetre u cirkulaciju i vrlo brzo se izlučuje bubregom, dok se kod glodavaca BPA-glukuronid izlučuje preko žuči, što ima za posljedicu enterohepatičku cirkulaciju BPA, sporo eliminiranje i povećanu sistemsku raspoloživost BPA. Uslijed vrlo brze biotransformacije u eliminacije ($t_{1/2}$< 6 h), čak i nakon izloženosti većim koncentracijama BPA, količina BPA u cirkulaciji koja je dostupna za vezanje na estrogenske receptore je vrlo malena. Rezultati studije ukazuju da su niske količine (razine) BPA u velikoj grupi plodnih muškaraca nije povezana sa kvalitetom sperme, ali je slabo povezana sa markerima androgenih djelovanja [22].

4.2. Mutagenost i karcinogenost

Kod laboratorijskih životinja izloženih niskim koncentracijama BPA (20 µg/kg) pronađena je veća učestalost mejotičke anouploidije, [23,24] . (Mejozaje stanična dioba u kojoj se broj hromozoma u novonastalim stanicama reducira na polovinu u odnosu na matičnu stanicu. Aneuploidija predstavlja uvećanje ili smanjenje osnovne jedinice za jedan ili veći broj hromozoma. Fetalna izloženost BPA kod štakora uzrokuje nastanak hiperplazije i karcinoma dojke u odrasloj dobi, [25]. Prisustvo BPA u tijelu narušava endokrini sistem u tijelu, on se veže za receptorska mjesta, uzrokujući učinke otpuštanja hormona [26].

4.3. Reproduktivna toksičnost

Napravljena je studija reproduktivne toksičnosti [27] na dvije generacije miševa izloženih različitim koncentracijama BPA. Sveukupni NOAEL (No observable effect level)je bio 5 mg BPA/kg tt/dan u odnosu na učinke na jetri (koji su bili najosjetljiviji na koncentraciju BPA). NOAEL za razvojnu toksičnost je 50 mg BPA/kg tt/dan, a za reproduktivnu toksičnost je 600 mg BPA/kg tt/dan. Rađeno je niz studija reproduktivne toksičnosti, genske ekspresije, utjecaja na ponašanje i hormonalne aktivnosti, uglavnom na glodavcima, i iako su zabilježene određene promjene uslijed izloženosti BPA, one su bile pri koncentracijama koje su za nekoliko redova veličine veće od onih koje se mogu naći u ljudskom organizmu pri normalnoj izloženosti. Primijećen je estrogeni utjecaj BPA, koji je mnogo slabiji u odnosu na onaj estradiola, tako da bi za neki značajni učinak bile potrebne iznimno visoke doze izloženosti. Premda neki autori [28] preporučuju oprez glede izloženosti BPA, te smatraju da nema čvrstih dokaza da BPA uzrokuje reproduktivno toksične učinke u čovjeka uzevši u obzir normalnu izloženost, bioraspoloživost i toksikodinamiku BPA u ljudskom organizmu. Posebna pažnja u znanstvenim krugovima, a i u javnosti, je bila posvećena problemu tzv. učinka *„niskih doza"* koji su navodno primijećeni kod pokusa s glodavcima izloženim BPA [29]. Postavka je bila da BPA kao endokrini disruptor izaziva hormonalne i druge učinke čak i kod vrlo niskih koncentracija: 0.025–0.2 µg/kg tt/dan, nižih čak i

od predviđenih dnevnih vrijednosti [30]. Pažljivom analizom tih studija, ekspertne skupine su zaključile da u njima postoje mnogi problemi i manjkavosti, te da se za sada iz njih nipošto ne mogu izvlačiti konkretni zaključci o učincima na zdravlje čovjeka [31]. Neki od faktora koji su mogli utjecati na vjerodostojnost studije su utjecaj životinjske vrste i soja, dizajn studije, broj životinja, odnos prema životinjama i njihov smještaj, izostanak kontrola i pozitivnih kontrola, biološka varijabilnost, sadržaj prehrane i statistička obrada podataka. Vjerojatno su to neki od razloga zašto se repliciranjem tih pokusa nisu mogli dobiti slični rezultati. Posebna osobitost kod pokušaja preslikavanja podataka sa studija na životinjama (osobito glodavcima) na čovjeka je izrazito različita toksokinetika BPA. U čovjeka se BPA vrlo brzo metabolizira u BPA-glukuronid, te nešto u BPA-sulfat koji više nema estrogena svojstva, a koji se zatim vrlo brzo izlučuje urinom. U glodavaca (posebno štakora) BPA se također metabolizira u glukuronid, ali se izlučuje preko žuči, i enterohepatičkom cirkulacijom najveći dio dolazi ponovo u organizam. Osim toga, jedan dio BPA nađenog u urinu štakora je slobodni BPA, što ukazuje na to bitno različitu toksokinetiku između čovjeka i glodavaca i mnogo veću koncentraciju i slobodnog BPA u štakora, te mnogo manju bioraspoloživost slobodnog BPA u čovjeka. Osim toksokinetskih, u preslikavanju životinjskih podataka na čovjeka važan faktor su i toksodinamski podaci. Naime, postoje značajne razlike u fiziologiji gestacije između glodavaca i ljudi. Mnogo veće razine hormona (estradiola, estrona i estriola) koje fiziološki utječu na ljudski fetus ukazuju i na puno manju osjetljivost, u odnosu na glodavce, na slabe estrogene kao što je BPA.Prva vrijednost dozvoljenog dnevnog unosa (TDI) BPA predložena je od strane SCF (Scientific Committe on Food) 1986. i iznosila je 0,05 mg/kg tt. Od strane istog komiteta u 2003.g. u svijetlu novih istraživanja i saznanja predložena je privremena TDI vrijednost za BPA od 0,01 mg/kg tt. Svi ti prijedlozi su se zasnivali na opsežnoj studiji učinka BPA na štakore kroz tri generacije, u kojoj je zabilježena zajednička vrijednost NOAEL od 5 mg/kg tt, na što se primijenio faktor nesigurnosti od 500 (10 za razlike među vrstama, 10 za intraindividualne razlike i 5 za faktor nesigurnosti baze podataka) [32]. Vrijedi napomenuti da je US EPA 1998. propisala maksimalno prihvatljivu odnosno referentnu dozu (RfD) za BPA 0,05 mg/kg tt/dan.Konačno, u prihvaćenom mišljenju komisije EU iz Novembra 2006. navodi se da se proučavanjem recentnih istraživanja i studija utjecaja BPA došlo do zaključka da je baza podataka o utjecajima BPA na ljudsko zdravlje dovoljno osnažena novim istraživanjima, tako da su zaključili da se u faktor sigurnosti više ne treba uračunavati faktor 5 za nesigurnost baze podataka. Stoga je postavljena nova vrijednost TDI od 0,05 mg/kg tt. Slijedom toga, u 1996 BPA je klasificirana od strane Europske komisije kao supstancija vanjskog porijekla sa štetnim učinkom na ljudsko zdravlje. Brojne toksikološke i biohemijske studije potvrdile su da bisfenol A ima estrogena svojstva i antagonistička djelovanje prema estrogenim receptorima. U nedavnim studijama bisfenola A je bila klasificirana kao ksenobiotik poremećaja hormonske ravnoteže u ljudi i drugih životinja, tzv. Endokrinog disruptora. Bisfenol A dokazano je da imaju estrogene aktivnosti čak i na koncentraciji ispod $1ngL^{-1}$[6]. Zbog složenosti hormonalnog sistema, mehanizmi ksenobiotik aktivnost dovode do endokrinih poremećaja su teško identificirane, a još nisu poznati učinci izloženosti bisfenol A, a koji može biti naročito štetni za fetus, novorođenčad i malu djecu, zbog nedostatka povratnih informacija koji reguliraju aktivnost, sintezu, i eliminaciju hormona. Kontakt sa BPA u to vrijeme može dovesti do ireverzibilnih promjena, koje se pojavljuje čak i nakon mnogo kašnjenja. Studija na miševima pokazala je da koncentracija BPA niska kao i 20ppm uvodi za piće je dovoljno da donese genetske promjenena fetusu miševa. Promjene su uglavnom rezultat poremećaja raspodjele hromozoma u stanice kćeri. Kao posljedica tih promjena u stanicama jajašca miševa, a time i fetusa, postoji mogućnost za previše ili premalo hromozoma. Kod ljudi, poremećaji tog tipa su glavni razlog za pobačaja i genetska oštećenja, npr. Downov sindrom. Iako BPA ima opasne učinke na stanice ljudskih jajašaca još nisu uspostavljeni, procesi koji su uključeni u stvaranje jajne stanice kod ljudi i miševa su slični, pa moglo bi se predvidjeti da je BPA vrlo opasno za ljude [6].

5. LITERATURA

[1] R. Troiano, P. Elmer, W. Goodman, *UHPLC seperation and detection of bisphenol A in plastics*, 2009.
[2] D. Mandić, *Toksikološke značajke bisfenola A*, Objavljeno u Zborniku radova: Kemijske i fizikalne opasnosti u hrani, Hrvatska agencija za hranu, Osijek, 2006.
[3] William Goodman, *Global Concerns Drive*, LC Development, 2010.
[4] K. Kelland, „*Experts demand European action on plastics chemical*, Science Health, Environment", Reuters, London 2010.
[5] A. Taskeen and I. Naeem*, Bisphenol A Toxicity in milk*: A Review, Nature and Science, Vol. 7, No. 8, 2009, str.: 83-85.
[6] I. Rykowskai W. Wasiak, *Properties, thereats and methods of analysis of bisphenol A and its derivates*, Acta chromotographica, No 16, 2006, 7 – 27.
[7] J. Poustka, L. Dunovská, J. Hajšlová, K. Holadová1 and I. Poustková, *Determination and Occurrence of Bisphenol A, Bisphenol A Diglycidyl Ether, and Bisphenol F Diglycidyl Ether, Including Their Derivatives, in Canned Foodstuffs' from the Czech Retail Market*, Czech J. Food Sci. Vol. 25, No. 4, 2007, str.: 221–229.
[8] Food and Consumer Product Safety Authority,*Ekstended Opinion on the Safety Evaluation of parabens* (2005.)
[9] Brede C, Fjeldal P, Skjevrak I, Herikstad H. *Increased migration levels of bisphenol A from polycarbonate baby bottles after dishwashing, boiling and brushing.* Food Addit Contam. 2003;20(7):684–9.
[10] H. Kawamura, S. Kudo, M. Miyamoto, M. Nagata, K. Hirano, *Movements, Food and Predators of Juvenile Chum Salmon(Oncorhynchus keta) Entering the Coastal Sea of Japanoff Northern Hokkaido in Warm and Cool Years,* NPAFC Bulletin No.2, 2000, str.:33-41
[11] U.S. Environmental Protection Agency 3/29/2010, *Bisphenol A Action Plan (CASRN 80-05-7).*
[12] W. Huang, C. Yang, *Voltammetric Determination of Bisphenol A Using an Acetylene Black-Dihexadecyl Hydrogen Phosphate Composite Film-Modified Electrode*, Analytical Letters, Vol.40, 2007, pp: 3280–3289.
[13] K.Neild, *Bisphenol A*, General Biology II, 2008.
[14] M. Jašić,*Rezidue i kontaminanti u hrani*, Tehnološki fakultet Univerziteta u Tuzli 2006.
[15] H. Biego,K. Yao, P. Ezoua, L. Kouadio, *Determination of bisphenol A diglycidyl ether content in foods from lacquered cans*, AJFAND, Vol. 10, No 2, 2010.
[16] K. Chou, Robert O. Wright, *Phthalates in Food and Medical Devices*, Medical toxicology, Vol. 2, No.3, 2006, pp.:126-135.
[17] EFSA Journal Scientific Opinion on Bisphenol A: evaluation of a study investigating its neurodevelopmental toxicity, review of recent scientific literature on itstoxicity and advice on the Danish risk assessment of Bisphenol A, EFSA Panel on food contact materials, enzymes, flavourings and processing aids,2010, 8(9):1829, Italy.
[18] A. Zafra-Go´meza, J.C. Moralesb, O. Ballesterosa, A. Navalo´n,*Sensitive gas chromatographic-mass spectrometric (GC-MS) method for the determination of bisphenol A in rice-prepared dishes*, Food Additives and Contaminants, Vol. 26, No. 8, 2009,pp:1209–1216.
[19] S. Jenkins, N. Raghuraman, I. Eltoum, M. Carpenter, J. Russo, C. A. Lamartiniere,*Oral Exposure to Bisphenol A Increases Dimethylbenzanthracene-Induced, Mammary Cancer in Rats*, Environmental Health Perspectives, Vol. 117, No. 6, 2009,pp:910 – 917.
[20] H. Petersena, A. Biereichelb, K. Bursegb, T.J. Simatc, H. Steinhartb, *Bisphenol A diglycidyl ether (BADGE) migrating from packaging material 'disappears' in food: reaction with food components*, Food Additives and Contaminants Vol. 25, No. 7, 2008,pp:911–920.

[21] Toxicokinetics of Bisphenol A, Scientific Opinion of the Panel on Food additives, *Flavourings, Processing aids and Materials in Contact with Food (AFC),(Question No EFSA-Q-2008-382)*, EFSA Journal, Vol.759, 2008. pp:1–10.

[22] Mendiola J, Jørgensen N, Andersson AM, Calafat AM, Ye X, Redmon JB, Drobnis EZ, Wang C, Sparks A, Thurston SW, Liu F, Swan SH.*Are environmental levels of bisphenol a associated with reproductive function in fertile men,* Environ Health Perspect. 2010;118(9):1286-91.

[23] Hunt, PA, KE Koehler, M Susiarjo, CA Hodges, A Ilagan, RC Voigt, S Thomas, BF Thomas and TJ Hassold. *Bisphenol A exposure causes meiotic aneuploidy in the female mouse***.**Current Biology 13: 546-553, 2003.

[24] Opinion on the results of the Risk Assessment of: Bisphenol A human health part, (2002), Scientific Committee on Toxicity, Ecotoxicity and the Environment (CSTEE).

[25] Murray, M.J., Davidson, C.M., Hayward, N.M., Brand, A.H. *The Fes/Fer non-receptor tyrosine kinase cooperates with Src42A to regulate dorsal closure in Drosophila,* Development 133(16): 2006, 3063--3073.

[26] P. McManus,*Bisphenol A*, General Biology II, 2008.

[27] Tyl RW, Myers CB, Marr MC, Sloan CS, Castillo NP, Veselica MM, Seely JC, Dimond SS, Van Miller JP, Shiotsuka RN, Beyer D, Hentges SG, Waechter JM Jr. *Two-generation reproductive toxicity study of dietary bisphenol A in CD-1 (Swiss) mice.,* Toxicol Sci. 2008 Aug;104(2):362-84.

[28] G Kabiersch ; J Kovanen ; L Valentin-Carrera ; M Tuomela ; M Virta ; Annele Hatakka ; Kari Steffen, *Removal of Bisphenola A and its estrogenic activity by fungal oxsaditive enzymes,*Chaina Crete, Greece, 3-6, 2008. Proceedings of the 4th European Bioremediation Conference.

[29] Vom Saal, C. Hughes, *Bisphenol A,*Environmental Health Perspectives, Vol.8, No.113, 2005, pp.:926 – 933.

[30] K. Jeong-Hun, Y. Katayama, F. Kondo, *Biodegradation or metabolism of bisphenol A: From microorganisms to mammals,* Toxicology, No. 217, 2006, pp.:81–90.

[31] Bisphenol A (BPA) - Current state of knowledge andfuture actions by WHO and FAO, INFOSAN (2009), International Food Safety Authorities Network (INFOSAN), Information Note No. 5.

[32] Ficha técnica evaluaciones reguladoras, *Las autoridades confirman la seguridad del Bisfenol A en los productos destinados al consumo,* PlasticsEurope 2009, str.:2-9.

POJAVA KESTENOVE OSE ŠIŠKARICE *(Dryocosmus kuriphilus)* NA UNSKO-SANSKOM KANTONU I POVEZANOST SA RAKOM KORE KESTENA *(Cryphonectria parasitica)*

OCCURRENCE CHESTNUT GALL WASP *(Dryocosmus kuriphilus)* AT UNA-SANA CANTON AND INTERACTION WITH CHESTNUT BLIGHT *(Cryphonectria parasitica)*

Z. Delalić[1], A. Kuduzović[2], B. Dolić[2], A. Rošić[2]
Univerzitet u Bihaću, Biotehnički fakultet Bihać,
AgroDar s.p.z.Cazin
zemirabtf@gmail.com

SAŽETAK:

Pitomi kesten (Castanea sativa) je u posljednjih 50 godina pod snažnim uticajem dva štetna biotička činioca na području Evrope.To se odnosi na rak kore pitomoga kestena (Cryphonectria parasitica) koji je nanio velike štete šumama kestena. Novi štetnik koji prijeti pitomom kestenu je kestenova osa šiškarica (Dryocosmus kuriphilus),koja se prvi put u Europi pojavila 2002. godine, a na Unsko sanskom kantonu je prvi put zabilježena 2015. godine. U radu se opisuje pojava kestenove ose šiškarice (D. kuriphilus) na Unsko-sanskom kantonu, zatim biologija štetnika, simptomi napada, načini širenja, štetnost, mogućnost zaštite, kao i povezanost sa rakom kore pitomog kestena. Rak kore pitomoga kestena (C. parasitica) je prisutan na svim šumskim površinama gdje se nalazi pitomi kesten i uzrokuje masovno izumiranje kestena. Povezanost između ovih dvaju različitih, ali za pitomi kesten izrazito opasnih organizama otkrivena je u Švicarskoj 2011. godine.Istraživanjem je utvrđeno da postoji mogućnost ulaska spora raka kore pitomoga kestena kroz napuštene šiške kestenove ose šiškarice. Nova istraživanja upozoravaju da se rak kestenove kore može intenzivirati nakon napada ose šiškarice.

Ključne riječi: *pitomi kesten, osa šiškarica, rak kore pitomoga kestena, povezanost*

ABSTRACT:

In the last 50 years, sweet chestnut (Castanea sativa) has been under the strong influence of two harmful biotic factors in the area Europe. This applies to chestnut blight (Cryphonectria parasitica), which caused great damage to the stands (forests) chestnut. New threatening pest is a chestnut tree wasp gall wasp (Dryocosmus kuriphilus), which first appeared in Europe in 2002, and it was first recorded in 2015 here in the Una-sana Canton.This paper describes the emergence of chestnut wasp (D. kuriphilus) at USC, the biology of pest, symptoms of the attack, methods of spreading, the harmfulness of wasp, the possibility of protection, as well as it describes association with chestnut blight. The Chestnut blight (C. parasitica) is present in all forest areas where the chestnut is present and it causes the mass extinction of chestnut. The relationship between these two different, but the extremely dangerous organisms has been discovered in Switzerland in 2011. The survey found that there is the possibility of entering of cancer spores through the abandoned chestnut galls of chestnut wasp. New studies indicate that the chestnut blight may intensify after wasp attack.

Keywords: *sweet chestnut, oriental chestnut gall wasp, chestnut blight, interaction*

1. UVOD

Rod *Castanea* Mill. obuhvata desetak vrsta koje su rasprostranjene u sjevernoj umjerenoj hemisferi [18]. U Evropi kestenove šume zauzimaju površinu od oko 2 miliona ha. Francuska i Italija su zemlje najbogatije kestenovim šumama, gdje raste oko 80% cjelokupne površine kestenovih šuma. Samo u Italiji kestenova šuma se rasprostire na oko 800.000 ha zemlje [8]. Najveće površine kestenovih šuma u Hrvatskoj nalaze se na području Uprave šuma podružnica Sisak. Od ukupno 15 000 ha kestenovih sastojina kojima gospodare Hrvatske šume d.o.o., 50 % nalazi se na području UŠP Sisak [20]. U Bosni i Hercegovini sastojine pitomog kestena se rasprostiru u pojasu od 150-700 m n.v., a glavnina ovih sastojina nalazi između 300-600 m n.v. [15]. U sjevero-zapadnom dijelu BiH kesten gradi šume sa hrastom kitnjakom (*Querco-Castanetum illyricum*), dok na jugu naše zemlje pitomi kesten dolazi u asocijaciji submediteranske šume kestena *Querco-Castanetum submediterraneum* Wrab. Šume kestena rasprostiru se na brežuljkastim terenima preferirajući toplije i sunčane ekspozicije na sjeveru ili hladnije i svježije na jugu areala [23].

U Bosni i Hercegovini postoje tri značajnija lokaliteta na kojima je zastupljen evropski pitomi kesten.Prvi je hercegovački lokalitet, gdje se kesten javlja na južnim padinama Bitovinje, kod Konjica, Jablanice, Jablaničkog jezera, Seonice, Buturović Polja i doline Rame [2]. To je tipična submediteranska oblast, u kojoj se kestenove šume nalaze na položajima od 150 do 750 m n. v. Drugo najbogatije kestenovo područje u Bosni je područje sjeverozapadne Bosne od Une do granice sa Republikom Hrvatskom (Cazin, Velika Kladuša, Vrnograc, Bužim, Bosanska Krupa i Bosanski Novi). Veća nalazišta kestena u ovom dijelu su u okolini Pećigrada i Todorova, Vrnograča te sjeverno od grada Cazina. Na ovom području kesten se javlja na nadmorskoj visini od 300 do 400 m. Treći lokalitet je u istočnoj Bosni izmedu Srebrenice, Bratunca i rudnika Sase. Prve podatke o postojanju kestena na području Srebrenice dao je botaničar Jurišić [2]. Manja nalazišta pitomog kestena u okolici Zvornika i Tuzle opisana su prvi put od strane autora Sučića 1953, loc.citat Macanović, 2012.

U prošlosti je drvo pitomoga kestena imalo veliku gospodarsku ulogu te se upotrebljavalo kao građevno, stolarsko, brodograđevno, tokarsko i rezbarsko drvo, zatim za vodogradnju, pragove, stupove, kolce, obruče, celulozno i taninsko drvo [9]. Također, veliku upotrebu imaju plodovi pitomoga kestena. Pitomi kesten se smatra izuzetno važnom vrstom sa biološkog, sociološkog i ekonomskog aspekta, jer predstavlja drvo visokog kvaliteta u prirodnim staništima i daje plodove koji u mnogim zemljama predstavljaju temeljni resurs ruralne ekonomije [19]. Biljnosociološki položaj pitomog kestena na području BiH, ali i Balkanskog poluostrva je veoma kompleksan, zbog izrazite varijabilnosti staništa, ali i ekoloških uvjeta u kojima kesten obitava, pri čemu gradi specifične asocijacije u skladu sa uslovima u kojima se nalazi. U posljednjih nekoliko desetljeća pitomi kesten je znatno ugrožena vrsta koja stradava od raka kestenove kore (*Cryphonectria parasitica* /Murr./ Barr.) koji uzrokuje sušenje i propadanje stabala. Kestenova osa šiškarica (*Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu) zadnjih desetak godina predstavlja sve veći problem u Europi [10]. Rak kore kestena je determinisan pvi put 1963.godine na USK-u, dok se kestenova osa šiškarica pojavila 2015.godine. Radi se o izrazito monofagnom štetniku kestenovoj osi šiškarici – *D. kuriphilus* (*Hymenoptera, Cynipidae*) [3].

Povezanost između ovih dvaju različitih, ali za pitomi kesten izrazito opasnih organizama otkrivena je u Švicarskoj 2011. godine [22]. Prema tom istraživanju utvrđeno je da postoji mogućnost ulaska spora raka kore pitomoga kestena kroz napuštene šiške kestenove
ose šiškarice. Dosadašnja istraživanja pokazala su da napad kestenove ose šiškarice uzrokuje gubitak ploda, dok je sušenje stabala rijetko [3]. Novija istraživanja pokazuju da bi se rak kore kestena mogao intenzivnije pojaviti poslije napada ose šiškarice [22].

2. RAK KORE PITOMOGA KESTENA

Cryphonectria parasitica (bivši naziv *Endothia parasitica*) je patogena gljiva koja uzrokuje rak kore pitomog kestena *Castanea sativa* i američkog kestena *Castanea dentata*. Gljiva može uzrokovati bolest drugih vrsta tvrdih stabala kao što su *C.mollissima, Alnus cordata, Ostrya carpinifolia, Carpinus betulus, Quercus pubescens, Q. petraea, Q. frainetto*, i *Q. ilex* [7]. Uzročnik bolesti je unesen iz Azije u Sjevernu Ameriku početkom 20. stoljeća. U Europi je bolest prvi put primijećena 1938. godine u sjevernoj Italiji te se brzo proširila širom Italije i susjednim zemljama [24]. U Sloveniji, *C. parasitica* je prvi put zabilježena 1950. kod Nove Gorice, u blizini slovensko-talijanske granice [16], a u Hrvatskoj u blizini Opatije 1955 [11]. U kestenovim šumama Unsko-sankog kantona zapažene su tri grupe simptoma rakastih tvorevina: aktivni (AR), kalusirajući rak (KR) i površinske nekroze (PN). Kod aktivnog raka infekcija brzo napreduje do kambija. Javlja se uzdužno raspucala kora, otvorene rane, fruktifikacija žuto - smeđe boje kao i prljavo žute lepezaste micelije ispod kore. Prouzrokovač ovoga raka je virulentan soj gljive *C.parasitica*. Kalusirajući rak formira kalusne ćelije oko rane. Infekcija prodire do kambija. Fruktifikacije su rijetke ili ih nema. Gljiva koja izaziva ovaj tip raka ima intermedijarne karakteristike virulentnog i hipovirulentnog soja gljive *C.parasitica*. Infekcija kod površinske nekroze vrlo sporo napreduje i ne prodire do kambija. Na deblu se formiraju zadebljanja i ljuskava kora koja se jasno razlikuje od zdrave. Uzročnik ovakvih nekroza je hipovirulentni soj gljive *C.parasitica*.

3. KESTENOVE OSE ŠIŠKARICE

Kestenova osa šiškarica (*Dryocosmus kuriphilus* Yatsumatsu) je nova invazivna, karantinska štetna vrsta na pitomom kestenu (*Castanea sativa* Mill.). Pripada klasi *Insecta*, redu *Hymenoptera*, porodici *Cynipidae*, podporodici *Cynipinae*, plemenu *Cynipini* [6]. *D. kuriphilus* je jedna od dviju vrsta plemena *Cynipini* koja uzrokuje šiške na vrstama roda *Castanea* [26]. Štetnik se u Evropi i Hrvatskoj nalazi na listi karantenskih štetnika [4]. Kestenova osa šiškarica je porijeklom iz Kine i brzo se proširila u glavna područja kestena [25]. Štetnik je detektovan u Japanu u 1941 [27], u Koreji 1958 [5], a potom u Nepalu 1999. godini [1].U SAD-u je utvrđen 1974 [17].Tokom istraživanja *D. kuriphilus* utvrđena je jedna generacija godišnje. U proljeće, za vrijeme vegetativnog rasta na listovima i izbojcima pitomoga kestena, stvaraju se 5 - 20 mm velike, lako uočljive crvenkaste ili zelene šiške u kojima se nalazi jedna ili više komorica s bijelim larvama (Slika 1 i Slika 2). Prošlogodišnje šiške su smeđe boje i odrvenjele. Larve izlaze iz jaja za 30-40 dana, a rani larvalni stadiji prezimljavaju u pupu. Larve su bijele i duge oko 2,5 milimetara.



Slika 1. Šiške na izbojima, Foto: Delalić Z.

Kestenova osa šiškarica monofagna je vrsta koja se hrani samo kestenom. Ženka polaže 3-5 bijelih jaja, dužine 0,2 milimetara u pup pitomog kestena, a svaka ženka može položiti preko 100 jaja. Životni vijek ženki je kratak (oko 10 dana). Šiške su lako uočljive i prepoznatljive. Jaja i larve prvoga larvalnog stadija u zimskim pupovima mogu se utvrditi samo pregledom binokularnim ili entomološkim povećalom. Početkom juna u šiškama se formiraju bijele lutke koje za nekoliko dana posmeđe.



Slika 2. Šiške na listovima, Foto: Delalić Z.

Prva imaga na USK-u nađena su u šiškama 10. 6. 2015.godine. Ženka je duga 2,5-3 milimetara, sjajne crne boje sa smeđim nogama. Ima jednu generaciju godišnje, a razmnožava se partenogenetski (nema mužjaka), pa embrij nastaje aseksualno, bez oplodnje [21]. Imaga (samo ženke) izlaze iz šiški uglavnom od polovne juna do kraja jula. Poslije izlaska imaga šiške se osuše, odrvene i ostaju na izbojcima i listovima. Utvrđena biologija kestenove ose šiškarice na Unsko-sanskom kantonu (BiH) odgovara dosadašnjim spoznajama o biologiji ove vrste u drugim evropskim zemljama gdje se do sada pojavila [6,8]. Kestenova osa šiškarica je na Unsko-sanskom kantonu prvi puta determinisana na području Skokova (općina Cazin) 20.5.2015.

Tab.1. Nalazi kestenove ose šiškarice po datumima i lokalitetima u 2015. godini

Datum	Lokalitet	Opština	Datum	Lokalitet	Opština
20.5.2015.	Skokovi	Cazin	29.5.2015.	Bućevci	Bos.Krupa
21.5.2015.	Rošići	Cazin	14.6.2015.	Jablan	Mala Kladuša
23.5.2015.	Ponjevići	Cazin	24.5.2015.	Todorovo	Velika Kladuša
29.5.2015.	Krakača	Cazin	29.5.2015.	Zborište	Velika Kladuša
29.5.2015.	Šabići	Cazin	4.6.2015.	Drenovac	Velika Kladuša
30.5.2015.	K.Glavica	Cazin	25.5.2015.	Karaula	Velika Kladuša
1.6.2015.	Mujakići	Cazin	4.6.2015.	Drenovac	Velika Kladuša
1.6.2015.	Ljubijankići	Cazin	23.5.2015.	Johovica	Velika Kladuša
2.6.2015.	Brezova Kosa	Cazin	28.5.205.	Sedra-Fazlići	Velika Kladuša
3.6.2015.	Arapovići	Cazin	24.5.2015.	Todorovo	Velika Kladuša
6.6.2015.	Gnjilavac	Cazin	29.5.2015.	Zborište	Velika Kladuša
7.6.2015.	Bašče	Cazin	4.6.2015.	Drenovac	Velika Kladuša
1.6.2015.	D.Koprivna	Cazin	29.5.2015.	Bag	Bužim
7.6.2015.	Lanište	Cazin	23.5.2015.	Vrhovska	Bužim
20.6.2015.	Jazmak	Cazin	31.5.2015.	Vrnogračka brda	Bužim
31.5.2015.	Tromeđa	B.Krupa	29.5.2015.	Bućevci	Bužim
13.6.2015.	Radoč	B.Krupa	29.5.2015.	Radoč	Bužim

Nakon toga registrirana je i na drugim lokalitetima kantona (Tabela 1). Na lokalitetima navedenima u Tabeli 1. nađene su šiške na izbojima i listovima pitomog kestena na osnovu čega je urađena determinacija štetnika. Na osnovu broja šiški na izbojima i listovima može se procijeniti godina unašanja štetnika u novo područje. Prve godine pojedinačne ženke se šire i polažu jaja u pupove, sljedeće godine javljaju se samo pojedinačne šiške na izbojcima i listovima.

4. NOVIJA ISTRAŽIVANJA O POVEZANOSTI ŠIRENJU *C.parasitica* I *D. kuriphilus*

Prospero i Forster 2011. godine su u istraživanjima provedenim u Švicarskoj pokazali da je novo mjesto ulaska spora raka kore pitomoga kestena najvjerovatnije šiška kestenove ose šiškarice. Ovdje se spore ne prenose preko insekata, već kroz šišku, kroz koju spore ulaze, s obzirom na to da je rak kore pitomoga kestena parazit rana [13,14]. Istraživanje je rađeno na uzorku od 24 mlade grane. Kod pola ispitivanih grana primjećeni su simptomi raka, a na drugih 12 grana nije bilo vidljivih simptoma bolesti. Kulture raka kore pitomoga kestena dobivene su sa svih 12 grana (jedna šiška po grani) koje su imale vidljive simptome infekcije rakom na šiškama (narančaste strome na šiškama) i između susjednih grančica (crvene lezije na kori). Sa 12 grana koje nisu imale vidljive simptome zaraze rakom kore pitomoga kestena izoliran je iz samo četiri od 32 šiške. Rezultati su pokazali da izolirani rak pripada vegetativno kompatibilnoj grupi koja se nalazi na području južne Švicarske [22]. Istraživanja pokazuju da napuštene šiške mogu biti zaražene rakom kore pitomoga kestena. Izolacija iz asimptomatičnog tkiva može biti pokazatelj da je gljiva bila u ranom stadiju infekcije ili je endofitski bila prisutna unutar napuštene šiške. Pretpostavlja se da su izlazne rupe ose šiškarice na šiški mjesto ulaska spora raka kore pitomoga kestena. Nakon izlaska imaga ose, gljiva može saprofitski naseliti izumrlo tkivo napuštenih šiški, a potom se proširiti u susjedne grane i pokrenuti formiranje rakastih tvorevina.

5. ZAKLJUČAK

Rak kore pitomoga kestena (*C. parasitica*) je nanio velike štete sastojinama pitomoga kestena i umanjio gospodarsku važnost te vrste na Unsko-sankom kantonu. Novi štetnik koji prijeti sastojinama pitomoga kestena jest kestenova osa šiškarica (*D. kuriphilus*) koja je na Unsko-sanskom kantonu prvi put determinisana 20.5. 2015. godine (Skokovi-Cazin), kasnije se proširila na 34 lokacije. U sljedećim godinama očekuje se intenzivnije širenje kestenove ose šiškarice u sastojinama pitomog kestena. Međusobnu povezanost ova dva biotička činioca su novu opasnost za širenje raka kore pitomoga kestena zbog napada kestenove ose šiškarice. Novijim istraživanjima otkrivena je mogućnost novog mjesta ulaska spora raka kestenove kore kroz napuštene šiške kestenove ose šiškarice, koje gljiva može saprofitski naseliti.Ova pojava može uzrokovati širenje infekcije na susjedne grane i stvaranje rakastih tvorevina. Imajući u vidu nove spoznaje o mogućnosti jačanja zaraze rakom kore kestena pitomog kestena zbog pojave kestenove ose šiškarice potrebno je provesti istraživanja kako bi se utvrdilo postoji li opasnost širenja zaraze i u sastojinama pitomoga kestenana Unsko-sanskom kantonu.

6. LITERATURA

[1] A. Aebi, K. Schönrogge, G. Melika, A.Quacchia, A. Alma, G.N. Stone, Native and introduced parasitoids attacking the invasive chestnut gall wasp *Dryocosmus kuriphilus*. EPPO Bulletin, 2007, 37: 166-171.

[2] A. Macanović, Ekološko-sintaksonomska analiza šuma pitomog kestena (*Castanea sativa* Mill.) na području BiH, Struktura i dinamika ekosistema Dinarida-stanje, mogućnosti i perspektive, Zbornik radova/Proceedings, 2012, 23, 201-220.
[3] D. Matošević, M. Pernek, B. Hrašovec, Prvi nalaz kestenove ose šiškarice (*Dryocosmus kuriphilus*) u Hrvatskoj. Šumar. list. 2010, 134(9-10): 497-502.
[4] D. Matošević, Pojava, širenje i štetnost kestenove ose šiškarice (*Dryocosmus kuriphilus*) u Hrvatskoj, Radovi (Hrvat. šumar. inst.), 2012, 44(2): 113-124.
[5] D. Y. Cho, S.O. Lee, Ecological studies on the chestnut gall wasp, *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu, and observation on the damages of the chestnut trees by its insect. Korean Journal of Plant Protection, 1963, 2, 47-54.
[6] EFSA (European Food Safety Agency), Risk assessment of the oriental chestnut gall wasp, *Dryocosmus kuriphilus* for the EU territory and identification and evaluation of risk management options. EFSA Journal, 2010, 8 (6):1619, 1-114.
[7] E. Dallavalle, A. Zambonelli Epidemiological role of strains of *Cryphonectria parasitica* isolated from hosts other than chestnut. European Journal of Forest Pathology, 1999, 29:97-102.
[8] G. Di Pasquale, E. Allevato, E. Russo Ermolli, S.Coubray, C.Lubritto, F. Marzaioli, M.Yoneda,
G.Brussino, G.Bosio, M. Baudino, R. Giordano, F. Ramello,G.Melika, Pericoloso insetto esotico per il castagno europeo. Informatore Agrario, 2002, 37: 59-61.
[9] I. Lukić, Mogućnost jačanja zaraze rakom kore pitomoga kestena zbog pojave kestenove ose šiškarice u Hrvatskoj, Radovi (Hrvat. šumar. inst.), 2012, 44(2): 159-166.
[10] I. Poljak, M. Idžojtić, M. Zebec, N. Perković, Varijabilnost europskog pitomog kestena (*Castanea sativa* Mill.) na području sjeverozapadne Hrvatske prema morfološkim obilježjima plodova, Šumarski list, 2012, 9–10: 479–489.
[11] J.Kišpatić, Rak kestenove kore (*Endonthia parasitica* Anders). Zavod za zaštitu bilja,Uputstva iz zaštite bilja, 1956, 19:1-12.
[12] K.Takeuchi, Y. Kano, S. Matsuyama, G.F. De Simone, Reworking the idea of chestnut (*Castanea sativa* Mill.) cultivation in Roman times: New data from ancient Campania. Plant Biosystems, Vol. , 2010, 144, No. 4: 865-873.
[13] M.Glavaš, Gljivične bolesti šumskoga drveća. Zagreb: Šumarski fakultet,1999.
[14] M. Halambek, Istraživanje virulentnosti gljive *Endothia parasitica* (Murr.) And. Uzročnika raka pitomoga kestena (*Castanea sativa* Mill.), disertacija, Šumarski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 1988,132.
[15] M. Wraber, Biljnosociološki prikaz kestenovih šuma Bosne i Hercegovine; Godišnjak Biološkog instituta Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo, god. IX, fasc. 1958,1-2:139-182.
[16] M. Krstić, *Edonthia parasitica* u našoj zemlji. Zaštita bilja 2:113-116.1950.
[17] N. Borowiec, M. Thaon, L. Brancaccio, S.Warot, E.Vercken, X. Fauvergue, N. Ris, J.Claude Malausa, Classical biological control against the chestnut gall wasp *Dryocosmus kuriphilus* (*Hymenoptera, Cynipidae*) in France, Plant Protection Quarterly, 2014, Vol. 29 (1).
[18] R. Lakušić, Ekologija biljaka. IGKRO Svjetlost. Zavod za udžbenike, Sarajevo, 1980.
[19] S. Mirchev, M. Lyubenova,V. Dimitrova, S. Bratanova-Doncheva, Dendrochronological investigation on *Castanea sativa* Mill. in Belasitza mountain and Western Balkans (Berkovitza). Biotechnol. & Biotechnol. EQ 23/SE: 2009, 377-380.
[20] S. Novak-Agbaba, B. Liovic, M. Pernek, Prikaz sastojina pitomog kestena (*Castanea sativa* Mill.) u Hrvatskoj i zastupljenost hipovirulentnih saojeva gljive *Cryphonectria parasitica* (Murr.) Barr. Rad. -Šumar. inst. Jastrebar. 2000, 35(1): 91–110.
[21] S. Moriya, M. Shiga, I. Adachi, Classical biological control of the chestnut gall wasp in Japan. Proceedings of the 1st International Symposium on Biological Control of Arthropods, ed. R.G.Van Driesche, 2003, pp. 407-15.
[22] S. Prospero, B. Forster,Chestnut gall wasp (*Dryocosmus kuriphilus*) infestations: new opportunities for the chestnut blight fungus *Cryphonectria parasitica*? New Disease Reports, 2011, 23, 35.

[23] T. Treštić, M. Dautbašić, O. Mujezinović, Štetni organizmi ploda pitomog kestena, Naše šume, 2009, 2-10.
[24] U. Heiniger, D. Rigling, Biological Control of Chestnut Blight in Europe. Annual.Review of Phytopathology, 1994, 32:581-599.
[25] Z.Y . Zhang, G.Tarcali, L.Radocz, Y.Q.Feng, Y.Y.Shen, Chestnut gall wasp, *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu in China and in Hungary. Journal of Agricultural Sciences, 2009, 38 (Supplement), 123-8.
[26] Z.Ács, G. Melika, Z. Pénzes, J. Pujade-Villar, G.N.Stone,The phylogenetic relationships between *Dryocosmus*, Chilaspis and allied genera of oak gallwasps (*Hymenoptera, Cynipidae: Cynipini*). Syst. Entomol. 2007, 32 (1): 70-80.
[27] Y.Murakami, H.B.Ao, C.H.Chang, Natural enemies of the chestnut gall wasp in Hopei Province, China *(Hymenoptera, Chalcidoidea)*. Applied Entomology and Zoology, 1980, 15, 184-6.

PREGLED ISTRAŽIVANJA O KESTENU (*CASTANEA SATIVA* MILL.) SA OSVRTOM NA POTREBU ZAŠTITE KESTENOVIH ŠUMA CAZINSKE KRAJINE

REVIEW OF RESEARCH ON CHESTNUT (*CASTANEA SATIVA* MILL.) WITH REGARD ON NEEDS FOR PROTECTION OF CHESTNUT WOODS IN CAZINASKA KRAJINA

Vildana Alibabić[1], Ibrahim Mujić[2]
[1]Univerzitet u Bihaću, Biotehnički fakultet Bihać, vildana.btf@gmail.com
[2] Veleučilište u Rijeci, Poljoprivredni odjel Poreč, ibrahim.mujic@ri.t-com.hr

---

SAŽETAK:
Kestenove šume sjeverozapadnog dijela Bosne i Hercegovine prostiru se na oko 7000 ha i predstavljaju značajan resurs za lokalno stanovništvo, naročito za pčelare koji proizvode izvrsni kestenov med. Međutim, pored raka kore kestena i sve intenzivnijih aktivnosti čovjeka, pojavila se nedavno osa šiškarica koja prijeti nestajanju ovih šuma. Inicijativu zaštite kestenovih šuma, pored interesnih skupina stanovništva podržava i akademska zajednica Unsko sanskog kantona koja poslednjih 10 godina intenzivno radi na istraživanju kestena. U radu je, kao rezultat tih istraživanja prikazan pregled morfoloških, nutritivnih, antioksidativnih, antimikrobnih i ljekovitih svojstava kestena. Za kesten sa ovog područja utvrđeno je da ima sve morfološke i nutritivne karakteristike slične evropskom kestenu. Sadržaj ukupnih fenola (mg GAE/100 g) u plodu (421,97) i listu (6887,1) pitomog kestena doprinosi antioksidativnoj aktivnosti, a najveća antiradikalna aktivnost u odnosu na DPPH radikale je utvrđena kod ekstrakta rese. Antimikrobni test pokazao je da etanolni ekstrakti rese i lista inhibiraju rast Gram pozitivnih bakterija.

Ključne riječi: *kesten, antioksidativna i antimikrobna aktivnost, morfološka svojstva, nutritivna svojstva*

ABSTRACT:
Chestnut forests of the northwestern part of Bosnia and Herzegovina are spreading over 7000 hectares and represent an important resource for the local population, especially for beekeepers who produce excellent chestnut honey. However, in addition to chestnuts crust cancer and more intensive human activities, chestnut gall wasp appeared recently and is threatening to the disappearance of these forests. The initiative to protect chestnut forests, beside interest groups of the population is also supported by the academic community of the Una Sana Canton which for the last 10 years is working intensively on research of chestnuts. In this paper, as a result of these studies we presented an overview of morphological, nutritional, antioxidant, antimicrobial and healing properties of chestnuts. For chestnut from this area it was established to have all the morphological and nutritional characteristics similar to the European chestnut. Total phenol content (mg GAE / 100 g) in the fruit (421.97) and leaf (6887.1) of chestnut contributes to the antioxidant activity. The highest antiradical activity in relation to DPPH radicals was detected in extracts of catkins. Eethanol extracts of fringe and leaf inhibit the growth of Gram-positive bacteria.

Keywords: *chestnut, antioxidant and antimicrobial properties, morphological and nutritive properties*

---

1. UVOD

Kesten je vrsta drveća koje od davnina raste na prostoru sjeverozapada Bosne i Hercegovine (BiH) i kroz godine postao je jedna od najinteresantnijih vrsta. Smatra se da su ga na ove prostore donijeli Rimljani koji su prvi shvatili vrijednost drveta, a tek nakon rimskog perioda uzgajao se kao voće zbog zbog svoje hranjivosti [1]. Sa površinom od oko 6,850 ha [2] na kojoj je opstao i što je 89 % od ukupne površine u BiH postao je obilježje kulture življenja u Cazinskoj Krajini. Upotrebna vrijednost kestena u literaturi je dobro opisana, od njegovog značaja kao voćne kulture dobre hranjive vrijednosti [3, 4] zbog čega je nazvan "žitarica koja raste na drvetu", ekonomsko – socijalne uloge za mnoge narode i značaja u kulturi, tradiciji i životu [5] do primjene u poljoprivredi za izradu kolja ili alatki, tokarstvu, kolarstvu, stolarstvu, te bačvarstvu. Značajan je u kemijskoj industriji kao najekonomičnija sirovina za ekstrakciju tanina kojeg ima oko 30 % , u graditeljstvu za izradu podova i parketa, drvenih konstrukcija, građe, važan je za izradu električnih i telefonskih stupova, željezničkih pragova, u brodogradnji, za šipove. U drvnoj industriji zbog lijepe teksture svjetlosmeđe boje, izrađuju se furnirski listovi i dizajn namještaj visoke kvalitete. Zbog lijepog drveta, cvijeta i ploda, pitomi kesten je rado korištena dekorativna parkovna hortikulturna vrsta. Ljekovitost dijelova drveta (ploda, lista, kore, ježevice) opisana je također, u velikom broju radova. List se kao ekstrakt koristi u zaustavljanuju krvarenja zbog visokog udjela vitamina K [6] ili kao čaj za tretman reumatizma, bolova u leđima, ukočenosti mišića i zglobova, sredstvo protiv katara pluća i bronhijalne astme, zbog prisustva kodeina [7], a ima odličan antibakterijski [8] i antioksidativni [9] potencijal. Navedeno i brojni drugi razlozi stavljaju kesten među najtraženiju sirovinu u prehrambenoj, farmaceutskoj, kozmetičkoj i nizu drugih industrija. Za Unsko sanski kanton (USK) kesten je pored navedenog važna medonosna biljka gdje je jedan od najvažnijih proizvoda kestenov med, vrlo poznat po kvaliteti i prvi proizvod u BiH koji je ponio oznaku geografskog porijekla.
Međutim, postavlja se pitanje da li su institucije u BiH prepoznale značaj ove sirovine, naročito na području USK i koliko i šta poduzimaju da se kestenove šume zaštite. Ova vrsta je značajno ugrožena sve intenzivnijom nelegalnom sječom kestenovih šuma, a već više od pola stoljeća ove šume su napadnute rakom kore kestena. Najnovija opasnost je identifikacija kestenove ose šiškarice koja se iz Slovenije, gdje se pojavila 2005. i Hrvatske gdje je identificirana 2010., proširila u 2012. i na kestenove šume USK, o čemu izvještavaju brojni mediji i institucije, kao i pojedinci iz akademske zajednice [10]. Mjere zaštite u šumarskom sektoru nisu se poduzele do sad. Ne postoje planovi zaštite ili bilo kakva dokumentacija, a jedine preostale kestenove šume u BiH ne nalaze se ni na listama potencijalnih područja zaštite na razini Federalnog ministarstva turizma i okoliša koje je za takve poslove nadležno. U ovom radu je u cilju sagledavanja potreba zaštite kestenove šume USK predstavljena vrijednost kestena kroz pregled istraživanja o kestenu u poslednjih 10 godina. U radu su kao rezultat istraživačkih aktivnosti predstavljene ključne spoznaje o morfološkim, nutritivnim, antioksidativnim, antimikrobnim svojstvima ploda kestena, kao i komponentama iz ostalih dijelova drveta koje su nosioci antioksidativne i antimikrobne aktivnosti.

2. ZNAČAJ KESTENA ZA STANOVNIŠTVO UNSKO SANSKOG KANTONA I PREGLED ISTRAŽIVANJA O KESTENU

USK je sa aspekta prirodnih karakteristika vrlo atraktivno i dopadljivo područje, izuzetno bogato vodama dobrog kvaliteta, visokog stupnja bioraznolikosti. Međutim, osim Nacionalnog parka Una koji je utemeljen 2008. godine broj zaštićenih prirodnih područja u odnosu na razinu biološke raznovrsnosti i druge prirodne vrijednosti je vrlo mali. Sistemska istraživanja flore i faune se vrlo slabo provode, a nije uspostavljen ni informacijski sistem biološke i pejzažne raznolikosti. Sa aspekta zaštite prirode i standarda Evropske unije koji propisuju minimalno 14% zaštićenih područja, kestenove šume mogle bi se potencijalno naći na listama zaštićenog područja.

Ove šume rasprostranjene su na području općina Cazin, Velika Kladuša, Bužim, Bosanska Krupa i vrlo malo općine Bihać. Sa ekonomskog aspekta predstavljaju izvor hrane, kestenovog drveta, a posebno važno mjesto zauzimaju kao medonosna biljka za preko 1.000 pčelara kojima je kestenov med jedan od najznačajnijih proizvoda. Kako je kesten od davnina prisutan u životu Krajšnika, u njihovoj tradiciji je okupljanje na manifestacijama "Kestenijada" i već niz godina organiziraju se okrugli stolovi u organizaciji Udrženja pčelara Kesten "Kesten i med - prirodni saveznici cazinske Krajine". Ovo Udruženje je izradilo Elaborat za zaštitu kestenovog meda Cazinske Krajine i ostvarivanje prava na oznaku geografskog porijekla [11] koju danas koriste 22 pčelara. Kesten je kroz povijest predstavljao jedini izvor hrane za siromašno stanovništvo, a i danas je dodatni izvor prihoda za mnoge, što ga stavlja u položaj da se promatra i sa socijalnog aspekta.
Upravo zbog navedenih razloga, znanstvena zajednica USK započinje istraživanja kestena i samo u poslednjih 10 godina objavljeno je preko 50 znanstvenih radova. U tabeli 1 prikazan je popis nekih najvažnijih istraživanja vezanih za morfološka, nutritivna, antioksidativna i antimikrobna svojstva kestena, kao i popis radova o istraživanju kestena kao voćarske kulture. Broj radova o kestenu sa ovih područja značajno je veći, jer se njime bavi šira znanstvena zajednica cijele BiH i Hrvatske.

Tabela 1: Pregled istraživanja o morfološkim, nutritivnim, antioksidativnim i antimikrobnim svojstvima kestena (*Castanea sativa* Mill.) u poslednjih 10 godina

Br	Referenca	Istraživani parametri	Br. R.*
1	(Alibabić i sur., 2005.)	Istražen je broj plodova, udio zdravih plodova/kg, kategorizacija veličine ploda, lakoća skidanja vanjske i unutrašnje ljuske od jestivog dijela ploda, kemijski sastav (udio vode, pepela, proteina, ugljikohidrata, masti, škroba, celuloze) sirovog i prerađenog (kuhani i pečeni) kestena, organoleptička svojstva. Gubitak mase uzoraka skladištenih različitim tehnikama čuvanja (sobna temperatura, hlađenje, smrzavanje) uz tretman ekstraktima kadulje i ružmarina.	[12]
2	Mujić i sur., 2006.	Morfološke karakteristike lokalnog varijeteta i kalemljenog sa istarskim marunom: broj plodova/kg, % ploda, % ljuske, % neupotrebljivog ploda, dijametar, širina, visina i težina ploda/u četiri općine.	[13]
3	Mujić i sur., 2006a.	Kesten, sušen bez ljuske, kuhan i pečen sa ljuskom uspoređen je sa nutritivno sličnim namirnicama: krompir, jabuka, smeđa riža, sirovi i prženi lješnjak, osušeni i prženi kikiriki	[14]
4	Ačkar i sur., 2006.	Istražen je utjecaj skladištenja (4, 20, -18° C) tokom 2 mjeseca i kuhanja (60, 80 i 100° C) na probavljivost škroba.	[15]
5	Mujić i sur., 2006b.	Isti uvjeti istraživanja kao pod 1, samo se istraživala mikrobiološka slika, kontaminacija zelenom plijesni roda *Penicillium* sp.	[16]
6	Mujić i sur., 2006c.	Praćene su morfološke karakteristike obzirom na lokacije.	[17]
7	Mujić i sur., 2007.	Istraženi su ukupni fenoli pitomog kestena, lovranskog maruna i kalemljenog italijanskog maruna sa pitomim kestenom USK.	[18]
8	Mujić i sur., 2007a.	Istraživanje uklanjanje radikala i antimikrobna aktivnost ekstrakata na tri kultivara *Castanea Sativa* Mill., u lišću i resi.	[19]

9	Mujić i sur., 2008.	Utjecaj tehnika skladištenja na plodove.	[20]
10	Mujić i sur., 2008a.	Istražen je sadržaj fenola, antioksidativna i antimikrobna aktivnost.	[21]
11	Mujić i sur., 2008b.	*Castanea sativa* Mill. ekstrakti su ispitani na polifenolni sastav i atioksidativnu aktivnosti pomoću HPLC i EPR spektroskopije.	[22]
12	Živković, 2009.	Istražene su farmakološki aktivne supstance kestena (*Castanea sativa* Mill.).	[23]
13	Mujić i sur., 2009.	Istraživanja fenolnih komponenata.	[24]
14	Mujić i sur., 2009a.	Poglavlje u knjizi, opis kestena iz 30 zemalja svijeta.	[25]
15	Živković i sur., 2009.	Istraživanje sadržaja fenola i antioksidative aktivnosti.	[26]
16	Živković i sur., 2009a.	Istraživanje antioksidativnog djelovanje ekstrakata resa, lišća i trnovitog svrdla *Castanea sativa* u borbi protiv fiziološki reaktivnih superoksidnih i hidroksil radikala.	[27]
17	Alibabić i sur., 2009.	Analiza nekih fitokemikalija u tkivima kestena.	[28]
18	Mujić i sur., 2009b.	Fenolima i flavonoidima iz kestena mjeren je kapacitet uklanjanja organskih i hidrofilnih radikala.	[29]
19	Živković i sur., 2009b.	Ispitivano je uklanjanje radikala i antimikrobna aktivnost ekstrakata, tri kultivara *Castanea Sativa* Mill.	[30]
20	Mujić i sur., 2010.	Istraživanje zdravstvenih učinaka hrane od kestena na prehranu celijakičara i dijabetičara, kao i proizvoda od kestenovog brašna.	[31]
21	Mujić i sur., 2010a.	Istraživanje morfoloških karakteristika različitih varijeteta i sezona.	[32]
22	Skender, 2010.	Istražena je genetska i pomološka varijabilnost populacija kestena u BiH.	[33]
23	Mujagić–Pašić i Ballian, 2011.	Istražena je sistematika pitomog kestena unutar roda *Castanea* u BiH.	[34]
24	Skender i sur., 2011.	Istražena je heterogenost gena u populacija pitomog kestena (*Castanea sativa* Mill.)	[35]
25	Grdović i sur., 2012.	Istraženi su mehanizmi antioksidativnog djelovanja ekstrakata gljiva i kestena.	[36]
26	Mujagić–Pašić i Ballian, 2012.	Istražena je varijabilnost *Castanea sativa* Mill. na osnovu morfoloških karakteristika lista u prirodnim populacijama Bosanske Krajine	[37]
27	Skender i sur., 2013.	Rađena je pomološka i genetska analiza *Castanea sativa* Mill. iz BiH.	[38]
28	Skender i sur., 2013.	Rađena je genetska struktura kestena unutar BiH populacije kestena SSR markerima.	[39]
29	Skender i sur., 2014.	Istražen je genofond nekih autohtonih sorti voća među kojima i kesten.	[40]
30	Alibabić, 2015.	Opisan je kesten kao hrana, lijek i resurs.	[41]

*Br. R.: broj reference u popisu literature

Morfološka i nutritivna svojstva kestena svrstavaju ga u vrstu sa visokim udjelom zdravih plodova u 1 kg (95,93-98,75 %) i broju od 160 do 222 plodova/kg, sa udjelom velikih plodova od nešto iznad 50 % i masom ploda koja se kreće od 6,06 do 6,33g. Kemijskom analizom sirovog kestena utvrđen je visok sadržaj ugljikohidrata (škroba i šećera) od 45,91 %, sadržaj vode od 43,48 %, pepela 1,14 %, proteina 3,88 %, masti 2,04 %, škroba 38,08 % i sirovih celuloznih vlakana od 3,53 %, a energetska vrijednost 100 g ploda kestena kreće se oko 180 kcal/757 kJ, što poređenjem sa ostalim svjetskim varijetetima svrstava ovaj kesten u varijetet najbliži evropskom kestenu Početkom prošlog desetljeća izvršeno ja kalemljenje lovranskog maruna sa pitomim kestenom na 4 lokacije u općini Cazin. Usporedbom morfoloških karakteristika sa kalemljenim varijetetom utvrđene su veća prosječna masa kalemljenog kestena (6,47 g), kao i manji broj plodova/kg (153), općenito bolja morfološka svojstva kalemljenog ploda koji je krupniji. Plod sirovog kestena sa područa USK u usporedbi sa nutritivno sličnim namirnicama po ukupnoj energetskoj i nutritivnoj vrijednosti najviše odgovara smeđoj riži (prema popisu literature iz tabele 1: 1, 2, 3, 6, 9, 20, 21, 23, 26, 27, 30).
Rađena je serija istraživanja o promjenama u kestenu pod različitim uvjetima skladištenja, pri čemu je jedan dio uzoraka tretiran sa ekstraktima kadulje i ružmarina koji su dobra antimikrobna sredstva. U istraživanjima utjecaja [12, 16, 20] različitih uvjeta skladištenja (sobna temperatura, hlađenje, smrzavanje) uz tretman ekstraktima kadulje i ružmarina i praćena su fizikalno - kemijjske promjene tokom skladištenja, kao i pojava zelene plijesni iz roda *Penicillium* sp. Kontaminacija plodova vanjskog dijela ljuske, kao i jezgre bila je manja na uzorcima tretiranim smjesom otopine kadulje i ružmarina u svim istraživanim metodama skladištenja. Gubitak mase uzoraka skladištenih metodom hlađenja bio je najveći, a skladištenjem na sobnoj temperaturi najniži. U radu Ačkar i sur. [15] utvrđeno je da uvjeti skladištenja imaju veliki utjecaj na sadržaj škroba kestena, s velikim promjenama tokom skladištenja pri 20° C. Sadržaj neprobavljivog škroba smanjuje vrijeme kuhanja, s velikim promjenama tokom kuhanja na 100°C (2.28g/100g s.t. u odnosu na 27.29g/100g s.t. sirovog kestena).

U tabeli 1 prikazani su radovi serije istraživanja u kojima je istražen sadržaj antioksidativnih i antimikrobnih komponenata i kapacitete tih komponenata (prema popisu literature iz tabele 1: 7, 8, 10, 11, 12, 13, 15-19, 25). Istraživanje sadržaja ukupnih fenola u plodu kestena, srži, smeđoj vanjskoj kori, crvenoj unutrašnjoj kori, cijelom plodu, listu, resi, ježevici, mladoj i staroj kori pokazala je da je prinos suhog ekstrakta, izražen % (m/m), odnosno g/100 g uzorka bio od 1,82 % za ježevicu (ekstragens 50% etanol) do 33,56% za rese - cvjet sa lovranskog maruna (ekstragens 50% aceton). Sadržaj ukupnih fenola je određen Folin–Ciocalteu metodom, izražen u mg ekvivalentima galne kiseline (GAE)/100 g uzorka, kod pitomog kestena se kretao između 421,97 mg u plodu do 6887,1 mg za list. Kod lovranskog maruna srž ploda sadržavao je 112,3 mg GAE/100 g uzorka, dok je resa imala najveći udio fenola 11423,3 mg GAE/100 g. Kod kalemljenog italijanskog maruna, najmanji sadržaj ukupnih fenola bio je u cijelom plodu 413,6 mg GAE/100g, a najveći 6445,66 mg GAE/100 g u listu kestena [18]. Oba varijeteta sa prostora USK (pitomi i kalemljeni kesten) imali su sličan udio fenola, i to najmanje u plodu, a najviše u listu kestena.
Rađena su istraživanja sposobnosti uklanjanja radikala i antimikrobna aktivnost ekstrakata tri ista kultivara *Castanea Sativa* Mill., kao i u prethodnim istraživanjima, u lišću i resi. Nakon izvršene kisele hidrolize uzoraka ukupne fenolne tvari su određene HPLC-om. Visoka vrijednost antioksidativne aktivnosti u odnosu na hidroksil radikale određena je za resu lovranskog kestena (59,09%). Najveća antiradikalna aktivnost u odnosu na DPPH radikale je utvrđena kod ekstrakta rese domaćeg pitomog kestena (37,50). Antimikrobni test je pokazao da etanolni ekstrakti rese i lista inhibiraju rast Gram pozitivnih bakterija [19].
U disertaciji [26] detaljno su istražene farmakološki aktivne tvari u dijelovima kestena. Jedan od važnijih zaključaka bio je da ekstrakti rese, lista i ježevica ispoljavaju aktivnost u cilju prevencije/otklanjanja lipidne peroksidacije membrane eritrocita, što znači da ovi ekstrakti posjeduju sposobnost zaštite membrane eritrocita. Ekstrakti rese i ježevice pitomog kestena, kao i

lista lovranskog maruna imali su izuzetno visoku antioksidativnu aktivnost u stanici, i to djelotvornu u malim koncentracijama (oko 0,02 mg/mL) i slični su po antioksidativnom kapacitetu. Generalno, zaključeno je da su ekstrakti lista, ježevica, vanjske smeđe i unutrašnje crvene kore ploda, kao i kore drveta *C. sativa* Mill. dobiveni ekstrakcijom 50% etanola značajan izvor komponenata sa farmakološkim delovanjem i mogu smanjiti razinu oksidativnog stresa, također imaju visok kapacitet sprečavanja lipidne peroksidacije, zaštite membrane eritrocita, visoku *in vitro* antioksidativnu aktivnost. Ekstrakti kore drveta, ježevice i vanjske smeđe kore ploda ispoljavaju i značajnu antimikrobnu aktivnost,
U radu Živković i suradnici [30] utvrđeno je da bi elagitanini iz ekstrakta kestena mogli predstavljati lako dostupne prirodne antioksidanse i blagotvornu komponentu ljudske prehrane u patofiziološkim uvjetima koji se odnose na oksidativni stres. U zaključku, EPR spektroskopija predstavlja vrijedan alat za ocjenjivanje antioksidativno djelovanje u oba, hidrofilna i lipofilna medija. Isti autori objavili su nekoliko istraživanja o sadržaju tanina u kestenu sa ovih prostora, ali se ne navede u tabeli.

Također, istraživanja kestena kao voćarske kulture i genetike kestena opisano je u nekoliko radova (prema popisu literature iz tabele 1: 22-24, 26-29), međutim ovdje se neće komentirati.

Vrlo interesantna istraživanja provedena su sa odabranim grupama pacijenata koji boluju od celijakije i od dijabetesa, za koje je u istraživanjima izrađena dijeta na bazi kestenovih proizvoda. U eksperimentima u rađeni kruhovi i peciva od kestenovog brašna, te različiti kolači kojima je pored senzorskih karakteristika istražen i rok trajanja. Utvrđeno je da se kestenovo brašno može koristiti u izradi kruha i drugih pekarskih proizvoda u udjelu od 5 – 25% kestenovog brašna što ovisi o vrsti proizvoda, kao i od ostalih sastojaka u zamjesu. Ocjenjivanjem vanjskog i unutrašnjeg izgleda kruha dokazano je da uzorak sa 15 % kestenovog brašna + 85 % pšeničnog brašna ima najbolja svojstva i kvalitet. Dijeta na bazi kestenovog brašna i raži apsolutno je pozitivna za ishranu dijabetičara jer je rezistentni škrob iz njihovog sastava doveo do smanjenja razine glukoze u krvi kod 83,33% ispitanih pacijenata. Planska prehrana proizvodima od raži i kestenovog brašna djelovala je pozitivno i na razinu kolesterola i triglicerida kod dijabetičara, jer su i raženo i kestenovo brašno bogati izvori prirodnih vlakana, koja doprinose razgradnji i sagorjevanju složenih masti. Za celijakičare je rađena serija kolača (bezglutenskih proizvoda), a od rađenih 5 proizvoda od kestenovog brašna kao najbolji su se pokazali medenjaci, i to zahvaljujući jako prijatnom i blagom okusu i mirisu po medu, nježnoj teksturi koja se pri konzumiranju topi u ustima, te pohvalnoj trajnosti i postojanosti proizvoda [31]. Ovo je samo dio rezultata istraživanja o vrijednostima kestena sa prostora USK i mogućnostima iskorištavanja kestena za prehranu i za poboljšanje zdravlja ljudi, kroz konzumiranje kestena u tardicionalnom obliku (kuhan i pečen), ali i mogućnostima prerade u veliki broj prehrambenih artikala. Uz ovo neophodno je spomenuti kestenov med koji ima svoje nutritivne i ljekovite prednosti u odnosu na druge namirnice.

3. ZAKLJUČAK

Na žalost, stanovništvo sjeverozapadnog područja BiH kesten u šumama prikuplja i prodaje "s ruke na ruku", a tek poslednjih nekoliko godina postao je predmetom otkupa i distribucije kroz neke prodajne lance. Stanovništvo ga konzumira u dva najjednostavnija oblika, kuhanog i pečenog, a ni stanovništvo ni institucije odgovorne za kestenove šume nisu svjesne vrijednosti ove namirnice, odnosno resursa. Nema podataka o količinama koje se prikupljaju, niti je kesten sastavni dio evidencija u nadležnom ministarstvu. Nema planova upravljanja kestenovim šumama i njihove zaštite, bez obzira na njihovu ugroženost ljudskim aktivnostima, bolestima i štetočinama. Inicijativa za zaštitu kestenovih šuma pokrenuta je od strane Udruženja pčelara Kesten, a u tome ih podržava znanstvena zajednica i Poljoprivredni zavod USK koji je nedavno organizirao prvu

konferenciju o kestenu. Međutim, nadležne institucije šute. Ovaj rad mali je doprinos u podizanju svijesti o značaju kestena kao resursa USK.

4. LITERATURA

[1] M. Conedera, P. Krebs, W. Tinner, M. Pradella and D. Torriani, The cultivation of *Castanea sativa* (Mill.) in Europe, from its origin to its diffusion on a continental scale, *Veget. Hist. Archaeobot., 13*, 2004, 161–179.

[2] M. Usčuplić i S. Midžić, Razvoj raka pitomog kestena u Cazinskoj krajini, *Narodni šumar, Savez inženjera i tehničara šumarstva i drvne industrije SR Bosne i Hercegovine, Sarajevo. 7-8*, 1967, 379-387.

[3] G. Bounous, R. Botta, and G. Beccaro, The chestnut: the ultimate energy source. Nutritional value and alimentary benefits, *Nucis - Information Bulletin of the Research Network on Nuts (FAO-CIHEAM) 9*, 2000, 44-50.

[4] G. Bounous, Inventory of chestnut research, germplasm and references, FAO, 2002, Rome, Italy.

[5] A. Avagyan, Following Chestnut Footprints (Castanea spp.), (Chapter 4: Bosnia & Herzegovina, I. Mujić, J. Živković, V. Alibabić, Z. Tuzlak, S. Novak-Agbaba, Ž. Prgomet, and M. Idžojtić, pp. 20-23), *Scripta Horticulturae, 9*.

[6] L. Liu, and J. Zhou, Some Consideration on Chestnut Development in the 21th Century in China, *Acta Horticultura, 494*, 1998, 85-88.

[7] G. Romussi, L. Mosti, and S. Cafaggi, Glycoside und depside aus den blaettern von *Castanea sativa* Mill, *Pharmazie 35 (10),* 1981, 647-648.

[8] A. Basile, S. Sorbo, S. Giordano, L. Ricciardi, S. Ferrara, D. Montesano, R. Castaldo Cobianci, M.L. Vuotto, and L. Ferrara, Antibacterial and allelopathic activity of extract from Castanea sativa leaves, *Fitoterapia 71 (1),* 2000, S110-116.

[9] B. Halliwell, Reactive Species and Antioxidants, Redox Biology Is a Fundamental Theme of Aerobic Life, *Plant Phys. 141*, 2006, 312–322.

[10] Z. Delalić, Štetnost rakakore kestena i kestenove ose šiškarice na USK, Izlaganje, *Okrugli stol "Kesten i med- prirodni saveznici Cazinske Krajine"*, 26. decembar 2015, Cazin.

[11] V. Alibabić, M. Bajramović, i S. Mešić, Med od kestema-Elaborat za zaštitu kestenovog meda Cazinske Krajine i ostvarivanje prava na oznaku geografskog porijekla, 2010, Bihać.

[12] V. Alibabić, E. Dizdarević, I. Mujić, M. Bajramović, and Đ. Muslimović, Quality of Chestnut from Una Sana Canton, *Proceeding of the IV Convegno Nationale sul Castagno Montella*, AV. Italy, 2005, pp 364-366.

[13] I. Mujić, J. Ibrahimpašić, S. Jahić, M. Bajramović, and V. Alibabić, Kvalitativne karakteristike svježeg kestena *Castanea sativa* sa područja Unsko sanskog kantona, *Radovi Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Sarajevu,* **57** *(2),* 2006, 27-34.

[14] I. Mujić, J. Ibrahimpašić, S. Jahić, and V. Alibabić, Nutritivne karakteristike prerađenog kestena *Castanea sativa* sa područja Unsko sanskog kantona i usporedba sa nutritivno sličnim namirnicama, *Radovi Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Sarajevu, 57 (3),* 2006a, 125-137.

[15] Đ. Ačkar, I. Mujić, D. Šubarić, J. Babić, V. Alibabić, T. Nedić, and M. Kopjar, Influence of Storage Conditions and Heath Treatment on Digestability of Starch in Chestnut, *3th Central European Congress on Food*, May 22-24, 2006, Sofia, Bulgaria, p.183.

[16] I. Mujić, V. Alibabić, J. Ibrahimpašić, and Đ. Muslimović, Characteristics of the Chestnut from USC in a Comparison to the Chestnut Varieties from Italy and Influence of Different Preservatives Technique on the Nutritive Values, IHC 2006. 27th International Horticultural Congress, Global Horticulture: Diversity and Harmony*,* August 13-19, 2006b, Seoul, Korea, p.112.

[17] I. Mujić, V. Alibabić, S. Jahić, J. Ibrahimpašić, and M. Bajramović, Morfološke karakteristike kestena (*Castanea sativa* L.) sa područja Unsko sasnkog kantona, XIX naučno stručni skup poljoprivrede i prehrambene industrije, 2006c, Neum, p. 72-73.

[18] I. Mujić, J. Živković, Z. Zeković, V. Alibabić, H. Jukić, S. Dudaš, and J. Tomin, Determination of total phenolic compounds in cultivars of *Castanea Sativa* Mill., *ISHS International Workshop on Chestnut Management in Mediterranean Countries: Problems and prospects,* October 22 - 25, 2007, Bursa, Turkey, p. 16.

[19] I. Mujić, J. Živković, Z. Zeković, S. Vidović, J. Tomin, V. Alibabić, M. Bajramović, S. Dudaš, and T. Tumbas, Antioxidant Activity of *Castanea Sativa* Mill. Extracts, *2nd ISHS International Symposium on the Health Benefits of Fruits and Vegetables,* October 9 - 13, 2007a, Houston, USA, p. 112.

[20] I. Mujić, V. Alibabić, J. Ibrahimpašić, S. Jahić, and Đ. Muslimović, Characteristics of the Chestnuts from Una Sana Canton in comparison to other Chestnut Varieties and the Influence of Different Preservation Techniques on Nutritive Values, *Acta Horticultura, 768*, 2008, 359-366.

[21] I. Mujić, J. Živković, Z. Zeković, S. Vidović, Alibabić, and E. Budimlić, Polyphenolic Composition Antioxidant and Antimicrobial Activity of *Castanea Sativa* Mill. Extracts, *IV. International Chestnut Symposium*, September 25 - 28, 2008a, Miyun-Beijing China, p. 11.

[22] I. Mujić, J. Živković, Z. Zeković, S. Vidović, A. Mujić, J. Midhat, and S. Jokić, Analysis of phenolics and the ability of extracts of sweet chesnut to scavenge superoxide radicals, *VI. International Conference of the Chemical Societies of the South-Eastern European Countries*, September 10-14, 2008b, Sofija, Bugarska.

[23] J. Živković, Farmakološki aktivne supstance kestena (*Castanea sativa* Mill.), Disertacija, Tehnološki Fakultet Univerziteta u Novom Sadu, 2009, Novi Sad.

[24] I. Mujić, S. Dudaš, J. Živković, J. Tomin, Z. Zeković, V. Alibabić, H. Jukić, and R. Šahinović, Determination of total phenolic compounds in cultivars of *Castanea sativa Mill*, *Acta Horticultura, 815*, 2009, 63-68.

[25] I. Mujić, J. Živković, V. Alibabić, Z. Tuzlak, S. Novak-Agbaba, Ž. Prgomet, and M. Idžojtić, Chestnut. In following chestnut footprints (*Castanea spp*.), *Scripta Horticulturae, 9*, 2009a, 20-23.

[26] J. Živković, Z. Zeković, I. Mujić, V. Tumbas, D. Cvetković, and I. Spasojević, Antioxidant Properties of Phenolics in Castanea sativa Mill. Extracts, *Food Technology and Biotechnology*, 47 (4), 2009, 421 – 427.

[27] J. Živković, Z. Zeković, I. Mujić, D. Gođevac, M. Mojović, A. Mujić, and I. Spasojević, EPR Spin-Trapping and Spin-Probing Spectroscopy in Assessing Antioxidant Properties: Example on Extracts of Catkin, Leaves, and Spiny Burs of Castanea sativa, *Food Biophysics, 4 (2),* 2009a, 126-133.

[28] V. Alibabic, I. Mujic, D. Jukić, M. Bajramović, and H. Jukić, Quantitative analysis of some fitochemicals in selected tissues of *Castanea sativa* from northwestern Bosnia, *1st European Congress on Chestnut*, October 13-16, 2009, Cuneo, Italy, p. 280.

[29] I. Mujić, J. Živković, Z. Zeković, G. Nikolić, S. Vidović, Ž. Prgomet, and S. Dudaš, Capacity of Extract of *Castanea sativa* Mill. For removal of Organic, Hydrophilic Radicals, *Acta Horticulturae, 866*, 2009b, 647-652.

[30] J. Živković, I. Mujić, Z. Zeković, S. Vidovic, A. Mujić, and S. Jokić, Radical scavening, antimicrobial activity and phenolic content of Castanea Sativa extracts, *Journal of central European agriculture, 10 (2*), 2009b, 175-182.

[31] I. Mujić, V. Agayn, J. Živković, D. Velić, S. Jokić, V. Alibabić, and A. Rekić, Chestnuts, a ″comfort″ healthy food, *Acta Horticulturae, 866*, 2010, 659-666.

[32] I. Mujić, V. Alibabić, J. Živković, S. Jahić, S. Jokić, Ž. Prgomet, and Z. Tuzlak, Morphological characteristics of chestnut *Castanea sativa* from the area of Una Sana Canton, *Journal Central European Agriculture, 11* (2), 2010a, 185-190.

[33] A. Skender, Genetska i pomološka varijabilnost populacija pitomog kestena u Bosni i Hercegovini. Doktorska disertacija, Univerzitet u Sarajevu, Poljoprivredno-prehrambeni fakultet, Sarajevo.

[34] A. Mujagić-Pašić and D. Ballian, Systematical position of sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) within the genus Castanea in Bosnia and Herzegovina. *Naše šume. Časopis za unapređenje šumarstva, hortikulture i očuvanja okoline*. 24-25, godina X, 2011, Sarajevo.

[35] A. Skender, S. Hadžiabulić, and F. Gaši, Heterogenaity of Gene Locus in Populations of Sweet Chestnut (*Castanea sativa* Mill.), *Symposium of Geneticists in Bosnia and Herzegovina,* Vol I, 2011, Sarajevo, B&H.

[36] N. Grdović, S. Dinić, J. Arambašić, M. Mihailović, A. Uskoković, J. Marković, G. Poznanović, S.Vidović, Z. Zeković, A. Mujić, I. Mujić, and M. Vidaković, The protective effect of a mix of Lactarius deterrimus and *Castanea sativa* extracts on streptozotocin-induced oxidative stress and pancreatic β-cell death, *British Journal of Nutrition, 108 (07),* 2012, 1163-1176.

[37] A. Mujagić-Pašić, and D. Ballian, Varijabilnost pitomog kestena (Castanea sativa Mill.) na osnovu morfoloških karakteristika lista u prirodnim populacijama Bosanske Krajine, *Works of the Faculty of Forestry University of Sarajevo*, 1, 2012, 57-69.

[38] A. Skender, M. Kurtović, S. Hadžiabulić, and J. Aliman, Pomological and genetic analysis of chestnut (*Castanea sativa* Mill.) in Bosnia and Herzegovina, *48th Croatian & 8th International Symposium on Agriculture*, February 17-22, 2013, Dubrovnik, Croatia, pp. 318-322.

[39] A. Skender, M. Kurtović, S. Hadžiabulić, and F. Gaši, Analyses of genetic structure within population of chestnut (Castanea sativa Mill.) in Bosnia and Herzegovina using SSR markers, The Journal of Ege University 01-I, /2013, 159-162.

[40] A. Skender, D. Bećirspahić, A. Mujagić-Pašić, S. Joldić, and B. Kulelija, Genofund ofnative fruit in the Una Sana Canton, *The 5th International Symposium on Sustainable Development*, ISSN 978-9958-834-36-3, June 2014, 69-74.

[41] V. Alibabić, Kesten kao hrana, lijek i resurs: pregled istraživanja o kestenu sa područja Unsko sanskog kantona, *Naučna konferencija o kestenu "Zaštita postojećih i podizanje novih zasada pitomog kestena i drugih autohtonih sorti voća"*, 03. decembar, 2015. Velika Kladuša.

RAZLIKE IZMEĐU STUDENATA I STUDENTICA U KOMPETENCIJI PODUZETNIŠTVA

DIFFERENCES BETWEEN MALE AND FEMALE STUDENTS IN THE COMPETENCIES OF ENTREPRENEURSHIP

Elvira Ćatić-Kajtazović[1], Amra Nuhanović[2], Sanita Bilanović
[1] University of Bihac, Faculty of Economics Bihać, elviracatickajtazovic@gmail.com
[2] University of Tuzla, Faculty of Economics Tuzla,
Univerzitetska 8, Tuzla, amra.kozaric@untz.ba

SAŽETAK:
Kompetencija poduzetništva predstavlja sposobnost pojedinca da realizuje vlastite ideje, da preuzme odgovornost, da inicira i pokreće promjene, da je motiviran, proaktivan, inovativan te spreman na preuzimanje rizika i timski rad. Kao jedna od osam ključnih kompetencija definiranih Europskim okvirom, poduzetnička kompetencija još uvijek nije ispravno shvaćena u Bosni i Hercegovini. Pored navedenog, očit je i nedostatak razumijevanja uloge poduzetničke kompetencije u ekonomskom rastu i razvoju.
Pomoću Alata za procjenu poduzetničke kompetencije rađeno je istraživanje na prigodnom uzorku bosanskohercegovačkih studenata. U ovom radu prezentirani su rezultati dijela istraživanja koji su se odnosili na spolne razlike ispitanika u kompetenciji poduzetništva.

Ključne riječi: *Bosna i Hercegovina, kompetencije, poduzetništvo, studenti, studentice*

ABSTRACT:
The competence of entrepreneurship represents the ability of an individual to: implement own ideas, take responsibility, initiate and launch changes, to be motivated, proactive, innovative and willing to take risks and work in a team. As one of the eight key competences defined in the European framework, the entrepreneurial competence is still not properly understood in Bosnia and Herzegovina and is mainly related to "starting a business".
Research results of the Estimator of the entrepreneurial competence have shown that male students in Bosnia and Herzegovina have statistically significant higher values in entrepreneurial skills and entrepreneurial intentions compared to female students. These results were confirmed by answers to questions regarding career and willingness to adjust.

Keywords: *Bosnia and Herzegovina, competencies, enterpreneuship, male students, female students*

1. INTRODUCTION

The importance of entrepreneurial competence is shown by the fact that the European Commission included Sense of initiative and entrepreneurship as a priority task, or as one of the "Key Competences for Lifelong Learning", in the European Key Competence Framework from 2006. Entrepreneurial competence is a far broader concept than starting a company (business).
It primarily involves the ability to turn ideas into action, the ability to take responsibility, innovation, initiative, initiation and acceptance of changes, motivation, risk-taking and teamwork.

"Entrepreneurial competence can be defined as a combination of knowledge, skills, attitudes and abilities to create and detect opportunities in the environment, make changes and direct behavior to successfully deal with the task of creating and managing an organization whose aim is to exploit these opportunities and cope with the increasing level of uncertainty and complexity in an environment full of challenges"[5].
In Bosnia and Herzegovina, according to a stereotype, risk taking and initiative are to reserved for men. Andit is not only in BiH, the stereotype of the man as driver of changes is deeply embedded in the neighboring countries as evidenced by a number of researchs. Stereotype, according to Aronson et al. (2005, p. 461), is the "generalization about a group of people in which identical characteristics are attributed almost to all members of the group, regardless of actual variation among the members" [8].

2. RESEARCH METHODOLOGY

The survey was conducted by using the ASTEE questionnaire (Tool to assess the entrepreneurial competence). After obtaining the permission to use this questionnaire in Bosnia and Herzegovina, it was translated and tested by a pilot survey on a sample of 60 students. The pilot survey was used to detect whether the questionnaire is understood properly. The survey questions refer to "the entrepreneurial knowledge, entrepreneurial skills, attitude towards entrepreneurship, entrepreneurial intentions and sense of initiative." After the pilot studies and additional modifications, the research was conducted among students from the University of Bihac, University of Sarajevo and the University of Tuzla [2].
Preliminary review of the returned questionnaires resulted in 358 completed questionnaires, that could be accepted as valid answers and these questionnaires were statistically processed in SPSS (software version 20).
The objective of this part of the research was to discover the potential impact of gender on entrepreneurial knowledge, entrepreneurial skills, attitude towards entrepreneurship, entrepreneurial intentions and sense of initiative.
The following hypotheses were set on the basis of variables in ASTEE questionnaire:
H1: Entrepreneurial competencies differ between male and female students.
H2:There is a difference between male and female students when it comes to wishes referring to starting their own business, working in the private or public sector after graduation.
H3: There is a difference between male and female students when it comes to willingness to do jobs they were not college-educated for, or jobs that don´t require a university degree.

3. RESEARCH RESULTS

A number of studies have confirmed that women have less desire to start their own business than men [4, 9], women give less importance to money [6], and in the promotion of entrepreneurial intention men and women should be treated as different target groups [1, 3].
On independent samples the T-test compared test results of entrepreneurial mindset, knowledge, skills and intentions of male and female students.
Statistically significant differences are presented in the following table. The table shows that there are statistically significant differences between male and female students in following variables: creativity, financial literacy, managing ambiguity, marshalling of resources, planning and entrepreneurial intentions. A review of achieved averages shows all variables and values are higher for males students compared to female students. Therefor, male students in Bosnia and Herzegovina have statistically significant higher values in entrepreneurial skills and entrepreneurial intentions than female students.

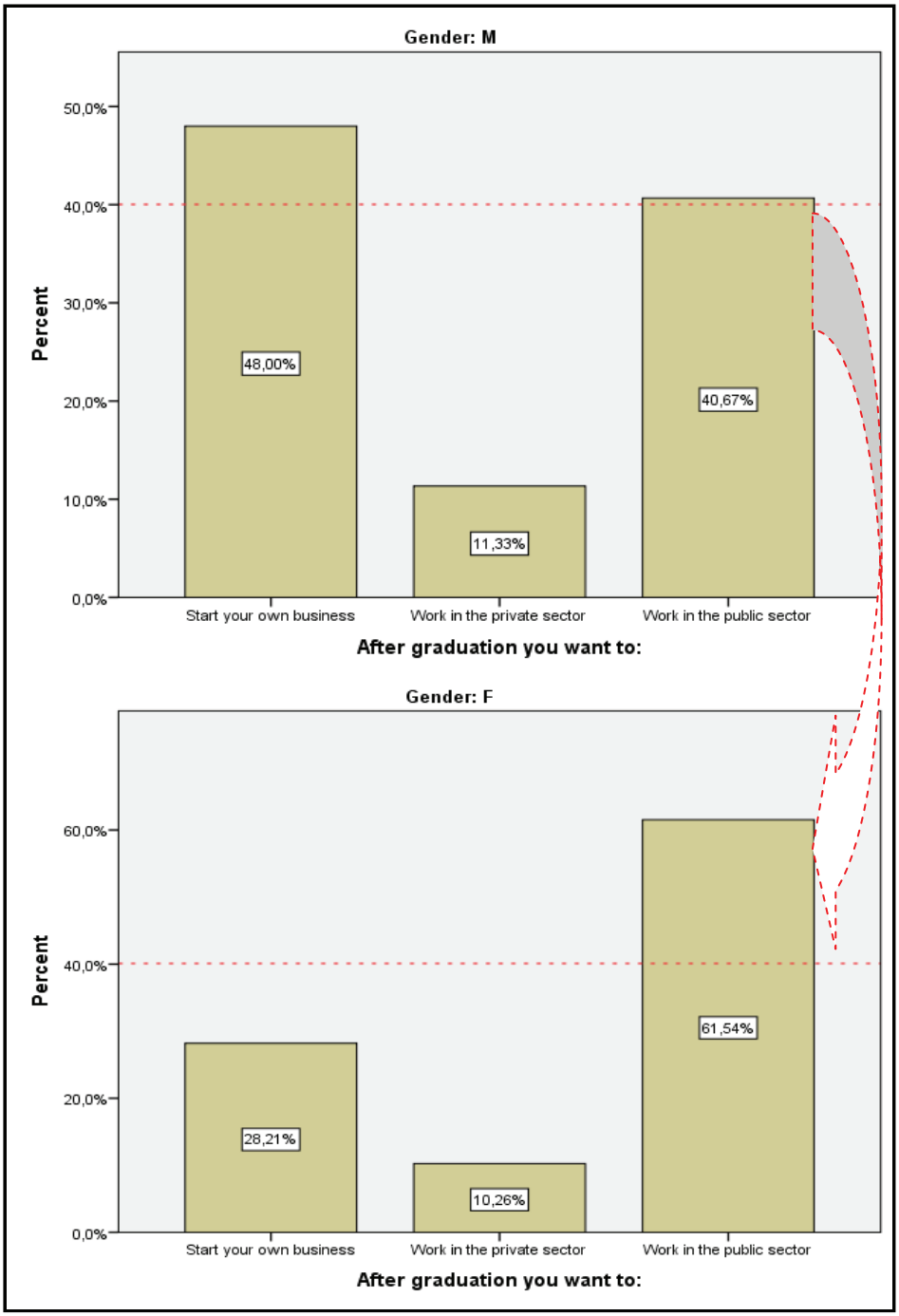
Table 1: Statistically significant differences in entrepreneurial skills and intentions

Scales	*Dependent variables*	Genderl	N	M	SD	t	Df	p
Skills	Creativity	M	158	4,72	0,90	3,15	356	0,00
		F	200	4,40	0,94			
	Financial literacy	M	158	4,12	1,19	2,17	352,55	0,03
		F	200	3,83	1,37			
	Managing uncertainty	M	158	4,59	0,85	2,57	356	0,01
		F	200	4,33	0,97			
	Shunting resources	M	158	4,85	0,99	2,11	356	0,04
		F	200	4,61	1,11			
	Planning	M	158	4,59	1,03	3,45	355,49	0,00
		F	200	4,17	1,26			
Intentions	Entrepreneurial intentions	M	158	4,56	1,37	3,10	356	0,00
		F	200	4,08	1,51			

There are no statistically significant differences in variables of entrepreneurial spirit, self assessment, entrepreneurial attitudes, entrepreneurial skills and innovative employee. Though, review of the actual mean values clearly demonstrates that the achieved averages are slightly higher for men than women (except variables of entrepreneurial knowledge and innovative employee). This only confirmed the results of earlier studies that tell us that women are less interested in entrepreneurship, starting their own business, etc., as compared to men - or "entrepreneurship is still considered largely as a "male" occupation" "[7, 8]. At the same time (average for the variables of entrepreneurial knowledge) the research partly confirms that "girls tend to have higher grades and higher pass rates on the final exam/graduation than boys, and boys are more likely to leave school or repeat their school year" "[13]. Therefore it's about stereotypes and lack of understanding of entrepreneurial competence that is far a broader concept than just a "starting a business". Confirmation of the statements above is evident in answers about future career and employment. Namely, in order to reveal more information about the student´s way of thinking, their approach to the problem of unemployment, awareness of the environment they are living in and their plans regarding the above, students were offered the following questions:

1. After graduation you want to:
   - Start your own business
   - Work in the private sector
   - Work in the public sector
2. Would you agree to do jobs that require only a high school degree?
3. Would you agree to labor that is not your profession?
4. Would you accept to work as a seller?

Only 28.21% of female students want to start their own business, while a high percentage of 61,54% of female students want to work in the public sector which they see as a safe source of existence and the possibility of balancing work and family life. On the other hand 48% of male students want to start their own business. There is statistically significant difference in responses between male and female students ($t = -4.11$; $p = 0.00$, $p < 0.05$). The differences are even more evident when presented in the following figures:



Figures 1: Difference between male and female students when it comes to wishes referring to starting their own business, working in the private or public sector after graduation

Somewhat surprising results were shown in the analysis of answers to following questions (the work is not your profession, working with secondary education and working as a seller). All answers showed a noticeable greater willingness of male students compared to female students. A statistically significant difference ($p < 0.05$) appeared in answers to the question: Would you agree to labor that is not your profession? Though the eta square indicates a low effect size (eta squared = 0.021), with caution it can be concluded that male students are more flexible than female students, or more adaptable to change and more entrepreneurial.

3. CONCLUSION

On the basis of this research, we can conclude that there is a difference in entrepreneurial competences with regard to the gender of the target group. It should be emphasized that the target group is composed of students of different faculties of three universities in Bosnia and Herzegovina. As expected according to the stereotype and characteristics of a patriarchal environment in which they grew up, male students show significantly higher values of entrepreneurial competencies that are needed to start a businesses. This can be related to the attitude that the man is the one who earns money and takes care of the family. On the other hand, although female students have entrepreneurial skills, it is evident that they do not show the desire to get out of their "security zone", wich is often seen as a job in the public sector, preferably in their vocation, not exposing themselves to risks that come with running your own business. This mold of behavior just results in a society where men are initiators of change, have higher incomes, as well as decision-making power within the family and society. We can conclude that there is a need for different teaching approaches in the development of entrepreneurial competencies, given the differences between genders, with special emphasis on encouraging female students to start their own businesses.

4. REFERENCES

[1] B. Morić Milovanović, S. Srhoj, T. Krišto, Modeliranje poduzetničkih namjera studenata i studentica Sveučilišta u Zagrebu, *Zbornik Ekonomskog fakulteta u Zagrebu*, *godina 13, 2*, 2015, 17-47.

[2] E. Ćatić-Kajtazović, A. Nuhanović, S. Bilanović, Empirical study of assessment of entrepreneurial skills, knowledge and attitudes of university students in Bosnia and Herzegovina, *Researching Economic Development and Entrepreneurship in Transition Economies*, REDETE 2015.

[3] H. Leroy, J. Maes, L. Sels, J. Debrulle, Gender effects on entrepreneurial intentions: a TPB multigroup analysis at factor and indicator level, 2009, https:/ /lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/245186/2/2009-09-16+-+12064.pdf

[4] L. Lee, P. Wong, M. Foo, and A. Leung, Entrepreneurial intentions: the influence oforganizational and individual factors, *Journal of Business Venturing, 6 (1),* 2011, 124-136.

[5] L. Sedlan-Kőnig, Poduzetnička kompetencija kao izvor konkurentnosti studenata na tržištu rada, *Ekonomski vjesnik, God. XXVI, 1,* 2013, 57-70.

[6] S. Cromie, Motivations of aspiring male and female entrepreneurs, *Journal of Occupational Behavior , 8 (3),* 1987, 251.

[7] V. K. Gupta, D. Turban, S. A. Wasti, A. Sikdar, The role of gender stereotypes in perceptions of entrepreneurs and intentions to become an entrepreneur, *Entrepreneurship Theory & Practice*, 33(2), 2009, 397-417.

[8] V. Živoder, and M. Kolega, Razlike između studenata i studentica u identifikaciji s osobinama uspješnih poduzetnika/ca, *Ekonomska misao i praksa, god XXIII, 2*, 2014, 589-610.

[9] Y. Zhang, G. M. Duijsters, and M.M.A.H. Cloodt, The role of entrepreneurship education as a predictor of university students' entrepreneurial intention, *International Entrepreneurship and Management Journal, 10(3),* 2014, 623-641.
[10] Key competences for lifelong learning — a european reference framework http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32006H0962 (accessed 25.02.2015.)
[11] http://asteeproject.eu/assessment-tools/ireland (accessed 15.03.2015.)
[12] How to assess and evaluate the influence of entrepreneurship education, http://archive.ja-ye.org/Download/jaye/ASTEE_REPORT.pdf (accessed 30.05.2015.)
[13] EACEA, Rodne razlike u obrazovnim ishodima, Eurydice, 2010, http://eacea.ec.europa.eu/Education/eurydice/documents/thematic_reports/120HR_HI.pdf

ANALIZA MASE I SASTAVA KOMUNALNOG OTPADA U POSTUPKU ODREĐIVANJA ENERGIJSKOG POTENCIJALA

ANALYSIS MASS AND COMPOSITION OF MUNICIPAL WASTE IN THE PROCESS OF DETERMINING ENERGY POTENTIAL

Mahmut Jukić[1], Huska Jukić[1], Asmir Aldžić[1]
[1]Univerzitet u Bihaću, Visoka zdravstvena škola Bihać,
mahmut.jukic@gmail.com
huky_jukic@yahoo.com;
asmiraldzic@hotmail.com

SAŽETAK:
Otpad koji se koristi u procesu za proizvodnju energije naročito postupkom sagorijevanja (inseneracije), mora da zadovolji određene uslove, i to na prvom mjestu, njegova donja toplotna vrijednost mora da bude veća od minimalne vrijednosti. Prosječna donja toplotna vrijednost otpada mora da bude minimalno 6 MJ/kg po svim godišnjim dobima, a prosječna godišnja minimum 7 MJ/kg. Drugi uslov koji treba da bude ispunjen je odgovarajući sastav otpada. Otpad u kojem značajan udio ima pijesak i plastika ne zadovoljava uslove za insineraciju bez obzira što je njegova donja toplotna vrijednost veća od minimalno potrebne vrijednosti).
U svrhu precizne procjene energijskog potencijala neophodno je što tačnija procjena količine (mase) i sastava komunalnog otpada.

Ključne riječi: *masa, komunalni otpad, toplotna vrijednost, energijski potencijal.*

ABSTRACT:
The waste, used in the process of energy production especially by means of inceneration process, has to satisfy certain conditions. Primarily, its lower heat value has to exceed its minimum value. Average lower heat value has to be at least 6 MJ/kg in all seasons, and average annual has to be at least 7 MJ/kg. Another condition to be met is related to the appropriate composition of waste. The waste containing a lot of sand and plastic does not meet the inceneration conditions regardless of its lower heat value being higher than the minimum value required).
For the purpose of an accurate assessment of energy resources is necessary is that a more accurate estimate of the quantity (mass) and the composition of municipal waste .

Key words: *mass, waste, heating value, the energy potential.*

---

1. UVOD

Da bi sistem korištenja komunalnog otpada bio održiv potrebno je pouzdano odrediti količinu otpada, njegov sastav i promjene u godišnjoj proizvodnji otpada, a sve to u cilju što tačnije procjene generisanja otpada za vrijeme predviđenog rada postrojenja za proizvodnju energije insineracijom [10]. S obzirom, da sastav i količina otpada zavise od kulturoloških, klimatskih i socio-ekonomskih uslova, nemoguće je koristiti podatke dobijene za neko drugo područje, već je

neophodno praviti vlastitu procjenu za svako područje na kome se planira izgradnja insineratora [1,6].

2. CILJ

Cilj rada je da se na osnovu mase i toplotne vrijednosti komunlanog otpada odredi energijski potencijal u svrhu proizvodnje energije pomoću komunalnog otpada koji se u svijetu smatra obnovljivim izvorom energije. da bi odredili toplotnu vrijednost komunalnog otpada potrebno je utvrditi što tačniju procjenu morfološkog sastava komunlanog otpada.

3. MATERIJALI I METOD RADA

3.1. Materijal

Materijali koji su korišteni za istpitivanje mase komunalnog otpada su: kolska vaga, elektronska vaga sa led displejom, kante za otpad, rešetka-radni stol sa tri sita od 130 mm, 85 mm i 20 mm i pomoćni alat.

3.2. Metoda

Prilikom mjerenja mase i morfološkog sastava komunalnog otpada korištena je zvanična metoda pod nazivom S.W.A.-Tool (Development of a Methodological Tool to enhance the Precision & Comparability of Solid Waste Analysis Data) [7]. Cilj njenog razvoja je povećanje preciznosti i uporedljivosti podataka o komunalnom otpadu na nivou Evrope.

Metodologija se sastoji iz dva dijela. Prvi dio se odnosi na utvrđivanje procjene generisanih količina komunalnog otpada za odabrano područje, na način da se u periodu od sedam dana mjere količine komunalnog otpada prije njegovog odlaganja na deponiju. Drugi dio se odnosi na uzorkovanje i analizu morfološkog sastava komunalnog otpada za odabrano područje [7].

4. REZULTATI

Na osnovu mjerenja mase komunalnog otpada sa kolskom vagom u periodu od sedam dana, kao i na osnovu dole navedenih formula dobije se dnevna generisana količina komunalnog otpada po jednom stanovniku za područje istraživanja.

$$M_{st/dn} = \frac{M_{uk/dn}}{K_u} \qquad [\text{kg}] \qquad \text{gdje je}$$

$M_{st/dn}$ – ukupna dnevna masa komunalnog otpada po jednom stanovniku

$M_{uk/dn}$ – ukupna dnevna masa komunalnog otpada u određenoj općini

$$K_u = R_{\check{c}} \cdot S_t \qquad \text{gdje je}$$

K_u –broj korisnika komunalnih usluga (stanovnika)

$R_{\check{c}}$ – broj računa za domaćinstva

S_t – broj stanovnika u određenoj općini po jednom domaćinstvu

Broj stanovnika u određenoj općini je količnik ukupnog broja popisanih stanovnika i ukupnog broja popisanih domaćinstava u toj Općini i računa se po sljedećoj formuli: $S_t = \frac{S_p}{D_p}$

gdje je: S_p – broj stanovnika po popisu D_p – broj domaćinstava po popisu

$$S_t = \frac{29.695\ stanovnika}{7.691\ domaćonstava} = 3{,}86\ stanovnika/domaćinstvu$$

$$M_{st/dn} = \frac{12.457\ kg\ opada/dn}{20.128\ korisnika} = 0{,}61\ \text{kg/st/dn}$$

Npr. ukupna generisana dnevna masa komunalnog otpada na području općine Bosanska Krupa računa se:

$M_{uk/dn} = \frac{M_{uk/sed}}{7}\ x\ 1000$ [kg], za općinu Bos.Krupu $M_{uk/dn} = \frac{87{,}20}{7}\ x\ 1000 = 12.457$ [kg]

Na osnovu gore navedenih formula i prikazanim postupkom, u tabeli 1. prikazane su generisane količine, odnosno mase komunalnog otpada po stanovniku za područje USK-a i općinu Drvar u kojima je izvršeno istraživanje.

Tabela 1. Ukupne količine generisanog komunalnog otpada u USK-u

OPĆINA	ukupan broj stanovni-ka	broj korisnika komunalnih usluga	količina otpada po st. kg/st/dn	količina otpada t/sedmično	projekcije količina otpada t/god	količina otpada po stanovn. kg/st/god
B.Krupa, Cazin i Bužim)	**119.368**	**91.497**	**O,43**	**273,76**	**13.140,48**	**156,9**
Bihać	61.186	52.344	0,43	156,61	7.517,28	156,9
B. Petrovac	7.946	3.601	0,43	10,77	516,96	156,9
Drvar	7.506	2.706	0,43	8,09	388,32	156,9
Ključ	18.714	15.163	0,43	45,36	2.177,28	156,9
Sanski Most	47359	25.476	0,43	76,22	3658,56	156,9
Velika Kladuša	44.770	39.694	0,43	118,76	5.700,48	156,9
UKUPNO	**306.849**	**227.338**	**0,43**	**941,26**	**33.099,36**	**156,9**

Iz tabele 1. se vidi da ukupne godišnje generisane količine komunalnog otpada u Unsko-sanskom kantonu iznose 33.099 t/god, dok prosječna dnevna količina otpada po jednom stanovniku iznosi 0,43 kg/st/dn, dok generisana godišnja količina komunalnog otpada po jednom stanovniku iznosi 156,9 kg/st/god. Kada se uporedi dnevna količina otpada izračunata na bazi 4% ukupnog stanovništva u regiji Bihać projektnim zadatkom od strane Ministarstva za građenje, prostorno uređenje i zaštitu okoliša Unsko-sanskog kantona od 0,39 kg/st/dn u trećoj najrelevantnijoj fazi, može se zaključiti da nisu mnogo velika odstupanja izračunata istraživanjem [3].

Ukupan energijski potencijal je proizvod mase generisanih količina komunalnog otpada na godišnjem nivou i donje toplotne vrijednosti komunalnog otpada i računa se po sljedećoj formuli:

$$E = M \cdot H_d \qquad (\text{MJ/kg})$$

.Na osnovu istraživanja, masa komunalnog otpada generisana na godišnjem nivou u regiji Bihać iznosi:

$$M = 33.099{,}36 \text{ tona} \approx 33{,}1 \text{ x } 10^6 \quad \text{(kg)}$$

Donja toplotna vrijednost komunalnog otpada je ukupan zbir proizvoda masenih udjela gorivih komponenti i donjih toplotnih vrijednosti tih komponenti i računa se po sljedećoj formuli:

$$Hd = k_1 \cdot H_{d1} + k_2 \,.\, H_{d2} + .. \;..\; .. k_n \cdot H_{dn} \quad \text{(MJ/kg)}$$

Ako označimo maseni udio npr. vrtnog otpada sa k_1 koji za područje istraživanja iznosi 22,70 %, te preuzmemo iz tabele 3.5. donju toplotnu vrijednost za vrtni otpad koja iznosi 6,0 MJ/kg, energetsku vrijednost vrtnog otpada se izračuna na sljedeći način:

$$E_1 = k_1 \cdot H_{d1} = 0{,}227 \cdot 6{,}0 = 1{,}362 \quad \text{(MJ/kg)}$$

Na osnovu gore navedenog primjera u tabeli 5.1. izračunate su energetske vrijednosti svih sastojaka komunalnog otpada, odnosno ukupna donja toplotna vrijednost komunalnog otpada u Unsko.sanskom kantonu, odnosno u regiji Bihać, koja je izračunata na sljedeći način:

$$Hd = k_1 \cdot H_{d1} + k_2 \,.\, H_{d2} + k_3 \,.\, H_{d3} .. \;..\; .. k_n \cdot H_{dn}$$

$$Hd = 0{,}227 \cdot 6{,}0 + 0{,}175 \cdot 4{,}2 + 0{,}032 \cdot 15{,}7 + 0{,}042 \cdot 26{,}2 + 0{,}016 \cdot 26{,}2 + 0{,}041 \cdot 22{,}5 + 0{,}040 \cdot 22{,}5 + 0{,}020 \cdot 32{,}7 + 0{,}092 \cdot 18{,}3 + 0{,}014 \cdot 23{,}53 + 0{,}056 \cdot 43{,}4 = 11{,}143 \text{ (MJ/kg)}$$

Na osnovu rezultata istraživanja morfološkog sastava komunalnog otpada u tabeli 2. prikazani su izračunati podaci o donjim toplotnim vrijednostima, odnosno energiji za svaku vrstu otpada koja ima gorivu moć i to proizvodom procentualne zastupljenosti i donje toplotne vrijednosti za svaku vrstu otpada.

Tabela 2. Donja toplotna vrijednost komunalnog otpada u USK-u

KATEGORIJA OTPADA	maseni udio (% m/m)	donj.topl.vrij. MJ/kg	energija MJ/kg
vrtni otpad (pokošena trava, korov, cvijeće, grančice,grane, lišće, ostaci od žive ograde)	22,70	6,0	1,362
biorazgardivi organski otpad (otpad od hrane - svih vrsta), uginuli pilići, životinjski organi)	17,50	4,2	0,735
papir (stare novine, oglasi, reklame na papiru, kompjuterska štampa i sve od papira)	3,23	15,7	0,507
staklo (sve vrste staklenih flaša i tegli, sijalice, ravna stakla, ogledala i ostalo od stakla)	3,33	-	-
karton (sve vrste kartonskih kutija u kojima se pakuju određeni proizvodi)	4,26	26,2	1,116
karton-aluminijum ili vosak (tetrapak za mlijeko, jogurt, sokove, šlag u zavisnosti	1,63	26,2	0,427

od proizvođača)			
metal-ambalažni i ostali (konzerve ribe, paštete, mesnih narezaka, kućni alat, pribor, djelovi bicikla)	2,21	-	-
metal-Al konzerve (limenke za napitke: pivo, koka-kola, energetska pića)	0,67	-	-
plastični ambalažni otpad (plastične flaše za vodu, sokove, pivo, ulje, sirće)	4,13	22,5	0,929
plastične kese-najlon (sve vrste plastičnih kesa i omota)	4,08	22,5	0,918
tvrda plastika (plastične kutije za pakovanje, saksije za cvijeće, suđe od plastike)	2,07	32,7	0,676
tekstil (odjeća od prirodnih i vještačkih vlakana, krpe, pamuk, vuna, lan i ostalo)	9,24	18,3	1,690
koža (kožni dijelovi odjeće, novčanici, kaiševi, kožne cipele, torbe, kožne lopte)	1,45	23,5	0,340
pelene (pampers pelene za bebe, sanitarne pelene)	5,63	43,4	2,443
fini elementi (ostaci otpada koji prođu sito 20 mm-pijesak, prašina, pepeo, fragmenti stakla)	17,83	-	-
UKUPNO	**100 %**		**Hd=11,143**

Ako je u prethodnom poglavlju izračunata ukupna godišnja produkcija komunalnog otpada u regiji Bihać od **33.099,36** tona, a na osnovu izračunate njegove donje toplotne vrijednosti, izračunata je ukupna energija sadržana u komunalnom otpadu i to na sljedeći način:

$$E = M \cdot H_d \quad \text{(MJ) [9]}$$

gdje je:

$M = 33.099{,}36$ tona $\approx 33{,}1 \times 10^6$ (kg) - ukupna masa komunalnog otpada

$H_d = 11{,}143$ MJ/kg – donja toplotna vrijednost komunalnog otpada

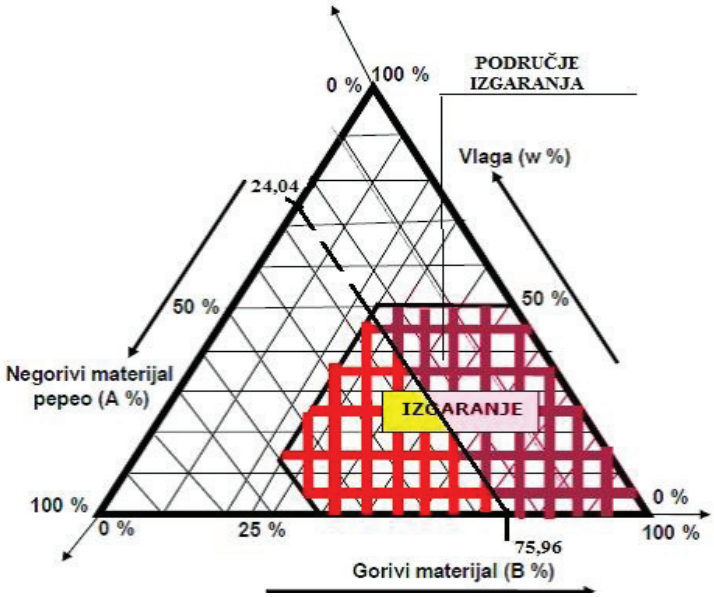
E – ukupna energija komunalnog otpada

$$E = 33{,}1 \cdot 10^6\ kg \cdot 11{,}143\ MJ/kg = 368{,}83 \cdot 10^6 \quad \text{MJ}$$

$$E = 0{,}368 \cdot 10^6 \quad \text{GJ}$$

Ako 1 tona lož ulja približno ima 40 GJ energije, ekvivalent za energiju komunalnog otpada u Unsko-sanskom kantonu iznosi 9.220 tona lož ulja [4] [5].

Na osnovu gorivih sastojaka komunalnog otpada iz tabele 5.1. koji iznose 75,96 % i negorivih sastojaka koji iznose 24,04 %, a u slučaju da je vlažnost komunalnog otpada do 50%, na slici 1. prikazan je Taner-ov trokut izgaranja za komunalni otpad u Unsko-sanskom kantonu.



Slika 1. Tanner-ov trokut izgaranja komunalnog otpada u USK-u [8].

Kako je prikazano u Tannerovom trokutu, vidi se da je područje izgaranja komunalnog otpada u Unsko-sanskom kantonu u idealnom području i nisu potrebna nikakva dodatna goriva kako bi se povećala goriva moć komunalnog otpada.

5. ZAKLJUČAK

Proučavajući problematiku prikupljanja i tretiranja komunalnog otpada, može se zaključiti, kako sa ekonomskog, tako i sa tehnološkog i okolišnog aspekta da je određivanje energijskog potencijala komunalnog otpada najbitniji faktor za pravilan izbor modela upravljanja komunalnog otpada na jednom području [2]. Pravilnom određivanju energijskog potencijala prethode tačni podaci o sastavu i količini komunalnog otpada, koji svakako ne mogu biti na bazi proračuna i iskustvenih podataka koji su dosta kao takvi neprecizni.

Metodologija za utvrđivanje generisanih količina i morfološkog sastava komunalnog otpada pod zvaničnim nazivom S.W.A.-Tool (Development of a Methodological Tool to enhance the Precision & Comparability of Solid Waste Analysis Data), je korištena u području istraživanja i dobijeni rezultati, prvi su konkretan korak u općinama istraživanja u segmentu upravljanja komunalnog otpadom. Podaci i rezultati mjerenja količina i sastava komunalnog otpada dobijeni su direktno sa terena i predstavljaju prve pouzdanije informacije o količinama i sastavu komunalnog otpada.

Tačnost podataka utvrđena ovom metodologijom zavisit će od uključivanja što više općina u primjenu ove metodoligije i broja mjerenja, odnosno većeg broja analiza, kako bi dobijeni podaci

bili što tačniji i kako bi se izbjegle greške u sastavu i količini generisanog otpada prouzrokovane sezonskim varijacijama.

6. LITERATURA

[1] Antonijević D., 2000, Upravljanje otpadom, FUTURA-Fakultet za primenjenu ekologiju Beograd.
[2] Fideco, 2001, Održivi sistemi odlaganja komunalnog čvrstog otpada, Anex 3, Studija opravdanosti, opština Kragujevac.
[3] FISCHTNER, 2012, Studija izvodljivosti za Regionalnu sanitarnu deponiju Unsko-sanskog kantona - regija Bihać, Ministarstvo za građenje, prostorno uređenje i zaštitu okoliša Unsko-sanskog kantona.
[4] Fischer C. et al., "Overview of the Use of Landfill Taxes in Europe", ETC/SCP, April 2012
[5] Husika A., 2010, Proizvodnja energije iz komunalnog otpada, Škola Upravljanje otpadom, CETEOR d.o.o. Sarajevo, Teslić
[6] Jahić M., Sredojević J., Hadžiabdić A., Babić F., Mihelčić M., 2007, Značaj izgradnje sanitarne deponije u regiji Bihać, izdavač, projekat.
[7] Jovičić N., Jelić D., Bošković G., Gordić d., Šušteršič V., 2007, Održivo upravljanje otpadom i mogućnosti iskorišćenja energije iz gradskog otpada, Festival kvaliteta, Kragujevac, Srbija
[8] Potočnik V., 2009, Komunalni otpad – obnovljiv izvor energije, Osijek.
[9] Prelec Z. 2010, Obrada i zbrinjavanje otpada, poglavlje 10.
[10] RUJNIĆ-SOKELE M., 2009, Otpad – vrijedan izvor energije, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu.

ROUTE CONSOLIDATION AND GUIDANCE

OBJEDINJAVANJE I USMJERAVANJE RUTA

dr. sc. Jasmina Pašagić Škrinjar
Faculty of Transport and Traffic Sciences, Zagreb, HR
jpasagic@fpz.hr
dr. sc. Omer Kurtanović
Faculty of Economics, Bihać, B&H
adsami@bih.net.ba

ABSTRACT:
Transportation problem in logistics is frequently defined as following: goods have to be transported from one standpoint to multiple destinations using multiple vehicles which have unlimited transportation capacities, while the loading capacity of a single vehicle is limited and amounts T of units. A demand of a certain i-destination is considered to be d_i $d_i < T$, *meaning that a single vehicle can serve one or more destinations. In order to lower transportation costs it is necessary to consolidate routes where one vehicle could serve demands of multiple destinations. Theory usually recommends heuristic techniques for consolidation of routes. The paper suggests a procedure for route consolidation and simultaneous determination of route direction for the purpose of lower transportation costs. Possibilities of application of route consolidation and guidance are demonstrated on one numerical example. Further improvement of the presented model would enable its application to large-scale problems in practice.*

Keywords: *route consolidation, route guidance, closed transportation routes planning*

SAŽETAK:
Vrlo često transportni problem u logistici definira se na slijedeći način: potrebno je iz jednog ishodišta transportirati robu u više odredišta koristeći transportna sredstva čije su mogućnosti transporta neograničene, a nosivost jednog transportnog sredstva je ograničena i iznosi T jedinica. Pretpostavlja se da je potražnja i-tog odredišta $p_i < T$, *tako da transportno sredstvo može podmiriti jedno ili više odredišta. Da bi se smanjili troškovi transporta cilj je objediniti rute tako da se jednim transportnim sredstvo zadovolji potražnja više odredišta. U literaturi predlažu se, uglavnom heurističke metode, za rješavanje problema objedinjavanja ruta. U ovom radu predlaže se postupak objedinjavanja ruta i istovremeno određivanja smjera ruta u cilju smanjenja troškova transporta. Mogućnost primjene objedinjavanja i usmjeravanja ruta demonstrirane su na jednom numeričkom primjeru. Daljnjim poboljšavanjem prikazanog modela omogućila bi se njegova primjena na probleme većih dimenzija u praksi.*

Ključne riječi: *objedinjavanje ruta, usmjeravanje ruta, planiranje zatvorenih transportnih ruta*

---

1. INTRODUCTION

One of the general problems of heuristic programming is a hierarchically organized search. For instance, it is necessary to find the most appropriate transfer from position p_0 to different position. Using the position p_0 as a starting point it is possible to make several different actions leading to positions $p_1, p_2, \ldots, p_n$, which have to be analyzed in order to determine the best one. Starting from each of the positions it is possible to make a transition which can lead to another position in a different set of positions. Starting prerequisites have to be considered in the process of transition from one position to another. Selection of the most appropriate transition is done according to the set criterion.

Heuristic approach in solving complex problems can be illustrated through a classic transportation problem. There is a *n* of storages which hold a certain amount of a product:

$$a_1, a_2, a_3, \ldots, a_i, \ldots, a_n$$

On the other hand, m of consumer centers have the following demands for the product given in amounts

$$b_1, b_2, b_3, \ldots, b_j, \ldots, b_m,$$

Costs of transportation per unit of goods are known at each possible route (i, j) and these costs are c_{ij} .

A heuristic program has to be defined to determine a supply plan with the least transportation costs.

Considering the information on unit costs the logics makes us choose primarily the routes with minimal unit costs. Therefore, the set of elements $C = \|c_{ij}\|$, $i = 1,2,\ldots,n$ and $j = 1,2,\ldots,m$, are organized according to value, from lower to higher.

If the elements of the following sets are organized according to the organization of $\mathbf{c_{ij}}$ elements:

$$A = \{a_1, a_2, a_3, \ldots, a_i, \ldots, a_n\}$$
$$B = \{b_1, b_2, b_3, \ldots, b_j, \ldots, b_m\}$$

where a_1 and b_1 match the element c_{ij} which has the lowest numerical value.

Accordingly, the transportation plan is further obtained through a simple logical procedure, such as $x_{11} = \min\{a_1, b_1\}$, if $x_{11} = a_1$, all other values x_{1j} will be equal to zero $(j = 1,2,\ldots,m)$, while $b_1' = b_1 - a_1$ where the procedure is further calculated with

$$x_{21} = \min(a_2, b_1')$$

where b_1' is a new calculated value.

The procedure is further calculated until all elements of A or B set are used.

It is evident that this is not a reliable procedure which leads to an optimal problem solution. However, it is close to an optimal solution or in certain cases even an optimal solution.

If we consider a certain numerical example:

Chart 1 presents a problem of transportation of goods from four standpoints (I_1, I_2, I_3, I_4) to five destinations (O_1, O_2, O_3, O_4, O_5). Supply capacities of standpoint a_i are known, as well as the demands in b_j. Total supply equals total demand, 100 units of goods, which is a closed transportation problem. The upper left corner presents unit prices for transportation of the goods

c_{ij}, for example, unit transportation costs from second standpoint to third standpoint are $c_{23} = 14$.
A transportation plan should be determined in order to obtain the minimal transportation costs.
Intuition makes it clear that in determination of a transportation plan one should choose items with the minimal unit costs, where the highest possible load should be planned[1].
With an example provided in the Chart 1 it is evident that the price $c_{13} = 1$, where x_{13} is valued

$$x_{13} = \min\{36,15\} = 15$$

The value x_{13} is inserted in lower right corner of cell $(1,3)$ in Chart 1. In this way, the demands of the third destination are fulfilled, while the second standpoint still has in its disposal $36 - 15 = 21$ units of load.
The next lowest price is $c_{33} = 2$, while the demands of the third destination are fulfilled, where one has to determine the next lowest price. This price is $c_{45} = 3$ where

$$x_{45} = \min\{12,27\} = 12$$

With this, all supplies at standpoint **I_4** have been depleted.

	O_1	O_2	O_3	O_4	O_5	a_i
I_1	5	12	1 (15)	4 (21)	13	36
I_2	7 (8)	8	14	6	5 (15)	23
I_3	15 (5)	4 (24)	2	7	9	29
I_4	6	11	5	16	3 (12)	12
						100
b_j	13	24	15	21	27	100

Chart 1: Classical transportation problem

The following lowest price is $c_{14} = 4$ and $c_{32} = 4$. Loading $x_{14} = 21$ can be inserted to cell $(1,4)$; where the demand of destination O_4 is fulfilled and at the same time supplies of the first standpoint have been depleted. Furthermore, $x_{32} = \min\{27,24\} = 24$ is put to cell $(3,2)$. Using the same analogy it is determined that

[1] Pašagić H.; Matematičke metode u prometu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2003.

$$x_{21}=8, \qquad x_{31}=5$$
$$x_{25}=\min\{23,27-12\}=\min\{23,15\}=15$$

$$x_{21}=\min\{23-15,13\}=\min\{8,13\}=8$$

$$x_{31}=\min\{29-24,13-8\}=\min\{5,5\}=5$$

We have obtained a possible solution, all supplies have been depleted and all demands fulfilled. Total transportation costs are

$$T=1\cdot 15+4\cdot 21+7\cdot 8+5\cdot 15+15\cdot 5+4\cdot 24+3\cdot 12=437 n.j$$

This definitely is not an optimal solution. However, it is very close to optimal solution, and in some cases one can obtain the optimal solution by this method known as the *Lowest Unit Price Method*.

2. ROUTE CONSOLIDATION AND GUIDANCE

Logistics very often includes planning of transportation of goods from one standpoint to multiple destinations. Logistics distribution center (LDC) provides supplies for more consumer centers $P_1, P_{2,}..., P_n$ using vehicle with unlimited transportation capacities, while the loading capacity of a single vehicle is T of units. Transportation costs for route (i – j) are known and are c_{ij} (c_{ij} does not have to be the same as c_{ji}). Every vehicle which departs from LDC has to return to LDC, passing one or more consumer centers. If the demand of the *i*-consumer center is $p_i \le T$, one vehicle can supply one or more consumer centers with one loading. It is necessary to create a plan where demands of consumer centers can be fulfilled with the lowest possible total transportation costs. Generally, approach to solving the problem has to be based on information given in the matrix of transportation costs for each individual route leading to demanding consumer centers.

Heuristic approach given by Fletcher and Clark[2] defines four successive steps in problem solving.

I step. – Values for each pair of nodes P_i and P_j $(i,j)=1,2,...,n$ are calculated

$r_{ij}=c_{0i}+c_{j0}-c_{ij}$

and inserted in the chart. This is how the consolidation *priority* matrix **R** is formed.

II step. – A trivial solution to transportation problem is determined, where the consumer centers are supplied through direct routes, i.e. one closed route is leading to a single consumer center. Chart 2 provides this solution.

[2] Nilsson J. Nils; Problem – Solving Methods in Artificial Intelligence, McGraw – Hill Book Company, New York, 1971

Chart 2 - Direct transportation

No	Transportation route	Costs	Q(S_i)
1	LDC → P_1 → LDC	$c_{01} + c_{10}$	p_1
2	LDC → P_2 → LDC	$c_{02} + c_{20}$	p_2
3	LDC → P_3 → LDC	$c_{03} + c_{30}$	p_3
-	----------	---------	-
i	LDC → P_i → LDC	$c_{0i} + c_{i0}$	p_i
-	----------	----------	-
n	LDC → P_n → LDC	$c_{0n} + c_{n0}$	p_n

Total costs are:

$$F_0 = \sum_{i=1}^{n} c_{0i} + \sum_{i=1}^{n} c_{i0}$$

Values in column Q(S_i) represent the demanded amounts of certain consumer centers.
III step. – v_i values are determined for the given solution:

$$v_i = \begin{cases} 0, if\ span\ (P_i,\ LDC\ ), i.e.\ (LDC, S_i), is\ not\ placed\ on\ route\ used\ for\ supplying\ the\ i-center \\ 1, if\ opposite\ is\ true. \end{cases}$$

IV step. – The element $r_{kt} = \max\{r_{ij}\}$ is determined on the R – *priority* matrix

If r_{kt} does not fulfill the conditions given in 1) and 2) then the element r_{kt} is crossed and the procedure of step 4 is repeated without consideration of the crossed element.

1) $v_k = 1$ and $v_t = 1$

2) $Q(P_t) + Q(P_k) \le T$,

where the T is loading capacity of one vehicle, and the r_{kt} is encircled and the new solution to the problem can be presented as in Chart 3.
Total expenses of the second solution are obtained if the k or t row is crossed, while the other elements are summarized. The obtained costs have to be lower than the costs of the previous solution.

Chart 3 – Route consolidation

No	Transportation route	Costs	Q(S_i)
1.	LDC → P_1 → LDC	$c_{01} + c_{10}$	p_1
2.	LDC → P_2 → LDC	$c_{02} + c_{20}$	p_2
-	----------	----------	-
k	LDC → P_k → P_t → LDC	$c_{0k} + c_{kt} + c_{t0}$	$p_k + p_t$
-	----------	----------	-
-	----------	----------	-
n	LDC → P_n → LDC	$c_{0n} + c_{n0}$	p_n

In order to determine the new solution, the procedure is repeated from the step 3.

When consolidating two consumer centers the consolidation order, i.e. which one is first is irrelevant if $c_{ij} = c_{ji}$. When adding the third consumer center to two consumer centers which are already consolidated, an analysis has to be made for costs of each route. If the third consumer center alters the position from the second to the penultimate point in the set sequence of nodes, the third consumer center should be the point with the lowest total costs. This is how the direction for nodes bypassing is determined (the numeric example will provide more detailed explanation for this issue). The similar procedure is used for the fourth consumer center in the set sequence of three consumer centers.

3. NUMERIC EXAMPLE

The logistics distribution center (LDC) supplies 10 consumer centers $P_1, P_{2,}..., P_{10}$ using vehicles with unlimited transportation capacities, while the loading capacity of one vehicle is $T = 18$ load units. Matrix $\|c_{ij}\|$ provides transportation costs for route $i - j$. Every vehicle which departs from LDC has to return to LDC, passing one or more consumer centers[3]. Demands of each consumer center are lower than the loading capacity of a single transportation center $p_i \leq T$ of goods, which is given in the Chart 4.

Chart 4 – Transportation costs and demand

	LDC	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{10}	p_i
LDC	0	32	50	34	60	24	33	38	46	68	66	
P_1	32	0	38	40	24	36	48	58	60	70	76	8
P_2	50	38	0	16	72	90	76	84	48	56	50	6
P_3	34	40	16	0	48	70	44	60	40	22	36	4
P_4	60	24	48	48	0	26	28	42	48	50	62	2
P_5	24	36	70	70	26	0	30	36	50	72	80	8
P_6	33	48	44	44	28	30	0	24	32	36	40	4
P_7	38	58	60	60	42	36	24	0	30	58	64	12
P_8	46	60	40	40	48	50	32	30	0	26	32	16
P_9	68	70	22	22	50	72	36	58	26	0	40	14
P_{10}	66	76	36	36	62	80	40	64	32	40	0	10

[3] Petrić J., Šarenac L., Kojić Z.; Operaciona istraživanja 2 – Zbirka rešenih zadataka, Naučna knjiga, Beograd, 1988.

Chart 4 indicates that the $c_{ij} = c_{ji}$, which generally is not a rule. A transportation plan has to be determined in order to fulfill the demands of all consumer centers, while the total transportation costs have to be the lowest possible. It is expected that the costs are lower if we consolidate routes in one closed course, so that the total loading does not exceed loading capacity of one vehicle. While consolidating consumer centers, a direction should be chosen with the lower total transportation costs.

As stated beforehand, consolidation and guidance procedure for closed routes is done in four steps:

I step. – Matrix $R = \|r_{ij}\|$ - *priority matrix* is formed, where $r_{ij} = c_{i0} + c_{0j} - c_{ij}$, while elements c_{ij} are given in the chart 4. Priority matrix is given in the chart 5. In addition, chart 5 contains capacities of the corresponding consumer centers $Q(P_i)$, while the column P_{10} is not given, since the goods are not transported from P_{10} to P_{10}. The highlighted elements in the matrix are actually crossed over meaning that these do not fulfill the requirements, while the elements in 'bold' are those which fulfill the requirements of consolidation.

II step. – A trivial solution to transportation problem is determined according to the direct routes. The obtained solution is provided in the chart 6.

Chart 5 – Priority matrix

	LDC	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	$Q(P_i)$
LDC											
P_1											8
P_2		44									6
P_3		26	68								4
P_4		**68**	38	46							2
P_5		20	16	12	58						8
P_6		17	7	23	65	27					4
P_7		12	4	12	56	26	**47**				12
P_8		18	48	40	58	20	47	54			16
P_9		30	62	**80**	78	20	65	48	88		14
P_{10}		22	**66**	64	64	10	59	40	80	94	10

Chart 6 – Direct closed routes, costs, demands

No.	Transportation route	Costs	$Q(P_i)$	v_i
1	LDC → P_1 → LDC	32 +32 = 64	$p_1 = 8$	1
2	LDC → P_2 → LDC	50 + 50 = 100	$p_2 = 6$	1
3	LDC → P_3 → LDC	34 + 34 = 68	$p_3 = 4$	1
4	LDC → P_4 → LDC	60 + 60 = 120	$p_4 = 2$	1
5	LDC → P_5 → LDC	24 + 24 = 48	$p_5 = 8$	1
6	LDC → P_6 → LDC	33 + 33 = 66	$p_6 = 4$	1
7	LDC → P_7 → LDC	38 + 38 = 76	$p_7 = 12$	1
8	LDC → P_8 → LDC	46 + 46 = 92	$p_8 = 16$	1
9	LDC → P_9 → LDC	68 + 68 = 136	$p_9 = 14$	1
10	LDC → P_{10} → LDC	66 + 66 = 132	$p_{10} = 10$	1

Total costs: $F_0 = 902$

III step. – Calculated values of v_i are inserted into the chart 6, with the set condition – if $v_i = 1$, the route begins at LDC and returns back to LDC.

IV step. – As given in matrix $\|r_{ij}\|$

$$\max_{i,j}\{r_{ij}\} = r_{10,9} = 94$$

which indicates that nodes P_9 and P_{10} seem to be adequate for consolidation. However, it is necessary to verify whether these fulfill the requirements.

Chart 6 indicates that $v_{10} = 1$ and $v_9 = 1$, meaning that this requirement is fulfilled, while

$$Q(S_9) + Q(S_{10}) = 24 > 18$$

which means that the second condition for route consolidation is not fulfilled. Therefore, the element does not fulfill the basic requirements for routes $LDC \to P_9 \to LDC$ and $LDC \to P_{10} \to LDC$ to be consolidated. Hence, the element $r_{10,9}$ is crossed (in this case 94 is highlighted, and this is to be done with all other elements which do not fulfill the consolidation requirements). The procedure is pursued; the next highest element is sought in matrix $\|r_{ij}\|$, which

in this case is element r_{98}. The previous procedure indicates that the element should be crossed as well, along with the element $r_{10,8} = 80$.

Considering the element $r_{93} = 80$, it is possible to conclude it fulfills the requirements for route consolidation.

$LDC \to P_9 \to LDC$ and $LDC \to P_3 \to LDC$, i. e. $v_9 = 1$ and $v_3 = 1$, while

$$Q(P_9) + Q(P_3) = 14 + 4 = 18 = T$$

New solution to the problem is presented in chart 7.

Total transportation costs are:

$$F_1 = 64 + 100 + 124 + 120 + 48 + 66 + 76 + 92 + 132 = 822$$

In order to determine a new solution to the problem it is necessary to retreat to step 3 and repeat the entire procedure. The procedure is initiated by finding the values of v_i given in the chart 7.

Chart 7

No.	Transportation route	Costs	$Q(P_i)$	v_i
1	LDC → P_1 → LDC	32 + 32 =64	8	1
2	LDC → P_2 → LDC	50 + 50 =100	6	1
3	LDC→P_3→ P_9 → LDC	34 + 22 + 68 = 124	18	1
4	LDC→ P_4 → LDC	60 + 60 = 120	2	1
5	LDC → P_5 → LDC	24 + 24 = 48	8	1
6	LDC → P_6 → LDC	33 + 33 = 66	4	1
7	LDC → P_7 → LDC	38 + 38 = 76	12	1
8	LDC→ P_8 → LDC	46 + 46 = 92	16	1
9	----------	----------	-------	-
10	LDC → P_{10} → LDC	66 + 66 = 132	10	1

Search for a new solution starts with chart 5, where those r_{ij} elements are analyzed which are not crossed, nor in 'bold', element $r_{41} = 61$ fulfills the requirements and enables consolidation of routes $LDC \to P_1 \to LDC$ and $LDC \to P_4 \to LDC$. The new solution is given in the chart 8.

Chart 8

No.	Transportation route	Costs	$Q(S_i)$	v_i
1	LDC→P_1→ P_4 → LDC	32 + 24 + 60 = 116	10	1
2	LDC → P_2 → LDC	50 + 50 =100	6	1
3	LDC→P_3 →P_9 → LDC	34 + 22 + 68 = 124	18	1
4	----------	----------	,---------	-
5	LDC → P_5 → LDC	24 + 24 = 48	8	1
6	LDC → P_6 → LDC	33 + 33 = 66	4	1
7	LDC → P_7 → LDC	38 + 38 = 76	12	1
8	LDC → P_8 → LDC	46 + 46 = 92	16	1
9	----------	----------	---------	-
10	LDC → P_{10} → LDC	66 + 66 = 132	10	1

Total costs are:

$$F_2 = 116 + 100 + 124 + 48 + 66 + 76 + 92 + 132 = 754 .$$

The next iteration is done according to the same algorithm; the new solution is presented in chart 9.

Chart 9

No.	Transportation route	Costs	$Q(S_i)$	v_i
1	LDC→P_1→ P_4 → LDC	32 + 24 + 60 = 116	10	1
2	LDC→P_2→P_{10}→LDC	50 + 50 + 66 = 166	16	1
3	LDC→P_3→P_9→LDC	34 + 22 + 68 = 124	18	1
4	----------	----------	,----------	-
5	LDC → P_5 → LDC	24 + 24 = 48	8	1
6	LDC → P_6 → LDC	33 + 33 = 66	4	1
7	LDC → P_7 → LDC	38 + 38 = 76	12	1
8	LDC → P_8 → LDC	46 + 46 = 92	16	1
9	----------	----------	----------	-
10	----------	----------	----------	-

Total transportation costs for this iteration are:

$$F_3 = 116 + 166 + 124 + 48 + 66 + 76 + 92 = 688$$

The results of a next iteration are presented in chart 10.

Chart 10

No.	Transportation route	Costs	$Q(S_i)$	v_i
1	LDC→P_1→P_4 → LDC	32 + 24 + 60 = 116	10	1
2	LDC→P_2→P_{10}→LDC	50 + 50 + 66 = 166	16	1
3	LDC→P_3→P_9 → LDC	34 + 22 + 68 = 124	18	1
4	----------	----------	---------- ,-	-
5	LDC → P_5 → LDC	24 + 24 = 48	8	1
6	LDC→P_6→P_7→LDC	33 + 24 + 38 = 95	16	1
7	----------	----------	----------	-
8	LDC → P_8 → LDC	46 + 46 = 92	16	1
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-

Total transportation costs for this iteration are:

$$F_4 = 116 + 166 + 124 + 48 + 95 + 92 = 641$$

The final iteration unifies the nodes P_1, P_4 and P_5.

In order to obtain the most optimum direction, i.e. direction with the lowest total costs, a new node P_5 *is placed at logical position in route* $LDC \rightarrow P \rightarrow P_4 \rightarrow LDC$*, with calculations of total distance, selecting the combination with the lowest total costs.*

The results of analysis of sequence of nodes P_1, P_4 and P_5 are presented in chart 11.

Chart 11

No.	Transportation route	Costs
1	LDC-P_5-P_1-P_4-LDC	24+36+24+60 = 144
2	LDC-P_1-P_5-P_4-LDC	32+36+26+60 = 154
3	LDC-P_1-P_4-P_5-LDC	32+24+26+24 = 106*

The lowest total costs are given in third row. The results of final iteration are presented in chart 12-

Chart 12

No.	Transportation route	Costs	$Q(S_i)$	v_i
1	LDC→P_1→P_4→P_5→LDC	32 + 24 +26 +24 = 106	18	1
2	LDC → P_2 → P_{10} → LDC	50 + 50 + 66 = 166	16	1
3	LDC → P_3 → P_9 → LDC	34 + 22 + 68 = 124	18	1
4	----------	----------	,-	-
5	----------	----------	-	-
6	LDC → P_6 → P_7 → LDC	33 + 24 + 38 = 95	16	1
7	----------	----------	-	-
8	LDC→ P_8 → LDC	46 + 46 = 92	16	1
9	----------	----------	-	-
10	----------	----------	-	-

Total transportation costs of this iteration are:

$$F_5 = 106 + 166 + 124 + 95 + 92 = 583.$$

Further route consolidation is not possible due to the limited capacities of one vehicle.

If one consumer center **P_i (i = 1,2,…,n)** demands goods from LDS in amounts larger than the capacities of one vehicle e.g. B, direct delivery is done nT, and for the residue of B – nT it is necessary to try to consolidate some other routes using the similar procedure.

4. CONCLUSION

Most actual problems do not qualify for determination of a mathematical model of the problem or it is not possible to find efficient algorithm that will enable reaching of an optimal solution in a set of possible solutions. Even if the optimization procedure can be defined, determination of an optimal solution can be useless if the costs of search exceed potential profit. In such cases it is useful to apply heuristic approach which enables reduction of a number of considered alternatives while searching for a solution to the problem. However, the approach does not ensure that the obtained solution is the best solution.

5. LITERATURA

[1]. Mills G.; A Heuristic Approach to Some Shortest Route Problems, *Canadian, Oper. Res.J., V.6, No 1*,1968

[2]. Nilsson J.Nils; problem – Solving Methods in Artificial Intelligence: *McGraw – Hill Book Campany*, New York , 1971.

[3]. Pašagić H.; Matematičke metode u prometu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2003.

[4]. Petrić J.,Šarenac L., Kojić Z.; Operaciona istraživanja 2, naučna knjiga, Beograd, 1988.

TECHNOLOGY @ POINT OF PURCHASE

TEHNOLOGIJA @ POINT NABAVE

Kingshuk Mukherjee
Assistant Professor, Department of Design, Banasthali University
kingshuk.bid@banasthali.in

ABSTRACT:

The use of computers and other automated systems at retail Point of Purchase has made lives easier for all the retail channel partners including the consumers (as we all know, in today's terminologies, consumers have become an integral part of the value chain or the distribution channel). It has brought efficiency like never before. The use of modern Point of Purchase systems, also known as the 'Point of Sale (POS) systems, have manifold advantages to all the channel partners. Automation in a real sense was initiated a retail POS in the form of Electronic Cash Registers which the consumers see as automated billing machines. This development occured in the late 1960s and provided many advantages over the conventional book-keeping techniques. Then came the more evolved electronic POS systems, commonly known as EPOS which integrated Bar Code scanning (RFID technology) along with a more user friendly display monitor, magnetic card swipe system and bill-printing machines. All these developments along with the automation systems that followed revolutionized not only the retail end but the entire value chain.

Keywords: Retail, Automation, Point of Purchase, Point of Sale (POS)

SAŽETAK:

Korištenje kompjutera i drugih automatiziranih sistema u maloprodaji Point of Purchase učinilo je naše živote lakšim za sve partnere u maloprodaji, uključujući i potrošače (kao što znamo, u današnjim terminologijama, potrošači su postali sastavni dio lanca vrijednosti ili distribucijskog kanala). Donijelo je učinkovitost kao nikad prije. Korištenje modernog Point of Purchase sistema, također poznatog kao 'Point of Sale (POS) sistemi, imaju mnogostruke prednosti za sve partnere kanala. Automatizacija u pravom smislu pokrenuta je maloprodajnim POS u obliku elektroničkih blagajni koje potrošači vide kao automatizirane mašine za naplatu. Ovaj razvoj se dogodio u kasnim 1960-im i pružio mnoge prednosti u odnosu na konvencionalne knjigovodstvene tehnike. Zatim su slijedili napredniji elektronički POS sistemi, obično poznati kao EPOS, koji su integrirali skeniranje bar koda (RFID tehnologija) sa zaslonom monitora koji je primjereniji korisnicima, sistemom provlačenja magnetske kartice i mašina za printanje računa. Sva ova unapređenja, zajedno sa sistemima za automatizaciju koji su uslijedili, doveli su do revolucije ne samo u maloprodaji, nego i cijelom lanca vrijednosti.

***Ključne riječi**: Trgovina, Automatizacija, Point of Purchase, Point of Sale (POS)*

---

1. INTRODUCTION TO RETAIL TRASFORMATION

Retail has gone through a sea change over the past few decades. It has gone through massive transformations. Starting from the amercan general stores in the 1850s, retail has covered this glorious journey of transforming this industry into an indispensable part of people's lives. Throughout centuries, retail industry has taken herculain leaps from being totally unorganized

sector of the value chain towards semi-organized units and then eventually into full fledged organized sectors.

2. INTRODUCTION TO AUTOMATION

We all witness the 'divine intervention' of automation at each and every possible level in the entire value delivery process. This has resulted in more efficient and effective organized trade. Automation has the key role to play in reducing lead and transit times in the delivery process. Automation has also resulted in minimizing errors in inventory and warehousing and in logistics systems.

Automation has played a major role in this new age organized retail sector. We would focus our discussion to the fruitful intervention of 'Information systems' in retail systems. Retail information systems can enhance business processes. The phrase 'information systems' brings to mind the image of computers, activities involving computerised feeding of data, processing of the data, and finally generating reports for the use of the organizational management. The introduction of computers has had a huge impact on the flow and management of information systems. Information systems have now become full-fledged functions of a modern business set-up. It was only with the popularity of computers that these information systems were formalized. They have evolved into something which is more meaningful. We would specifically talk about ***automated*** information systems which we can term as Information Technology (IT) in modern parlance. Therefore, a system that enables people to gather, consolidate, and present information in a meaningful and intelligent manner can be termed as modern day information systems. These modern day information systems are a set of interconnected systems having common databases useful for all fucntional units of the organization such as automated aquisition, storage, movement, and sales.

3. TRANSACTION PROCESSING SYSTEMS

Management information systems can be divided into various categories. We would specifically talk about Transaction Processing Systems (TPS) which helps at the operation management level. The day-to-day operations in a retail organization are managed by people and systems known as '*operations*' or *'operation management'*. They feed day-to-day data/transactions and create basic documents such as bills & purchase orders. The major components of a transaction processing systems in any retail organization can be as follows:

- Purchase & supply management.
- Sales & distribution management.
- Warehousing & Inventory management.

The documents generated by the operation management team are then further analysed and used by the Management Information System (MIS). MIS is for the middle level managers in any organization and they work on the primary data generated by the TPS. Such primary data can be the daily sales reports, cash-collection reports, etc. MIS can have access to the organization's current performance indicators as well as the historical records. MIS relies on the routine reports such as daily sales report, cash collection reports generated by the TPS at the *'point of sales'*.

4. COMPONENTS OF RETAIL INFORMATION SYSTEMS

Modern day organized retail cannot be imagined without the backbone of an automated information system. The traditional single store family run business set-ups were easier to manage because of its small size and lesser complexities of operation. These shops were conventionally managed by owners themselves. But the modern day retail chain stores, with larger than life retail formats such as department stores, discount stores, super-markets, and hyper-markets, can not be efficiently and effectively managed without the intervention of the new age information systems. Technology proves beneficial in creating and maintaining customer relationships. Analysis of the

data collected at the *'point of sales'* helps understand preferences, buying habits, spending patterns and budgets of the present customer base. Relationships are maintaned by utilizing IT for informing the customers about the latest offers and schemes, loyalty rewards, and new arrivals, just to name a few. These information can reach the customers through automated push mails and SMSes which are initiated with the help of retail information system support.
While deciding technology at the retail front-end, the management also has to look at the smooth and efficient flow of traffic at the stores which includes fast billing systems. Rapid billing systems will ensure proper check-outs and in-turn will lead to customer satisfaction.

5. ELECTRONIC POINT OF SALES

The increasing growth path of the retail industry has generated a lot of interest in the international community of vendors for providing technological support systems at retail POS. Use of computers for a fast and accurate billing system brings efficiency at the retail check-out. Moreover, computers help to create the database of sales and customer data, on which future actions and decisions of the company would be based. All this makes retail information systems a core component of the business model. *Retail POS is the first place where automation should be initiated*. The creation of huge databases, efficient information systems, and customer satisfaction begins with automating point of sales in retail.
Electonic cash registers (ECRs) were the basic billing machines which came in the late 1960s and provided many advantages over other methoids for billing at retail stores. It helped the retail front end executive in creating purchase bills and printing receipts and basic sales reports. ECR provided many advantages over other conventional methods of book keeping at retail front-end. In comparison to manual billing systems used at that time by semi-organized retail shops, in an ECR, price calculations were automated. This increased the efficiency of work and also minimises the risk of manual errors in price calculations and additions.
Modern day Electronic POS machines are computer microprocessor based billing systems that allows greater control over the retail business. One of the important objectives of automating point of sales is to streamline billing operations and increase efficiency. A standard EPOS (Electronic Point of Sales) can easily handle payment systems, updates inventory and provides instant reports on sales and stocks.
The major components of EPOS are as follows:

a) Integrated Receipt printer.
b) Cash Drawer: EPOS comes with a pre-fitted lockable cash drawer.
c) Bar Code Scanner.
d) Magnetic card Swipe for swiping credit/debit cards.

Benefits of EPOS:

a) The system can be connected with ERP systems and supply chain at the back office of the retail organization. Since EPOS systems run and support specialized softwares, it can connect with other organizational software systems running in the back offices.
b) EPOS systems create database, i.e. the backbone of a major chunk of decision making systems of th eorganization. Analysis of database helps the management to take day-to-day decisions such as the decision to focus of on the more profitable lines of business, improve demand forecasting, and minimizing inventory wastage. It can also help the organzation in some strategic decisions such as introducing new product lines and close down loss making lines.
c) Integration of ***stock control system*** can be a major achievement of EPOS. This allows keeping stock information up-to-date in 'real-time' and streamlines supply chain processes. An EPOS system automatically determine which products are 'fast-moving' and when they

need replenishment. Moving a step forward, some EPOS systems allows for linking their software system with the suppliers' back office systems. With the fast-track system of procurement and JIT (Just-In-Time) concepts of inventory management, suppliers themselves can monitor sales figures of their customers, and take purchase decisions accordingly. Advanced EPOS enabled organizations can monitor stock movement and take required steps in advance. Information can be channeled through the warehouse and purchasing departments, thus enabling 'automated purchase and replenishment' (Automated purchase and reordering follows creation of purchase orders and pushing the orders through the suppliers' systems based on pre-set re-order levels of inventory).

6. VENDING MACHINES

Vending machines are more advanced level of automated retail systems which not only allows for billing (bill is not required at all in vending systems), but also performs tasks of retail sales representatives, store, and delivery mechanism. Vending machines have been in practice for long for few product categories which are highly standardised in nature and are of comparatively lower price values and which do not require the intervention of sales personnel. Vending machine is a successful retail channel for fast moving goods such as stored food items and medicines, service industries such as ticketing, to name a few. A vending machine works on the principle of dispencing products and service receipts on payment deposits by customer in form of currency notes, coins and at times on swiping credit/debit cards. The first coin operated vending device dispenced post-cards, introduced in London in the early 1880s.
Vending machines are gradually finding acceptance in the retail channel and more modenr versions of vending machines are being installed at various public places such as railway stations, airports, university campuses, just to name a few.

7. CONCLUSION

For retail organizations, automation at Point of Sales with the latest electronic devices is a step forward towards embracing technology to enhance the operations, decision making, and customer satisfaction. Electronic POS provides the most appropriate solution for the corporate retail chains, super-stores and hypermarkets. Electronic POS has resulted in much more efficient retail operations. It has also resulted in significant reduction in feeding and calculation errors due to manual and other mechanical tools for retail check-outs.
EPOS has transformed the entire supply chain systems by integration of the POS software with automated replenishment and re-ordering systems of the organization as well as with other suppliers. This has resulted in clarity and transparency at all the levels of the buying systems of any retail organization. EPOS can be duly credited to the signifacnt reductions in lead and transit times and thus ensuring instant stock replenishment and subsequently greater customer satisfaction.
The trend is moving towards more advanced EPOS solutions which can provide efficient 'Point of Purchase' experience to the customers and can help the retailers to add value. Potential scope for further automation aims to consider more interactive systems which require lesser human intervention and which can lead the way towards a *'self-service environment'*.

8. REFERENCES

[1] Chetan Bajaj, Rajnish Tuli, Retail Management: Oxford, 2010.
[2] Antony Welfare, The Retail Handbook: Jaico Publishing House, 2013.
[3] Peter Fleming, Retail Selling: How to Achieve Maximum Retail Sales: Jaico Publishing House, 2006.
[4] New Directions in Shopper Technology: Outskirts Press, 2013.

Autors Indeks – Indeks autora

Autor	page	Autor	page
A		Dizdarević K.	439
Ačko B.	45	Dokić B.	310
Aganović E.	119	Doleček V.	328, 333
Aldžić A.	446, 454, 484	Dolić B.	462
Aleksić V.	249	Dugić P.	249
Alibabić V.	469	Duraković K.	405
Andrejaš F.	225	Dutina V.	259
Arnautović A.	439	**Đ**	
Avdić M.	439	Đozić A.	225
B		**E**	
Bajramović H. J.	299	Erceg D.	101
Banjanović-Mehmedović L.	377	**F**	
Begić S.	265, 272	Faisal Hayat M.	347
Begić Š.	210	Fakić B.	88
Bilanović S.	478	**G**	
Blagojević D.	141	Gavrilović B.	338
Bosankić I.	377	Golubović D.	241
Botički I.	29	Gotlih J.	45
Bratić D.	202	Grizelj Tin	290
Brezočnik L.	389	Grizelj Tomislav	290, 299
Brezočnik M.	45	Gungl E.	370
Brezočnik Z.	370	**H**	
Bugarski G. V.	141	Habeš S.	446, 454
Bundalo Z.	338	Hajro I.	128
Burić A.	88	Halilović N.	421
Butala P.	177	Haznadar Z.	306
C		Hodžić N.	225
Crnokić B.	106	Hozdić E.	168,177
Cupar A.	45	Hrnjica D.	446, 454
Cvijić R.	141	Husak E.	135
Ć		Husejnović A.	377
Ćatić-Kajtazović E.	478	**I**	
Ćatović F.	277	Ikić M.	413
Ćećez M.	277	Isić S.	112,135
Ćosić F.	38	**J**	
Ćosić S.	439	Jagušt T.	29
Ćubela D.	88	Jarović-Bajramović N.	79
D		Jerman B.	72
Dedić R.	38	Jovanovic Dolecek G.	328, 333
Delalić Z.	462	Jovanović J.	234
Delibegović S.	439	Jukić H.	446, 454, 484
Delić A.	29	Jukić M.	484
Denjo D.	184	Jukić Z.	347, 355
Denjo L.	184	Jurković Z.	168,177

K
Kajkara M. 29
Karabegović E. 147,153
Karabegović I. 52, 63, 112, 135, 210, 328
Karić A. 94
Kasapović S. 377
Kaselj M. 29
Kovačević M. 259
Kovačević Z. 94
Kuduzović A. 462
Kupusović T. 218
Kurtanović O. 491
M
Mahmić M. 147
Marinković D. A. 285
Marković Lj. 259
Mehremić S. 112
Merzić A. 306
Mićević D. 52
Mićić V. 265, 272
Milić D. 241
Milić Marković Lj. 259
Milosavljević M. Milan 285
Milosavljević M. Milutin 285
Milošević M. 285
Milovanović B. 249
Milovanović P. 101
Mirza R. 63
Moranjkić N. 94
Mornar V. 29
Mujić I. 469
Mukherjee K. 503
Mulahalilović F. 72
N
Nikolić D. 17
Nožić M. 161
Nuhanović A. 478
Nuhbegović I. 225
O
Ognjanović I. 405
Orašanin G. 241
Oruč M. 88
P
Pajkić J. 241
Pandžić A. 128
Pašagić Škrinjar J. 491
Pavlović S. 249
Pehlić E. 446, 454
Petrović Z. 249, 272
Pikula B. 1
Pobrić E. 184
Pobrić S. 184
R
Rafiq A. 355
Ramakić A. 430
Rezić S. 106
Rogić M. 101
Rošić A. 462
S
Salah-Eldien O. 192
Seferović R. 119
Selimbašić V. 225
Selimi A. 94
Sprečić D. 72
Stevović S. 234
Stuhli V. 225
Sućeska S. 384
Š
Šahinagić - Isović M. 277
Šahinović H. 290
Šemić E. 153
Šendelj R. 405
Škopljanac-Mačina F. 306
Špago S. 277
T
Tasić P. 128
Terzić E. 79
Todić M. 141
Tomović R. 202
Toroman A. 430
Tuzlak S. 265, 272
U
Uzelac N. 29
V
Vidojević B. 285
Vučina A. 38
Vukašinović M. 396
Vukićević M. I. 285
Z
Zaimović – Uzunović N. 79,184
Ž
Žapčević S. 177

SOCIETY FOR ROBOTICS OF BOSNIA AND HERZEGOVINA

The Society for Robotics has years of experience in education and training of personnel in Bosnia and Herzegovina. The Society for Robotics is working to increase the role of knowledge in Bosnia and Herzegovina, and thus to influence the positioning of Bosnia and Herzegovina as high as possible on an innovative scale in Europe and the world. The role of the Society for Robotics is to encourage the development of science and technology, as well as to increase their contribution to the development of society, with the widest possible application of new knowledge and new technologies. Thus, it aims to encourage the transformation of Bosnian-Herzegovinian society into a modern knowledge-based society. For these reasons, the objectives of the Society for Robotics are: scientific and technical research in the field of robotics and robotic systems; education and improvement of education in robotics, robotic systems and mechatronics; application of robots and robotic systems in the industry; establishment of laboratories for education and knowledge transfer; establishment of centers for robotics and robotic systems at universities, secondary and vocational schools; innovators in the wider field of robotic systems conducting various activities; organizing scientific and professional conferences in the country and abroad; having innovators in the field of robotics, robotic systems and mechatronics organize exhibitions; cooperation with similar societies abroad. Activities of the Society for Robotics are the following: gathering scientists, researchers, engineers, teachers and students who work in all areas of robotics; publishing and encouraging the publication of monographs, textbooks, journals and other publications in the field of robotics; helping teachers to introduce new ideas and modern methods in teaching robotics; organizing congresses, conferences, symposia, seminars, and other scientific meetings of scientists and engineers; cooperation with similar professional organizations in the country, international societies and associations; popularization and dissemination of knowledge, as well as training and assistance in the training of scientific novices and researchers.

Adrress:
Petog Korpusa br. 3,
77 000 Bihać,
Bosnia and Herzegovina
www.robotika.ba
E-meil: robotikabih@yahoo.com

President Society for Robotics B&H
Academician Vlatko Doleček

Secretery general
Society for Robotics B&H
Prof.dr.sc. Isak Karabegović

DRUŠTVO ZA ROBOTIKU U BOSNI I HERCEGOVINI

Društvo za robotiku ima višegodišnje iskustvo u edukaciji i obrazovanju kadrova u Bosni i Hercegovini. Društvo za robotiku radi na tome da poveća ulogu znanja u Bosni i Hercegovini, a samim tim da utiče na pozicioniranje Bosne I Hercegovine na što više mjesto na inovativnoj skali u Evropi i svijetu. Uloga Društva za robotiku je da postiče razvoj nauke i tehnologije , te poveća njihov doprinos razvoju društva, uz najveću moguću primjenu novih znanja i novih tehnologija, i da na taj način podstakne transformaciju bosanskohercegovačkog društva u moderno društvo temeljno na znanju. Zbog navedenih razloga ciljevi Društva za robotiku su slijedeći: naučno-stručna istraživanja u oblasti robotike i robotskih sistema, edukacija i unapređenje obrazovanja iz robotike, robotskih sistema i mehatronike, aplikacija robota i robotskih sistema u industriji, formiranje laboratorija za edukaciju i transfer znanja, formiranje centara za robotiku i robotskih sistema na univerzitetima, srednjim i stručnim školama, održavanje aktivnosti inovatora iz šire oblasti robotskih sistema, organiziranje naučno-stručnih skupova u zemlji i inostranstvu, organiziranje izložbi inovatora iz oblasti robotike, robotskih sistema i mehatronike, saradnja sa sličnim društvima u inozemstvu. Djelatnosti Društva za robotiku su slijedeće: okupljanje naučnika, istraživača, inženjera, nastavnika, studenata i učenika koji rade u svim područjima robotike, objavljivanje i poticanje objavljivanja monografija, udžbenika, časopisa i ostalih publikacija u području robotike, pomaganje nastavnicima u uvođenju novih ideja i modernih metoda u nastavi robotike, organiziranje kongresa, konferencija, simpozijuma i seminara te ostalih naučnih okupljanja naučnika i inženjera, surađivanje sa sličnim stručnim organizacijama u zemlji, surađivanje sa sličnim međunarodnim društvima i savezima društva, populariziranje i širenje znanja kao i izobrazba i pomoć u izobrazbi znanstvenih novaka i istraživača.

Adresa:
Petog Korpusa br. 3,
77 000 Bihać,
Bosna i Hercegovina
www.robotika.ba
E-meil: robotikabih@yahoo.com

Predsjednik Društva za robotiku
Akademik Vlatko Doleček

Generalni sekretar
Društva za robotiku
Prof.dr.sc. Isak Karabegović


9 772303 566804