



ISSN: 2303-5668

1st Internacionalna naučna konferencija

"NT - 2014"

Zbornik radova
"NOVE TEHNOLOGIJE"

Editori: Isak Karabegović, Vlatko Doleček, Sead Pašić



Mostar, Bosna i Hercegovina, 25. april 2014., NT-I, Br. 1.

DRUŠTVO ZA ROBOTIKU U BOSNI I HERCEGOVINI
UNIVERZITET „DŽEMAL BIJEDIĆ“, MAŠINSKI FAKULTET MOSTAR
SVEUČILIŠTE U MOSTARU, FAKULTET STROJARSTVA I
RAČUNARSTVA MOSTAR
INTERA TEHNOLOŠKI PARK MOSTAR

Zbornik radova

„NOVE TEHNOLOGIJE “
Razvoj i primjena
”NT-2014“

MOSTAR, 25. april 2014.

DRUŠTVO ZA ROBOTIKU U BOSNI I HERCEGOVINI
UNIVERZITET „DŽEMAL BIJEDIĆ“, MAŠINSKI FAKULTET MOSTAR
SVEUČILIŠTE U MOSTARU, FAKULTET STROJARSTVA I
RAČUNARSTVA MOSTAR
INTERA TEHNOLOŠKI PARK MOSTAR

Zbornik radova
NOVE TEHNOLOGIJE
„NT-2014“

Editori:

Prof.dr.sc. Isak Karabegović, Akademik Vlatko Doleček, Prof.dr.sc. Sead Pašić

Recezent:

Akademik Vlatko Doleček, Prof.dr.sc. Isak Karabegović, Prof.dr.sc. Sead Pašić, Prof.dr.sc. Miran Brezočnik, Prof.dr.sc. Himzo Đukić, Prof.dr.sc. Milenko Obad, Prof.dr. Snježana Resić

Programski i naučni/znanstveni odbor:

Akademik Vlatko Doleček, Akademik Zijad Haznadar, Prof. dr.sc. Isak Karabegović, Prof.dr.sc. Sead Pašić, Prof.dr.sc. Himzo Đukić, Prof.dr.sc. Daniel Sprečić, Prof.dr.sc. Ivan Polajner, Prof.dr.sc. Mehmed Behmen, Prof.dr.sc. Milenko Obad, V.prof.dr.sc. Safet Isić, V.prof.dr.sc. Darko Bajić, Prof.dr.sc. Snježana Rezić, V.prof.dr.sc. Mirna Nožić, V.prof.dr.sc. Majda Čohodar, V.prof.dr.sc. Dragi Tiro, Doc.dr.sc. Edina Karabegović, Doc.dr.sc. Samir Vojić, Doc.dr.sc. Mehmed Mahmić, Doc.dr.sc. Ismar Hajro, Doc.dr.sc. Željko Stojkić, Doc.dr.sc. Daut Denjo, Prof.dr.sc. Hazim Bašić, Davor Krezić, dipl.ing., Mladen Kostić, dipl.ing.

Tehnički urednik:

*Prof.dr.sc. Isak Karabegović
Mr.sc. Ermin Husak*

Izdavač:

DRUŠTVO ZA ROBOTIKU U BOSNI I HERCEGOVINI
Petog Korpusa broj 3
77000 Bihać, BiH
www.robotika.ba

ISSN: 2303-5668

Štamparija: FOJNICA d.o.o.

Tiraž: 100 primjeraka

NOVE TEHNOLOGIJE „NT-2014“

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, 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, očiti 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 isto 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.

ORGANIZATORI !

PREDGOVOR

Suvremena industrijska proizvodnja je izložena mnogim utjecajima i problemima koji ometaju jačanje konkurentnosti na tržištu. Samo su neka 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 srednje serijska 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 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 od kuda proizlaze i sve veći zahtjevi da proizvod mora biti bez greške u svakom pogledu, bolje rečeno «idealno» (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) i 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 konkurentne 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 konkurentne sposobnosti na tržištu, primjene modernih metoda u upravljanju proizvodnjom, razvoju moderne i uspješne proizvodnje, itd.
- Edukacija o opravdanosti uvođenja novih proizvoda i programa proizvodnje, uvođenje novih tehnologija.

Mostar, 25. april 2014.

EDITORI

SADRŽAJ

<i>Zijad Haznadar</i>	ULOGA VODIKA KAO ENERGENTA U 21.STOLJEĆU <i>ROLE OF HYDROGEN AS ENERGENT IN 21ST CENTURY</i>	 <u>R1</u>	5
<i>Zijad Haznadar</i>	ENERGIJA I NANOTEHNOLOGIJA <i>ENERGY AND NANOTECHNOLOGY</i>	 <u>R2</u>	11
<i>Vlatko Doleček Isak Karabegović</i>	ULOGA INDUSTRIJSKE ROBOTIKE U RAZVOJU PROIZVODNIH PROCESA U 21. STOLJEĆU <i>ROLE OF INDUSTRIAL ROBOTICS IN DEVELOPMENT OF PRODUCTION PROCESSES IN 21ST CENTURY</i>	 <u>R3</u>	17

Editori: Isak Karabegović, Vlatko Doleček, Sead Pašić

*Isak Karabegović
Vlatko Doleček*

**ULOGA SERVISNIH ROBOTA U
MODERNIZACIJI DRUŠTVA U
21.STOLJEĆU**

*ROLE OF SERVICE ROBOTS
IN MODERNISATION OF
SOCIETY IN 21ST CENTURY*

R4

27

*Ivan Polajner
Darko Bajić
Samir Vojić*

**NAPREDNE TEHNOLOGIJE SPAJANJA U
MASOVNOJ PROIZVODNJI**
*ADVANCED JOINING PROCESSES IN MASS
PRODUCTION*

R5

39

*Himzo Đukić
Mirna Nožić
Edina Karabegović*

**RAZVOJ I PRIMJENA NOVIH
PROIZVODNIH TEHNOLOGIJA**
*DEVELOPMENT AND APPLICATION OF
THE NEW PRODUCTION TECHNOLOGIES*

R6

51

Darko Bajić

**ZAVARIVANJE ŠINA I PROFILA VELIKE
POVRŠINE POPREČNOG PRESJEKA
PRIMJENOM CGEAW TEHNOLOGIJE**
*WELDING OF RAILS AND PROFILES
WITH LARGE CROSS-SECTION AREA
USING CGEAW TECHNOLOGY*

R7

63

*Sead Pašić
Safet Isić*

**ANALIZA TEHNIČKO-TEHNOLOŠKE BAZE
METALOPRERAĐIVAČKIH FIRMI U
HERCEGOVINI**

*AN ANALYSIS OF TECHNICAL AND
TECHNOLOGICAL BASIS OF METAL SECTOR
COMPANIES IN HERZEGOWINA*

R8

73

*Dragi Tiro
Sead Pašić
Safet Isić*

**UPOTREBA 3D TEHNOLOGIJA U BRZOM
REINŽINJERINU KONSTRUKCIJA**
*USE 3D TECHNOLOGY IN THE RAPID
RE-ENGINEERING OF CONSTRUCTION*

R9

85

<i>Mehmed Mahmić Edina Karabegović Ermin Husak</i>	NOVE TEHNOLOGIJE BRZE IZRADE DIJELOVA I NJIHOVA PRIMJENA U PROIZVODNIM PROCESIMA <i>NEW TECHNOLOGIES OF PARTS RAPID MANUFACTURING AND THEIR APPLICATION IN PRODUCTION PROCESSES</i>	 R10	93
<i>Nebojša Rašović Milenko Obad</i>	RAZVOJ PROIZVODA PREDVIĐENIH ZA PROIZVODNJU TEHNOLOGIJAMA 3D PRINTERA <i>DESIGN PROCESS OF PRODUCTS TO BE PRODUCED BY 3D PRINT TECHNOLOGIES</i>	 R11	99
<i>Vjekoslav Damić Majda Čohodar</i>	DINAMIČKO MODELIRANJE I 3D VIZUALIZACIJA ROBOTA <i>DYNAMIC MODELLING AND 3D VISUALIZATION OF ROBOTS</i>	 R12	113
<i>Snježana Rezić Boris Crnokić</i>	ROBOTI KAO BITAN ČIMBENIK RAZVOJA ZNAOSTI I NOVIH TEHNOLOGIJA <i>ROBOTS AS AN IMPORTANT FACTOR IN DEVELOPMENT OF SCIENCE AND NEW TECHNOLOGIES</i>	 R13	123
<i>Petar Tasić Ismar Hajro</i>	PRISTUP ANALIZI EFIKASNOSTI ZAVARIVANJA TRENJAM SA MJEŠANJEM <i>APPROACHES TO ANALYSES OF FSW EFFICIENCY</i>	 R14	135
<i>Tomislav Grizelj Jasmina Bajramović</i>	ROBOTIKA U GOSPODARENJE/ TRETMANU OTPADA <i>ROBOTICS IN MANAGEMENT/ THE TREATMENT OF WASTES</i>	 R15	143

ULOGA VODIKA KAO ENERGENTA U 21. STOLJEĆU

ROLE OF HYDROGEN AS ENERGENT IN 21ST CENTURY

Akademik Zijad Haznadar
Fakultet elektrotehnike i računarstva, Unska 3, Zagreb
E-mail: zijad.haznadar@fer.hr

SAŽETAK:

Za smanjene emisije štetnih plinova koji zagađuju atmosferu, u svijetu se razmatraju mogućnosti primjene različitih održivih izvora energije. Proizvodnja vodika iz različitih obnovljivih izvora osigurat će gotovo nultu emisiju, na taj način dolazi do smanjenja štetnih plinova i neće imati učešća u globalnom zagrijavanju. Proizvodnja vodika mož biti na regionalnom ili čak na lokalnom nivou, čime se postiže da vodik kao energent bude dostupan na svim potrebnim mjestima. U članku su opisani najnoviji prijedlozi novih modela za uporabu vodika u energetskej ekonomiji s obnovljivim izvorima. To su modeli četiri vodikova centra: na moru, na obali, u unutrašnjosti i samostalni, tj. autonomni.

Ključne riječi: obnovljivi izvori, vodik, energetska ekonomija

ABSTRACT:

For reduced emissions of harmful gases that pollute the atmosphere, the possibilities of applying different sustainable energy sources in the world are considered. Hydrogen production from various renewable sources will provide nearly zero emissions, so there is a reduction of harmful gases and will have no involvement in global warming. Production of hydrogen can be on regional or even local level, causing the hydrogen as an energy source is available to all the necessary places. The paper describes the latest proposals for new models of use hydrogen in energy economy with renewable sources. These are models of four hydrogen center: at sea, on the coast, inland and independent, that is autonomous.

Keywords: renewable sources, hydrogen, energetic economy

1. UVOD

Mnogi istraživači i stručnjaci na području energetike smatraju da je prošlo vrijeme predlaganja isključivo vodikove energetske ekonomije, budući da će strategija održive energije, idealno utemeljena samo na obnovljivim izvorima, zahtijevati također opsežnu upotrebu električne energije.

Nadopunjujuća, tj. komplementarna uporaba obnovljivih izvora, posebno vodika, s jedne strane i električne energije s druge strane navješćuju se kao najučinkovitije energetske rješenje budućnosti.

2. KRATKA POVIJEST UPORABE VODIKA

Smanjenje rezervi fosilnih goriva: ugljena, nafte i zemnog plina, uz stalno eksponencijalno povećanje broja stanovnika na zemlji kao i veliko povećanje potreba za energijom predstavljaju najveći problem i izazov koji se postavlja pred današnjim svijetom i civilizacijom.

Uz to se nameće pitanje, kako razviti i podržati globalnu strategiju održive energije u 21. stoljeću, suprotstavljajući se trima velikim opasnostima: neizvjesnom snabdijevanju naftom, rastućem zagađenju i ireverzibilnim klimatskim promjenama.

Na pitanje od kada se vodik uključuje u ekonomiju održive energije i kakva je uloga vodika u tome, najbolje je pozvati se na pionirsko djelo Johna Bockrisa “Energy: The solar Hydrogen Alternative”, koje je prvi puta objavljeno 1975. godine [1]. U tom djelu Bockris opisuje genezu ideje vodikove ekonomije. Fraza “VODIKOVA EKONOMIJA” pojavila se prvi puta u raspravi između Bockrisa i Trinera u General – Motors Technical Center-u 3. veljače 1970. godine. Razmatrali su različita goriva u prometu koja bi mogla zamijeniti goriva koja zagađuju – prvenstveno naftu. Tako su došli do zaključka da bi, eventualno, vodik mogao biti glavnim gorivom u prometu, a mogao bi se koristiti i u domaćinstvu i u industriji.

Zaključili su da bismo mogli živjeti u svijetu koji možemo nazvati “VODIKOVO DRUŠTVO”. Kasnije se nastavio koristiti pojam “VODIKOVA EKONOMIJA”.

3. SUVREMENA UPORABA VODIKA

Počeci suvremene upotrebe vodika u energetici podudaraju se s prvom uporabom gorivnih stanica (ćelija). Još davne 1960. god. u NASA Apollo programu primijenjena je vodikova gorivna stanica kao energetski izvor.

Razvoj je išao tako brzo naprijed da su već od 2003. godine predsjednik SAD George Bush i predsjednik EU Romano Prodi potvrdili viziju EKONOMIJE VODIKA [2]. Vizija poziva na promjenu globalne energetske ekonomije ovisne o nafti i fosilnim gorivima u onu utemeljenu na vodiku. U prilog tome je i inicijativa U.S. Departement of Energy za uporabu vodikova goriva, prema kojoj bi vodikova era započela već 2024. godine.

Danas se suprotstavljamo trima velikim opasnostima tako da mijenjamo prvotni koncept vodikove ekonomije. U suvremenom pristupu vodikovoj ekonomiji planira se dobivati vodik uz pomoć različitih obnovljivih izvora, takvih kao što su SOLARNI IZVORI, IZVORI NA VJETAR, i drugi.

Kao potvrdu ispravnosti takvog puta HyWays [3] je za EU i za njezinih 10 zemalja izradio tzv. “vodikovu kartu”. Prema toj studiji odgovarajući vodik će se proizvoditi u 2030. godini: iz NE do 31%, iz obnovljivih izvora do 29%, iz prirodnog plina do 26% i iz ugljena do 14%. U takvom scenariju, za tih 10 zemalja EU, emisija zagađujućih plinova 2050. godine će se smanjit za 60% u odnosu na 2000. godinu.

4. NAČELA ZA UVOĐENJE VODIKA U GLOBALNU ENERGETSKU STRATEGIJU

Prema Andrews i Shabaniju [4] predlaže se šest principa za uvođenje vodika u energetska strategiju, i na globalnom i na nacionalnom nivou. To su:

1. Hijerarhija tj. poredak po važnosti vodikovih proizvodnih, skladišnih i distribucijskih centara mora se oslanjati na lokalne obnovljive izvore, koji će proizvoditi vodik prema potrebama.
2. Potrebna je komplementarna uporaba vodika i električne energije, da se minimiziraju zahtjevi za proširenje mreže cjevovoda za vodik.
3. Proizvodnju iz obnovljivih izvora i skladištenje vodika treba organizirati neovisno o energiji iz nuklearnih elektrana, ali u granicama ekonomičnosti.
4. Prihvatanje komplementarnih uloga vodikove i baterijske pohrane energije za vozila i servise.
5. Uporaba vodika za dugotrajno skladištenje energije u centraliziranim mrežama, koje će biti napajane iz obnovljivih izvora.
6. Primjena masovnog skladištenja vodika, kao stratejske energetske rezerve.

5. USPOREDBA PRVOTNE IDEJE VODIKOVE EKONOMIJE I NOVOG MODELA VODIKA U EKONOMIJI ODRŽIVE ENERGIJE

Brza snimka ključnih razlika između prvog originalnog koncepta vodikove ekonomije i novog modela vodika u ekonomiji održive energije, sastoji se u sljedećem:

- Novi model je bitan za ekonomiju zaštite okoliša i atmosfere od emisije zagađujućih plinova, više nego kao odgovor na iscrpljivanje rezervi fosilnih goriva.
- Prvotni koncept uključuje centraliziranu proizvodnju vodika iz uglavnom solarne energije i iz energije vjetra u zabačenim područjima Zemlje, kao i iz nuklearnih fisijskih reaktora, što opet zahtijeva vrlo dugačke cjevovode za vodik do centra potrošnje.
- Novi model predviđa decentraliziranu distribuiranu proizvodnju vodika iz različitih obnovljivih izvora.
- U novom konceptu vodik i električna energija imaju komplementarnu energetska ulogu. Vodik i baterije imaju pak komplementarnu ulogu u skladištenju energije.
- I konačno, dok se prvotni koncept oslanja na proizvodnju primarne energije iz NE i drugih vrsta klasičnih elektrana (na plin i ugljen), dotle se novi model fokusira na **obnovljive izvore**.

6. ODRŽIVI CENTRI VODIKA

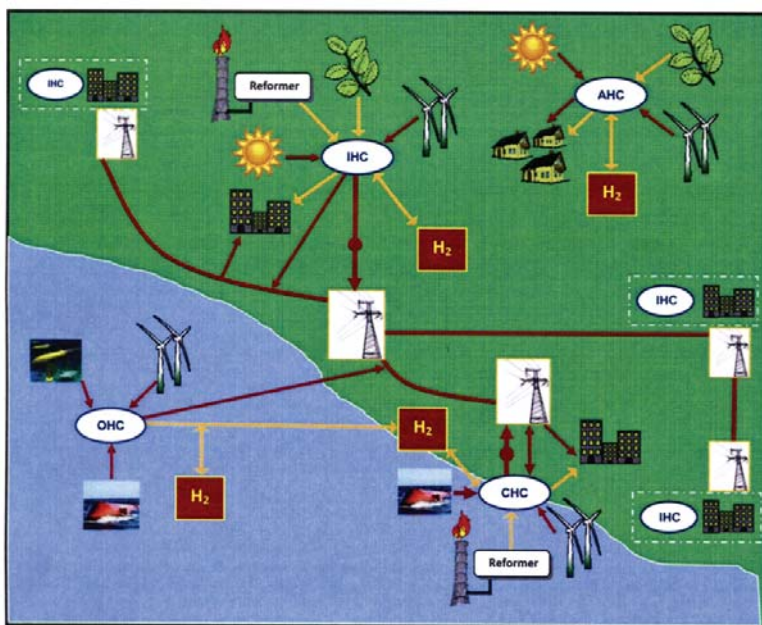
Na hijerarhiju, tj. poredak po važnosti, distribucijskih centara vodika, utječe zadana prostorna raspodjela izvora obnovljive energije (vjetar, sunce) i željena proizvodnja vodika u blizini potrošača. Na toj osnovi se onda utvrđuju mjesta i važnost proizvodnih centara vodika, skladišta vodika i distribucijskih centara vodika.

Razlikujemo sljedeće tipove vodikovih centara:

- Vodikovi centri na moru,
- Obalni vodikovi centri,
- Vodikovi centri u unutrašnjosti,
- Samostalni vodikovi centri.

Na Slici 1 shematski su prikazana sva četiri tipa vodikovih centara koji se mogu koristiti u novoj vodikovoj energetskej ekonomiji. Predložili su ih i prikazali J. Andrews i B. Shabani [4].

U originalnom shematskom prikazu na Slici 1 korišteni su engleski nazivi i oznake, pa njihovo značenje dajemo u Tablici 1.



Slika 1: Četiri tipa vodikovih energetskej centara

Tablica 1: Popis naziva i oznaka sa Slike 1.

	Valni izvor električne energije
	Izvor el.energije na temelju plime i oseke
	Izvor el.energije iz vjetroelektrane (farme vjetroelektrana)
	Solarni izvor el.energije
	Izvor električne energije iz biomase
	Izvor zemnog plina
	Naselje
	Grad
	Glavna el.prijenosna mreža
	Spremište vodika
	Samostalni vodikovi centri
	Obalni vodikovi centri
	Vodikovi centri na moru
	Vodikovi centri u unutrašnjosti

Jacobson i Delluchi u [5] predlažu da na globalnom planu solarna energija bude glavni izvor i da dominira u odnosu na sve druge obnovljive izvore u strategiji održive energije. Taj zahtjev osobito ističu u energetske strategiji za proizvodnju vodika u centrima u unutrašnjosti Zemlje. Također zahtijevaju da vodikova skladišta uz centre u unutrašnjosti budu veća od onih uz centre na moru i na obali. Tehnološke opcije skladištenja vodika su podzemni rezervoari, ili posebno sagrađeni i sigurni vanjski rezervoari, te visokotlačna plinska spremišta.

Vodikovi centri u unutrašnjosti biti će uglavnom smješteni u blizini većih gradova, kao i drugih industrijskih centara, da osiguraju lokalne izvore vodika. Posebno je to važno za cestovni, željeznički i zračni promet, kao i za napajanje glavne električne mreže pomoću gorivnih stanica. Treba u načelu izbjegavati cjevovode za prijenos vodika u udaljene centre potrošnje.

7. ZAKLJUČAK

Da bi se umanjila emisija štetnih plinova koji zagađuju atmosferu, kao i omogućilo smanjenje uporabe nafte kao goriva, u svijetu se razmatraju mogućnosti primjene različitih održivih izvora energije. Komplementarna uporaba obnovljivih izvora, posebno vodika, i električne energije predlaže se kao najučinkovitije energetske rješenje u budućnosti. Proizvodnja vodika iz različitih obnovljivih izvora osigurat će gotovo nultu emisiju i neće doprinosti globalnom zagađenju.

Predlaže se da se vodik proizvodi regionalno ili čak lokalno. To se osigurava pomoću četiri vrste održivih vodikovih centara. Tako se postiže da vodik kao energent bude dostupan na svim potrebnim mjestima i da se prijenos vodika cjevovodima ograniči na što kraće udaljenosti.

Novim pristupom komplementarne uporabe vodika i elektroenergetskog sustava minimizira se mreža vodikovih cjevovoda. Omogućuje se prijenos energije iz obnovljivih izvora, posebno vodikovih, na velike udaljenosti pomoću elektroenergetskih sustava i mreža.

8. LITERATURA

- [1] Bockris J.O'M., "Energy: the solar hydrogen alternative", Sydney, Book Co, 1975.
- [2] Z. Haznadar, "Tehnološki izazovi i elektroenergetika", FER, Zagreb, 2010.
- [3] HyWays, The european hydrogen roadmap, <http://www.hayways.de/index.html>, 2007.
- [4] J. Andrews, B. Shabani, "Re-envisioning the role of hydrogen in sustainable energy economy", International Journal of Hydrogen Energy, 37, 2012.
- [5] M.Z. Jacobson, M.A. Delucchi, "Providing all global energy with wind, water and solar power, part I", Energy Policy, 39, 2011.

ENERGIJA I NANOTEHNOLOGIJA

ENERGY AND NANOTECHNOLOGY

Akademik Zijad Haznadar
Fakultet elektrotehnike i računarstva, Unska 3, Zagreb
E-mail: zijad.haznadar@fer.hr

SAŽETAK:

Solarna energija se može koristiti na više načina, aktivno i pasivno. Ovdje ćemo se usredotočiti na fotoaktivne materijale za direktnu pretvorbu svjetlosti u električnu energiju. Fotoćelije prve generacije temeljile su se na silikonskim slojevima debljine 150 do 300 nm kristalnog silikona. Druga generacija fotoćelija se temeljila na 1 do 2 nm debelim slojevima poluvodičkih materijala. Prve nanostrukturirane solarne ćelije, a temelje se na boju osjetljivom koloridnom titanijskom oksidnom filmu. One predstavljaju treću generaciju fotoćelija. Jedan od najvećih izazova današnjeg vremena je pronalaženje rješenja za proizvodnju, skladištenje i uporabu energije, koje ne onečišćuje okoliš, osobito pomoću nanotehnologije. U članku će biti posvećena pažnja solarnoj energiji i dobivanju energije iz vodika.

Ključne riječi: : nanotehnologija, solarna energija, vodikova ekonomija, skladištenje električne energije

ABSTRACT:

Solar energy can be used in several ways, active and passive. Here we focus on the photoactive materials for the direct conversion of light into electricity. Photocells of the first generation were based on silicone layer thickness 150-300 nm crystalline silicon. The second generation of photocells was based on 1-2 nm thick layers of semiconductor material. First nanostructured solar cells are based on the color sensitive colloidal titanium oxide film. They represent the third generation of photocells. One of the greatest challenges of our time is to find solutions for the production, storage and use of energy that does not pollute the environment, particularly with nanotechnology. The article will be devoted to solar energy and attention getting energy from hydrogen.

Keywords: nanotechnology, solar energy, hydrogen economy, storage of electrical energy

1. UVOD

Glavni energetske izvori danas su fosilna i mineralna goriva te hidro i nuklearni izvori. Većina ih je vrlo štetna za okoliš, jer uzrokuju globalno zatopljenje i ekološku devastaciju. Procjena je da je oko 80% emisije CO₂ u svijetu generirano iz energetskeg sektora.

S druge strane, čista proizvodnja energije iz obnovljivih izvora kao što su solarni, vjetar, geotermalni, plima i oseka, danas je uvijek ograničena njihovom relativno višom cijenom i potrebnim investicijskim sredstvima.

Navedimo kao primjer, u Njemačkoj se 2006. godine iz fosilnih goriva još uvijek dobivalo 56%, iz nuklearnih elektrana 27%, a iz obnovljivih izvora tek 12% električne energije [1].

Zato nije čudno da je energija jedna od deset top tema “VII Framework Programme”-a Europske Unije (FP7). Tu je glavna pažnja posvećena solarnoj energiji i vodikovoj ekonomiji. Zanimljiv je i doprinos nanotehnologije.

2. SOLARNA ENERGIJA

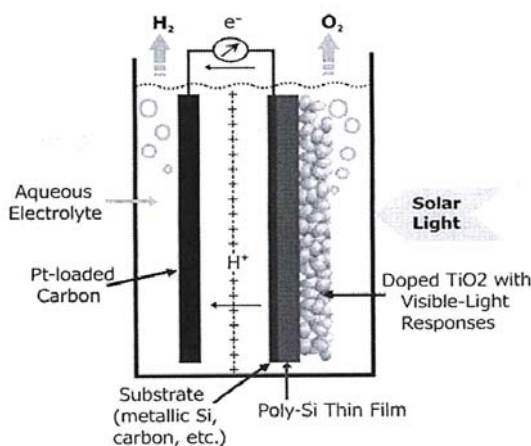
Uvjerljiv podatak u korist upotrebe solarne energije je da Sunce samo u jednoj godini snabdije Zemlju s 15000 puta više energije od one proizvedene u nuklearnim elektranama i u svim drugim izvorima. Posebno treba istaći da je solarna energija slobodna i dostupna u mnogim dijelovima svijeta.

Solarna energija se može koristiti na više načina, aktivno i pasivno. Ovdje ćemo se usredotočiti na fotoaktivne materijale za direktnu pretvorbu svjetlosti u električnu energiju.

2.1. Fotoelektrična tehnologija

Fotoćelije prve generacije temeljile su se na silikonskim slojevima debljine 150 do 300 nm kristalnog silikona. Druga generacija fotoćelija se temeljila na 1 do 2 nm debelim slojevima poluvodičkih materijala.

Danas nanomaterijali počinju dominirati na ovom području. Kvantni uređaji kao: kvantni doti, kvantne žice, ugljikove nanocijevi primjenjuju se s mogućom efikasnošću iznad 45%.



Slika 1: Shema solarnog sustava od kompozitnog polikristala [1]

Druga mogućnost je upotreba na boju osjetljivih solarnih ćelija. Grätzel ćelije, ili na boju senzibilne solarne ćelije, upotrijebljene su od O'Regana i Grätzela prvi puta 1991. god. [3].

To su ujedno prve nanostrukturirane solarne ćelije, a temelje se na boju osjetljivom koloridnom titanijskom oksidnom filmu. One predstavljaju treću generaciju fotoćelija.

Kao jedan od prioriteta u Royal Society of Chemistry istaknut je razvoj nove generacije fotonaponskih materijala temeljenih na molekularnim polimernim nanofaznim materijalima [4].

Procjenjuje se da se danas ukupni kapacitet solarnih ćelija kreće oko 2000 MW i da bilježe porast od približno 25% godišnje.

2.2. Solarna energija za proizvodnju vodika pomoću artificijelne fotosinteze

Razdvajanje vode na vodik i kisik pomoću fotokatalize, poznate i kao artificijelna fotosinteza, motivirano je potrebom za jeftinim vodikom, čija će potrošnja rasti s primjenom nove “ekonomije vodika”.

Osim fotokatalize postoji još nekoliko postupaka za razlaganje vode. Isto tako, u National Research Energy Laboratory-u (SAD) pokazano je da se metan može razlagati na vodik i ugljik na jednostavan i jeftin način.

Nanotehnologija je najnovije oruđe koje može omogućiti proizvodnju vodika iz vode pomoću solarne energije na čisti i jeftin način, upotrebom fotokatalitičkog postupka.

Titanov dioksid (TiO_2) je poluvodički nanočestični materijal koji najviše obećava za dobivanje vodika fotokatalitičnim postupkom.

Nokota i suradnici [2] sintetizirali su tanki film elektrode sačinjen od polikristalnog silicija s dodatkom poluvodičkog TiO_2 . Time se oko 10% energije sunčeva svjetla iskorištava za dobivanje vodika.

3. VODIKOVA EKONOMIJA

Većina obnovljivih izvora energije raspoloživih u prirodi, takvih kao solarni, vjetar, geotermalni ili plima/oseka, treba biti pretvorena većinom u električnu energiju da bi bili transportirani do korisnika, za razliku od vodika, kojeg je potrebno samo proizvesti.

Vodik je prenosivi i uskladištivi energent, i to od izvora do krajnjeg korisnika. Jedna od njegovih izuzetno dobrih karakteristika je da je jedini produkt njegova izgaranja voda.

Velika prednost vodika je da su kombinacija njegove proizvodnje iz obnovljivih izvora i upotreba u gorivnim stanicama prihvatljive za okoliš jer nema zagađenja.

3.1. Proizvodnja vodika

Današnji najveći dio globalne proizvodnje vodika obavlja se reformiranjem prirodnog plina. Ovaj postupak ima učinkovitost od 70 do 80%, ali također proizvodi i CO₂ plin. Danas samo oko 5% komercijalne proizvodnje vodika dolazi iz obnovljivih izvora. Najviše se dobiva elektrolizom vode [5].

Proizvodnja vodika elektrolizom vode i njegova uporaba u gorivnim ćelijama je čista i bez zagađenja s korisnošću većom od 70%.

U budućnosti se očekuje proizvodnja vodika direktno pomoću obnovljivih izvora, tako da se izbjegn timer svi toplinski, elektro i mehanički gubici. To uključuje solarnu, termo, vjetar, plima-oseka energiju, kao i plinifikaciju biomase.

Pored toga, razlaganje vode pomoću nano-foto katalize, jedna je od najviše obećavajućih metoda za proizvodnju vodika u budućnosti. Nažalost, to se ne može očekivati prije 2035. godine (prema Royal Society of Chemistry Report-u).

3.2. Skladištenje vodika

Većina današnjih sustava za skladištenje vodika su nedjelotvorni. Tako su kotlovi za njegovo skladištenje, kao plina pod tlakom, veliki i teški, dok njegovo skladištenje u tekućem stanju zahtijeva, između ostalog, i vrlo niske temperature.

Zato se kemijska i fizikalna apsorpcija razmatraju kao najpogodniji načini za skladištenje vodika. Kemijska apsorpcija se mora obavljati kod temperatura od 400 K, a suprotno tomu, fizikalna apsorpcija se mora obavljati kod vrlo niskih temperatura, manjih od 100 K.

Najnovije alternative za efikasno skladištenje vodika zahtijevaju upotrebu ugljikovih nanocijevi [6]. Tri važna faktora u procesu skladištenja vodika u kovine-legure hidridima su: kapacitet skladištenja vodika, vrijeme u kojem je proces reverzibilan, kinetika apsorpcije i otpuštanja vodika.

3.3. Gorivne ćelije

Gorivne ćelije su elektrokemijski uređaji koji pretvaraju kemijsku energiju vodika u električku energiju. Djeluju bez izgaranja i osiguravaju čistu tehnologiju i sigurno upravljanje.

Postoji više vrsta gorivnih ćelija, ovisno o elektrolitu: s polimernom elektrolitskom membranom (PEMFC), s fosfornom kiselinom (PAFC), alkalne (AFC), moltenkarbonatne (MCFC) i s čvrstim oksidom (SOFC).

Glavni problem je relativno visoka cijena izrade skupih materijala za bipolarne ploče za elektrode, te elektrolita, membrana i katalizatora. Sve to zbog posebno visoke cijene platine.

Najvrjedniji doprinos nanotehnologije može se svesti na smanjenje i dovodenje na razumnu cijenu, bez gubitka efikasnosti gorivnih ćelija. U tu svrhu obavljaju se posljednjih godina opsežna istraživanja, pa je objavljen veliki broj radova (pogledati u [7]).

Gorivne ćelije s polimernom membranom (PEMFC) su posebno zanimljive za automobilsku industriju i za energetske izvore za kućnu i elektroničku primjenu.

Veliki napredak je učinjen od Wanga [8], koji je upotrijebio ugljične nanocijevi za elektrode u PEMFC ćelijama. Kombinacija ugljikovih nanocijevi i ugljikovih nanofiltera, te poroznog ugljika i vodljivih oksida (kao SnOx/ITO, TixOy, TiO₂) dovela je do znatnog napretka u mogućnosti primjene gorivnih ćelija. Za sve njih koriste se nanomaterijali, a dopiranjem se postiže još veće poboljšanje nanomaterijala.

I drugi pristupi su mogući, kao oni zasnovani na upotrebi kapilarnih gorivnih ćelija, umjesto ćelija s glatkim membranama. One su znatno jeftinije, a imaju 3 do 6 puta veću gustoću specifične snage. Minijaturizacija ih čini primjenjivim za prijenosne uređaje.

Također, nanostrukturirane SOFC ćelije kao ultratanki filmovi drastično smanjuju radnu temperaturu [9]. Te ćelije postižu gustoću snage do 140 mW/cm² kod temperature od 575°C.

4. SKLADIŠTENJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

4.1. Obnovljive baterije

Najviše istraživanja usmjereno je danas na obnovljive litijske baterije. Litijske ionske baterije razvijene su tako da im je kapacitet skladištenja energije povećan od 100 do 150% po jedinici težine.

To je postignuto primjenom nanotehnologije na nove materijale za obje elektrode i tekuće elektrolite.

Tako u Sonyevim nanobaterijama Nexelion, nanolegura zamjenjuje grafitnu elektrodu [10], dok Toshiba u svojim litij-ion nanobaterijama uspijeva skratiti vrijeme punjenja na samo 1 minutu [11].

4.2. Superkondenzatori

Elektrokemijski kondenzatori, t.zv. superkondenzatori i ultrakondenzatori služe za pohranjivanje t.j. skladištenje električne energije. Zahvaljujući doprinosu nanotehnologije porastao je interes za ultrakondenzatore. Uporabom nanostrukturnih materijala dramatično raste veličina površine (do 1.000 m²/g ugljika), a tako i maksimalni kapacitet i snaga kondenzatora.

Tipični nanomaterijali su metalni nanokompoziti i vodljivi polimeri, ugljične nanostrukture i hibridni nanokompoziti. Sve to čini nanostrukturirane pseudokondenzatore daleko učinkovitijim od litij-ionskih baterija.

Upotreba ugljičnih nanocijevi za pozitivnu elektrodu kondenzatora čine ih bitnim za upotrebu u komunikacijama i transportu.

5. ZAKLJUČAK

Zahvaljujući proizvodnji i primjeni nanomaterijala povećana je efikasnost solarnih ćelija, kao i proizvodnje i skladištenja vodika, te njegove pretvorbe u električnu energiju u gorivnim stanicama.

Sva ova unaprjeđenja potrebna su ne samo za proizvodnju energije, nego i za pretvorbu, skladištenje, prijenos i konačno za upotrebu energije.

6. LITERATURA

- [1] E. Serrano, G. Rus, J. Garcia-Martinez: Nanotechnology for sustainable energy, *Renovable and Stainable Energy Reviews*, 13, 2009.
- [2] S. Takabayashi, R. Nakamura, Y. Nakato: Anano-modified Si/TiO₂ composite electrode for efficient solar woter splitting, *J. Photochem Photobiol A Chem*, 166, 2004.
- [3] B. O'Regan, M. Grätzel, A low-cost high-efficiency solar cell based on dysensitized colloidal TiO₂ films, *Nature*, 40, 1991.
- [4] RSC. Chemical science priorities for sustainable energy solutions, 2005.
- [5] Ni M. Leung MKH, Leung DY, Sumathy K., A review and recent developments in photocatalytic water-splitting using TiO₂ for hydrogen production, *RSE Rew.*, 25, 2007.
- [6] Y. Ye, CC. Ahn, C. Witham, B. Fultz, J. Liu, AG Rinzler, Hydrogen adsorption and cohesive energy of single-walled carbon nanotubes, *Appl. Phys. Lett.*, 9, 1999.
- [7] Sci Finder Scholar Database, 2007.
- [8] C. Wang, M. Waje, X. Wang, JM. Tang, RC Haddon, Y. Yan, Proton exchange membrane fuel cells with carbon nanotube based electrodes, *Nano Lett*, 8, 2004.
- [9] A. Ignatiev, X. Chen, N. Wu, Z. Lu, L. Smith, Nanostructured thin solid oxide fuel cells with high power density. *Dalton Trans.*, 6, 2008.
- [10] H. Inone, High capacity negative-elektrode materials next to carbon, *Nexclion Proc. of IBLM*, 228, 2006.
- [11] PG. Bruce, B. Scrosati, JM. Tarascon, Nanomaterials for reehargeoble lithium batteries, *Angew Chenn Int Ed*, 47, 2008.

ULOGA INDUSTRIJSKE ROBOTIKE U RAZVOJU PROIZVODNIH PROCESA U 21. STOLJEĆU

ROLE OF INDUSTRIAL ROBOTICS IN DEVELOPMENT OF PRODUCTION PROCESSES IN 21ST CENTURY

Vlatko Doleček¹, Isak Karabegović²,

¹ANU Bosne i Hercegovine, vldolecek@gmail.com

²Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet Bihać,
dr. Irfana Ljubijankića bb., isak1910@hotmail.com

SAŽETAK:

Primjene industrijskih robota u proizvodnim procesima raznih industrija se iz godine u godinu povećava. Za ovakav trend povećanja zaslužne su nove tehnologije u koje ubrojamo: informatičke tehnologije, senzorska tehnologija, robotska tehnologija i nove proizvodne tehnologije. Stalni trend rasta primjene industrijskih robota vezan je za njegovu funkcionalnu opravdanost, a razloga za to kao što se zna ima dosta. Jedan od razloga je stalna automatizacija i modernizacija proizvodni procesa, a drugi razlozi su zaštita radnika u neuslovnim prostorima rada ili zaštita radnika od teških fizičkih poslova, te ušteda vremena, postizanje odgovarajuće kvalitete, produktivnosti, cijene i sl. Njihova primjena još uvijek je najveća u automobilske industriji, ali i druge grane industrije ne zaostaju kao naprimjer elektro industrija je u povećanju broja implementiranih industrijskih robota. Sa razvojem novi tehnologija postoje stalne promjene u robotici, koje dovode do novih funkcionalnih rješenja i mogućnosti primjene robota.

Ključne riječi: *industrijski robot, primjena, proizvodnja, proizvodni procesi, nove tehnologije*

ABSTRACT:

Application of industrial robots in production processes of various industrial branches year after year is increased. For this trend new technologies are of the most importance as: information technologies, sensor technology, robotic technology and new manufacturing technology. Constant increase trend of industrial robot application is connected to functional justification of robots, and there are many reasons for that. One of them is automation and modernization of manufacturing processes, and others are protection of operator in inadequate working conditions or protection of operators from difficult labor, time saving, quality achievement, productivity, prices etc. Their application is still the highest in automobile industry and also other industrial branches uses industrial robots in high percentage as electric industry. Development of new technologies pushes development in robotics, that lead to new functional solutions and application possibilities of industrial robots.

Keywords: *industrial robot, application, manufacturing, production processes, new technologies*

1. UVOD

U proizvodnim procesima industrijski roboti nalaze primjenu od procesa prerade metala do dobijanja finalnog proizvoda odnosno kontrole i montaže kao naprimjer proizvodnja automobila. Industrijski roboti su neophodni sastavni element novih proizvodnih linija koje se projektuju na visokom stepenu automatizacije sa karakteristikama fleksibilnosti. Industrijski roboti bitno povećavaju učinkovitost i veći stepen iskorištenja postojeće opreme, osiguravajući na taj način veću ekonomičnost. Sa stalnom modernizacijom i automatizacijom proizvodnih procesa u automobilske industrije kao i u svim industrijskim granama i njenom fleksibilnošću te zahtjevima za stalnom promjenom u proizvodnim linijama pri proizvodnji funkcija industrijskog robota postaje sve zahtjevnija i složenija sa trendom povećanja primjene industrijskih robota. Razvojem novih tehnologija i korištenje novih materijala u metalnoj industriji zahtjevaju se nove proizvodne linije kod koji se primjenjuju industrijski roboti. Industrijski roboti se primjenjuju kada se radi o potpunoj automatizaciji sistema, fiksnoj ili fleksibilnoj automatizaciji. Tako naprimjer primjena industrijskih robota u automobilske industrije se koristi kod: proizvodnje dijelova neophodnih za automobil, motora, šasijsa, farbanja, montaže, kontrole itd. Jedna od karakteristika današnjih svjetskih privrednih tokova u automobilske industrije je širenje tržišta, odnosno potreba za stalnom modifikacijom postojećih proizvoda primjenom novih tehnologija, koje bi trebale osigurati konkurentnost u turbulentnim uslovima tržišta [1,2,3,4,5,].

2. TREND PRIMJENE INDUSTRIJSKIH ROBOTA U SVIJETU

Uloga industrijskog robota je od bitnog značaja, kada se radi o fleksibilnosti proizvodnih procesa. Industrijski roboti u proizvodnim procesima se primjenjuju sa različitim strukturama kao što su cilindrična, zglobno-sferna, linearno-pravougaona i roboti tipa SCADA . Za neka područja primjene postoje specijalni roboti, dok za druga postoji izbor robota na temelju potreba proizvodnog procesa i mogućnosti robota.

Zavisno od proizvodnog procesa, proizvodne linije i samog zadatka koji treba da izvede industrijski robot zavisi koja će se od navedenih struktura robota primjeniti. Primjena robotske vizije na industrijskim robotima dolazi do proširenja primjene industrijskih robota u proizvodnim procesima, a samim tim kada je automobilska industrija u pitanju iz godine u godinu broj proizvedenih motornih vozila svih vrsta se povećava.

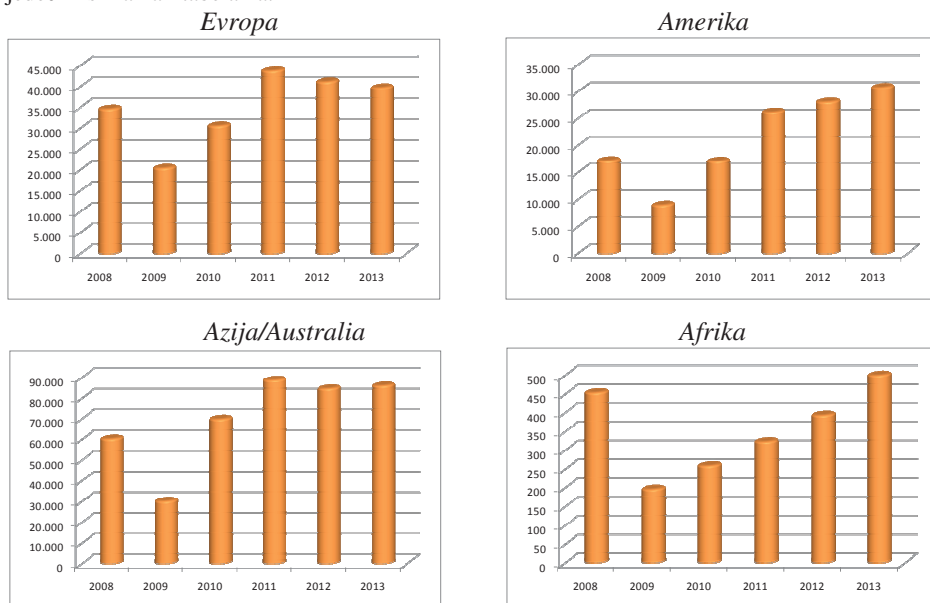
Industrijski roboti nalaze primjenu u:

- u svim proizvodnim procesima,
- posluživanje radnog mjesta,
- držanje materijala u radnoj poziciji pri raznim fazama,
- izrade i operacioni transport,
- tehnološke operacije (tipični primjeri ove kategorije su postali zavarivanja, bojenja, brušenja, lemljenja, lijepljenja, čišćenja, poliranja itd.),
- automatsku montažu i
- predprocesnu, procesnu i poslije procesnu kontrolu.

Razlog za sve veću motivaciju primjene industrijskih robota leži u nekoliko slijedećih osnovnih činjenica:

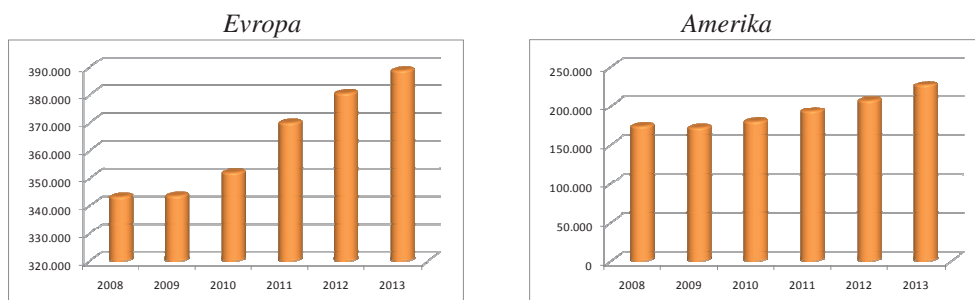
- povećanje produktivnosti,
- smanjenje troškova,
- savlađivanje nedostataka stručnosti čovjeka (preciznost),
- veća fleksibilnost kod određenog stepena proizvodnje,
- poboljšanje kvaliteta proizvodnje,
- oslobađanje čovjeka od monotonih i ponavljajućih zadataka ili od rada za čovjeka opasnoj okolini.

Statističke podatke za broj primjena industrijski robota u proizvodnim procesima u svijetu preuzeti su od International Federation of Robotics (IFR), te podataka Ekonomske komisije pri UN za Evropu (UNECE) i Organizacije za ekonomsku kooperaciju i razvoj (OECD) [4,5,6,9]. Ova analiza treba da ukaže na primjeni industrijskih robota u svijetu i po kontinentima Evrope, Amerike, Azije/Australije, Afrike, industrijskim granama i proizvodnim procesima kao što je prikazano na slijedećim slikama i tabelama.

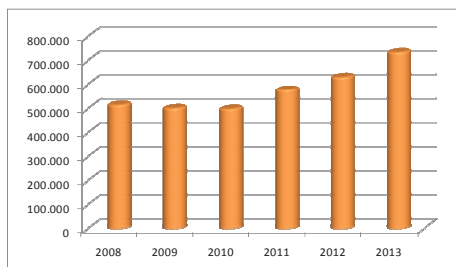


Slika 1: Primjena industrijskih robota na godišnjem nivou po kontinentima od 2008. – 2013. godine [4]

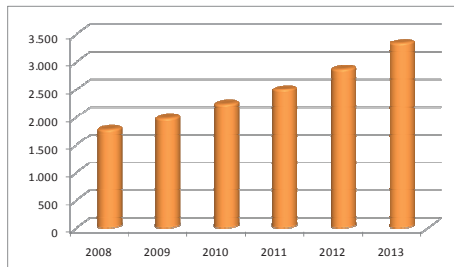
Na Slici 1 prikazana je primjena industrijskih robota u zadnje šest godine 2008.-2013. gdje zaključujemo da je na prvom mjestu Azija/Australija sa 69.833 jedinice robota u 2008. godini, 30.117 jedinica robota u 2009. godini i 60.294 jedinica robota u 2010. godini. Trend primjene zadnje tri godine može se reći da je konstantan sa primjenom iznad 80.000 jedinica robota. Drugo mjesto zauzima Evropa sa 30.630 jedinice robota u 2008. godini, 20.483 jedinica robota u 2009. godini i 34.695 jedinica robota u 2010. godini.



Azija/Australia



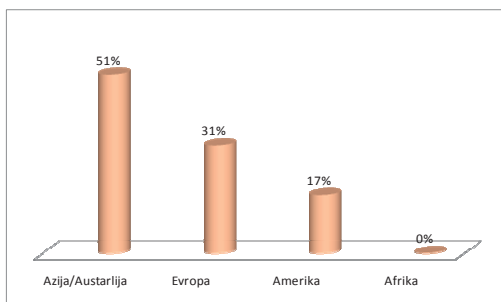
Afrika



Slika 2: Primjena industrijskih robota na ukupnom nivou po kontinentima 2008. – 2013. godine

U zadnje tri godine trend u Evropi je opadajući sa 42.000 jedinica na 38.000 jedinica robota. Na trećem mjestu je Amerika sa 17.114 jedinice robota u 2008. godini, 8.992 jedinica robota u 2009. godini i 17.192 jedinica robota u 2010. godini. U Americi trend primjene u zadnje tri godine je rastući od 25.000 do 30.000 jedinica robota. Zadnje mjesto po primjeni industrijskih robota pripada Africi sa 256 jedinica robota u 2008. godini, 196 jedinica robota u 2009. godini i 454 jedinica robota u 2010. godini primjenili robota. Kao što se vidi sa slike 1 trend je rastući u zadnje tri godine u Africi, ali toliko je mala primjena robota u odnosu na preostale kontinente skoro da je zanemariva.

Ukupni trend primjene industrijskih robota u Svijetu slika 2 pratio je godišnji trend primjene robota tako da je prvo mjesto zauzela Azija/Australija sa oko 700.000 jedinica industrijskih robota, a na drugom mjestu po primjeni industrijskih robota je Evropa sa 388.000 jedinica robota, a treće mjesto pripada Americi sa 220.000 jedinica industrijskih robota. Posljednje mjesto po primjeni industrijskih robota pripada Africi sa 3.200 jedinica robota u 2013. godini.



Slika 3: Procentualni odnos ukupne primjene industrijskih robota po kontinentima u 2012. godini [4,5,6]

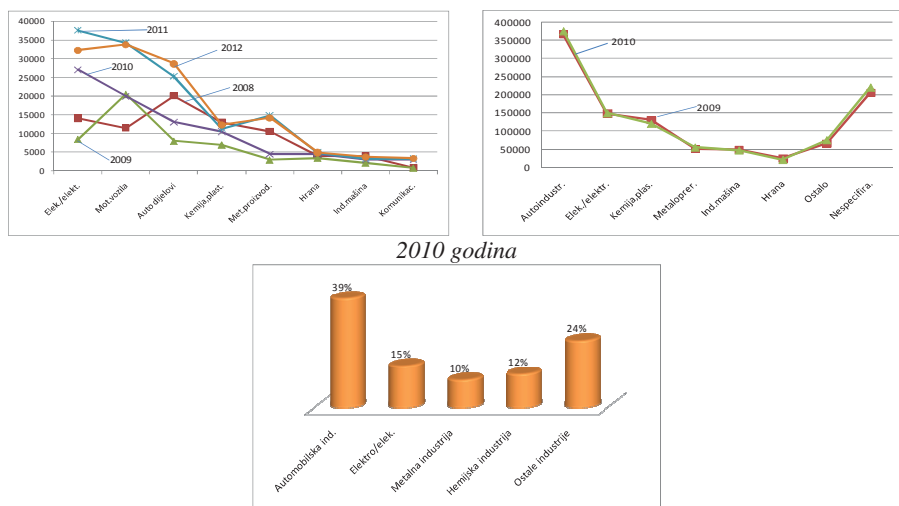
Kada je analiza procentualnih odnosa primjene industrijskih robota po kontinentima u 2012. godini redosljed je slijedeći: Azija/Australija ima 51%, Evropa 31% i Amerika 17%, a u Africi je toliko zanemariv broj robota u odnosu na druge kontinente da je 0,2% u odnosu na ukupni broj primjenjenih robota u Svijetu u 2012. godini. Na osnovu izvedene analize možemo konstatirati da, bilo da se radi o godišnjoj ili ukupnoj primjeni industrijskih robota u svijetu, da je redosljed kontinenata slijedili: Azija/Australija, Evropa, Amerika i na zadnjem mjestu Afrika.

3. APLIKACIJA INDUSTRIJSKIH ROBOTA U RAZLIČITIM INDUSTRIJAMA I PROIZVODNIM PROCESIMA

U analizi u ovom radu su obuhvaćene slijedeće industrije: poljoprivreda, šumarstvo, ribarstvo, rudarstvo, proizvodnja kako prehrambena tako i duvanska, tekstilna, papirna, drvna, koža, metalna industrija, plastika i kemijska industrija, elektro/elektronička industrija, automobilska industrija, građevinska industrija itd. Analiza primjene industrijskih robota u različitim industrijskim granama prikazana je u Tabelama 1 i 2 i Slikama 4 i 5. Kao što se iz tabele i grafikona vidi aplikacija robota u 2010. godini je porasla u svim industrijskim granama u odnosu na 2009. godinu zbog financijske krize koja je bila u 2009. godini. Analizom smo obuhvatili slijedeće proizvodne procese: operacije rukovanja, zavarivanje, montaža, pakovanje, obrade i ostale procese koji nisu svrstani u navedene proizvodne procese [4,5,9,10,11,12,13].

Tabela 1: Aplikacija industrijskih robota u Svijetu po industrijskim granama u periodu 2008.-2010. godine [4,5,6]

INDUSTRIJA	Godišnja primjena rob.u Svijetu			Ukupna primjena rob.u Svijetu		
	2008	2009	2010	2008	2009	2010
Polj. i Rud.	72	91	80	683	737	762
Proizvodnja	94.262	49.162	91.176	810.098	806.034	807.410
- Plas.i ken.ind	12.575	6.852	10.518	114.899	113.700	110.064
- Metalna ind.	14.778	5.253	7.934	98.515	98.245	97.427
- Elek/elektro	16.439	10.855	30.745	147.755	144.457	146.539
-Automobilsk	40.437	19.260	32.702	363.785	364.852	373.223
Elen.pli. i vo.	45	16	21	240	256	246
Konstrukcija	232	226	340	1.264	1.417	1.485
Neodređeno*	28.396	16.867	35.970	223.016	212.257	225.513
UKUPNO Σ	112.972	60.018	118.337	1.035.301	1.020.731	1.035.016

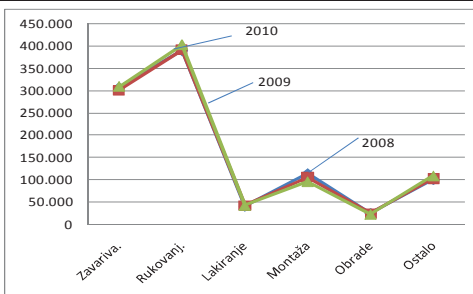
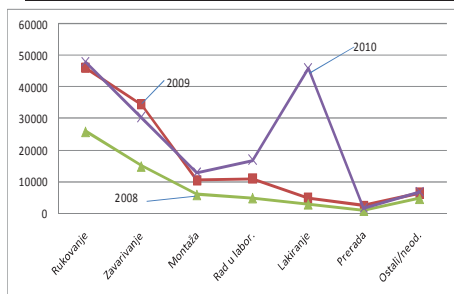


Slika 4: Godišnja, ukupna i procentualna primjena industrijskih robota u Svijetu u raznim industrijama proizvodnim procesima u 2008.-2010. godini

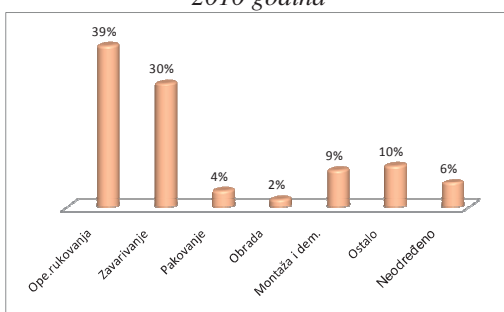
Primjenjeno je 41% industrijskih robota u rukovanje materijalom, 26% u zavarivanju, 11% u montaži i 28% u automobilske industriji. Analizirajući ukupan broj instaliranih robota u Svijetu vidimo da se 39% odnosi na rukovanje robota materijalom, 30% na proces zavarivanja svih vrsta i 9% montaži procesi u svim granama proizvodnje. Najveću primjenu doseglo je rukovanju materijalom gotovo 48.200 jedinica robota, a razlog tome je automobilska industrija i želja privrednika za automatizacijom i modernizacijom proizvodnih procesa gdje se najviše traži rukovanje materijalom tokom proizvodnog procesa [1,5,9,11,13,16]. Uporedna analiza je prikazana na slijedeći tabelama i slikama.

Tabela 2: Aplikacija industrijskih robota na ukupna i godišnja nivou u različitim područjima primjene 2008.-2010. godine u Svijetu [4,5,6]

PRIMJENA	Godišnja primjena robota u Svijetu			Ukupna primjena robota u Svijetu		
Aplikacija/God	2008	2009	2010	2008	2009	2010
Ope.rukovanja	45.683	25.854	48.162	389.438	391.216	401.295
Zavarivanje	34.547	15.853	30.326	306.975	300.528	308.670
Pakovanje	4.307	2.733	3.907	40.501	41.060	42.298
Obrada	1.991	989	1.792	24.637	23.693	22.448
Mont. i demo.	10.311	5.903	12.984	114.004	105.075	95.586
Ostalo	13.277	6.222	17.879	100.575	102.366	108.165
Neodređeno	2.856	2.464	3.287	59.171	56.793	56.554
UKUPNO Σ	112.972	60.018	118.337	1.035.301	1.020.731	1.035.016

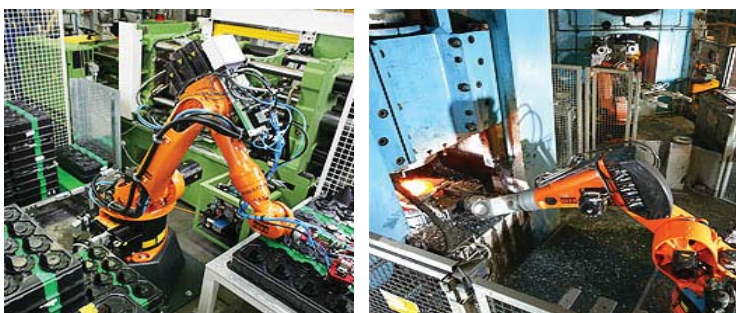


2010 godina



Slika 5: Godišnja, ukupna i procentualna primjena industrijskih robota u Svijetu u raznim proizvodnim procesima u 2008. - 2010. godini

Na osnovu Tabele 2 i Slike 5 zaključujemo da je u sve proizvodne procese u Svijetu u 2010. godini primjenjeno 118.335 jedinica robota, a ukupan broj koji je primjenjen u proizvodne procese u Svijetu u 2010. godini iznosi 1.035.016 jedinica robota. Od ukupnog broja 39% je primjenjeno u operacije rukovanja, 30% u procesima zavarivanja, 4% u procesima pakovanja, 9% u proces montaže i demontaže, 2% u procesima obrada i 16% je primjenjeno u ostalim proizvodnim procesima koji ovdje nisu specificirani.



Slika 6: Aplikacija industrijskog robota u proizvodnom procesu [19,28]

Tabela 3: Primjena industrijskih robota u vodećim zemljama u svijetu za 2010. godini u različitim proizvodnim procesima

<i>Zem.ins.</i>	<i>Zava.</i>	<i>Op.ruk.</i>	<i>Pako.</i>	<i>Obrada</i>	<i>Monta.</i>	<i>Čišće.</i>	<i>Ostal.</i>	<i>UKUP</i>
China	8.000	3.725	864	173	892	1.200	124	14.078
Germany	4.129	6.742	526	421	468	180	1.534	14.000
N.Amer.	3.883	6.244	511	286	1.806	3.360	266	16.356
R.Korea	3.800	11.309	854	60	1.706	5.674	104	23.508
Japan	3.609	7.072	309	175	6.320	4.129	289	21.903
Thailand	1.449	831	36	6	109	13	6	2.450
Italy	807	3.118	79	120	299	-	85	4.517
Taiwan	605	985	91	177	356	1.032	44	3.290
Spain	563	991	56	34	46	-	208	1.897
France	496	1.111	80	61	106	-	195	2.049

U koliko analiziramo Tabele 2 i 3 te sliku 3 dolazimo do zaključka da proces zavarivanja predstavlja proces gdje primjena industrijskih robota ima veliku primjenu, posebno u zemljama koje su vodeće u proizvodnji motora i motornih vozila. Oko 77% industrijskih robota instalirano je u procesima zavarivanja proizvodnje motora i motornih vozila širom Svijeta, a među prvima su slijedeće zemlje: Kina, Njemačka, Sjeverna Amerika, Republika Koreja i Japan. Kao što se može zaključiti na osnovu Tabele 3, prvi put Kina je vodeća u instaliranju industrijskih robota u proces zavarivanja oko 8.000 jedinica u 2010. godini što predstavlja 26% od ukupno instaliranih robota u proces zavarivanja, dok je na drugom mjestu Njemačka sa 4.129 instaliranih jedinica robota kada je proces zavarivanja u pitanju. Ovo predstavlja normalan trend jer Kina ima velike investicije u automobilske industriji i u zadnje vrijeme razvija automobilske industriju. Poslije Kine i Njemačke po primjeni robota u procesima zavarivanja su Sjeverna Amerika, Republika Koreja i Japan. Republika Koreja daje sve veću važnost automatizaciji proizvodni ne samo u automobilske industriji već i ostalim procesima tako da je u 2010. godini instalirala najveći broj industrijskih robota 23.508 jedinica. Poslije Republike Koreje su zemlje Japan, Sjeverna Amerika, Kina i Njemačka [1,4,9,13]. Analizom Tabele 1 i Slike 4 dolazimo

do zaključka da je najveća primjena industrijskih robota u automobilskoj industriji sa 32.702 jedinice na godišnjem nivou u 2010. godini, zatim elektro industrija sa 30.745 jedinica i na trećem mjestu je hemijska industrija sa 10.518 jedinica. Kada analiziramo ukupni broj primjene robota u 2010. godini po raznim industrijama na prvom mjestu je također automobilska industrija sa 373.223 jedinica ili 39% procenata. Na drugo mjesto dolazi elektro/elektronička industrija sa 146.539 jedinica robota odnosno sa 15% procenata i treće mjestu zauzima hemijska industrija sa 101.046 jedinica robota ili 12% procenata. Slijedeća je metalna industrija sa 97.427 jedinica robota odnosno 10% procenata. U sve ostale industrije koje nismo nabrojali primjenjeno je 225.513 jedinica robota, odnosno 24% procenta od ukupnog broja primjenjeni robota u Svijetu.

Tabela 4: Primjena industrijskih robota u vodećim zemljama u svijetu za 2010. godini u različitim industrijama [4]

Zemlja	Auto.	Elek/Ele	Hemij.	Metal.	Hra.	Ostal.	Neodr.	UKUP
China	8.300	1.800	1.452	1.800	00	1.300	26	14.978
R.Korea	7.056	12.644	727	253	84	252	2.492	23.508
Germany	6.929	700	1.343	1.705	913	781	1.629	14.000
N.Amer.	5.368	3.555	1.551	1.189	935	249	3.509	16.356
Japan	5.223	9.940	1.832	1.556	429	2.923	-	21.903
Thailand	1.500	28	491	2	4	11	416	2.450
Italy	978	141	697	802	478	443	978	4.517
Spain	941	64	100	119	304	213	156	1.897
France	848	128	241	154	282	201	195	2.049

Iz Tabele 4 gdje je analiza vršena samo vodeći zemalja po broju primjene industrijskih robota u različiti industrijskim granama dolazimo do zaključka u automobilskoj industriji je najviše instalirano robota u Kini, R. Koreji, Njemačkoj, N. Americi i Japanu. U Kini je instalirano 8.300 jedinica robota što predstavlja 20% ukupno instaliranih robota u automobilskoj industriji, gdje očit ova zemlja povećava investicije u proizvodne kapacitete automobilske industrije, a samim ti vrši automatizaciju i modernizaciju proizvodni procesa što utiče na povećanje primjene robota u proizvodne procese. Kad je u pitanju elektro/elektronička industrija vodeće zemlje u primjeni robota u ovoj industriji su: R. Koreja, Japan, Sjeverna Amerika i Kina. U kemijakoj industriji prednjače slijedeće zemlje: Japan, Sjeverna Amerika, Kina i Njemačka u pogonima proizvodnje plastike i gume. Ako pogledamo primjenu robota u metalnoj industriji vidje ćemo da je po veličini primjene robota redoslijed zemalja slijedeće: Kina, Njemačka, Japan i Sjeverna Amerika.

4. ZAKLJUČAK

Izvršena je analiza primjene Svjetskog trenda industrijskih robota u proizvodnim procesima. U analizu je uzeta godišnja i ukupna primjena industrijskih robota po kontinentima: Evropa, Amerika, Azija/Australia, i Afrika u periodu od 2008. – 2010. godine, u proizvodnim procesima kao što su: rukovanje materijalom, pakiranje, branje, automatizacija u industriji hrane, pića, farmaceutskoj, elektroničkoj, područje zavarivanja, proizvodnji sa alatnim mašinama, lijevanje, žigosanje, kovanje, savijanje i tako dalje. U analizu su uzete slijedeće industrije: poljoprivreda, šumarstvo, ribarstvo, rudarstvo, prehrambena, duhanska, tekstilna, papirna, drvna, koža, metalna industrija, plastika i kemijska industrija, elektro/elektronička industrija, automobilska industrija, građevinska industrija itd. Ukupni trend primjene industrijskih robota u Svijetu pratio je godišnji trend primjene robota tako da je prvo mjesto zauzela Azija/Australija sa 514.914 jedinica, zatim Evropa sa 343.329 jedinica, treće mjesto pripada Americi sa 173.977 jedinica i zadnje Africi sa 1.777 jedinica robota u 2010.

godini. Kada je procentualni odnos primjene industrijskih robota po kontinentima u 2010. godini u pitanju redoslijed je slijedeći: Azija/Australija ima 48%, Evropa 34% i Amerika 18%, a u Africi je toliko zanemariv broj primjene robota u odnosu na druge kontinente da je 0% u odnosu na ukupni broj primijenjenih broj robota u 2010. godini. Na osnovu navedenih tabela u tekstu zaključujemo da je u sve proizvodne procese u Svijetu u 2010. godini primjenjeno 118.335 jedinica robota, a ukupan broj koji je primjenjen u proizvodne procese u Svijetu u 2010. godini iznosi 1.035.016 jedinica robota. Od ukupnog broja 39% je primjenjeno u operacije rukovanja, 30% procese zavarivanja, 4% procese pakovanja, 9% u procese montaže i demontaže, 2% procese obrade i 16% u ostale proizvodne procese. Analizom Tabele 1 i Slike 4 došli smo do zaključka da je najveća primjena industrijskih robota u automobilske industriji 32.702 jedinice na godišnjem nivou u 2010. godini, elektro/elektronička industrija 30.745 jedinica robota, i na trećem mjestu je hemijska industrija sa 10.518 jedinica robota. Kada je ukupni broj primjene robota u 2010. godini na prvom mjestu je također automobilska industrija sa 373.223 jedinica ili 39% procenata, na drugom mjestu je elektro/elektronička industrija sa 146.539 jedinica ili 15% procenata, i treće mjestu zauzima hemijska industrija sa 101.046 jedinica ili 12% procenata. Metalna industrija zastupljena je sa 97.427 jedinica robota ili 10% procenata i sve ostale industrije koje nisu nabrojane zastupljene su sa 225.513 jedinica robota ili 24% procenata, od ukupnog broja primjenjeni robota u Svijetu. Na osnovu analize Slike 1 i 2 dolazimo do zaključka da u je trend primjene industrijskih robota od 2008. godine do 2013. godine u Evropi u stalnom povećanju na ukupnom nivou, a kada je godišnji nivo primjene u pitanju, u 2009 godini je primijenjeno 20.483 jedinice robota što predstavlja najmanju primjena (zbog finansijske industrijske krize) u zadnji šest godina. Trend primjene industrijskih robota u Americi od 2008.-2013. godine je u stalnom usponu, kada se analizira ukupni broj industrijskih robota. Kada je godišnja primjena industrijskih robota u Americi tako da je minimalna primjena u 2009. godine a razlog takve primjene je identičan onaj u Evropi. U Aziji/Australiji trend primjene industrijskih robota od 2008.-2010. godine je skoro konstantan nema veliki oscilacija, a od 2008.-2013 godine trend je u usponu kada je ukupna primjena robota u pitanju. Godišnja primjena industrijskih robota je u oscilacijama tako da je minimalna godišnja primjena zabilježena 2009. godine, a maksimalna primjena je zabilježena 2011. godine. U Africi od 2009.-2013. godine i na godišnjem nivou i ukupnom nivou trend je usponu. Ukoliko se radi o primjeni robota u proizvodnim procesima najveća primjena je u proizvodnom procesu zavarivanja 42%, zatim proces rukovanje 35% na trećem mjestu je proces montaže sa 16% procenata. Na kraju možemo zaključiti da se broj industrijskih robota svake godine povećava, a za trend povećanje je zaslužen razvoj novih tehnologija, informacione tehnologije, senzorske tehnologije te sama robotska tehnologija. U 21. stoljeću uloga industrijskih robota je nezamjenjiva, njihovom primjenom dolazi do razvoja i modernizacije i automatizacije može se reći svih proizvodnih procesa.

5. LITERATURA

- [1] Karabegović I., V.Doleček (2003), Primjena robota u 21. stoljeću, *4th International Scientific Conference on Production Engineering RIM 2003*, Bihać BiH, September 25th-27th 2003, (ISBN 9958-624-16-8), pp. 3-22.
- [2] Karabegović I., Doleček V., M.Jurković (2010), Application of Industrial robots in small and medium sized enterprises, *1st International Scientific Conference on Engineering MAT 2010, Mostar 18-20. November* (ISSN 1986-9126), pp. 1-7.
- [3] Karabegović I., Karabegović E., Husak E., (2011), Comparative analysis of the industrial robot application in Europa and Asia, *International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS Vol: 11 No:01*
- [4] World Robotics 2010, United Nations, New York and Geneva, 2010.
- [5] World Robotics 2008, United Nations, New York and Geneva, 2008.

- [6] World Robotics 2006, United Nations, New York and Geneva, 2006.
- [7] Karabegović, I., Jurković M., Doleček, V., (2005), Primjena industrijski robota u Evropi i Svijetu, 30. Savetovanje proizvodnog mašinstva, Vrnjačka Banja, SCG, 01-03. septembar 2005, pp.29-45.
- [8] Doleček V, Karabegović I. Robotika, Tehnički fakultet Bihać, Bihać, 2002.
- [9] Doleček V, Karabegović I. Roboti u industriji, Tehnički fakultet Bihać, Bihać, 2008.
- [10] Karabegović, I., Hodžić D., (2010), Application scenario of robot industry, CENT, M2-Br.2. (ISSN 1986-5201), pp.31-40.
- [11] Doleček, V., Karabegović, I., (2005), Diseminacija robota, uvodni referat, 5th International Scientific Conference on production Engineering Development and Modernization of Production RIM 2005, Bihać 14-17. septembar 2005, pp.3-20.
- [12] Karabegović, I., Doleček, V., (2007), Primjena industrijski robota u automobilske industriji, 5th International Scientific Conference on production Engineering Development and Modernization of Production RIM 2007, Plitvička jezera, 24-26. oktobar 2007, pp.49-50.
- [13] Karabegović I., V. Doleček (2003), Primjena robota u 21. stoljeću, 4th International Scientific Conference on Production Engineering RIM 2003, Bihać BiH, September 25th-27th 2003, (ISBN 9958-624-16-8), pp. 3-22.
- [14] Karabegović, I., Doleček, V., (2007), Primjena industrijski robota u automobilske industriji, 5th International Scientific Conference on production Engineering Development and Modernization of Production RIM 2007, Plitvička jezera, 24-26. oktobar 2007, pp.49-50.
- [15] Karabegović I., Čatović F., Hodžić D. (2008), Industrial Robot Applications in the Process Industries, 12th International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology" TMT 2008, Istanbul, Turkey, 26-30 August, 2008, (ISBN 978-9958-617-41-6), pp. 1317-1321.
- [16] Karabegović I, V. Doleček, (2013), Razvoj i primjena različitih mehatroničkih konstrukcija zmijoliki servisnih robota, 26. Međunarodni simpozij "Elektroinženjerski simpozij" Nove tehnologije -EIS 2013, Hrvatska, Šibenik, 05-08.05.2013, S13. (ISSN:1848-0772) pp.1-5.
- [17] Dev Anand, M.; Selvaraj, T.; Kumanan, S.; Ajith Bosco Raj, T. (2012). Robotics in online inspection and quality control using moment algorithm, *Advances in Production Engineering & Management*, Vol. 7, No. 1, 27-38.
- [18] Edwin Raja Dhas, J.; Sathesh, M. (2012). Multiple objective optimization of submerged arc welding process parameters using grey based fuzzy logic, *Advances in Production Engineering & Management*, Vol. 7, No. 1, 5-16.
- [19] <http://www.eu-nited-robotics.net/node/62>; 02.12.2013.
- [20] www.rfa-taktos.com/fsrobloadvic.html; 05.12.2013.
- [21] <http://www.robots.com/applications.php?app=drilling>; 20.12.2013.
- [22] www.islandone.org/LEOBiblio/milling_robot.htm; 20.12.2013-
- [23] www.rolan-robotics.nl/createsite/page/createpage.asp?b_id=5230&pg=5; 22.12.2013.
- [24] <http://www.kuka.com>, KUKA Roboter; 24.12.2013.
- [25] www.teknodrom.com/capa_uy.php; 12.01.2014.
- [26] www.microway.com.au/catalog/ontime/rtos-32.stm; 05.02.2014.
- [27] www.bara.org.uk/info_casestudies_motoman2.htm; 08.02.2014.
- [28] www.robotsltd.co.uk/robot-applications.htm; 08.02.2014.
- [29] <http://www.abb.com>, ABB Flexible Automation; 10.02.2014.
- [30] www.machine-outil.info/article.php?which=755; 10.02.2014.

ULOGA SERVISNIH ROBOTA U MODERNIZACIJI DRUŠTVA 21. STOLJEĆU

ROLE OF SERVICE ROBOTS IN MODERNIZATION OF SOCIETY OF 21ST CENTURY

Isak Karabegović¹, Vlatko Doleček²,

¹Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet Bihać,
dr. Irfana Ljubijankića bb., isak1910@hotmail.com

²ANU Bosne i Hercegovine, vldolecek@gmail.com

SAŽETAK:

Servisna robotska tehnologija je istovremeno i vrlo privlačna, izazovna i maštovita disciplina. Robotika kao nauka ima zadatak odnosno plemeniti cilj – na primjer, zamijeniti čovjeka pri obavljanju zamornih i jednoličnih, odnosno opasnih i po zdravlje štetnih poslova. Glavno otkriće robotike je da roboti i ljudi usko sarađuju u radu, kao sluge ili pomagači u svakodnevnom životu. Svaka nova generacija robota dobivala je naprednija obilježja u odnosu na prethodnu, što se prije svega odnosi na ostvareni stupanj inteligencije, prateću računarsku moć, poboljšane dinamičke pokazatelje i naprednije algoritme upravljanja. Razvoj informacijske tehnologije te napredak u tehnologiji senzora i pogona rezultiralo je procjenjuje se gotovo preko 300 različitih tipova ili prototipa servisnih robota za ne-proizvodne aplikacije za sve vrste poslova. Jedan od ključnih faktora razvoja servisne robotike je identificirani trendovi stanovništva treće dobi. U svijetu trend je porasta radnika koji odlaze u mirovinu i starije populacije stanovništva. Servisna robotika pred sobom ima izazov i priliku da nađe rješenja koja će zadovoljiti tu populaciju stanovništva sa stanovišta njihove zdravstvene, socijalne pomoći te pružiti im kompletnu pomoć i njegu. Servisni roboti dizajnirani su od profesionalni radnih mjesta do uslužni koji se koriste u područjima svakodnevnog života. Servisni roboti u 21. stoljeću će revolucionarno promijeniti i unaprijediti, modernizirati društvo u cjelini kako u procesima proizvodnje tako u uslužnim djelatnostima i pomoći čovjeku pri pružanju zdravstvene i socijalne pomoći.

Ključne riječi: robot, servisni robot, modernizacija, aplikacija robota, nove tehnologije

ABSTRACT:

Technology of service robotics is in the same time very attractive, challenging and imaginative discipline. Robotic as a science has task or better say noble objective – for instance, displace human being from doing tedious and monotonous, dangers and for life threatening jobs. The main finding robotics is robots and humans cooperate closely in the work as servants or helpers in everyday life. Each new generation of robots has received more advanced features than the previous, which is primarily related to the achieved level of intelligence, supporting computational power, improved dynamic performance indicators and advanced control algorithms.

The development of information technology and advances in sensor technology and actuators resulted in an estimated almost over 300 different types or prototypes of service robots for non-production applications for all types of jobs.

One of the key factors of the development of service robotics has identified trends in the aging population. In the world is increasing trend of retired workers and elderly people. Service robotics has a challenge and an opportunity to find a solution that will satisfy this category of the population from the standpoint of their health care, social assistance and provide them with complete support and care. Service robot are designed for width specter of tasks, from professional ones to service ones which are part of everyday life. Service robots in 21th century will revolutionary change, improve and modernize society both in production processes so in the service industry and help the human being in the provision of health and social welfare.

Keywords: robot, service robot, modernization, application of robots, new technologies

1. UVOD

Robotska tehnologija se bavi razvojem i implementacijom kako industrijskih robota isto tako i servisnih robota. Robotska tehnologija je višedisciplinarna naučna disciplina koja objedinjuje mnoga sistemsko znanja kao što su inženjerska mehanika, elektrotehnika, informacijske tehnologije, industrijski inženjering, ergonomija i marketing a zbog svog velikog značenja u postindustrijskom društvu, zadiru i u područje medicine, ekonomije, sociologije, filozofije i umjetnosti. Potražnja za ovakvim robotskim sistemima stvorila je potrebu za stvaranje potpuno autonomnih robota za razliku od teleoperiranih uređaja kojima upravlja čovjek. Razvoj ovakvih sistema predstavlja vrhunac razvoja vještačke inteligencije i to prvenstveno u aktivnostima kakvo je mapiranje. Servisni roboti koji po svom stepenu autonomnosti, predstavljaju prototip autonomnih robota danas u svom razvoju imaju dva akcenta: prvo, neophodno je razviti vrhunsku tehnologiju robota sa velikim stepenom autonomnosti i drugo sistem mora biti jednostavan i efikasan, te cijenom prihvatljiv širem tržištu. Nakon relativno dugog perioda ispitivanja i razočarenja, roboti su napokon izišli iz trgovina kako bi našli svoj put u našim kućama i uredima, muzejima i drugim javnim prostorima, u obliku samoupravljujućih pročišćivača zraka, kosilica za travu, usisivača, perača prozora, igračaka, kirurških operatera, itd. Servisni roboti su dizajnirani za obavljanje profesionalni zadataka u građevinarstvu, održavanju, inspekciji, poljoprivredi, medicini, te područjima primjene u svakodnevnom životu: kod kuće, na poslu u javnom okruženju itd.[1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 11, 12]. Servisni roboti su roboti, koji preuzimaju i uspješno izvršavaju sve više izazovnih zadataka. Roboti će prije ili kasnije promijeniti naš svakodnevni život, kao: pomoćnici, sluge, pomagači, stari prijatelji, pomagači hirurzima u medicinskim operacijama, intervencije u opasnim okruženjima bilo potrage ili spašavanja, u poljoprivredi i šumarstvu, čišćenje, kopanje, opasni transport, gradnja i rušenje. Glavno otkriće robotike je da roboti i ljudi usko sarađuju u radu, kao sluge ili pomagači u svakodnevnom životu. Pokazalo se da su roboti, baš kao i ljudi prolazili generacijske cikluse. Svaka nova generacija robota dobivala je naprednija obilježja u odnosu na prethodnu, što se prije svega odnosi na ostvareni stupanj inteligencije, prateću računarsku moć, poboljšane dinamičke pokazatelje i naprednije algoritme upravljanja. Robotika je razmjerno mlada tehnička grana, ali koja već ima svoju bogatu tradiciju.

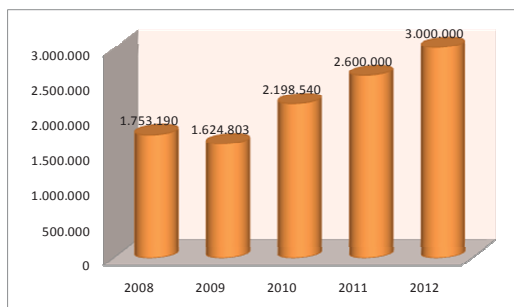
2. TREND DISTRIBUCIJE SERVISNIH ROBOTA U SVIJETU

Prema klasifikaciji koju je načinio i usvojio UNECE (*United National Economic Commission for Europe*) i IFR (*International Federation of Robotics*) servisni roboti su podjeljeni u dvije grupe:

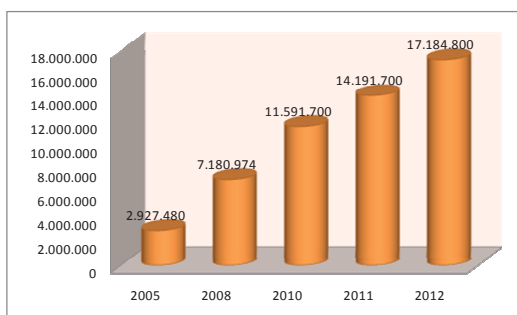
1. *personalni/kućni servisni roboti,*
2. *profesionalni servisni roboti.*

Osnovu statistički podaci koji su preuzeti iz [1, 2, 3, 4, 7] prikazana su na slici 1 i slici 2 koje grafički daju godišnju i ukupnu primjenu servisnih robota u Svijetu prema području primjene za ne-

proizvodne aplikacije od 2005-2012. godine. U personalne/kućne robote se ubrajaju: servisni roboti za usluge u domaćinstvu, servisni roboti za zabavu, servisni roboti za pomoć hendikepiranim osobama, servisni roboti za sigurnost i ostali servisni roboti za personalnu upotrebu. Detaljnije o ovim robotima ćemo govoriti u sljedećem poglavlju.

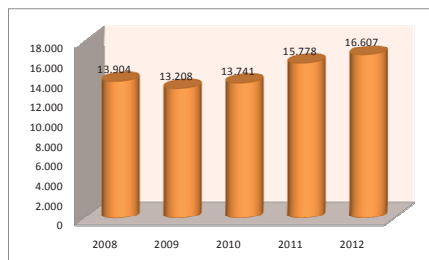


Slika 1: Godišnja primjena servisni robota za domaćinstvo i personalnu upotrebu od 2008. do 2012. godini



Slika 2: Ukupna primjena servisnih robota za domaćinstvo i personalnu upotrebu od 2005. do 2012. godini [1, 2]

Na osnovu slike 1. dolazimo do zaključka da se trend primijene (prodaje) servisnih robota na godišnjem nivou za domaćinstvo i personalnu upotrebu iz godine u godinu se povećeva, tako da je 2012. godine dostigao primjenu od 3.000.000 jedinica. Kada je ukupna primjena u pitanju trend primijene je u stalnom povećanju, tako što je u 2005.godini primijenjeno 2.927.480 jedinica servisnih robota, a već 2012. godine taj iznos primijene se uvećao na 17.184.800 jedinica servisnih robota kao što je pokazano na slici 2. Predviđanja su da će se primjena ovih servisnih robota povećavati, tako da će se za period 2013.-2016.godina povećati na 22.000.000 jedinica (kako se navodi u World Robotics 2012, IFR, United Nations, New York and Geneva, 2012). Analizirajući ove trendove može se donijeti zaključak da će se u narednih 20 godina tržište za ove robote stalno povećavati. Izvršimo analizu primjene profesionalnih servisnih robota na taj način što ćemo statističke podatke preuzeti iz International Federation of Robotics (IFR), te podataka Ekonomske komisije pri UN za Evropu (UNECE) i Organizacije za ekonomsku kooperaciju i razvoj (OECD) [1,2,3,4] i prikazati ih grafički na slijedećoj slici.



Slika 3: Primjena servisnih robota na godišnjem nivou za profesionalne usluge od 2008.-2012. godini

Trend primjene servisnih robota za profesionalnu uslugu je svake godine u usponu od 2009.-2012. godine, gdje je u 2012.godini dostigao količinu od 16.607 jedinica robota. U servisne robote za profesionalne usluge se ubrajaju slijedeći roboti: servisni roboti za poljoprivredu, servisni roboti za profesionalno čišćenje, servisni roboti za inspekciju i održavanje sistema, servisni roboti za konstrukciju i rušenje, servisni roboti za logistiku, servisni roboti za medicinske usluge, servisni roboti za sigurnost, servisni roboti za odbranu (vojni), servisni roboti za podvodne sisteme, mobilne platforme, servisni roboti za odnose sa javnošću i ostali servisni roboti koji nisu ovdje ubrojani. Predviđanja su da će se primjena ovih servisnih robota povećavati, tako da će za period 2013.-2016. godina uvećati se na iznos oko 94.000 jedinica, od toga će servisnih robota za odbranu (vojni) biti oko 28.000, te servisnih robota za poljoprivredu (mužu krava) oko 24.000 jedinica (kako se navodi u World Robotics 2012, IFR, United Nations, New York and Geneva, 2012).

3. APLIKACIJA SERVISNIH ROBOTA U SVIJETU

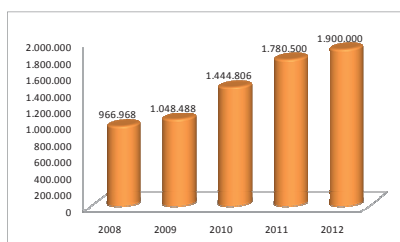
Razvojem informacionih tehnologija te napredak u tehnologiji senzora i servo-pogona povećavat će se sve više i više primjena servisnih robota kako za personalne/kućne servisne robote tako i servisne robote za profesionalne usluge. Razvoj navedenih tehnologija dovodi do razvoja servisnih robota koji će obavljati skoro sve vrste poslova kako za personalnu upotrebu isto tako i za profesionalne usluge.

3.1. Personalni/kućni servisni roboti

Pošto smo već naveli koji sve servisni roboti ubrajaju u personalne (kućne) servisne robote izvišmo analizu primjene pojedinačno ovih robota.

- *Servisni roboti za usluge u domaćinstvu*

Godišnja primjena servisnih robota za usluge u domaćinstvu prikazana je na slici 4.



Slika 4: Primjena servisnih robota za usluge u domaćinstvu na godišnjem nivou [1,2]

Kao što se iz dijagrama vidi iz godine u godinu primjena (prodaja) ovih robota se povećava, tako da se 2008. godine primjenilo 966.968 jedinica, a 2012. godine primjena je porasla na 1.9 miliona jedinica robota. Jedini je problem u tome što nismo u mogućnosti procijeniti koji od tih robota (koji su prethodne godine prodani) su u funkciji odnosno koji još rade. Aplikacije ovi robota za usluge u domaćinstvu su različite kao što pokazuje slika 5.

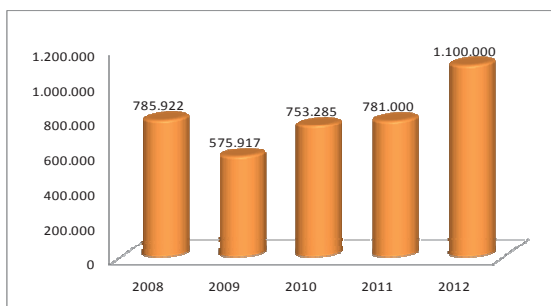


Slika 5: Aplikacija servisnih robota za usluge u domaćinstvu [4,13,14]

Kao što se može vidjeti sa slike 5. servisni roboti za usluge u domaćinstvu se koriste za sve vrste poslova od šišanja trave, usisavanje prašine, brisanja, pranja veša do različitih usluga domaćina i gosti u kući. Razvojem interakcije servisnih robota i čovjeka broj usluga će se stalno povećavati.

- *Servisni roboti za zabavu*

Godišnja primjena servisnih robota za zabavu prikazana je na slici 6.



Slika 6: Primjena servisnih robota za zabavu na godišnjem nivou [1,2,4]

Primjena servisnih robota za zabavu ima rastući trend sve od 2009. godine, kada se prodalo 575.917 jedinica robota sve do 2012. godine, gdje imamo 1.1 milion jedinica robota u primjeni. Samo neki primjeri servisnih robota za zabavu su prikazani na slijedećoj slici 7.

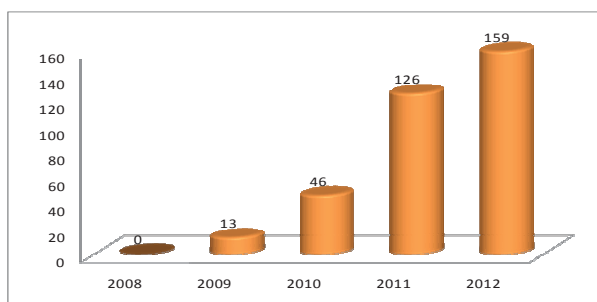


Slika 7: Neke vrste servisnih robota za zabavu[4,16]

Predviđanja su da će se primjena ovih servisnih robota povećavati za period 2013.-2016.godina i dostići vrijednost 3,5 miliona jedinica (navodi se u World Robotics 2012, IFR, United Nations, New York and Geneva, 2012).

- *Servisni roboti za hendikepirane osobe*

Primjena ovih robota može se reći u koliko se gledaju brojčane vrijednosti u odnosu na servisne robote za zabavu/igre i servisne robote za domaćinstvo/personalnu upotrebu je zanemariva, međutim jako važna jer se radi o osobama kojima je neophodna pomoć. Godišnja primjena robota za hendikepirane osobe je prikazana na slici 8.



Slika 8: Godišnja primjena servisnih robota za hendikepirane osobe

Dolazimo do zaključka da je došlo do razvoja ovih robota u zadnji pet godina tako da je u 2012. godini primjenjeno 159 jedinica servisnih robota. Nekoliko primjera servisnih robota za pomoć hendikepiranim osobama je prikazano na slici 9.



Slika 9: Aplikacija servisnih robota za pomoć hendikepiranim osobama [12,18]

Razvoj neuronskih mreža, genetskih metoda, senzorske tehnologije duva u jedra razvoja ovakve vrste servisni robota, tako da će u 21. stoljeću doći do veće primjene i različitih vrsta ovih robota koji će život hendikepiranom osobama učiniti kvalitetnijim.

3.2. Profesionalni servisni roboti

Statističke podatke o servisnim robotima za profesionalne usluge preuzeli smo iz literature [1, 2, 3, 4] koji su prikazani u tabeli 1. Prema strukturi koju smo naveli u poglavlju 2.

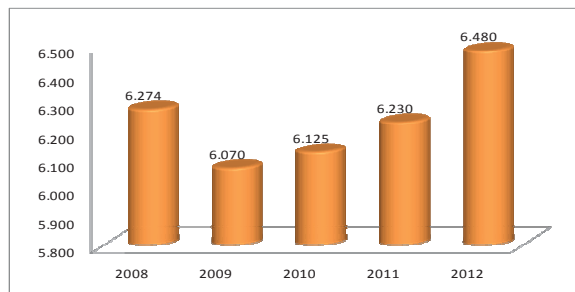
Tabela 1: Primjena profesionalnih servisnih robota za različite namjene

Primjena/godina	Godišnja primjena servisni robota				
	2008	2009	2010	2011	2012
<i>Poljopriv..servi. robotika</i>	4.959	4.013	4.198	5.286	5.300
<i>Profesiona. čišćenje</i>	156	220	240	368	427
<i>Insp.i održav. sistem.</i>	170	167	186	214	222
<i>Konstruk. i rušenje</i>	362	356	406	487	486
<i>Logistički sistemi</i>	533	826	906	1.235	1.376
<i>Medicinski ser.robotsi</i>	867	818	932	963	988
<i>Ser.robotsi za sigu.</i>	-	241	150	276	394
<i>Ser.robotsi za odbran.</i>	6.274	6.070	6.125	6.186	6.480
<i>Ser.rob. za podv.sist.</i>	182	126	174	236	285
<i>Mobilne platforme</i>	352	361	379	474	569
<i>Ser.rob.za odn.sa jav.</i>	41	38	29	38	63
<i>Ser.robotsi za ost. Ser.</i>	8	13	16	27	37
UKUPNO Σ	13.904	13.249	13.741	15.776	16.607

Vodeći računa o brojčanim podacima iz tabele 1 izvršimo analizu primjene najzastupljeniji profesionalnih servisnih robota.

• Servisni roboti za odbranu (vojni servisni roboti)

Na osnovu tabele 1 možemo zaključiti da se najviše primjenjuju servisni roboti za odbranu (vojni servisni roboti) gdje se iz godine u godinu povećava upotreba.



Slika 10: Godišnja primjena servisnih robota za odbranu-vojni servisni robota

Trend primjene servisnih robota za odbranu je rastući od 2009.-2012.godine kada je primjenjeno 6.480 jedinica ovih robota. Logičan je ovakav trend primjene vojnih robota jer razvijene zemlje kao USA nastoje iz ratovanja da povuku vojnike, a da ih zamijenu servisni roboti. Oni se koriste za izviđanje (bezpilotne letjelice, roboti zmijske), za prevoz vojnika, za oskrbu jedinica, za pomoć ranjenim vojnicima, roboti za deminiranje kao i za sve zadatke koji su vezani za odbranu. Primjeri nekih od navedenih robota prikazani su na slici 11.

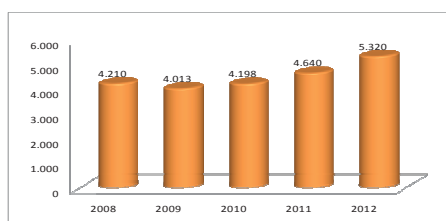


Slika 11: Određene konstrukcije servisnih robota za odbranu [4,20]

Kao što vidimo na slici 11 prikazan je jedan mali broj konstrukcija servisnih robota za odbranu (vojni servisni roboti), međutim arsenal servisnih robota za odbranu je daleko veći. Neprestano se pojavljuju nove konstrukcije servisnih robota za odbranu, a za to su zaslužene dvije stvari: razvoj i primjena novih tehnologija, kao i odlučnost pojedinih vlada zemalja da se odbrana i ratovanje vrši sa servisnim robotima, a ne vojnicima. Zbog ovog razloga se ulažu ogromna sredstva za razvoj servisnih robota za odbranu i ratovanje.

• Servisni roboti za poljoprivredu

Ideja primjene tehnologije robotike u poljoprivredi je vrlo nova. Glavna područja primjene servisnih robota u poljoprivredi je u žetvenoj fazi, voćarstvu, farmama krava, cvjećarstvu itd. U servisne robote za poljoprivredu se ubrajaju: roboti za branje voća, mužu krava, rad u polju, rad u staklenicima, šišanje ovaca su dizajnirani za zamjenu ljudskog rada, i drugi servisni roboti koji ovdje nisu nabrojani.



Slika 12: Godišnja primjena servisnih robota za poljoprivredu za period 2008.-2012.god.

Na osnovu slike 12 dolazimo do zaključka da se trend primjene servisnih robota za poljoprivredu od 2009.-2012. godine kontinuirano povećava i u 2012.god. primjena je bila 5.320 jedinica. Ovakav trend povećanja će se nastaviti u narednom periodu kao što predviđa World Robotics 2012, IFR, United Nations, New York and Geneva, 2012. da će do 2016. Godine primjeniti 24.500 jedinira robota za mužu krava. Aplikacije servisnih robota u poljoprivredi su mnoge, a neke od njih su prikazane na slijedećoj slici.

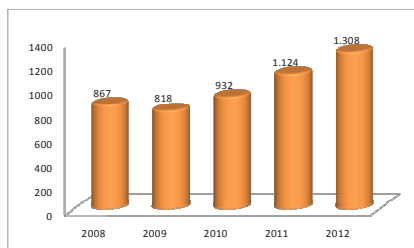


Slika 13: Aplikacija servisnih robota u poljoprivredi [4,23]

Servisni roboti za poljoprivredu se sve više razvijaju da bi zamijenili ljude u obavljanju teški fizički poslova, skratili vrijeme rada i samim tim utjecali na cijenu proizvoda koji dolaze iz poljoprivredne industrije.

- *Servisni roboti za medicinu*

Danas servisni roboti zauzimaju značajno mjesto u medicini. Prednosti ovih robota u revolucionarnoj kliničkoj praksi su brojne: olakšavaju medicinske procese uz precizno vođenje instrumenata, primjena dijagnostičkih uređaja i alata za dijagnostiku i terapiju, povećanje sigurnosti i ukupnog kvaliteta operacije, bolja skrb o bolesniku, edukacija i osposobljavanje stručnog osoblja se izvodi kroz simulaciju, te promocija korištenja informacija u dijagnostici i terapiji.



Slika 14: Primjena servisnih robota za medicinu na godišnjem nivou za 2008.-2012.godinu

Iz godine u godinu broj primjene servisnih robota za medicinu se povećava kao što pokazuje slika 14, tako da se u 2012. godini primjenilo 1.308 jedinica robota. Aplikacija servisnih robota u medicini je u: kirurgiji, neurokirurgiji, ortopediji, endoskopiji, tačkasto zračenju, colonoskopiji, liječenje na daljinu, opsluživanje pacijenata, te za rehabilitaciju pacijenata. Određene servisne robote za medicinu prikazati ćemo na slijedećoj slici.

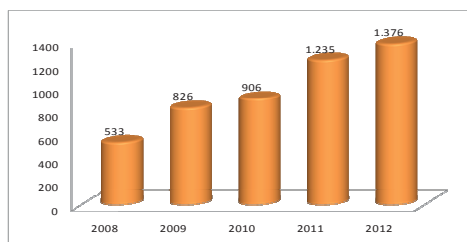


Slika 15: Aplikacija servisnih robota u medicini [4, 24]

Robotski kirurški sistemi su postali glavna osobina u operacijskim sobama, unapređujući polje minimalno invazivne kirurgije. Kirurški robotski sistemi označavaju početak potencijalno velikog vala kirurških aplikacija za robotsku tehnologiju. Uz pomoć kirurških robota, kirurzi će moći proširiti svoje sposobnosti liječenja na mjestima u ljudskom tijelu koja su trenutno izvan dosega. Kontinuirani razvoj ove tehnologije obećava goleme prednosti u liječenju koja se još ne mogu zamisliti.

• Servisni roboti za logistiku

Servisni roboti za logistiku se sve više koriste u proizvodnim procesima, gdje se vrši modernizacija i automatizacija. Na taj način se smanjuje vrijeme transporta u procesu montaže, proizvodnje i transportu gotovih proizvoda, kao i komisioniranje proizvoda za kupca. Na slici 16. prikazana je primjena servisnih robota za logistiku.



Slika 16: Primjena servisnih robota za logistiku u periodu 2008.-2012.godine

Zaključujemo na osnovu slike 16 da je trend rastući sve od 2008. godine, tako da je u 2012. godini dostigao primjenu 1.378 jedinica robota. Kao što se u World Robotics 2012, IFR, United Nations, New York and Geneva, 2012. navodi od 1378 jedinica samo je 796 jedinica automatizovana vođena vozila, a 557 jedinica primjenjeno u neproizvodno okruženje. Sam razvoj servisnih robota za logistiku u 21. stoljeću je pored transporta u proizvodnim pogonima, usmjeren za potpuno automatizirani transport ljudi u gradskom saobraćaju. Do potpune primjene ovakve vrste transporta zahtjeva i razvoj drugih naučnih disciplina, kao što je razvoj inteligentnih saobraćajnica po kojima bi se kretali servisni roboti za logistiku. Na slijedećim slikama su prikazana određena konstrukciona rješenja servisnih robota za logistiku.



Slika 17: Određene konstrukcije servisnih robota za logistiku [4, 23]

Uprkos relativno visokom trošku instalacije, profitabilnost opisanih aplikacija se koristi u tri smjene rada servisnih robota na otvorenom. U odnosu na ukupni trošak sistema, autonomna navigacija daje mogućnosti da se smanji trošak svake stavke koje bi se trebale isplatiti relativno brzo. Isto tako, potreba za ljudskim resursom je smanjena, pa je tako izraženo rezanje troškova plaćanja.

4. ZAKLJUČAK

Sve veća upotreba robota ima i svoje društvene posljedice. Njihovim uvođenjem u tvorničke hale bez posla ostaje veliki broj nekvalificiranih i polukvalificiranih radnika koji su do sada obavljali jednostavne, opasne i dosadne poslove. Njima ne preostaje ništa drugo nego da se prekvalificiraju. Uz užurbanu kompjuterizaciju svih oblika poslovanja i ogromnu ekspanziju interneta za očekivati je da će u 21. stoljeću doći do velikog rascijepa između onih koji su tehnološki napredni i onih koji su izgubili priključak s modernim vremenima. Većina ljudi uopće nije svjesna u kojoj mjeri su roboti već zastupljeni unutar njihovog života. Njihovi automobili i kompjuteri su gotovo sigurno djelomično sklopljeni uz pomoć robota. Cijena robota, kao što je rečeno, stalno pada i roboti sve više ulaze u široku upotrebu. Samo je pitanje vremena kada će roboti postati dostupni populaciji današnjih srednjoškolaca, baš kao što se to dogodilo s kompjuterima i mobitelima. Na kraju možemo zaključiti da je 21. stoljeće servisni robota koji će uz komunikaciju sa ljudima olakšati i život učiniti kvalitetniji cijeloj populaciji na planeti.

5. LITERATURA

- [1] Karabegović I., V.Doleček (2003), Primjena robota u 21. stoljeću, *4th International Scientific Conference on Production Engineering RIM 2003*, Bihać BiH, September 25th-27th 2003, (ISBN 9958-624-16-8), pp. 3-22.
- [2] World Robotics Service Robots 2010, United Nations, New York and Geneva, 2012.
- [3] World Robotics Service Robots 2008, United Nations, New York and Geneva, 2010.
- [4] World Robotics Service Robots 2006, United Nations, New York and Geneva, 2008.
- [5] Karabegović I., Doleček V., Servisni roboti, Društvo za robotiku BiH, Bihać, Bihać, 2012.
- [6] Doleček V., Karabegović I. Robotika, Tehnički fakultet Bihać, Bihać, 2002.
- [7] Doleček V., Karabegović I. Roboti u industriji, Tehnički fakultet Bihać, Bihać, 2008.
- [8] Karabegović, I., Hodžić D., (2010), Application scenario of robot industry, *CENT,M2-Br.2*.(ISSN 1986-5201), pp.31-40.
- [9] Karabegović I., V.Doleček (2003), Primjena robota u 21. stoljeću, *4th International Scientific Conference on Production Engineering RIM 2003*, Bihać BiH, September 25th-27th 2003, (ISBN 9958-624-16-8), pp. 3-22.
- [10] Karabegović, I. Karabegović, E., Mijović, B., Ujević, D., (2010), Roboti primjenjeni u medicinskim ustanovama”, *3. Međunarodni stručno-znanstveni skup, Zadar*, 22-25. rujna, pp. 321-327
- [11] Karabegović, I., Karabegović, E., Husak, E., (2010), Ergonomic integration of service robots with human body, *4th International ergonomics conference*, Stubičke Toplice, june 30 till july 3, (ISBN 978-953-98741-5-3), pp. 249-254.
- [12] Karabegović, I., Pašić, S., Hodžić, D., (2010), Fuzzy Logic Applications in Control Process of Mobile Robots, *International Conference on Modeling and Simulation “MS’10 Prague*, Czech Republic, 22-25 June 2010, (ISBN 978-80-01-04574-9), S004.
- [13] Karabegović, I., Begić, Š., Hodžić, D., (2009), Primjena servisnih robota u različitim područjima, *18. Međunarodni Elektroinžinjski simpozij- EIS 2009*, Šibenik Hrvatska, 3-6. maj , 2009, S8, pp.12-16.
- [14] Karabegović, I., Lelić, M., Husak, E., (2009), Aplikacija servisnih robota u medicinskim ustanovama, *18. Međunarodni Elektroinžinjski simpozij- EIS 2009*, Šibenik Hrvatska, 3-6. maj , 2009, S8, pp.17-24.
- [15] <http://www.ai.rug.nl/robocupathome/06.01.2014>.
- [16] <http://www.worldrobotics.org/modules.php?name=News&file=article&sid=3;10.01.2014>.
- [17] <http://www.ifr.org/news/ifr-press-release/ifr-round-table-on-the-future-of-robotics-153/;17.01.2014>.
- [18] <http://robotland.blogspot.com/;21.01.2014>.
- [19] <http://spectrum.ieee.org/blog/automaton?offset=10&max=10;24.01.2014>.
- [20] <http://robots.net/>, <http://www.androidworld.com/>, <http://slashdot.org/;01.02.2014>.
- [21] <http://www.gorobotics.net/;http://www.engadget.com/;http://www.robotcafe.com/;04.02.2014>.
- [22] <http://www.therobotreport.com/;08.02.2014>.
- [23] <http://spectrum.ieee.org/blog/automaton?offset=10&max=10etc.;12.02.2014>.
- [24] <http://www.astro.mech.tohoku.ac.jp/FSR2011;15.02.2014>.
- [25] <http://www.rec.ri.cmu.edu/fsr;21.02.2014>.
- [26] Madani, R.; Moroz, A.; Baines, E. (2013). Design and manufacturing of children’s remote control for child viewing, *Advances in Production Engineering & Management*, Vol. 8, No. 2, 116-125.
- [27] Naadimuthu, G.; Liu, Y.L.; Lee, E.S. (2012). Multi-period production planning under fuzzy conditions, *Advances in Production Engineering & Management*, Vol. 7, No. 1, 61-73.

NAPREDNE TEHNOLOGIJE SPAJANJA U MASOVNOJ PROIZVODNJI

ADVANCED JOINING PROCESSES IN MASS PRODUCTION

¹Ivan Polajnar; ²Darko Bajić; ³Samir Vojić

¹Institut za varilstvo, Ptujška 19, 1000 Ljubljana, Slovenia

²Mašinski fakultet, Univerzitet Crne Gore. 8000 Podgorica, Crna gora

³Tehnički fakultet, Univerzitet u Bihaću, 7700 Bihać, Bosna i Hercegovina

SAŽETAK:

U masovnoj proizvodnji, bez razlike o kojoj se vrsti proizvoda radi, uz uobičajene tehnologije spajanja u pretežnom dijelu se upotrebljavaju takođe savršene, nazvane i napredne tehnologije spajanja. Osnovni i najbitniji atributi upotrebljenih proizvodnih tehnologija u masovnoj proizvodnji su: zadovoljavanje postojećih kriterija kvaliteta, uz što veću mogućnost postizanja visoke produktivnosti i malih proizvodnih troškova.

Sadržaj predstojećeg rada je dobrim djelom oblikovan na osnovi ličnog poznavanja stvarnih tehnoloških rješenja u realnim industrijskim uslovima, a subjektivna razmišljanja su poduprta i sa prikupljenim informacijama iz dostupne literature.

Ključne riječi: *novi materijali, lijepljenje, lemljenje, mehaničko spajanje, zavarivanje, kvalitet, produktivnost*

ABSTRACT:

In production of large quantities production modern technologies are used next to standard technologies. The modern technologies have to satisfy the existing quality criteria and at the same time enable high productivity and low costs of production. Which technology from the ones available will be used for a certain product and a certain phase depends on the given facts and the imposed limitations.

This article briefly presents personal experiences from automotive and electric industry in real environment, which are supported by information from approachable literature.

Keywords: *new materials, adhesive bonding, brazing and soldering, mechanical joining, welding, quality, productivity*

1. UVOD

Kad se na bilo kom području spomene riječ napredno, razumije se, da se radi o nečemu novome. Ipak to ne znači, da ono što je napredno mora istovremeno biti i nešto revolucionarno. Logično je, da se je ovakvo razumjevanje naprednosti usvojilo i u tehnici uopšte, kao i na području tehnologije spajanja.

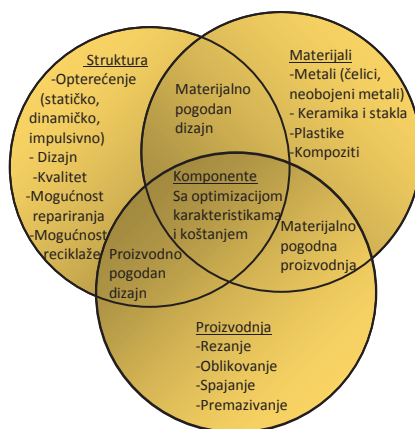
Ako se ograniči na tehnologije spajanja (koje mogu biti stvorene taljenjem, lemljenjem, lijepljenjem ili mehaničkim preoblikovanjem), onda se slobodno može reći, da na elementarnom nivou za te vrste tehnologija već dugo nije otkrivena i/ili uvedena stvarno revolucionarna novina. Na širokom polju proizvodnih nauka, najveće novosti proizlaze iz boljeg, prvenstveno produbljenog poznavanja samog tehnološkog procesa [1,2,3]. Naime, iz boljeg poznavanja elementarnih zakonitosti, neke do jučer neupotrebljivih ili rizično upotrebljivih tehnologija, postale su od koristi, a često i normalno upotrebljive. Karakterističan primjer slabe ili uslovne zavarljivosti sa klasičnim postupcima, predstavljaju materijali Al, Mg i njihove legure. Sa novim pristupom ti metali su postali potpuno zavarljivi i neproblematični u postizanju kvaliteta.

Tako su u članku opisane i predstavljene tehnologije spajanja, vezane za masovnu proizvodnju, a nikako se ne radi o njihovoj ekskluzivnoj upotrebi. Sve te tehnologije spajanja se mogu naći u maloserijskoj, pa i u savremenoj individualnoj proizvodnji. Ali činjenica ostaje, da se najnovija tehnološka rješenja po pravilu uvode najprije u masovnoj proizvodnji, jer se i kod relativno malih ušteda na jedinicu proizvoda mogu uložena sredstva dosta brzo amortizovati. Pristup ka izrađenom sadržaju proizilazi iz ličnog iskustva i sorazmjerno dobrog poznavanja stanja u domaćoj, a djelimično i u stranoj industriji, prije svega u automobilske (CIMOS, REVOZ), industriji kućanskih aparata (GORENJE, LTH) i elektroindustriji (DOMEL, ISKRA).

Usvajane šeme i prikazane ilustracije su u najvećoj mjeri preuzete iz veoma dostupne domaće i strane literature, naravno u najvećoj mjeri one, kojom se služe zavarivači. To je u velikoj mjeri uzrokovalo, da su od ravnopravnog i načelnog tretiranja svih tehnologija spajanja ipak došle u prvi plan tehnologije zavarivanja. Prirodno je, da će mnogi poznavaoци tehnologije spajanja u drugim granama masovne proizvodnje ocijeniti, da je prikazano viđenje postojećeg stanja nepotpuno i subjektivno. To pogotovo važi za one grane masovne proizvodnje, gdje su metalni materijali manje značajni ili potpuno beznačajni (odjevna, obućarska, ...). Ali ako se uzme u obzir činjenica, da su u metaloprerađivačkoj i u elektroindustriji metali još uvijek najznačajniji materijali, a za metale se zna, da su postupci zavarivanja po pravilu najpogodnija tehnologija spajanja, onda je već bliže objektivnom stanju (barem za spomenute grane industrije). Ne najzadnje, valja imati na umu poruku tehnolozima: *»If it is metal, weld it«*. To znači, metalne materijale je najpovoljnije spajati sa zavarivanjem!

2. UTICAJNI FAKTORI

Slično kao i za druge vrste proizvodnje, važi i za masovnu proizvodnju u metaloprerađivačkoj industriji, da se upotrebljava širok spektar različitih materijala, a to znači, da se uz metalne materijale, koji su nekad imali apsolutnu dominaciju, sve češće i sve brže uvodi upotreba polimernih i kompozitnih materijala. To znači, da se savremene tehnologije spajanja moraju prilagođavati na samo novim vrstama upotrebljivih materijala već i spajanju njihovim višebrojn timer kombinacijama. Globalizacija svjetske privrede donijela je radikalne promjene kod proizvodno organizacijskih razmišljanja, a to je dovelo do potrebe permanentnog snižavanja cijena istih ili sličnih proizvoda. Funkcionalno istom proizvodu se može smanjiti njegova cijena sa mijenjanjem njihove osnovne konstrukcije, promjenom upotrebljivih materijala i/ili sa promjenom tehnologije izrade, Slika 1. [4,5,6].



Slika 1: Osnovni utjecajni faktori kod izradnih tehnologija

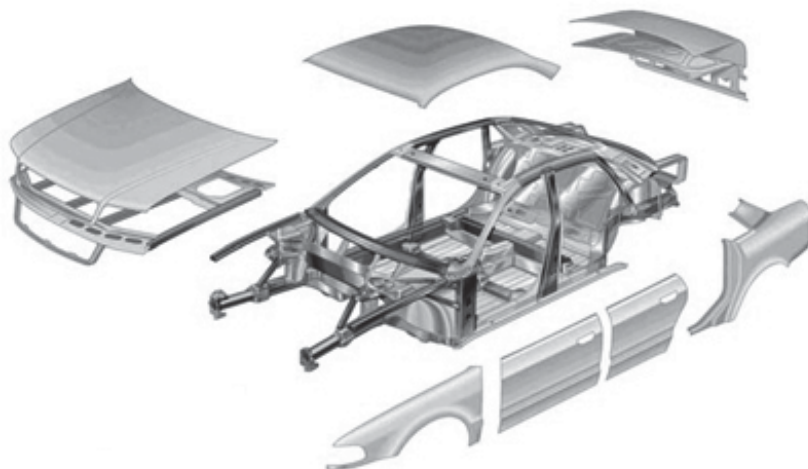
A kod izrade zauzimaju tehnologije spajanja značajan udio, pogotovo, kada su u pitanju složeni proizvodi kao što je npr. automobil. Upotreba druge vrste materijala omogućava ili pak traži drugačiju tehnologiju spajanja, a ta opet omogućava ili traži drugačiju pripremu spojeva, što znači i za obrnute relacije. Karakterističan primjer, kako se uvođenje novih materijala odražava na promjenu upotrebljivih tehnologija i na konstrukciju, predstavljaju nove generacije automobila. Zahtjevi po smanjenju mase automobila doveli su do uvođenja lakih materijala. Ali se uz upotrebu novih materijala nije smjela smanjiti pasivna sigurnost putnika.

To je dovelo do toga, da se je prije krute konstrukcije zamijenilo sa prostornim nosačima, kod kojih se u slučaju sudara veći dio kinetičke energije pretvara u deformacioni rad.

Ilustrativan je i slijedeći primjer, takođe iz automobilske industrije. Sa upotrebom krojenja limova (tailored blanks), koje se bazira na razbijanju homogenih (polu)proizvoda na više manjih poluproizvoda, koje treba naravno spajati (najčešće zavarivanjem) i time stvoriti prvobitni oblik; došlo je do izuzetnog rasta upotrebe novih tehnologija spajanja u industriji. Osnovni razlog za taj, na oko neracionalan pristup je u slijedećim argumentima [7, 8, 9]:

sniženje mase i cijene (polu)proizvoda,
proširene i/ili usavršene određene karakteristike (hemijske, fizikalne, mehaničke,...).

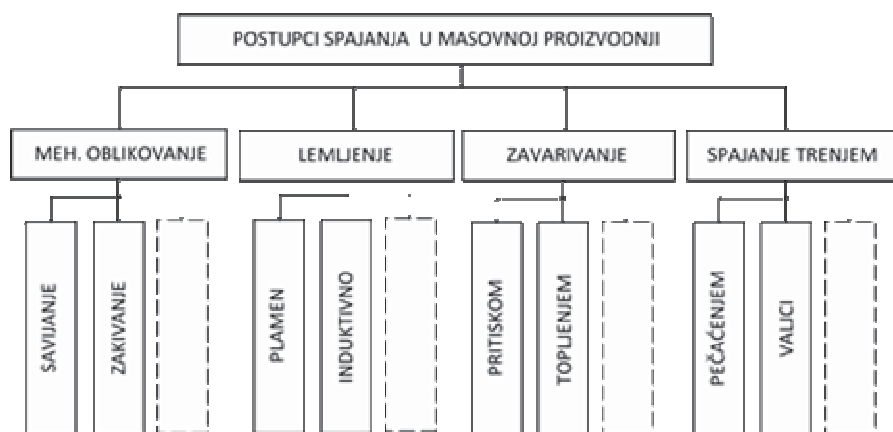
Karakterističan i veoma poučan je primjer »razgradnje« luksuznog automobila, koja se po novom izrađuje mnogo komplikovanije, ali puno jeftinije i na kraju sa boljim upotrebnim karakteristikama, slika 2.



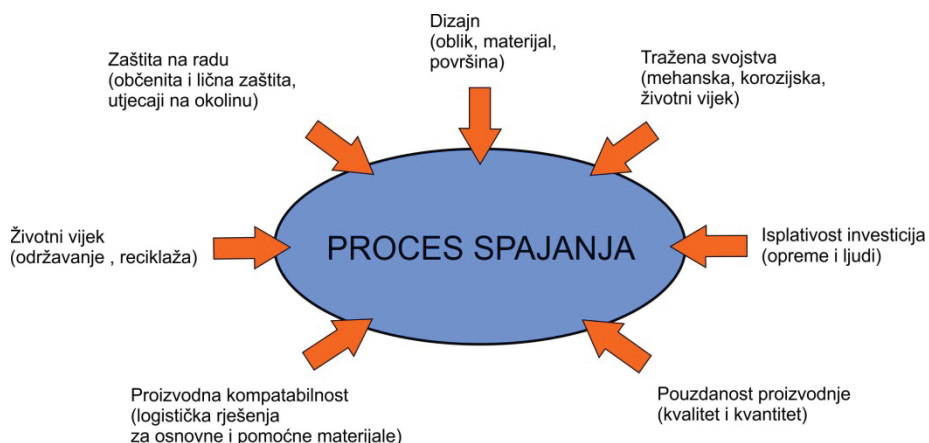
Slika 2: Karakterističan primjer upotrebe tehnologije krojenje limova

3. TEHNOLOGIJE SPAJANJA

U predloženom izlaganju praktično je nemoguće obraditi sve postojeće tehnologije spajanja, koje se danas upotrebljavaju na uskom segmentu određene proizvodnje, još toliko teže na tako širokom polju, kao što ga obuhvata masovna proizvodnja. Sa prikazom principijelnog razgraničenja, ipak je moguće obuhvatiti najveći dio tehnologija spajanja, koji se danas može naći u industriji, slika 3. Načelno se za različite (polu)proizvode upotrebljavaju različite tehnologije spajanja i to na odvojenim mjestima, a često se mogu za isti proizvod na istom mjestu i u isto vrijeme upotrijebiti i više različitih tehnologija, što je u masovnoj proizvodnji i skoro pravilo, slika 4.



Slika 3: Principijelno razgraničenje tehnologija spajanja, pogodnih za masovnu proizvodnju

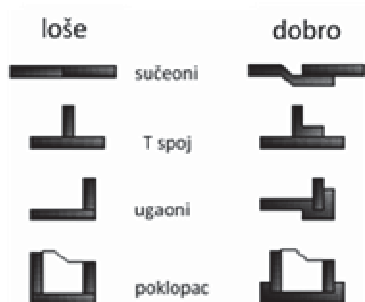


Slika 4: Ključni elementi utjecaja na izbor tehnologija spajanja

4. PRIMJERI NEPOSREDNE UPOTREBE

4.1. Lijepljenje

Lijepljenje je dosta česta tehnologija spajanja, pogotovo kada se moraju spajati različiti materijali i kada se od spojeva traži hermetičnost. Tipičan primjer takvih spojeva je lijepljenje vetrobranskih stakala luksuznih automobila, kamiona i autobusa, slika 5.

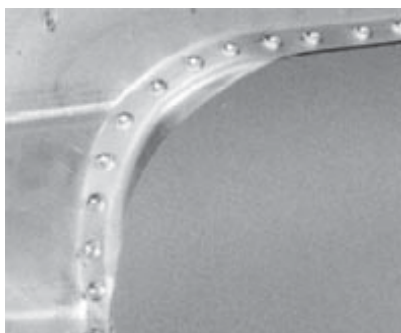
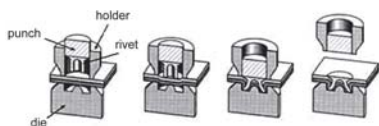


Slika 5: Principijelna shema neprikladnih i prikladnih spojeva (lijevo). Primjer lijepljenja vetrobranskog stakla luksuznog automobila (desno)

4.2. Spajanje mehaničkim preoblikovanjem

Probijalno zakivanje

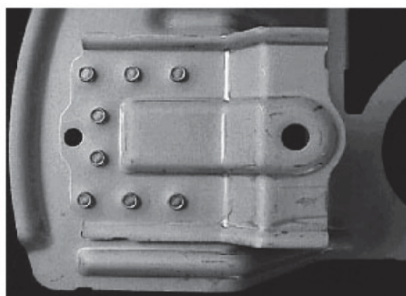
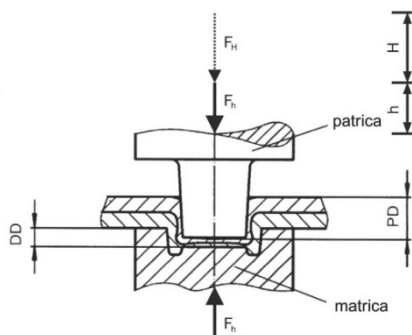
Pogotovo u automobilskoj industriji se često upotrebljavaju spojevi sa različitim zakivicama (slijepe, šuplje i eksplozijske), slika 5. Kada se od spoja traži, da je jedna strana površine glatka, upotrebljava se probojno zakivanje sa polušupljim zakivicama. Nosivost takvih spojeva zavisi od vrste materijala zakovica, njihovog oblika i dimenzija, kao i od stepena njihovog plastičnog preoblikovanja i uspješnosti vezanja sa osnovnim materijalom, [11].



Slika 6: Principijelna shema probijalnog zakivanja (lijevo); praktičan primjer Volvo automobila (desno)

Spajanje po sistemu TOX

Kod tog mehaničkog sistema spajanja od bitnog značaja je precizno formiranje patrice i matrice, koje moraju preoblikovati osnovni materijal tako, da dođe do uspješnog zagostivljanja, slika 7, lijevo. Ekonomičnost postupka i njegova primjenljivost u masovnoj proizvodnji postiže se sa pneumatskohidrauličnim sistemom pokretanja patrica (veliki posmak H , sa malom silom F_H – pneumatski i mali posmak utiskivanja h , sa velikom silom F_h – hidraulički). Ta tehnologija je izvanredno pogodna kod spajanja različitih vrsta plastičnih materijala manje debljine, slika 7 desno.



Slika 7: Principijelan i praktičan primjer spajanja kućišta po sistemu TOX

Spajanje vijaćenjem

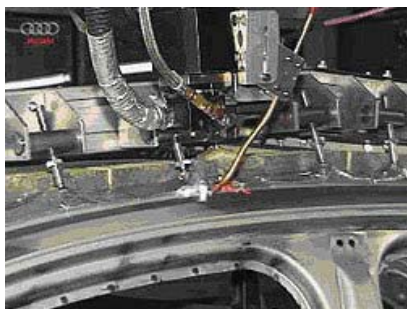
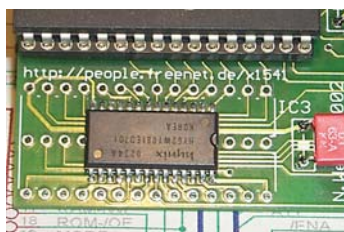
Vijačenje je još uvijek dosta pogodna tehnologija spajanja, pogotovo kada se radi o spajanju različitih vrsta materijala i/ili različitih debljina. Vijci mogu biti standardni – metrični sa maticama ili samourezni, različiti po obliku glava i dimenzijama, slika 8.



Slika 8: Različite vrste vijaka i različite vrste spojeva

Lemljenje

Lemljenje je jedna od najčešćijih tehnologija spajanja u elektroindustriji, pogotovo zbog stvaranja dobrih i kvalitetnih kontaktnih spojeva između različitih prenosnika struje, slika 9 lijevo. Tu tehnologiju, kao tvrdo lemljenje, možemo često naći i u automobilske industriji, pogotovo na onim mjestima, kada se od spojeva traži hermetičnost uz male deformacije. Takav primjer sa upotrebom laserskog izvora za taljenje lema pokazuje i slika 9 desno, [12].



Slika 9: Meko lemljenje elektr. ploče (lijevo); Lasersko lemljenje krova automobila (desno)

4.3. Zavarivanje

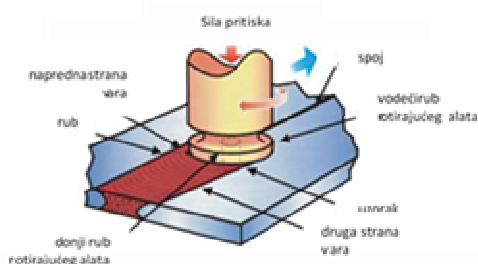
4.3.1. Postupci zavarivanja sa pritiskom

Zavarivanje obuhvata izvanredno široku paletu različitih postupaka spajanja, sa kojima se može zavarivati doslovce sve metalne materijale i veliki broj polimernih materijala. U zavisnosti od vrste i debljine materijala, zahtjeva kojim moraju udovoljavati zavareni spojevi i uslova u kojim će se takav

spoj naći, broja izvedenih spojeva i naravno mogućnosti, biraju se optimalna rješenja. U masovnoj proizvodnji to znači, da će se često na istom proizvodu i na istom radnom mjestu pojaviti više postupaka zavarivanja, nekad odvojeno a u najnovije vrijeme i kao hibridni postupci zavarivanja, [13, 14].

Zavarivanje trenjem

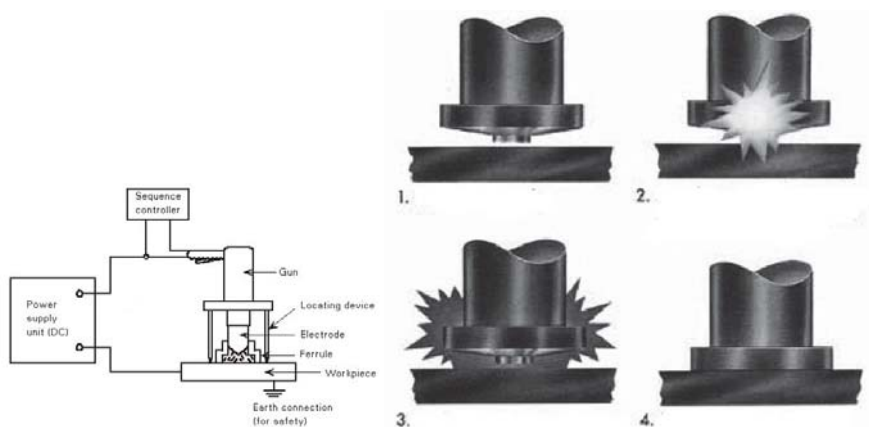
Ta tehnologija spajanja afirmisala se pogotovo kod zavarivanja aluminija i njihovih legura. Kod različitih postupaka zavarivanja po tom principu, u zadnje vrijeme najveću ekspanziju doživljava sučeljno zavarivanje sa rotirajućom glavom (Friction Stir Welding), slika 10.



Slika 10: Principijelna shema FSW zavarivanja i primjer zavarivanja aluminija

Zavarivanje čepova

To je postupak zavarivanja, koji se u principu bazira na uspostavljanju električnog luka (često uz praznjenje kondenzatora) između vijka, sornika ili čepa i osnove, na koju se takav predmet zavaruje. Poslije rastaljivanja vrha takvog predmeta, slijedi zabijanje, sa čime se u veoma kratkom vremenu stvori kvalitetan var, dobrih mehaničkih osobina, slika 11.



Slika 11: Principijelna shema zavarivanja čepova (lijevo) sa fazama zavarivanja (desno)

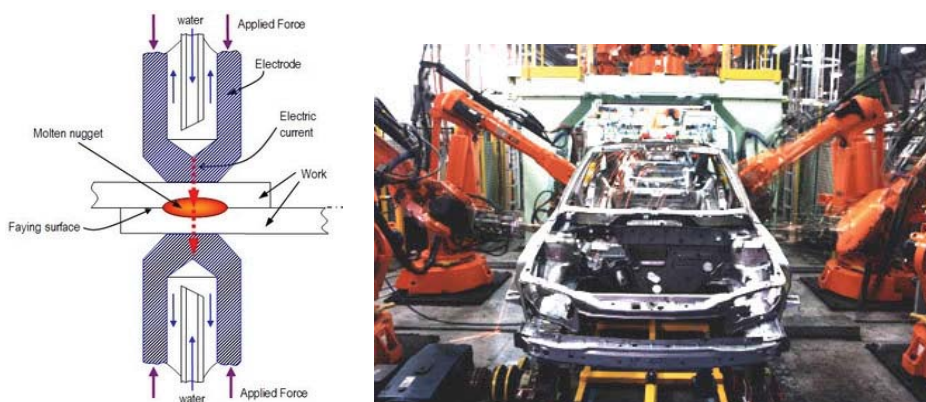
Elektrotoporno zavarivanje

Ako je za koju od tehnologije zavarivanja karakteristično, da je pogodna za masivnu proizvodnju, onda je to u najvećoj mjeri baš elektrotoporno zavarivanje. Poslije kovačkog zavarivanja to je jedan od najstarijih principa zavarivanja, koji se odlikuje velikom produktivnošću, malom potrošnjom energije i vremena na jedinicu proizvoda, jednostavnom i robustnom opremom za rad i sa malim smetnjama za okolinu.

Tačkasto zavarivanje

U sklopu elektrotopornog zavarivanja postoji više različitih postupaka, osnovna podjela zavisi od vrste spojeva. Za preklopne spojeve sa pojedinim zavarnim tačkama se upotrebljava tačkasto ili bradavično zavarivanje, a kod kontinuiranih zavarih upotrebljava se kolutno elektrotoporno zavarivanje.

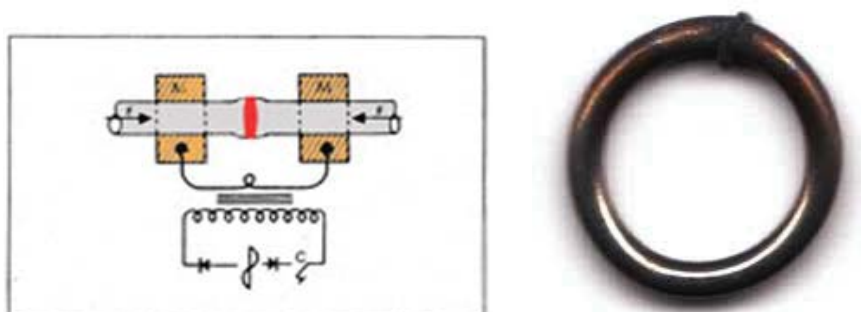
U automobilskoj i elektroindustriji najčešće se susrećemo sa tačkastim i/ili bradavičnim elektrotopornim zavarivanjem, jer su ti postupci veoma pogodni i za robotiziranu tehnologiju zavarivanja, slika 12.



Slika 12: Principijelna shema elektrotopornog tačkastog zavarivanja i fotografija robotiziranog zavarivanja automobilske karoserije

Sučeljno zavarivanje

Tako se za sučeljne spojeve manjih presjeka upotrebljava elektrotoporno zavarivanje sa sabijanjem a za veće presjeke sa varničenjem, slika 13.

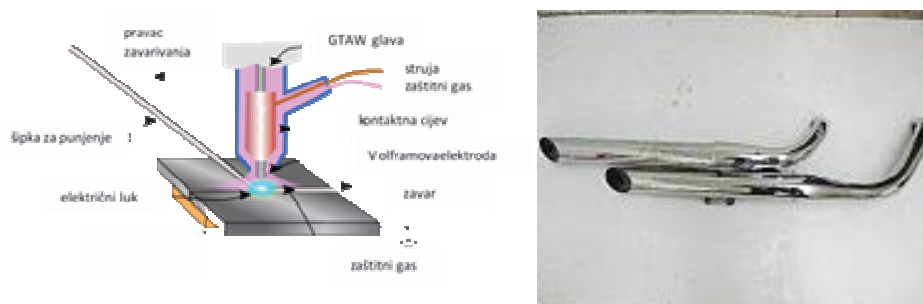


Slika 13: Principijelna shema sučelnog elektrootpornog zavarivanja i karakterističan proizvod

4.3.2. Postupci zavarivanja taljenjem

TIG zavarivanje

U masovnoj proizvodnji upotrebljava se TIG postupak prvenstveno za tanje materijale i kada su u pitanju specijalni proizvodi, slika 14, [17, 18].

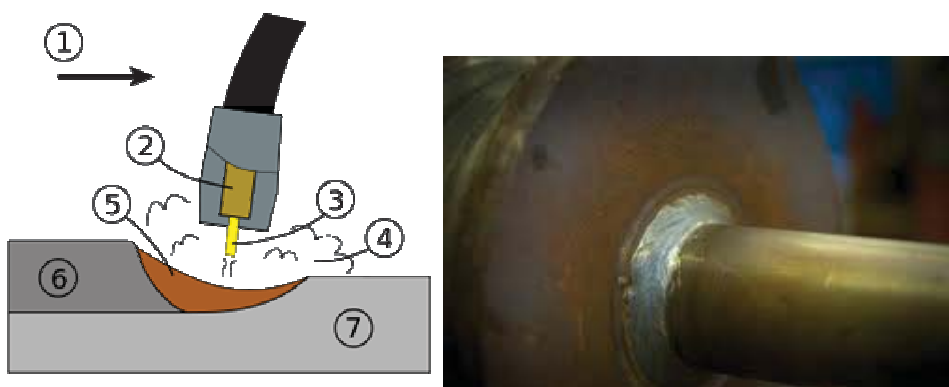


Slika 14: Principijelna shema TIG-zavarivanja (lijevo); karakterističan proizvod (desno)

Procedura za zavarivanje u masovnoj proizvodnji su rijetko potpuno manualne. Mnogo češće polu-automatizovane (sa automatizovanim dodavanjem žice za zavarivanje i ručnim vođenjem luka kao što je GMAW). Najčešće su razni projekti mehanizovani ili potpuno automatizovani procedurama, bez obzira na vrstu zavarivanja, slika 15.

MAG zavarivanje

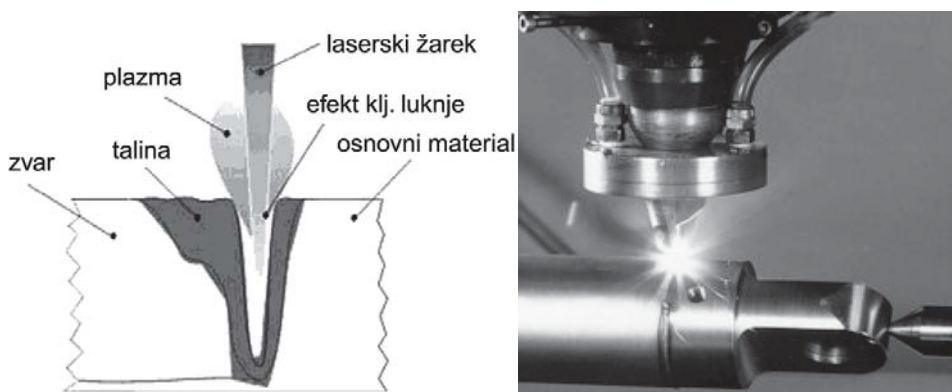
Uz elektrootporno tačkasto zavarivanje taj postupak u masovnoj proizvodnji najčešće se upotrebljava. To pogotovo važi kada se radi o mahanizovanima, automatizovanima ili robotizovanima postupcima zavarivanja taljenjem uz dovođenje dodajnog materijala, slika 15.



Slika 15: Principijelna shema polu-automatizovanog GMAW zavarivanja (lijevo); karakterističan proizvod poluautomatizovano zavarivanje cjevovoda (desno)

Lasersko zavarivanje

Sa laserskim zavarivanjem se je dugo vremena eksperimentisalo samo u visoko specijalizovanim laboratorijama, danas je ta tehnologija zavarivanja u industriji već posve uobičajena i može se ravnopravno upoređivati sa ostalim klasičnim tehnologijama zavarivanja, tako po kvalitetu kao i po cijeni, slika 16. U industrijskoj praksi za zavarivanje upotrebljavaju se dvije vrste laserskih izvora: tvrdi Nd:YAG, ili plinski CO₂. Glavne prednosti te tehnologije zavarivanja su se pokazale baš kod zavarivanja automobila novih generacija, gde se često pojavljuju potrebe po zavarivanju tanjih materijala i to različitih tako po kvalitetu kao i po debljini.



Slika 16: Principijelna shema laserskog zavarivanja i primjer spajanja različito debelih materijala

5. ZAKLJUČAK

Kod upotrebe tehnologija spajanja u masovnoj proizvodnji ne postoje nikakvi posebni uslovi, isto kao što to ne važi ni za ostale proizvodne tehnologije. Ako u čemu postoje izuzetni uslovi za tu industriju, je to u tome, da su svi elementi proizvodnog sistema ispostavljeni strožim kriterijumima kvaliteta i cijene. Ti stroži kriterijumi proizlaze iz postojećih strožih propisa i zakona (to pogotovo važi za automobilsku industriju), kao i iz izvanredno oštre međunarodne konkurencije proizvođača istih ili veoma sličnih proizvoda. Baš zbog toga se u masovnoj industriji upotrebljava široka paleta različitih tehnologija spajanja, jer se o optimalnoj tehnologiji spajanja za svaki (polu)proizvod i za svaki spoj odlučuje odvojeno.

6. LITERATURA

- [1] J. Norrish: Advanced Welding Processes, Institute of Physics Publishing, Bristol, 1992.
- [2] F. Čatović: Nauka o materialima – novi materiali, Slovo, Mostar 2001
- [3] A.H. Fritz, G. Shulze: Fertigungstechnik, Springer Verlag, Berlin 1998
- [4] W. Bolton: Engineering Material Technology. Butterworld Heinemann, Third edition, Oxford, 1998.
- [5] P. Hallam; B. Hodges: Industrial Robotics, Heineman Newnes, Oxford 1990
- [6] Fuegetechnik Schweisstechnik, DVS – Verlag GmbH, Duesseldorf, 1995
- [7] Irving B.: Building Tomorrow's Automobiles, Welding Journal, 1995, št. 10, str. 29-34
- [8] I. Polajnar; Savremeni postupci u masovnoj proizvodnji 5. International Scientific, Rim 2005, Bihać 2005, Scientific Book, str. 45 do 52.
- [9] Vollersten F.: Tailored Blanks. Blech Rohre Profile, let. 42 (1995), št. 3, str. 172-177
- [10] Irving B.: Ford Motor Co's Hilligoss Speaks Out about Welding, Welding Journal, let. 74 (1994), št. 8, str. 59-61
- [11] B. Pekkari: Future Welding and Cutting Methods, Development Trends and Research Orientation. Svetsaren vol. 49 (1995), No. 1., pp. 26:31
- [12] A.A. Rossošinskii at all: Cposobji mikropaiki, Avtomaticheskaja Svarka, Vol. 55, No 8, 2003, str. 28-30
- [13] http://www.azom.com/work/v7alTu126uGlovZ24vCM_files/image004.jpg
- [14] L.D. Dobrušin: Sovremenoe sostojanie i perspektivi razvitiya svarki vzrivom i visokoskorostnim udarom, Avtom. svarka, Vol. 56, No. 9, 2004, str. 46-52
- [15] Suresha, C.N.; Rajaprakash, B.M.; Upadhya, S. (2012). Optimization of process parameters for conical and cylindrical tools with grooves in friction stir welding process, *Advances in Production Engineering & Management*, Vol. 7, No. 3, 195-205.
- [16] Das, S. (2012). Understanding hidden factors that influence costs of arc welding operations, *Advances in Production Engineering & Management*, Vol. 7, No. 4, 213-224.
- [17] G.A. Spijnu: V.H. Bernadski: Promišlennii roboji i ih klassifikacija, Avtomaticheskaja svarka, Vol. 56, No. 5, 2004, str. 46-49
- [18] Irving B.: Automotive Engineers Plunge into Tomorrow's Joining Problems. Welding Journal, let. 73 (1994), št. 12, str. 47-50

RAZVOJ I PRIMJENA NOVIH PROIZVODNIH TEHNOLOGIJA

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF THE NEW PRODUCTION TECHNOLOGIES

Himzo Đukić¹, Mirna Nožić², Edina Karabegović³

¹ Sveučilište u Mostaru, Fakultet strojarstva i računarstva, himzo.djukic@sve-mo.ba

² Univerzitet „Džemal Bijedić“, Mašinski fakultet Mostar, mirna.nozic@unmo.ba

³ Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet Bihać, edina-karabeg@hotmail.com

SAŽETAK:

Superplastično oblikovanje i inkrementalno oblikovanje lima pripadaju novim proizvodnim tehnologijama, čiji je razvoj počeo 70.-tih, odnosno 90.-tih godina prošlog vijeka. U radu su date osnovne karakteristike ovih procesa oblikovanja, parametri oblikovanja, primjeri, prednosti i ograničenja u primjeni.

Ključne riječi: *superplastično oblikovanje, inkrementalno oblikovanje lima, nove tehnologije*

ABSTRACT:

Superplastic forming and incremental forming of sheet metal belongs to the new production technologies, which development have started in 70-ties, respectively 90-ties of last centuries. In the paper main characteristics of these forming processes, forming parameters, examples, advantages and limitations in application are given.

Keywords: *superplastic forming, incremental forming of sheet metal, new technologies*

1. UVOD

Razvoj automobilske i vazduhoplovne industrije uslovljen je razvojem novih materijala i sve većom potrebom da izrađeni dijelovi imaju što manju masu, a što veću nosivost. Obzirom da su ova dva zahtjeva međusobno oprečna, javila se potreba za razvojem novih proizvodnih tehnologija, koje će udovoljiti tom zahtjevu. U ovom radu dat je osvrt na primjenu superplastičnog oblikovanja i inkrementalnog oblikovanja limova [1-10].

2. SUPERPLASTIČNO OBLIKOVANJE

Pod superplastičnošću se podrazumijeva sposobnost pojedinih materijala da se pri jednoosnom ispitivanju na istezanje izduže i do 1000%, a da pri tome ne dođe do lokalizacije deformacije. Pod donjom granicom superplastičnosti podrazumijeva se jednoosno istezanje od 200% bez pojave lokalizacije deformacije. Osnovni parametri superplastičnog oblikovanja za većinu legura su:

1. Temperatura oblikovanja je za većinu legura jednaka ili nešto veća od polovine temperature topljenja: $T_o \approx 0,5 \cdot T_i$
2. Brzina deformacije je veoma mala u odnosu na brzine deformacije klasičnih oblikovanja obrade deformisanjem i kreće se u granicama:
 $\dot{\phi} = 10^{-5} \div 10^{-2} \text{ (s}^{-1}\text{)}$
3. Legura mora imati sitnozrnastu strukturu sa prečnikom zrna u granicama:
 $d = (2 \div 15) \text{ }\mu\text{m}$
4. Medij za oblikovanje lima je inertni gas, koji služi za ostvarenje pritiska oblikovanja i za regulaciju brzine deformacije. Kao inertni gas najčešće se upotrebljava argon velike čistoće.

2.1. Superplastičnost titanovih legura

Istraživanje superplastičnosti titanovih legura započeto je sedamdesetih godina prošlog vijeka sa legurom Ti6Al4V, kada je postignuto maksimalno izduženje od 1000%, pri brzini deformacije od 10^{-4} s^{-1} i određenim termodinamičkim uslovima. Najnovija istraživanja pokazuju da se najbolji rezultati superplastičnog oblikovanja sa ovom legurom postižu sa slijedećim parametrima: temperatura oblikovanja od 925°C, brzina deformacije 10^{-4} s^{-1} i sa prečnikom zrna od 4 μm .

U Tabeli 1. dati su parametri superplastičnog oblikovanja (veličina zrna, temperatura oblikovanja i brzina deformacije) i maksimalne vrijednosti izduženja za većinu titanovih legura koje se koriste za izradu nosećih struktura u avio industriji [1].

Tabela 1: Parametri superplastičnog oblikovanja titanovih legura

Parametri superplastičnog oblikovanja titanovih legura				
Legura	Izduženje (%)	Veličina zrna (μm)	Temperatura T (°C)	Brzina defor. (s^{-1})
Ti-4Al-4Mo-2Sn-0,5Si	2000	4	885	$5 \cdot 10^{-4}$
Ti-4,5Al-3V-2Mo-2Fe	2500	2-3	750	10^{-3}
Ti-5Al-2Sn-4Zr-4Mo-2Cr-1Fe	1100	2-3	720	$2 \cdot 10^{-4}$
Ti-6Al-4V	2100	2	850	10^{-2}
Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo	2700	1-2	900	10^{-2}
Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo	2200	1-2	750	10^{-2}
Ti-6Al-7Nb	300	6	900	$3 \cdot 10^{-4}$
Ti-6,5Al-3,7Mo-1,5Zr	640	6-7	600	10^{-4}
Ti-24Al-11Nb	1280	4	970	10^{-3}
Ti-46Al-1Cr-0,2Si	380	2-5	1050	10^{-3}
Ti-48Al-2Nb-2Cr	350	0,3	800	$8,3 \cdot 10^{-4}$
Ti-50Al	250	<5	900-1050	$2 \cdot 10^{-4}$
Ti-10Co-4Al	1000	0,5	700	$5 \cdot 10^{-2}$
Ti-6Al-4V + 10%TiC	270	5	870	$1,7 \cdot 10^{-4}$
Ti-6Al-4V + 10%TiN	410	5	920	$1,7 \cdot 10^{-4}$

2.2. Superplastično oblikovanje aluminijuma

Legura AA2004 poznatija pod nazivom Supral 100 je prva razvijena legura aluminijuma za superplastično oblikovanje (AlCu6Zr0,4). Komponenta cirkonijuma omogućava finu strukturu čestica Al_3Zr , koje sprječavaju rekristalizaciju do početka superplastičnog oblikovanja.

Legura aluminij-magnezij AA 5083 je razvijena za potrebe automobilske industrije, ima dobru zavarljivost, dobru otpornost na koroziju i prihvatljivu čvrstoću. U poređenju sa ostalim legurama ima ograničenu granicu relativnog izduženja. Ova legura se koristi i za avionsku industriju, zbog svoje težine interesantna je za izradu dijelova koji ne učestvuju u nosećoj strukturi aviona. Parametri superplastičnog oblikovanja najpoznatijih aluminijumskih legura dati su u Tabeli 2.

Tabela 2: Parametri superplastičnog oblikovanja aluminijumskih legura

Parametri superplastičnog oblikovanja aluminijumskih legura				
Legura / DIN	Oznaka	Izduženje (%)	Temperatura T (°C)	Brzina defor. (s^{-1})
AlCu6Zr0,4	AA 2004	700	450-480	10^{-3}
AlCu6Mg0,35	AA 2004	400	450-480	10^{-1}
AlMg4,5Mn	AA 5083	300	350-450	10^{-3}
AlZnMgCu1,5	AA 7475	450	500-540	$5 \cdot 10^{-4}$
AlLiCuMgZr	AA 8090	600	510-545	$5 \cdot 10^{-3}$
AlLiCuMgZr	AA 8090	420	510-545	10^{-2}

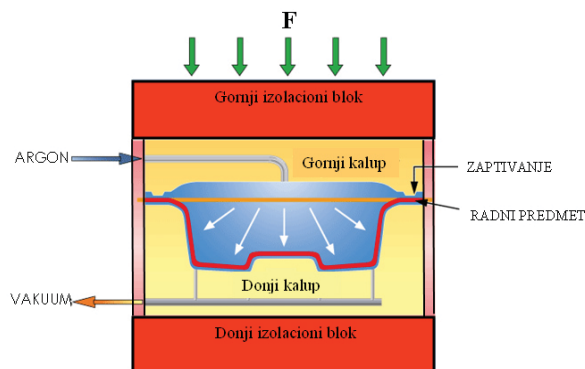
2.3. Postrojenje za superplastično oblikovanje limova

Superplastično oblikovanje limova složenog oblika izvodi se na postrojenju koje se sastoji od:

- prese sa hidrauličnim pogonom,
- dvodjelnog kalupa koji služi za smještaj alata za oblikovanje,
- instalacije za argon sa finom regulacijom pritiska,
- vakuum pumpe sa instalacijom za vakumiranje alata,
- grijača sa instalacijom za održavanje temperature oblikovanja u granicama $\pm 5^\circ \text{C}$,
- izolacionog bloka ispod donjeg kalupa koji može izdržati velike sile pritiska i velike temperature oblikovanja,
- izolacionog bloka iznad gornjeg kalupa,
- hidrauličnih cilindara kojima se ostvaruje sila zatvaranja dvodjelnog kalupa,
- sistema zaptivanja dvodjelnog kalupa,
- upravljačke jedinice za vođenje procesa superplastičnog oblikovanja i
- transportnog sistema za automatsko vađenje i uvođenje kalupa iz prese.

Pored postrojenja za oblikovanje često se zbog ubrzanja procesa zagrijavanja kalupa koristi i peć za zagrijavanje koja je automatskim transportnim sistemom povezana sa postrojenjem za oblikovanje. U ovoj peći se vrši zagrijavanje rezervnih kalupa i alata za oblikovanje, dok se u postrojenju vrši oblikovanje radnih predmeta.

Središnji dio postrojenja za superplastično oblikovanje je shematski prikazan na Slici 1.



Slika 1: Shema procesa superplastičnog oblikovanja

Na donji izolacioni blok, izrađen od specijalnog termo betona, postavlja se dvodjelni kalup za oblikovanje. Između donjeg i gornjeg kalupa postavlja se lim za oblikovanje. Između lima i kalupa postavlja se specijalni zaptivač, koji ima funkciju zaptivanja gornjeg dijela kalupa u kome se nalazi argon pod pritiskom i zaptivanja donjeg dijela kalupa u kojem se vrši vakumiranje. Zatvaranje kalupa preko gornjeg izolacionog bloka vrši se silom F pomoću hidrauličnog cilindra, smještenog na vrhu prese.

Nakon postizanja potrebne temperature oblikovanja, uključuje se instalacija argona. Pritisak argona se reguliše preko upravljačke jedinice na osnovu rezultata prethodnih eksperimentalnih istraživanja. Nakon toga se vrši vakumiranje donjeg dijela kalupa, kako bi se lim u završnoj fazi oblikovanja priljubio uz zidove donjeg dijela kalupa.

Prese za superplastično oblikovanje izrađuju se na osnovu posebnih zahtjeva kupca, koji definiše: maksimalne dimenzije radnog prostora, materijal koji se oblikuje (titanove legure ili aluminijske legure), maksimalnu silu cilindara za zatvaranje kalupa, maksimalni pritisak argona i stepen automatizacije transporta oko prese.



Slika 2: Presa za superplastično oblikovanje

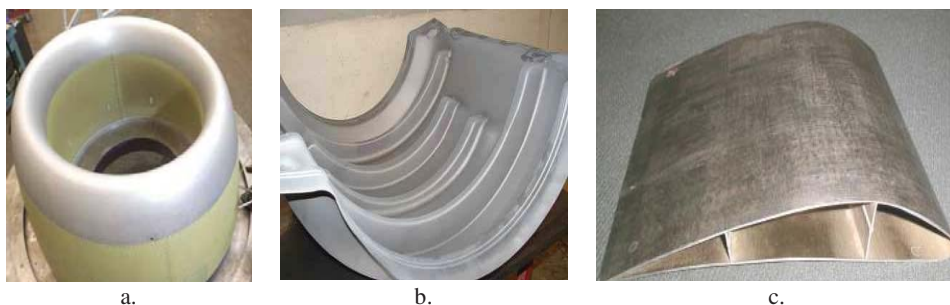
Na Slici 2. prikazan je izgled jedne prese za superplastično oblikovanje, gdje se vidi upravljačka jedinica za automatsko vođenje procesa, donji izolacioni blok postavljen na automatskom transportnom sistemu i otvoreni radni prostor prese.

2.4.Primjena superplastičnog oblikovanja

Iako se superplastično oblikovanje relativno sporo razvijalo, zahvaljujući prednostima i kvalitetu izrađenih proizvoda, danas se ono primjenjuje u:

- aeronautici za izradu dijelova vojnih i putničkih aviona i svemirskih letjelica od legura titana i aluminija,
- automobilske industriji za izradu složenih struktura od aluminijevskih limova, koji imaju veliku preciznost izrade i kvalitet obrađene površine,
- industriji šinskih vozila za izradu vanjskih i unutarnjih dijelova voza od aluminijevskih legura,
- industriji bicikla za izradu noseće strukture od aluminijevskih limova,
- arhitekturi za izradu dekorativnih panela za fasade i unutarnja uređenja objekata od aluminijevskih legura,
- medicini za izradu proteza od legura titana i
- umjetnosti za izradu skulptura veoma složenog oblika, velikih dimenzija od aluminijevskih legura.

Na Slici 3.a dat je primjer izrade usisnog otvora motora aviona. Noseća struktura aviona data je na Slici 3.b. Svi radni predmeti su izrađeni od titanovih legura. Superplastično oblikovanje je jedina tehnologija kojom se mogu izraditi radni predmeti zatvorenog oblika sa unutarnjim ojačanjima (Slika 3.c).



Slika 3: Primjeri primjene u avio industriji

Superplastično oblikovanje u automobilske industriji primjenjuje se za izradu složenih struktura u jednoj operaciji. Na Slici 4. prikazani su primjeri dijelova automobila izrađeni od legura aluminijuma.



Slika 4: Primjena u automobilske industriji

Primjer primjene superplastičnog oblikovanja u izradi noseće strukture bicikla i dijela kabine putničkog voza dat je na Slici 5.

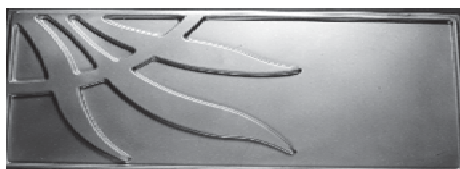
Noseća struktura bicikla je izrađena od aluminijskih legura, a dio kabine voza od aluminijske legure 5083.



Slika 5: Primjena u prevoznim sredstvima

U novije vrijeme superplastičnim oblikovanjem se izrađuju dekorativni paneli, koji se koriste za oblaganje fasada zgrada.

Primjer jednog takvog panela izrađenog od aluminijskih legura prikazan je na Slici 6.



Slika 6: Dekorativni panel

Alati za superplastično oblikovanje izrađuju se od specijalnih čelika, otpornih za rad na visokim temperaturama. Na Slici 7.a prikazan je alat za superplastično oblikovanje izrađen od Fe-Ni-Cr čelika, dimenzija 1000x700x340 mm, ukupne mase 1200 kg. Na ovom alatu je izrađen radni predmet od Ti6Al4V (Slika 7.b) na temperaturi od 910°C, sa maksimalnim pritiskom argona od 20 bar za 75 minuta.



a.



b.

Slika 7: Alat za superplastično oblikovanje sa radnim predmetom

U novije vrijeme razvijena je tehnologija izrade alata za superplastično oblikovanje od kompozitnih materijala. Alati se mogu koristiti za oblikovanje aluminijskih legura i oblikovanje titanovih legura. Posebna prednost ovih alata je što u toku završne faze oblikovanja ne dolazi do lijepljenja limova na zidove alata. Na Slici 8.a prikazan je alat u obliku kalupa, a na Slici 8.b alat u obliku izvlakača za superplastično oblikovanje limova.



a.



b.

Slika 8: Alati izrađeni od kompozitnih materijala

2.5. Prednosti i nedostaci superplastičnog oblikovanja

Prednosti superplastičnog oblikovanja ogledaju se u:

- proces se odvija u jednoj fazi i može se koristiti za oblikovanje složenih radnih predmeta, koji bi se inače klasičnim tehnologijama izrađivali u više operacija,
- specifični deformacioni otpor je znatno manji zbog činjenice da se proces odvija na relativno visokim temperaturama,
- u radnim predmetima nema zaostalih naprezanja,
- povećana otpornost prema koroziji,
- znatno veći stepen iskorištenja materijala,
- ne postoji potreba za naknadnom obradom,
- sposobnost velikih izduženja omogućava izradu veoma složenih nosećih struktura,
- proces omogućava izradu zatvorenih struktura sa unutarnjim ojačanjima u kombinaciji sa difuzionim spajanjem.

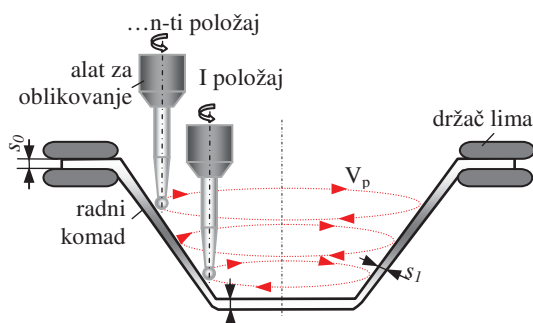
Nedostaci superplastičnog oblikovanja su:

- veoma male brzine deformacije, što zahtjeva relativno veliko vrijeme izrade radnog predmeta koje može biti i nekoliko sati,
- oblikovanje pri visokim temperaturama zahtjeva specijalna postrojenja i specijalne mjere zaštite radne snage,

- ograničena primjena u velikoserijskoj proizvodnji.

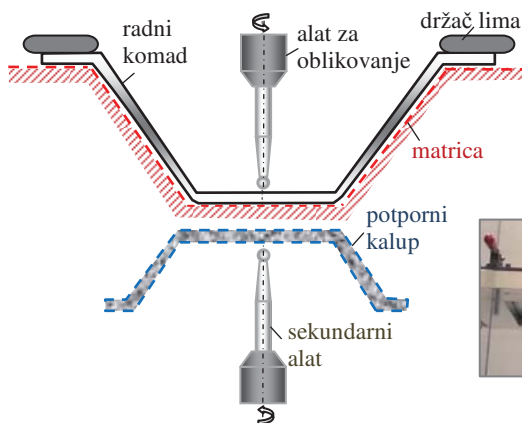
3. Inkrementalno oblikovanje lima (*ISMF- Incremental Sheet Metal Forming*)

Tehnologije inkrementalnog oblikovanja javile su se 90-tih godina prošlog vijeka. Oblikovanje dijelova od lima, ovom tehnologijom, izvodi se djelovanjem jednostavnog alata na lim, malim pomacima koji kontinuirano ostvaruju male deformacije do formiranja konačnog oblika. Postupak je vrlo jednostavan i može se izvoditi i na CNC glodalici. Specifičnost ovakvom načinu oblikovanja daje alat koji se kreće određenom putanjom sa koncentracijom pritiska u jednoj tački, slika 9. Postupak se primjenjuje za oblikovanje tankih limova od čelika i aluminija, debljine od 0,4 (mm) do 3,0 (mm). Inkrementalno oblikovanje se može izvoditi u jednoj ili dvije tačke.



Slika 9: Postupak inkrementalnog oblikovanja lima u jednoj tački [3]

Kod inkrementalnog oblikovanja u jednoj tački se ne koriste: sekundarni alat, matrica ili potporni kalup, kao kod oblikovanja u dvije tačke, slika 10.



Slika 10: Inkrementalno oblikovanje lima u dvije tačke [9,10]

U toku inkrementalnog oblikovanja primjenom dva alata (*DSIF*), jedan alat služi za oblikovanje lima, a drugi sekundarni alat obavlja funkciju lokalne matrice za podršku u svakom trenutku

deformacije. Na taj način postiže se: veća deformabilnost materijala, veća geometrijska tačnost dijelova, oblikovanje dijelova složenijeg geometrijskog oblika i dr.[3,4,9].

Osnovne karakteristike postupka inkrementalnog oblikovanja su:

- fleksibilan postupak jednostavan za izvođenje,
- jednostavan i jeftin alat u odnosu na alate za konvencionalno oblikovanje,
- u toku kretanja, alat oblikuje sloj po sloj lima, čime se postiže kontrolisano smanjenje debljine lima,
- postiže se veći stepen deformisanja lima u odnosu na konvencionalni način dubokog izvlačenja,
- oblikovanje se izvodi na CNC mašinama, a moguće je primjenjivati multi-osne robote i druge specijalne mašine, tako da položaj alata u toku oblikovanja ovisi od kinematike mašine i njenih mogućnosti,
- veličina dijela ograničena je veličinom radnog prostora mašine,
- za dijelove složenog oblika mogu se uraditi matrice koje ne zahtijevaju visoku kvalitetu materijala kao kod kovanja ili dubokog izvlačenja,
- neophodna je kvalitetna analiza materijala i procesa oblikovanja, jer bi nepravilan izbor parametara mogao dovesti do nekontrolisanog stanjenja i pucanja lima,
- povećanje sile oblikovanja može oštetiti alat,
- trenje između alata i obratka je manje nego kod konvencionalnih tehnologija, ali se ne smije zanemariti,
- izbor parametra obrade ovisi od vrste materijala koji se oblikuje i njegove geometrije, čime je određeno i vrijeme trajanja postupka,
- pored metala i legura, proces se primjenjuje kod kompozita i plastike,
- zbog potrebnih manjih sila za oblikovanje i jednostavnih alata i uređaja, nije potrebno osigurati velike prostore za njihovu lokaciju,
- postupak ima primjenu u maloserijskoj i pojedinačnoj proizvodnji.

Za uspješno izvođenje postupka inkrementalnog oblikovanja od bitnog značaja su: prethodna simulacija procesa sa pravilnim odabirom parametra procesa i iskustvom u procesima oblikovanja lima. Interesovanje za tehnologije inkrementalnog oblikovanja, naročito pokazuju u automobilske industriji, koja svoju konkurentnost na tržištu bazira u velikom dijelu na dizajnu proizvoda. Primjenom ovih tehnologija pruža se mogućnost svakom automobilu dati osobitost na zahtjev kupca (oblikujući u limu različite konfiguracije u vidu natpisa i sl.), kao što to već primjenjuju kod dizajna automobila „Ford“ [10].

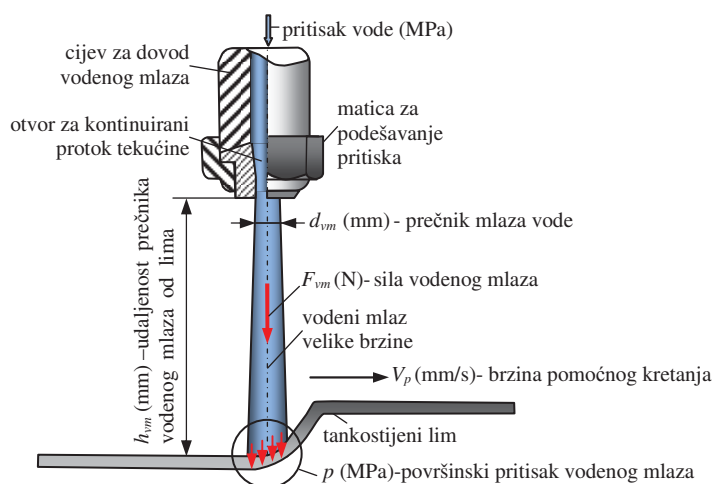


Slika 11: Simulacija procesa inkrementalnog oblikovanja i dobiveni dijelovi [9,10]

Postupak inkrementalnog oblikovanja lima često se primjenjuje u kombinaciji sa procesom razvlačenja lima. Izvođenje inkrementalnog oblikovanja moguće je primjenom: čvrstog alata, vodenim mlazom, laserom, plazmom i dr.

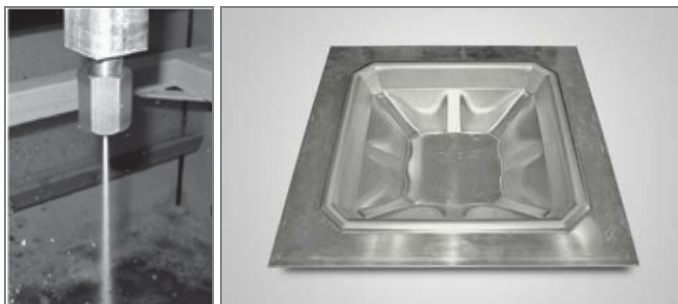
3.1. Inkrementalno oblikovanje lima vodenim mlazom (WJISMF- Water Jet Incremental Sheet Metal Forming)

Vodeni mlaz se počeo primjenjivati u industrijskim procesima rezanja lima 80-tih godina prošlog vijeka (*Water Jet Technology*), a kasnije i u procesima inkrementalnog oblikovanja, kao inovativna tehnologija ISMF postupka oblikovanja lima. Vodeni mlaz pod pritiskom okomito djeluje na površinu obratka, dok mu mijenja oblik. Sila ostvarena između alata (vodenog mlaza) i obratka ravnomjerno se raspoređuje po površini obratka. Oblik i kvalitet dijela, dobiven ovom tehnologijom zavisi od automatskog regulisanja pritiska vodenog mlaza. Značajni parametri procesa su: sistem za izvođenje procesa (regulaciju pritiska vodenog mlaza), pritisak vode, posmak, udaljenost mlaznice od obratka, prečnik mlaza tekućine, površinski pritisak vodenog mlaza na obradak (sila djelovanja vodenog mlaza), obradak (vrsta materijala, debljina lima).



Slika 11: Shema inkrementalnog oblikovanja vodenim mlazom [5]

Na slici 12. dat je primjer alata za *WJISMF* oblikovanje i dijela dobivenog ovim postupkom [3,4,5].



Slika 12: Alat i dio dobiven WJISMF postupkom oblikovanja [3]

Visok stepen fleksibilnosti i niža cijena alata (vodenog mlaza) imaju prednost u odnosu na složene alate konvencionalnog oblikovanja lima dubokim izvlačenjem. Dijelovi dobiveni WJISMF procesom izrađuju se od legura čelika, titana i dr. Primjena vodenog mlaza u procesima inkrementalnog oblikovanja lima ograničena je na oblikovanje malih serija ili prototipova metalnih dijelova. Tehnologija oblikovanja vodenim mlazom je komplementarna tehnologiji ISMF. Istraživanja [7] pokazala su da je inkrementalno oblikovanje vodenim mlazom, s obzirom na vrijeme trajanja, energetske učinkovitost i tačnost oblikovanja, lošije od ISMF postupka oblikovanja čvrstim alatom, iako se očekivani rezultati oblikovanja mogu postići optimizacijom definisanih parametara.

4. ZAKLJUČAK

Razvoj novih proizvodnih tehnologija omogućava izradu veoma složenih oblika radnih predmeta u jednoj operaciji. Prikazana tehnologija superplastičnog oblikovanja, koja je razvijena za potrebe vazduhoplovne industrije, u novije vrijeme ima i sve širu primjenu u automobilske industriji, industriji šinskih vozila, medicini, građevinarstvu i arhitekturi.

Navedenu tehnologiju je moguće relativno brzo osvojiti kod maloserijske proizvodnje radnih predmeta malih dimenzija i složenog oblika. Cijelo postrojenje je moguće izraditi korištenjem strukture starih presa uz dogradnju: peći za zagrijavanje, instalacije argona, instalacije za vakumiranje, regulacionog sistema i automatizacije transporta.

Razlozi primjene inkrementalnih tehnologija za oblikovanje lima ogledaju se u ekonomskoj opravdanosti: mala ulaganja, niska cijena alata i velika fleksibilnost. Tehnološke prednosti, ovih tehnologija, rezultiraju dobrom kvalitetom oblikovanih dijelova dobivenom zbog kontrolisanog smanjenja debljine lima i umanjeno trenja. Pored metala i legura, proces inkrementalnog oblikovanja se primjenjuje kod kompozita i plastike. Uvođenje ovih tehnologija, naročito je značajno za automobilske i avionske industrije, jer su zahtjevi za boljom kvalitetom, smanjenom vremenom i troškovima proizvodnje u stalnom porastu. Postupci inkrementalnog oblikovanja imaju primjenu u pojedinačnoj i maloserijskoj proizvodnji.

5. LITERATURA

- [1] J. Sieniawski, M. Motyka: Superplasticity in titanium alloys, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, VOLUME 24 ISSUE 1, September 2007.
- [2] H. Đukić. M.Nožić: Obrada deformisanjem, Mašinski fakultet Mostar, 2013.
- [3] Manish Oraon, Vinay Sharma: Sheet Metal Micro Forming: Future Research Potentials, AMAE Int. J. on Production and Industrial Engineering, Vol. 01, No. 01, Dec 2010, pp.31-35.
- [4] Hideo Iseki: Flexible and Incremental Bulging of Sheet Metal Using High-Speed Water Jet, JSME International Journal, Series C, Vol.44, No.2, 2001, pp. 486-493.
- [5] V. Sajin, B. Jurisevic, F. Kosel: Water Jet Incremental Sheet Metal Forming-Pressure Distribution Analysis, Copyright of IDMME - Virtual Concept, IDMME_P25, pp.1-7.
- [6] <http://www.scientific.net/AMR.230-232.1010> (28.02.2014.)
- [7] <http://link.springer.com/article/10.1007/s00170-005-0176-9> (02.03.2014.)
- [8] <http://link.springer.com/article/10.1007/s12008-011-0118-8> (07.03.2014.)
- [9] http://cao.mech.northwestern.edu/incremental_forming.html (09.03.2014.)
- [10] <http://www.rapidreadytech.com/2013/07/ford-delves-further-into-additive-manufacturing/> (17.03.2014)
- [11] B. Taleb Araghi, G. L. Manco, M. Bambach, G. Hirt: Investigation into a new hybrid forming process: Incremental sheet forming combined with stretch forming, CIRP Annals – Manufacturing Technology, 58 (2009), 225-228, doi: 10.1016/j.cirp.2009.03.101.

ZAVARIVANJE ŠINA I PROFILA VELIKE POVRŠINE POPREČNOG PRESJEKA PRIMJENOM CGEAW TEHNOLOGIJE

WELDING OF RAILS AND PROFILES WITH LARGE CROSS- SECTION AREA USING CGEAW TECHNOLOGY

Darko Bajić,
Univerzitet Crne Gore, Mašinski fakultet Podgorica,
bul. Džordža Vašingtona bb, darko@ac.me

SAŽETAK:

U dosadašnjoj praksi, zavarivanje šina svih dimenzija izvodi se postupkom aluminotermijskog zavarivanja. Kvalitet zavarenog spoja realizovanog postupkom aluminotermije, zavisi isključivo od kvaliteta pripreme zavarivanih elemenata i korišćenog zavarivačkog materijala - termita. Proces zavarivanja kada započne, ne može se zaustaviti, niti kontrolisati. Sada je razvijen potpuno automatizovan postupak elektrolučnog zavarivanja šina koji se može kontrolisati u svakom trenutku, a sve u cilju dobijanja visokokvalitetnog i pouzdanog zavarenog spoja, sa što kraćim vremenom njegove realizacije. Postupak CGEAW je potpuno automatizovan elektrolučni postupak i u novije vrijeme sve više nalazi primjenu zahvaljujući nizu svojih prednosti.

Ključne riječi: elektrolučno zavarivanje, CGEAW zavarivanje, popunjavajuća elektroda, zavarivanje šina

ABSTRACT:

In current practice, welding of rails of all sizes is performed with the aluminothermic welding process. The quality of the welded joint realized in aluminothermic treatment depends entirely on the quality of preparation of welded elements and of used welding material - thermit. Welding process when it starts, it cannot be stopped or controlled. It is developed a fully automated method of arc welding of rails that can be controlled at any time, and all in order to obtain high-quality and reliable welded joint, with less time interval for its implementation. The CGEAW process of arc welding is fully automated process and in more recent times finds its wide application due to a number of its advantages.

Keywords: arc welding, CGEAW welding, filling electrode, welding of rails

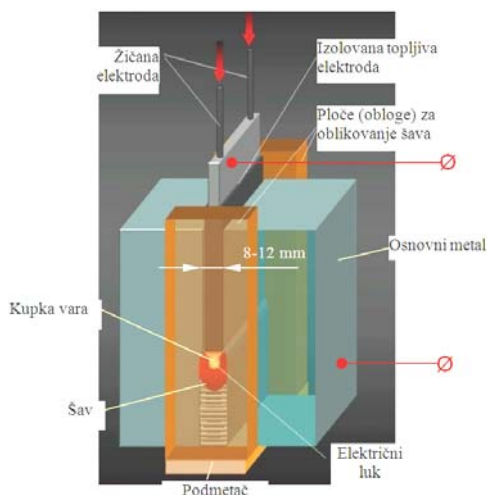
1. UVOD

Zavarivanje čeličnih materijala velike debljine i složene geometrije poprečnog presjeka često predstavlja veliki problem. Pri zavarivanju u jednom prolazu, najčešće korišćeni postupci zavarivanja su pod troskom (ESW) i elektrogasno (EGW). Koja će tehnologija biti primjenjivana, najčešće diktira uslov raspoloživosti opreme. U praksi, a pogotovo kad se radi o višeprolaznom šavu, najviše se koristi jedan ili kombinacija dva široko rasprostranjena elektrolučna postupka zavarivanja - SMAW, GMAW, FCAW ili SAW.

Pored prednosti, korišćenje prethodno pomenutih postupaka ima svojih nedostataka: ESW i EGW su visokoproduktivni ali preveliki unos energije nepovoljno utiče na mehanička svojstva zavarenog spoja; SMAW, GMAW, FCAW ili SAW imaju kontra efekte od ESW i EGW.

Prva istraživanja u cilju poboljšanja postojećih tehnologija ili preciznije stvaranja nove tehnologije su dokumentovana od strane Pašenka [1] i Cablea [2].

Koristeći se ovim rezultatima, kako i rezultatima istraživanja [3,4], krajem 90-tih godina prošlog vijeka, grupa istraživača Institutu elektrolučnog zavarivanja E.O. Paton, Nacionalne akademije Nauka Ukraine, razvija novi elektrolučni postupak zavarivanja pod nazivom **automatsko elektrolučno zavarivanje popunjavajućom elektrodom** ili kraće **elektrolučno zavarivanje popunjavajućom elektrodom** (**Consumable Guide Enclosed Arc Welding - CGEAW**). Osnovni koncept ovog postupka predstavljen je na slici 1. CGEAW postupak koristi dodatni zavarivački materijal u vidu samozaštitne praškom punjene žice koja služi za legiranje metala šava i popunjavajuće elektrode kao dodatnog metala. Punjena žica se u zonu zavarivanja doprema kroz podužni otvor popunjavajuće elektrode kao dodatnog metala koji služi za popunu zazora između zavarivanih elemenata. Podmetač služi za uspostavljanje električnog luka i formiranje korijenske strane metala šava. Bočno postavljene ploče ili obloge služe za prinudno formiranje i oblikovanje šava.



Slika 1: Šematski prikaz koncepta elektrolučnog zavarivanja popunjavajućom elektrodom – CGEAW postupak [5]

Koncept dvostrukog dodatnog zavarivačkog materijala, omogućio je da se zavarivanje praktično vrši u uskom žljebu širine 8-12 mm, bez potrebnog skošavanja zavarivanih krajeva i s prinudnim formiranjem šava. Veličina žljeba, u izuzetnim slučajevima, može imati vrijednost i do 22 mm [6].

Ovaj postupak zavarivanja ima niz prednosti u odnosu na najčešće korišćene ESW i EGW postupke (tebala 1) [6].

Tabela 1: Uporedni pokazatelji postupaka zavarivanja

<i>Parametri</i>	<i>CGEAW</i>	<i>ESW</i>	<i>EGW</i>
Debljina metala, mm	20-100	20-200	12-60
Zazor, mm	8-12	20-40	12-25
Napon, V	24-30	36-55	28-48
Struja zavarivanja, A	400-1000	400-1200	300-700
Brzina zavarivanja, m/h	2-8	0,5-2,2	1-7
Jedinično vrijeme zavarivanja, s/cm ²	1-5	2,3-20	2,4-13
Jedinična potrošnja energije, kJ/cm ²	25-50	100-400	40-150
Jedinična potrošnja materijala, g/cm ²	6,3-9,4	15,7-31,4	9,4-19,6

CGEAW postupak zavarivanja je visokoproduktivan, a zasniva se na racionalnoj iskorišćenosti veoma snažnog električnog luka, koji se uspostavlja i održava između dodatnog materijala i zavarivanih elemenata. Jedna od osnovnih karakteristika ovog postupka je visoka produktivnost, jer omogućava nanošenje dodatnog metala topljenjem, čak do 15 kg/čas. Uz visok stepen automatizacije, CGEAW postupak obezbjeđuje visoko kvalitetan zavareni spoj. Postupak je jednostavan, i ne zahtijeva visokoobučenu radnu snagu.

Popunjavajuća elektroda je najčešće pravougaonog, a može biti i kružnog poprečnog presjeka, koja ima posebno pripremljenu elektroizolacionu oblogu debljine do 1,5 mm. Zahvaljujući ovoj oblozi, obezbjeđena je kvalitetna zaštita zone zavarivanja na principu troske, prije svega od difuzije vodonika i azota. Pored toga, sastav obloge i metalurški procesi koji se odvijaju u kupki vara, onemogućavaju zarobljavanje troske u metalu šava. Praškom punjena žica vrši rafinaciju i legiranje metala šava, a njena gasna zaštita u kombinaciji sa troskom daje dodatnu zaštitu zone zavarivanja.

Postupak CGEAW karakteriše:

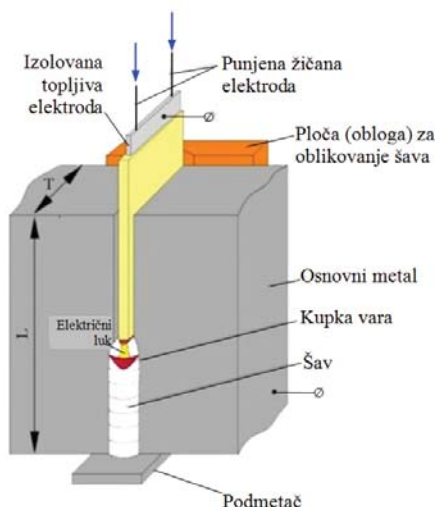
- uski zazor - $8 \div 12$ mm,
- mali unos energije - $30 \div 60$ kJ/cm²,
- velika brzina zavarivanja – do 8 m/čas,
- izuzetno visok stepen iskorišćenja toplote električnog luka - $95 \div 97$ %,
- niski troškovima pripreme spoja i
- racionalna potrošnja zavarivačkog materijala
- mogućnost prekida i nastavka u bilo kojoj fazi procesa zavarivanja.

Suštinski gledano, CGEAW postupak je najbližiji zavarivanju pod troskom. Zahvaljujući dodatnom legiranju metala šava, obezbjeđuje se finostrukturna struktura metala šava i okološavne zone, pa je isključena potreba za termičkom obradom po završetku zavarivanja.

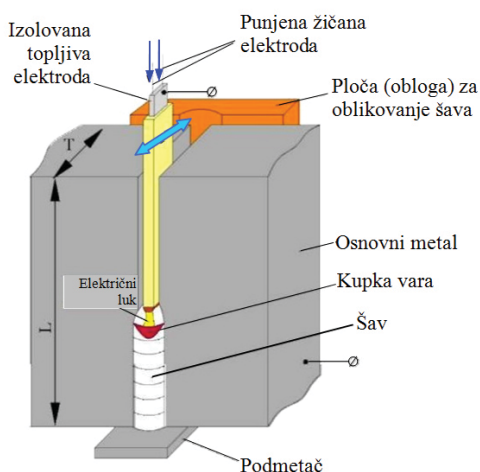
Priprema zavarivanih krajeva je jednostavna i predstavlja kvalitetno gasno rezanje bez potrebe za dodatnom obradom.

Zavisno od geometrije poprečnog presjeka zavarivanih elemenata, razvijene su dvije varijante CGEAW postupka zavarivanja:

- stacionarna potrošna elektroda (SPE) za šipke i ploče pravougaonog poprečnog presjeka do 80 mm širine (slika 2) i
- oscilatorna potrošna elektroda (OPE) za elemente složenog poprečnog presjeka ili pravougaonog poprečnog presjeka do 300 mm širine (slika 3).



Slika 2: Šematski prikaz zavarivanje sa stacionarnom potrošnom elektrodom



Slika 3: Šematski prikaz zavarivanja sa oscilatorno potrošnom elektrodom

2. ZAVARIVANJE ŠINA PRIMJENOM CGEAW POSTUPKA

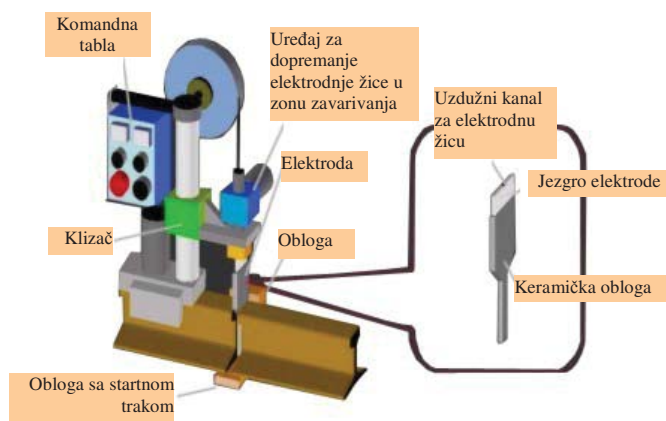
Sastavni dio remontnih radova na pruži je zavarivanje šina. Kvalitet zavarenog spoja utiče na tehničke i operativne karakteristike gornje radne površine šina, koja direktno utiče na bezbjednost transportnih sredstava (voz, tramvaj, kran).

Zavarivanje na terenu je uvijek jako složen proces, jer dolaze do izražaja uticajni faktori kao što su: strujanje vazduha, visok procenat vlage u vazduhu, temperatura šina, uslovi pripreme, kratko vrijeme za zavarivanje, itd [7]. Da bi postupak zavarivanja šina bio racionalan i dobili se kvalitetni zavareni spojevi, treba da budu ispunjeni sledeći zahtjevi:

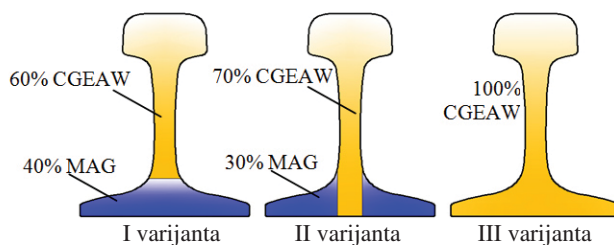
- trajanja procesa zavarivanja mora biti minimalno,
- oprema za zavarivanje mora biti mobilna,
- podužno pomjeranja šina moraju biti isključeno,
- kvalitet zavarenih spojeva ne smije da zavisi od kvalifikacije zavarivača.

Zavarivanje šina svih profila najčešće se, bar u našem okruženju, izvodi aluminotermijski. Postupak se karakteriše neujednačenim kvalitetom zavarenih spojeva. Ključan je izbor i upotreba dodatnog materijala – TERMITA, koji predstavlja smjesu oksida i aluminijuma. Takođe, zbog specifičnosti pripreme, za ovaj postupak je neophodno angažovati dobro obučenu i visokokvalifikovanu radnu snagu.

Za primjenu CGEAW postupka zavarivanja u Institutu E.O.Paton razvijena je posebna oprema i materijal za zavarivanje svih tipova šina. Prva verzija ovog uređaja i oblik elektrode prikazan je na slici 3. Za ovaj sistem, zavisno od kvaliteta rezanja stranica žljeba, razvijene su bile tri varijante zavarivanja šina (slika 4).



Slika 3: Šematski prikaz CGEAW postupka zavarivanja šina (prvi model uređaja i elektrode)



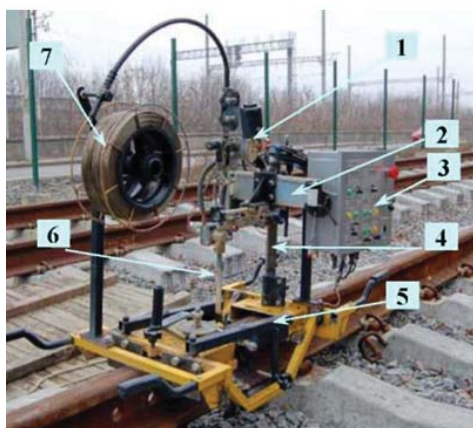
Slika 4: Varijante zavarivanja šina na samom početku primjene CGEAW postupka

Prva varijanta (slika 4): koristi se kada krajevi šina nisu rezani najidealnije i kada širina žljeba varira u intervalu 12-18 mm. Krajevi šina mogu biti rezani gasno.

Druga varijanta (slika 4): zahtijeva bolje uklapanje šina, sa širinom žljeba od 14-17 mm, a nivo automatizacije je nešto veći. Krajevi šina mogu biti rezani gasno.

Treća varijanta (slika 4): zbog 100% automatizacije, ova varijanta je najinteresantnija ali zahtijeva idealnu pripremu krajeva šina koje ne mogu biti rezane, već abrazivnim rezačem.

Postupak CGEAW je u drugoj polovini svoje dvadesetogodišnje primjene, doživio značajne promjene po pitanju uređaja za zavarivanje i geometrija elektrode. Uređaj za zavarivanje ARS-4 prikazan je na slici 6.



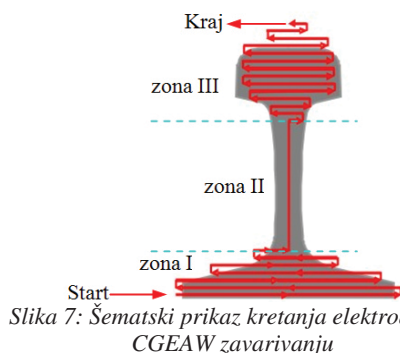
Slika 6: Uređaj ARS-4 u poziciji zavarivanja željezničke šine [8]



- 1 – mehanizam za dopremanje praškom punjene žice
- 2 – šina za horizontalno pozicioniranje elektrode
- 3 – kontrolna tabla
- 4 – šina za vertikalno pozicioniranje elektrode
- 5 – mehanizam za manuelno pozicioniranje obloga
- 6 – popunjavajuća elektroda

Zavarivanje šina CGEAW postupkom se ostvaruje potpunim provarivanjem stranica po cijelom poprečnom presjeku šine i klaćenjem popunjavajuće elektrode promjenljivom amplitudom u zavisnosti koji se dio šine zavaruje (slika 7). Pri zavarivanju donjeg dijela šine (zona I – slika 7), koristi se keramički podmetač sa metalnom trakom koja služi za uspostavljanje električnog luka (slika 8). Prelaskom u zonu II (slika 7), bez prekida procesa zavarivanja, ručnim mehanizmom obezbjeđuje se nalijeganje bakarnih obloga koje oblikuju šav zone II i zone III (slika 7).

Iako se radi o zavarivanju čelika velikog poprečnog presjeka, predgrijavanje krajeva šina se ne vrši. Izuzetak čini kada je temperatura metala $<5^{\circ}\text{C}$, pa je u tim temperaturnim uslovima neophodno zagrijavanje krajeva $250\div 300^{\circ}\text{C}$. Preporuka je da se CGEAW postupkom zavarivanje šina može vršiti ako je temperatura vazduha veća od -5°C .



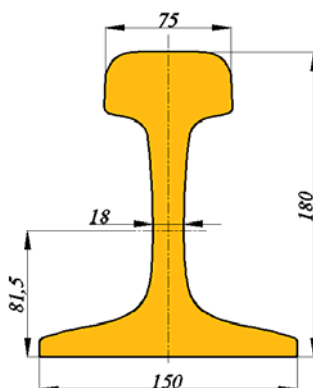
Slika 8: Keramički podmetač sa metalnom trakom

U tabeli 2 prikazane su tehničke karakteristike uređaja za zavarivanje ARS-4.

Tabela 2: Tehničke karakteristike uređaja ARS-4

Nominalni napon izvora napajanja , DC, V	24
Potrebna snaga izvora napajanja max., kV	15 (3×380 V)
Nomimalna struja zavarivanja, A	350
Prečnik praškom punjene elektrode, mm	2,4
Opseg kontrole brzine praškom punjenje žice, m/h	50 - 300
Brzina pomjeranja popunjavajuće elektrode, m/h	4 - 12
Poprečni hod popunjavajuće elektrode, mm	180
Frekvencija oscilovanja popunjavajuće elektrode, Hz	0,5 - 2
Amplituda popunjavajuće elektrode, mm	0 - 20
Gabaritne mjere D×Š×V, mm	1320×520×850
Težina uređaja bez elektrode i obloga, max. kg	40

ARS-4 uređaj je lako prenosiv i zahvaljujući jednostavnoj izmjeni formirajućih obloga, primjenjuje se za zavarivanje šina različitih dimenzija. Napajanje se može vršiti sa trofazne mreže od 280 V, kao i sa nezavisnog elektroenergetskog izvora 25-30 kW, pri čemu je potrebna snaga pri zavarivanju do 15 kW. Iskustveno, srednje računsko vrijeme zavarivanja (bez pripreme) spoja šine tipa P65 (slika 9) je oko 20 min. Tim od 5 ljudi (dva zavarivača i tri pomoćna radnika) u smjeni realizuju do 16 visoko kvalitetnih zavarenih spojeva.



Slika 9: Poprečni presjek šine tipa P65 (masa 64,88 kg/m, površina 82,65 cm²)

Praškom punjena žica ПП АНПМ-4 (Institut E.O.Paton) koja se koristi pri zavarivanju šina i adekvatna tehnologija zavarivanja, obezbjeđuje potrebne mehaničke karakteristike zavarenih spojeva.

Postupak pripreme i zavarivanje šina CGEAW postupkom prikazan je na slici 10.

Optimalni parametri za zavarivanje šine P65 su:

- širina zazora 16±1 mm
- jačina stuje zavarivanja 280-350 A

- napon električnog luka 25-28 V
- potrošnja elektrodne punjene žice 1,5-1,8 kg
- vrijeme zavarivanja 20 minuta.



Slika 10: Radni koraci pri CGEAW postupku zavarivanja šina

3. ZAVARIVANJE PROFILA PRAVOUGAONOG POPREČNOG PRESJEKA

CGEAW postupak zavarivanja se najprije uspješno počeo primjenjivati za zavarivanje katodnih provodnika u elektrolitičkim ćelijama fabrika za proizvodnju aluminijuma. U zavisnosti od instalisane snage elektrolitičkih ćelija, dimenzije provodnika su 90x180 mm, 80x220 mm, 120x180 mm ili

115x230 mm. Provodnici se najčešće od niskougljeničnog vruće valjanog čelika. Zavarivanje u ćelijama se vrši u veoma teškim uslovima visokih temperatura, prašine i snažnih magnetnih polja, jer su najčešće dvije susjedne ćelije aktivne. Za ovu primjenu, gdje je ograničavajući faktor prostor, dizajnirana je posebna oprema za CGEAW postupak zavarivanja (slika 11).



Slika 11: Izvođenje elektro-lučnog CGEAW zavarivanja provodnika u elektrolitičkim ćelijama (80x220 mm)

Podsjećanja radi, u Kombinat aluminijuma Podgorica sa 550 elektrolitičkih ćelija, zavarivanje provodnika se vrši na način kako je to rađeno od njegovog otvaranja – ručno GMAW korišćenjem ploča debljine 10 mm uz neophodan zazor od min. 100 mm (slika 12) i vremenom zavarivanja 22 spoja (11 provodnika x 2 spoja) od približno 24 h.



Slika 12: Priprema stranica i zavareni spoj provodnika primjenom ručnog GMAW postupka – Kombinat aluminijuma Podgorica

4. ZAKLJUČAK

Primjena CGEAW postupka zavarivanja ima ekonomsku i tehničku prednost nad konvencionalnim postupcima elektro-lučnog zavarivanja koji se primjenjuju za zavarivanje šina. Postupak se karakteriše velikom mobilnošću, jednostavnom pripremom i jako velikom količinom deponovanog materijala u jedinici vremena.

Postupak CGEAW ne zahtijeva nikakvu zaštitnu atmosferu aktivnih ili inertnih gasova, niti hlađenje zone zavarivanja.

5. LITERATURA

- [1] Ф. Ф. Пашенко, А.С. 53628 СССР, МКИ В23 К 09/09. Способ электрической дуговой сварки, Заявл. 16.06.37, Опубл. 31.08. 38.
- [2] Н. Е. Cable, Part. 3646312 SAD, МКИ В 23 К 35/22. Electrodes for welding and the like, Opublikovan 29.02.72.
- [3] К. Iio, А. Osakto, К. Kobayashi, М. Konishi, Разборка нового способа туннельной дуговой сварки, *Kobe Stell Eng. Repts.*, 1974, No3, pp 93-99.
- [4] И.В. Зуев, Пат. 2115521 РФ, МКИ В 23 К 9/173 9/10. Способ электродуговой дуговой сварки изделий сложного профиля и устройство для его осуществления, Опубл. 20.07.98.
- [5] G.V. Kuzmenko, D. Bajić, Elektrolučno zavarivanje popunjavajućom elektrodom, Savetovanje sa međunarodnim učesćem “ZAVARIVANJE 2010”, Tara, 2–4. jun 2010. godine, Srbija, pp.14.
- [6] Г.В.Кузьменко, В.Г.Кузьменко, В.И.Галинич, В.В.Отроков, М.А.Лактионов, Однопроходная электродуговая сварка закладным электродом металла большой толщины, *Автомат. сварка*, 2006, №6, pp 44-49.
- [7] В.Д. Поздняков, В.М. Кирьяков, А.А. Гайворонский, А.В. Клапатюк, О.С. Шишкевич, Свойства сварных соединений рельсовой стали при электродуговой сварке, *Автомат. сварка*, 2010, №8, pp 19-24.
- [8] D.Bajic, G.V.Kuzmenko, I. Samardzic, Weilding of rails with new technology of arc welding, *Metallurgija*, Vol. 52, N3, 2013, pp 399-402
- [9] Tadamalle, A. P.; Reddy, Y. P.; Ramjee, E. (2013). Influence of laser welding process parameters on weld pool geometry and duty cycle, *Advances in Production Engineering & Management*, Vol. 8, No. 1, 52-60.
- [10] Edwin Raja Dhas, J.; Satheesh, M. (2012). Multiple objective optimization of submerged arc welding process parameters using grey based fuzzy logic, *Advances in Production Engineering & Management*, Vol. 7, No. 1, 5-16.

ANALIZA TEHNIČKO -TEHNOLOŠKE BAZE METALOPRERAĐIVAČKIH FIRMI U HERCEGOVINI

AN ANALYSIS OF TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL BASIS OF METAL SECTOR COMPANIES IN HERZEGOWINA

S. Pašić¹, S. Isić²

¹ Mašinski fakultet, Mostar, Bosna i Hercegovina, e-mail: sead.pasic@unmo.ba

² Mašinski fakultet, Mostar, Bosna i Hercegovina, e-mail: safet.isic@unmo.ba

SAŽETAK:

U ovom radu su prikazani rezultati ispitivanja tehničko-tehnološke osnove firmi metaloprerađivačkog sektora u Hercegovini. Rezultati definišu prosječnu starost opreme, zastupljenost pojedinih kategorija opreme i prosječnu starost opreme po kategorijama.

Ključne riječi: *tehnička baza, tehnološka baza, metaloprerađivačke firme*

ABSTRACT:

In this paper are presented results of research of technical and technological basis of metal sector companies in Herzegovina region. Results describe equipment average production year, distribution over specific equipment categories and average production year for specific categories.

Keywords: *technical base, technological base, metal sector*

1. UVOD

Metaloprerađivački sektor regije Hercegovina obuhvata 15% ukupnog broja subjekata metaloprerađivačkog sektora u Bosni i Hercegovini, koji ostvaruje oko 30% od ukupnog prometa ostvarenog u ovom sektoru na nivou Bosne i Hercegovine. Navedene činjenice predstavljaju jedan od razloga pripadanja metaloprerađivačkog sektora u regiji Hercegovine za podršku kroz realizaciju projekta CREDO.

Kao jedan od prvih koraka, na bazi prikupljenih podataka iz reprezentativnog broja firmi, izvršena je GAP analiza stanja MSP unutar metaloprerađivačkog sektora u Hercegovini [3]. Provedena analiza stanja definisala je četiri glavna problema koji otežavaju poslovanje i umanjuju konkurentnost firmi iz ovog sektora. To su tehničko-tehnološka osnova (tehnološki zastarjela oprema), ljudski resursi (nepostojanje adekvatne radne snage na tržištu rada, obuka kadrova), osiguranje kvaliteta (certificiranje proizvoda i proizvodnih pogona) i marketing (reklamiranje i promocija proizvoda). Konstatovano je da je prevazilaženje uočenih problema otežano zbog vrlo ograničene mogućnosti većine firmi u samostalno investiranje u nabavku opreme, obuku kadrova, proces certificiranja i marketing, kao i nepostojanje sistemske podrške nadležnih organa društvene zajednice i pristupa tržištu kapitala pod povoljnim uslovima.

U cilju boljeg planiranja podrške metaloprerađivačkom sektoru u prevazilaženju uočenih problema i nedostataka izvršeno je skeniranje stanja opremljenosti firmi. Kao rezultat podataka prikupljenih u dvadeset dvije firme napravljena je baza podataka, koja sadrži podatke o opremi. Navedeni podaci, osim za planiranje podrške nabavci nove opreme, mogu biti korišteni i za dobijanje informacija o mogućnosti vršenja usluga od strane pojedinih firmi.

2. PLANIRANJE ANKETE I ANKETIRANE FIRME

Prikupljanja podataka o tehničko-tehnološkoj osnovi firmi metaloprerađivačkog sektora izvršeno je putem popunjavanja anketnih listova prikazanih u Dodatku. Traženi podaci o opremljenosti firmi razvrstani su po tehnologijama izrade za koju je oprema namijenjena:

1. Oprema za pripremu materijala sječenjem,
2. Oprema za zavarivanje,
3. Oprema za obradu rezanjem,
4. Oprema za obradu deformisanjem,
5. Oprema za površinsku zaštitu metala i
6. Ostala oprema za proizvodnju
(livenje, unutrašnji transport, mjerna oprema, itd.).

Detekcija glavnih problema sa kojima se susreće metaloprerađivački sektor, prikazanih u „Analizi stanja metalnog sektora u Hercegovini“ (S. Pašić, 2012), bazirana je na podacima prikupljenih anketiranjem deset metaloprerađivačkih firmi različitih djelatnosti. Za izradu baze tehničko-tehnološke osnove metaloprerađivačkih firmi u Hercegovini korišteni su podaci prikupljeni anketiranjem dvadeset dvije metaloprerađivačke firme:

- | | |
|--|-----------------------------------|
| 1. AB Neretva d.o.o. Mostar | 12. PMP-2000 d.o.o. Ljubinje |
| 2. Ferokov d.o.o. Stolac | 13. Signalizacija d.o.o. Grude |
| 3. Feroprom d.o.o. Mostar | 14. Sik d.o.o. Mostar |
| 4. Ilijal d.o.o. Livno | 15. Sunita komerc d.o.o. Mostar |
| 5. Interkomerc d.o.o. Mostar | 16. Surtec Sjaj d.o.o. Konjic |
| 6. Konstrukcije d.o.o. Mostar | 17. Trgometal d.o.o. Posušje |
| 7. Lim d.o.o. Mostar | 18. Uniplast d.o.o. Mostar |
| 8. Limgra-Jurić d.o.o. Tomislavgrad | 19. UNIS Elektronik d.o.o. Mostar |
| 9. Metalac d.o.o. Široki Brijeg | 20. UNIS Gal d.o.o. Konjic |
| 10. Mip d.o.o. Mostar | 21. UNIS TŠP d.o.o. Mostar |
| 11. Monting energetika d.o.o. Trebinje | |

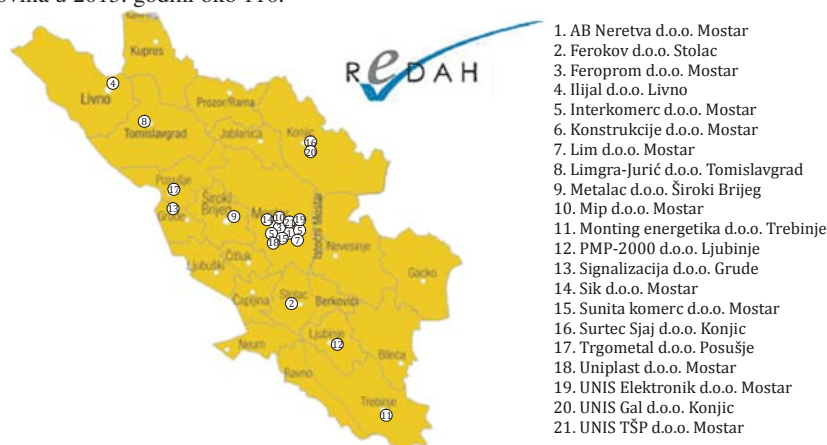
Među navedenim firmama se nalaze i firme na bazi kojih je izrađena i „Analiza stanja metalnog sektora u Hercegovini“ [3].

Na slici 1 je prikazan geografski raspored anketiranih firmi o tehničko-tehnološkoj osnovi u metaloprerađivačkom sektoru u regiji Hercegovine.

Prema geografskom rasporedu anketiranih firmi vidljivo je da su izabrane firme ravnomjerno raspoređene po čitavoj regiji, sa najvećom koncentracijom firmi u Mostaru.

Ukupan broj metaloprerađivačkih subjekata u regiji Hercegovina u 2012. godini iznosio je 122, tj. 17.38% od ukupnog broja metaloprerađivačkih firmi u BiH [2]. Zbog trenda smanjenja ovog broja u

odnosu na 2011. godinu za 10.97%, može se procijeniti da broj metaloprerađivačkih subjekata u regiji Hercegovina u 2013. godini oko 110.



Slika 1: Geografski raspored firmi obuhvaćenih anketom o tehničkoj opremljenosti.

Pod pretpostavkom da je sva oprema koja se koristi u firmama metalnog sektora proizvedena poslije 1945, tj. da nijedna jedinka nije starija od 68 godina, standardno odstupanje starosti opreme se može procijeniti na $68/6 = 11.3$ godina. Usvajanjem da je prihvatljiva greška procjene prosječne starosti opreme 5 godina, za procjenu prosječne starosti opreme sa sigurnošću od 95 %, od ukupne populacije firmi potrebno je anketirati

$$n = \left(\frac{1.96 \cdot 11.3}{5} \right)^2 = 19.62 = 20 \text{ firmi.}$$

U slučaju izbora 20 firmi frakcija izbora je $20/110 = 0.18 > 0.05$, pa se veličina uzorka firmi koriguje na

$$n = \frac{20}{1 + \frac{20}{110}} = 16.65 = 17 \text{ firmi.}$$

Prema tome, broj firmi metaloprerađivačkog sektora u regiji Hercegovina, obuhvaćenih anketiranjem, predstavlja reprezentativan uzorak ukupne populacije.

Potrebno je napomenuti da određeni broj firmi u regiji Hercegovina čiji je proizvodni proces dobrim dijelom vezan za strano tržište ili su vezani za strane partnere, kao što su npr. Feal d.o.o. Široki Brijeg, Presal d.o.o. Široki Brijeg, Grawe Tadv d.o.o. Konjic, Tzink Technik d.o.o. Mostar i sl., nisu obuhvaćeni anketiranjem kako bi se anketa odnosila na firme koje dijele uslove domaćeg tržišta.

3. ANALIZA DJELATNOSTI

Pored određivanja broja firmi koji predstavlja reprezentativan uzorak čitave populacije, pri planiranju i provođenju i ankete vršen je izbor firmi i na bazi djelatnosti, s ciljem reprezentativnosti i u ovom pogledu. Djelatnosti anketiranih firmi mogu se klasificirati pod: Izrada nosivih čeličnih konstrukcija,

proizvodnja aluminijske stolarije, površinska zaštita, pkupljanje i reciklaža metala, prerada metalnih proizvoda, kovane ograde, izrada metalnog namještaja, proizvodnja proizvoda od lima, prerada aluminija, izrada procesne opreme i izrada saobraćajne signalizacije.

Jedan broj firmi ima širi spektar djelatnosti koji se djelimično preklapa sa drugim firmama, što proizilazi iz uslova na tržištu, gdje se firme orjentišu na više djelatnosti kako bi opstale i bile konkurentne.

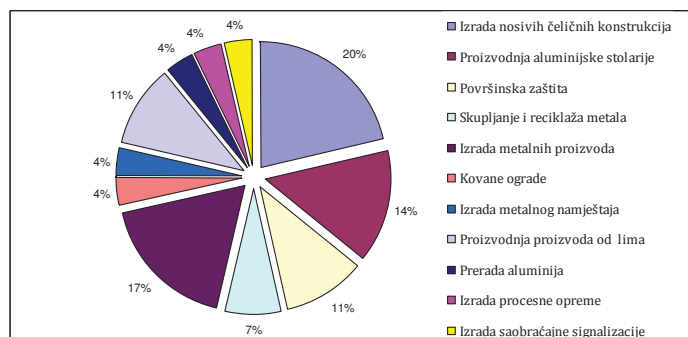
Pregled djelatnosti anketiranih firmi prikazan je u Tabeli 1.

Tabela 1 : Pregled djelatnost anketiranih metaloprerađivačkih firmi.

		Izrada nosivih čeličnih konstrukcija	Proizvodnja aluminijske stolarije	Površinska zaštita	Skupljanje i reciklaža metala	Izrada metalnih proizvoda	Kovane ograde	Izrada metalnog namještaja	Proizvodnja proizvoda od lima	Prerada aluminija	Izrada procesne opreme	Izrada saobraćajne signalizacije
1.	AB Neretva d.o.o. Mostar											
2.	Ferokov d.o.o. Stolac											
3.	Feroprom d.o.o. Mostar											
4.	Ilijal d.o.o. Livno											
5.	Interkomerc d.o.o. Mostar											
6.	Konstrukcije d.o.o. Mostar											
7.	Lim d.o.o. Mostar											
8.	Limgra-Jurić d.o.o. Tomislavgrad											
9.	Metalac d.o.o. Široki Brijeg											
10.	Mip d.o.o. Mostar											
11.	Monting energetika d.o.o. Trebinje											
12.	PMP-2000 d.o.o. Ljubinje											
13.	Signalizacija d.o.o. Grude											
14.	Sik d.o.o. Mostar											
15.	Sunita komerc d.o.o. Mostar											
16.	Surtec Sjaj d.o.o. Konjic											
17.	Trgometal d.o.o. Posušje											
18.	Uniplast d.o.o. Mostar											
19.	UNIS Elektronik d.o.o. Mostar											
20.	UNIS Gal d.o.o. Konjic											
21.	UNIS TŠP d.o.o. Mostar											

Zastupljenost iznad 10% imaju izrada nosivih čeličnih konstrukcija, proizvodnja aluminijske stolarije, površinska zaštita, izrada metalnih proizvoda i proizvodnja proizvoda od lima. Većina firmi koje se bave izradom nosivih metalnih konstrukcija bave se i izradom metalnih proizvoda, pa zbirni procentualni udio ovih firmi iznosi 37%.

Na slici 2 prikazana je procentualna zastupljenost djelatnosti anketiranih firmi.

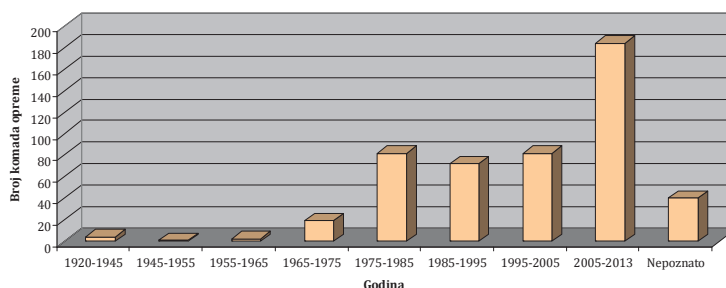


Slika 2: Procentualna zastupljenost djelatnosti anketiranih firmi.

4. STAROSNA STRUKTURA PROIZVODNE OPREME

Anketiranjem dvadeset i jedne firme metalnog sektora u Hercegovini napravljena je baza podataka opremljenosti firmi koja sadrži 486 jedinica različite vrste opreme. Manji broj primjeraka korištene opreme datira iz vremena prije Drugog svjetskog rata, dok je najveći broj opreme, 98.4 %, proizveden poslije 1965 godine. Najveći broj opreme, 18.4 %, iz vremena bivše države proizveden je u periodu 1975-1985, dok je u skorijem periodu najveći broj opreme, 41.25 % od ukupnog broja, proizveden u periodu 2005-2013 i nije stariji od 8 godina.

Starosna struktura kompletne opreme anketiranih firmi prikazana je na slici 3.

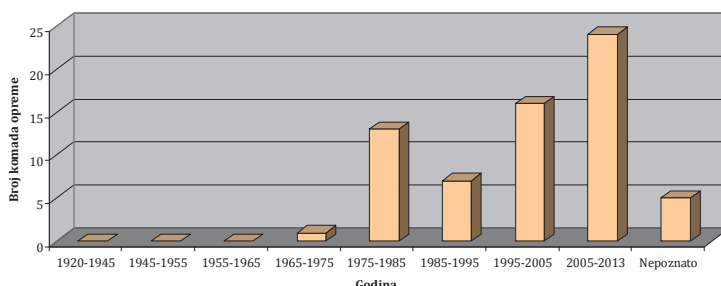


Slika 3: Starosna struktura kompletne opreme.

Prosječna starost kompletne opreme je, prema prikupljenim podacima, iznosi 17 godina, što odgovara godini proizvodnje 1996. Od kupnog broja opreme, 56.6 % je starije od 10 godina, dok je 37.6 % starije od 20 godina a 18.3 % starije od 30 godina.

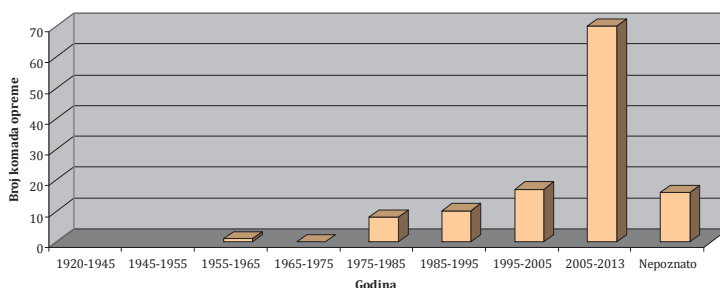
Na slici 4 prikazana je starosna struktura opreme za pripremu sječenjem. Oblik raspodjele starosne strukture ove grupe opreme prati oblik raspodjele kompletne opreme. I u ovom slučaju najveći broj opreme, 39.3 % od ukupnog broja, iz novijeg perioda proizveden je 2005-2013, dok najveći broj opreme iz vremena bivše države, 21.3 %, potiče iz perioda 1975-1985.

Prosječna starost opreme za pripremu sječenjem, prema prikupljenim podacima, iznosi 15.6 godina, što odgovara godini proizvodnje 1997. Od kupnog broja opreme, 56.9 % je starije od 10 godina, dok je 32.3 % starije od 20 godina a 12.3 % starije od 30 godina, što je nešto bolje u odnosu na istu analizu na nivou kompletne opreme.



Slika 4: Starosna struktura opreme za pripremu sječenjem.

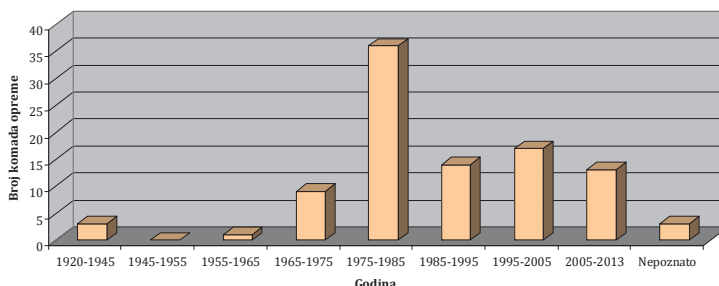
Na slici 5 prikazana je starosna struktura opreme za zavarivanje. Oblik raspodjele starosne strukture ove grupe opreme pokazuje kontinualno povećanje broja opreme proizvedene u novije vrijeme. I u ovom slučaju najveći broj opreme, 66 % od ukupnog broja, iz novijeg perioda proizveden je 2005-2013, dok najveći broj opreme iz vremena bivše države, 9.5 %, potiče iz perioda 1985-1992. Prosječna starost opreme za zavarivanje, prema prikupljenim podacima, iznosi 9.8 godina, što odgovara godini proizvodnje 2003. Od kupnog broja opreme, 35.45 % je starije od 10 godina, dok je 16.4 % starije od 20 godina a 7.3 % starije od 30 godina, što je bolje u odnosu na istu analizu na nivou kompletne opreme.



Slika 5: Starosna struktura opreme za zavarivanje.

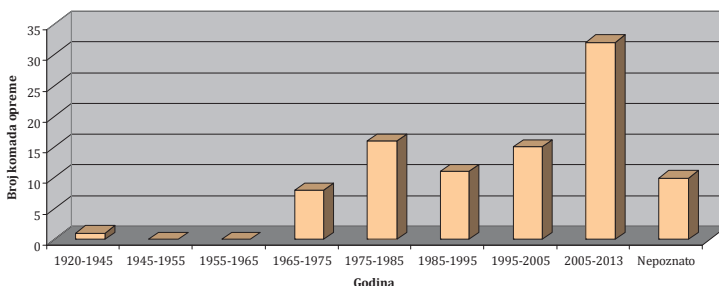
Na slici 6 prikazana je starosna struktura opreme za obradu rezanjem. Oblik raspodjele starosne strukture ove grupe opreme pokazuje kontinualno smanjenje broja opreme proizvedene poslije 1995 godine, dok se taj broj povećavao u periodu do 1985. U ovom slučaju najveći broj opreme, 38.7 % od ukupnog broja, proizveden je 1975-1985, dok najveći broj novije opreme, 18.3 %, potiče iz perioda 1995-2005.

Prosječna starost opreme za obradu rezanjem, prema prikupljenim podacima, iznosi 25.2 godina, što odgovara godini proizvodnje 1987/8. Od kupnog broja opreme, 85.4 % je starije od 10 godina, dok je 62.9 % starije od 20 godina a 38.2 % starije od 30 godina, što je jedan od najlošijih prosjeka u odnosu na istu analizu na nivou kompletne opreme.



Slika 6: Starosna struktura opreme za obradu rezanjem.

Na slici 7 prikazana je starosna struktura opreme za obradu deformisanjem. Oblik raspodjele starosne strukture ove grupe opreme prati oblik raspodjele starosne strukture kompletne opreme. I u ovom slučaju najveći broj opreme, 38.6 % od ukupnog broja, iz novijeg perioda proizveden je 2005-2013, dok najveći broj opreme iz vremena bivše države, 19.3 %, potiče iz perioda 1975-1985.

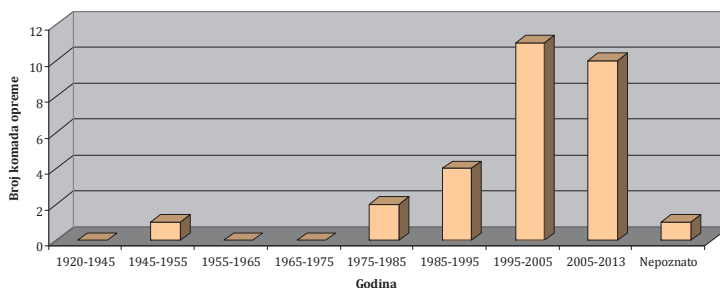


Slika 7: Starosna struktura opreme za obradu deformisanjem.

Prosječna starost opreme za obradu deformisanjem, prema prikupljenim podacima, iznosi 18.5 godina, što odgovara godini proizvodnje 1994/5. Od kupnog broja opreme, 60.0 % je starije od 10 godina, dok je 41.2 % starije od 20 godina a 28.2 % starije od 30 godina, što je lošije od prosjeka u odnosu na istu analizu na nivou kompletne opreme.

Na slici 8 prikazana je starosna struktura opreme za površinsku zaštitu. Oblik raspodjele starosne strukture ove grupe opreme ne prati oblik raspodjele starosne strukture kompletne opreme, nego pokazuje povećanje broja novoproizvedene opreme. I u ovom slučaju najveći broj opreme, 39.3 % od ukupnog broja, iz novijeg perioda proizveden je 1995-2005, dok najveći broj opreme iz vremena bivše države, 14.3 %, potiče iz perioda 1985-1992.

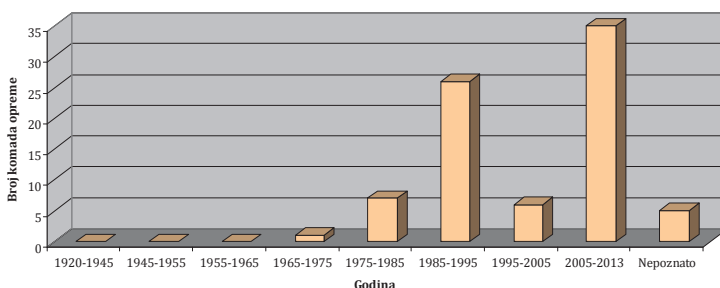
Prosječna starost opreme za površinsku zaštitu, prema prikupljenim podacima, iznosi 14.0 godina, što odgovara godini proizvodnje 1999. Od kupnog broja opreme, 57.1 % je starije od 10 godina, dok je 25.0 % starije od 20 godina a 10.7 % starije od 30 godina, što je bolje od prosjeka u odnosu na istu analizu na nivou kompletne opreme.



Slika 8: Starosna struktura opreme za površinsku zaštitu.

Na slici 8 prikazana je starosna struktura ostale proizvodne opreme. Oblik raspodjele starosne strukture ove grupe opreme pokazuje povećanje broja nove opreme do 1992 godine a zatim ponovni početak povećavanja od 1995 godine. U ovom slučaju najveći broj opreme, 39.3 % od ukupnog broja, iz novijeg perioda proizveden je 1995-2005, dok najveći broj opreme iz vremena bivše države, 14.3 %, potiče iz perioda 1985-1992.

Prosječna starost ostale proizvodne opreme, prema prikupljenim podacima, iznosi 14.7 godina, što odgovara godini proizvodnje 1998/9. Od kupnog broja opreme, 55.9 % je starije od 10 godina, dok je 42.6 % starije od 20 godina a 8.8 % starije od 30 godina, što je bolje od prosjeka u odnosu na istu analizu na nivou kompletne opreme.

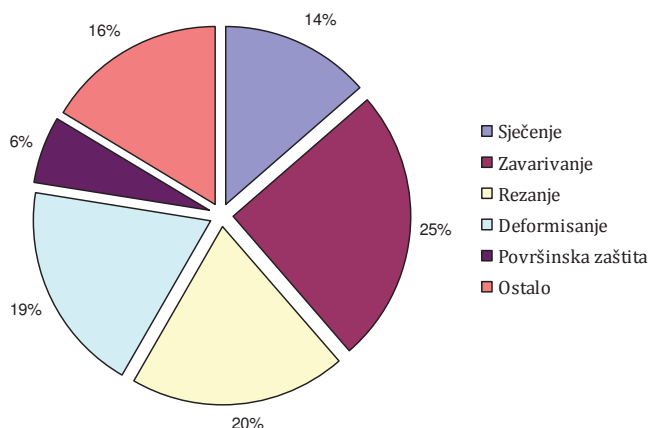


Slika 9: Starosna struktura ostale opreme.

5. STAROSNA STRUKTURA PROIZVODNE OPREME PREMA TEHNOLOGIJI

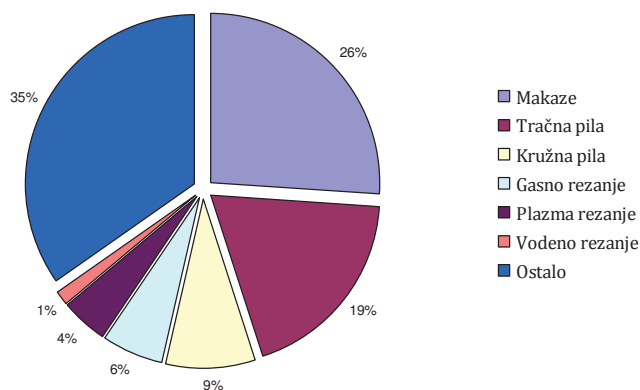
Pored analize podataka o starosnoj strukturi proizvodne opreme, izvršena je analiza strukture opreme prema proizvodnim tehnologijama za koje je oprema namijenjena. Razvrstavanjem opreme u šest ranije definisanih kategorija dobiveno je procentualno učešće svake od kategorija u ukupnom broju proizvodne opreme, prikazano na slici 10.

Oprema za sječenje materijala, zavarivanje, rezanje i deformisanje obuhvata 78 % ukupnog broja opreme. Najveći dio proizvodne opreme otpada na opremu za zavarivanje, 25 %.



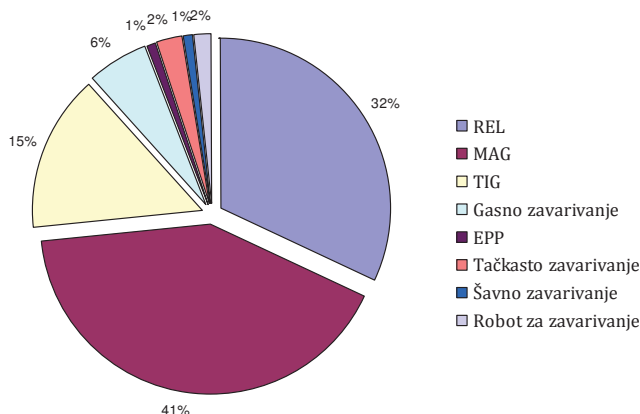
Slika 10: Raspodjela proizvodne opreme prema tehnologijama

Na slici 11 prikazan je procentualni sastav proizvodne opreme za pripremu materijala sječenjem. Najveći procentualni udio pripada strojevima za sječenje tipa makaza i pila, 54 %. Imajući u vidu da i ostala vrsta opreme za pripremu sječenjem predstavlja najčešće određeni tip pila, može se reći da ove dvije vrste strojeva predstavljaju najveći dio opreme za pripremu sječenjem. U sklopu ove vrste opreme 5 % opreme se odnosi na savremene CNC strojeve za plazma i vodeno rezanje.



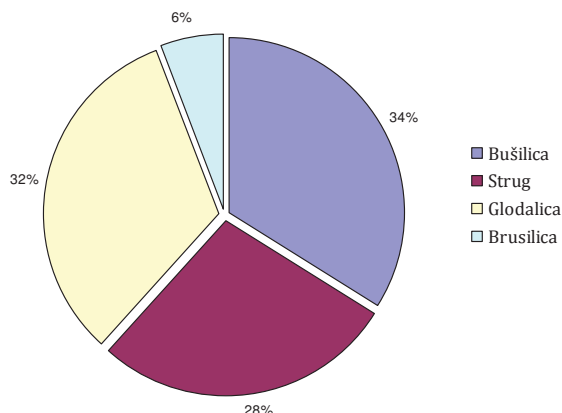
Slika 11: Raspodjela opreme za pripremu sječenjem

Na slici 12 prikazan je procentualni sastav proizvodne opreme za zavarivanje. Najveći procentualni udio pripada aparatima za REL i MAG postupak, 73 %. Značajan dio opreme odnosi se i na aparate za TIG postupak zavarivanja, 15 %, tako da 88 % opreme za zavarivanje otpada na aparate za navedena tri postupka zavarivanja. Značajno je napomenuti da se u sklopu ove opreme nalazi 3% opreme za mehanizovano i robotsko zavarivanje. Međutim, s obzirom da većina firmi svoj proizvodni asortiman dobrim dijelom bazira na spajanju materijala zavarivanjem, udio ovakve opreme je još uvijek jako mali.



Slika 12: Raspodjela opreme za zavarivanje.

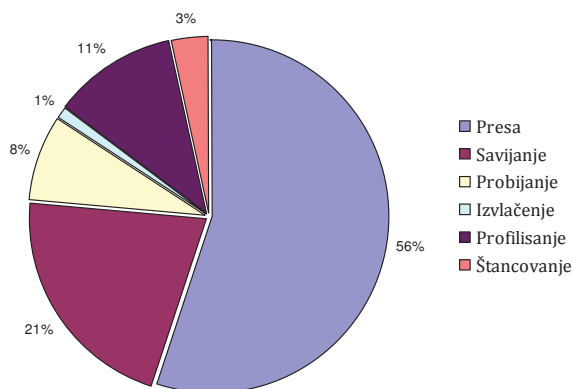
Na slici 13 prikazan je procentualni sastav proizvodne opreme za obradu rezanjem. Najveći procentualni udio odnosi se na bušilice, 34 %, pri čemu je udio koji se odnosi na strugove i glodalice približno iste vrijednost, 32 % i 28 %. Ukupan procentualni udio koji se odnosi na bušilice, strugove i glodalice iznosi 94 % ukupnog broja opreme, dok se preostali dio od 6 % odnosi na različite tipove brusilica. Oprema za obradu rezanjem ima najmanji diverzitet u odnosu na ostale grupe opreme. Značajan dio opreme, 92.5 %, odnosi se na klasične bušilice, strugove i glodalice, dok se najveći udio u odnosu na druge grupe opreme, 7.5 %, odnosi na savremene CNC strugove, glodalice i obradne centre.



Slika 13: Raspodjela opreme za obradu rezanjem.

Na slici 14 prikazan je procentualni sastav proizvodne opreme za obradu deformisanjem. Najveći procentualni udio odnosi se na različite tipove presa, 56 %. Drugi po veličini procentualni udio 21 %

odnosi se na mašine za savijanje. Od drugih manje zastupljenih tipova najzastupljeniji su strojevi za probijanje i profilisanje, čija je zastupljenost 8 % i 11 %. Udio ostale vrste opreme je manji od 3. Na savremene CNC strojeve za obradu deformisanjem otpada 6 % ukupne opreme i uglavnom se odnose na strojeve za obradu limova.



Slika 14: Raspodjela opreme za obradu deformisanjem.

6. ZAKLJUČAK

Anketiranjem reprezentativnog uzorka od 21 metaloprerađivačke firme u Hercegovini prikupljeni su podaci o raspoloživoj proizvodnoj opremi.

Proizvodna oprema je generalno svrstana u šest kategorija: oprema za pripremu materijala sječenjem, oprema za zavarivanje, oprema za obradu rezanjem, oprema za obradu deformisanjem, oprema za površinsku zaštitu metala i ostala oprema za proizvodnju.

Prosječna starost proizvodne opreme iznosi 17 godina, što odgovara godini proizvodnje 1996. Od kupnog broja opreme, 56.6 % je starije od 10 godina, dok je 37.6 % starije od 20 godina a 18.3 % starije od 30 godina.

Prema prikupljenim podacima, oprema za sječenje materijala, zavarivanje, rezanje i deformisanje obuhvata 78 % ukupnog broja opreme.

Najveći dio proizvodne opreme, 25%, otpada na opremu za zavarivanje.

Udio savremenih CNC mašina u ukupnom brojnom stanju opreme je dosta nizak, 4.7 %, pri čemu je udio saavremenih CNC mašina od 7.5 % najveći kod opreme za obradu rezanjem a najmanji, 3 %, kod opreme za zavarivanje.

7. LITERATURA

- [1] V. Domljan, „Najdinamičniji sektori malih i srednjih preduzeća u Hercegovini“, CREDO Hercegovina, Mostar 2011.
- [2] H. Tule, S. Stajković, „Usporedna analiza industrijskih sektora“, CREDO Hercegovina, Mostar 2013.
- [3] S. Pašić, „Analiza stanja metalnog sektora u Hercegovini“, CREDO Hercegovina, Mostar 2012.
- [4] S. Pašić, „Plan podrške metalnog sektora u Hercegovini za period 2012-2015“, CREDO Hercegovina, Mostar 2012.
- [5] S. Pašić, „Akcioni plan podrške metalnog sektora u Hercegovini za period 2012-2013“, CREDO Hercegovina, Mostar 2012.
- [6] I. Šošić, V. Serdar, „Uvod u statistiku, Školska knjiga, Zagreb 2012.

UPOTREBA 3D TEHNOLOGIJA U BRZOM REINŽINJERINGU KONSTRUKCIJA

USE 3D TECHNOLOGY IN THE RAPID RE-ENGINEERING OF CONSTRUCTION

S. Pašić¹, S. Isić², D. Tiro³

¹ Mašinski fakultet, Mostar, Bosna i Hercegovina, e-mail: sead.pasic@unmo.ba

² Mašinski fakultet, Mostar, Bosna i Hercegovina, e-mail: safet.isic@unmo.ba

³ Mašinski fakultet, Mostar, Bosna i Hercegovina, e-mail: dragi.tiro@unmo.ba

SAŽETAK:

U ovom radu je prikazan postupak upotrebe savremenih 3D tehnologija u brzom reinžinjeru lopatica sprovednog aparata male hidroelektrane sa Francis turbinom. Reinžinjeru lopatica je izvršen kombinovanjem tehnologije 3D skeniranja i modeliranja sa klasičnim metodama ispitivanja materijala i mjerenja dimenzija na originalnim lopaticama.

Ključne riječi: reinžinjeru, reverzibilni inžinjeru, 3D skeniranje

ABSTRACT:

This paper presents usage of modern 3D technologies in rapid re-engineering of guide venues of small hydroelectric power plant with Francis turbine. Guide venue rapid re-engineering is provided by combining technologies of 3D scanning and modelling with classic methods of material testing and measurement.

Keywords: re-engineering, reversible engineering, 3D scanning

1. UVOD

Ponekad se javlja potreba za reinžinjeru nekog postrojenja, uređaja, mašine, konstrukcije, sklopa i slično. Tada je, naravno, neophodno koristiti tehničku, konstruktivnu i tehnološku dokumentaciju raznih dijelova, sklopova, mašina itd. Međutim, vrlo često nemamo neki, većinu ili nijedan od tih dokumenata.

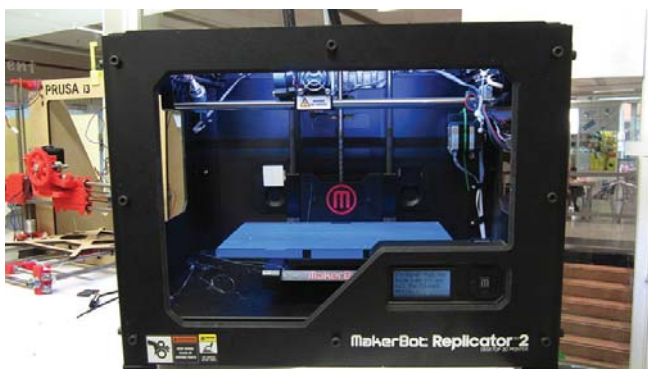
Da bi se dobili trodimenzionalni modeli mašinskih dijelova danas se koriste tehnike trodimenzionalnog skeniranja. Pomoću odgovarajućeg 3D skenera se izvrši skeniranje pri čemu se u digitalnom obliku dobijaju oblaci tačaka i poligonizirana mreža koja precizno opisuje geometriju površine mašinskog dijela. Obradom odgovarajućim softverom se dobija površinski odnosno zapreminski model, odnosno tačan 3D model dijela, od kojeg se dalje dobija tehnički crtež, tj. 2D prikaz projekcija, detalja tog dijela sa kotama. Na taj način se relativno brzo i lako dolazi do tehničke dokumentacije [1].



Slika 1: 3D skener

Metode kojim se preciznim mjerenjem postojećih dijelova, sklopova itd. dobijaju tehničke informacije za modeliranje 3D dijelova, sklopova itd, izradu njihove tehničke dokumentacije jednim imenom se nazivaju reverzibilni inženjering. To se koristi za rekonstrukciju, izradu nove, poboljšane varijante proizvoda, razne analize, zamjenu dijelova koji se ne mogu naći na tržištu i slično. Dakle, analizira se struktura proizvoda, geometrijski oblik i dimenzije dijelova, njihov međusobni položaj i odnos, funkcija u cilju iznalaženja tehničkih i tehnoloških principa.

Reverzibilni inženjering se koristi i za proizvodnju proizvoda koji se mogu naći na tržištu, a koje proizvode druge firme. Tako npr, poznato je da u automobilskoj industriji neke kineske firme proizvode automobile koji su vrlo slični poznatim evropskim proizvođačima, čak i u pogledu vanjskog dizajna vozila sa vrlo nižim prodajnim cijenama.



Slika 2: 3D printer

U reverzibilnom inženjeringu najčešće se koristi tehnika trodimenzionalnog skeniranja. Mjerenja se mogu vršiti i pomoću drugih mjernih instrumenata, a često u kombinaciji sa trodimenzionalnim skeniranjem. Dijelovi jednostavnog geometrijskog oblika se mjere univerzalnim mjernim instrumentima i njihov 3D model se dobija direktnim modeliranjem u softveru (kao što je Solid Works, Catia, Inventor itd.) bez upotrebe 3D skenera.

Kada se dođe do virtualnih 3D modela, mogu se vršiti razne analize i simulacije pomoću računara. Iznalaženjem nekih optimalnih rješenja obično se dijelovi izrađuju u cilju dobijanja prototipa, a za brzu izradu prototipa najčešće se koriste tehnike trodimenzionalnog printanja.

Na ovaj način se može izvršiti brza izrada pojedinih dijelova i sklopova, a najčešće korištene tehnike 3D printanja su [2]: Stereolitografija-Stereolithography Apparatus – SLA, Obnavljanje osnovnog oblika - Solid Ground Curing – SGC, Proizvodnja laminatnih objekata - Laminated Object Manufacturing – LOM, Nanošenje materijala topljenjem - Fused Deposition Modeling – FDM, Selektivno lasersko sinterovanje – Selective Laser Sintering – SLS, Z Corp proces trodimenzionalnog printanja, Cubify 3D print itd.

2. RENŽINJERING LOPATICA TURBINE MALE HIDROELEKTRANE

Kao primjer reinženjeringa u ovom radu će biti opisan postupak ispitivanja lopatica sprovodnog aparata male hidroelektrane sa Francis turbinom. Naime, na lopaticama je u toku višegodišnjeg korištenja došlo do pojave oštećenja usljed korozije i kavitacijae, uzrokovanih lošim izborom materijala. Međutim, preduzeće MHE ne posjeduje nikakvu tehničku ni tehnološku dokumentaciju za ove lopatice.

Zbog toga je bilo potrebno razmontirati postrojenje, izvršiti NDT ispitivanje lopatica, odrediti hemijski sastav lopatica, tj. utvrditi od kojeg materijala su napravljene, izvršiti 3D skeniranje u cilju dobijanja tačnog 3D modela lopatice (tačne zakrivljenosti površina), izmjeriti dimenzije rukavaca i radijalno bacanja lopatica, zbog definisanja tolerancija za izradu novih lopatica, te napraviti tehničku dokumentaciju.



Slika 3: Izgled rezervne lopatice

Na slici 3. prikazan je izgled rezervne lopatice.

2.1. NDT ispitivanje lopatica

Izvršeno je ispitivanje penetranskim tečnostima vodećih lopatica turbine koje su bile u eksploataciji i pokazana su znatna oštećenja na većini lopatica. Najveća oštećenja evidentirana su kod lopatica na donjem dijelu sprovednog aparata, koje su bile u vodi i u fazi mirovanja turbine. Jedan broj lopatica nije zadovoljavao klasu 3 prema standardu PT 70-3 standardu za hromirane površine, drugi dio lopatica nije zadovoljavao klasu 3 prema EN 1371-1 standardu. Lopatice iz donjeg dijela sprovednog aparata nisu zadovoljile klasu 3 prema oba standarda. Jedino su dvije lopatice iz gornjeg dijela sprovednog aparata su zadovoljile zahtjevanu klasu 3 za ispitivanje i površine lopatice, kao i hromirane površine rukavaca.



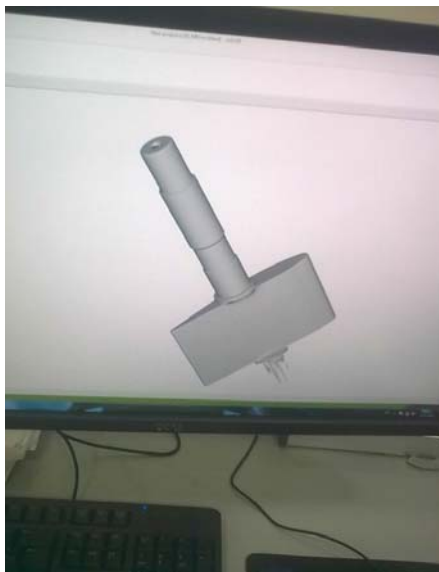
Slika 4: Jedna od vodećih lopatica nakon razvijanja penetranta

2.2. Određivanje hemijskog sastava lopatica

Pomoću uređaja Mob. spektrometar Belec izvršena je hemiska analiza materijala lopatica. Izvršeno je pet mjerenja i srednja vrijednost je dala rezultate na osnovu kojih se može zaključiti da je riječ o konstrukcionom čeliku oznake S275 prema EN 10 027-1.

2.3. 3D skeniranje lopatice

Izvršeno je 3D skeniranje u cilju dobijanja tačnog 3D modela lopatice (tačne zakrivljenosti površina), na trodimenzionalnom skeneru koji snima površinu u 8000 tačaka. Skeniranjem se dobije u digitalnom obliku oblak tačaka i poligonizirana mreža koja precizno opisuje geometriju površine lopatice. Obradom odgovarajućim softverom se dobija površinski odnosno zapreminski model, odnosno tačan 3D model lopatice. Na slici 5 je prikazan 3D model određen skeniranjem rezervne lopatice.



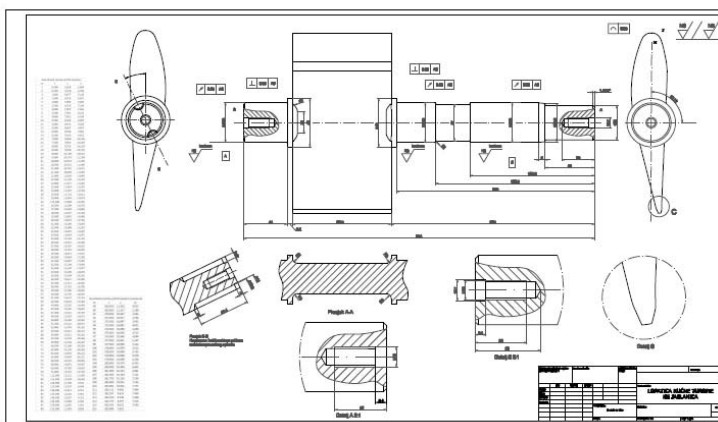
Slika 5: 3D model lopatice na ekranu računara dobijen 3D skeniranjem

2.4. Mjerenje dimenzija i radijalnog bacanja lopatica

Izvršena je kontrola radijalnog bacanja i prečnika rukavaca lopatica. Kontrolisane su navedene veličine na svim lopaticama sprovednog aparata. Kontrola radijalnog bacanja izvršena je pomoću postolja sa šiljcima za mjerenje radijalnog izbačaja vratila. Šiljci su postavljeni u gniijezda lopatice i izbačaj je mjereno pri punom obrtaju komparaterom rezolucije 0.01 mm (Slika 6.). Mjerenje prečnika rukavaca izvršeno je mikrometrom rezolucije 0.01 mm.



Slika 6: Aparatura za mjerenje radijalnog bacanja



Slika 9: Radionički crtež lopatice

3. ZAKLJUČAK

Savremenim tehnikama i tehnologijama trodimenzionalnog skeniranja, trodimenzionalnog printanja i slično moguće je relativno brzo i lako izvršiti reinženjering nekog postrojenja, sklopa, uređaja, konstrukcije itd. u odnosu na tehnike koje su se prije koristile. Pomenute nove tehnologije se moraju kombinovati sa klasičnim mjerenjima u cilju dobijanja svih kota i tolerancija.

Reverzibilni inženjering danas sve više dobija na značaju, uglavnom zbog stalnog zahtjeva tržišta za proizvodnju novih i poboljšanih varijanti proizvoda.

4. LITERATURA

- [1] Alan Topčić, Dž. Tufekčić, E. Cerjaković, 2012, Razvoj proizvoda, Mašinski fakultet Tuzla, ISBN 978-9958-31-074-4
- [2] Dragi Tiro, A. Fajić, 2008, Trodimenzionalno printanje i ostali postupci brze izrade, Mašinski fakultet Mostar, ISBN 978-9968-604-33-1
- [3] Messler, Robert W., Jr.: Reverse Engineering: Mechanisms, Structures, Systems, and Materials, McGraw – Hill Education, 2013.
- [4] Raja, Vinesh; Fernandes, Kiran J. (Eds.): Reverse Engineering: An Industrial Perspective, Springer, 2008.

NOVE TEHNOLOGIJE BRZE IZRADE DIJELOVA I NJIHOVA PRIMJENA U PROIZVODNIM PROCESIMA

NEW TECHNOLOGIES OF PARTS RAPID MANUFACTURING AND THEIR APPLICATION IN PRODUCTION PROCESSES

Mehmed Mahmić, Edina Karabegović, Ermin Husak
Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet Bihać
dr. Irfana Ljubijankića bb

SAŽETAK:

Primjena novih tehnologija brze izrade uslovljena je konkurencijom na tržištu. Uspješan razvoj novih proizvoda je nezamisliv bez novih tehnologija brze izrade. Tehnologije brze izrade dodavanjem imaju prednosti u odnosu na klasične jer se direktno iz CAD modela izrađuje fizički objekat. Oblast primjene tehnologija brze izrade dodavanjem ima stalan rast.

Ključne riječi: *nove tehnologije, tehnologije dodavanjem, brza izrada prototipa, brza izrada proizvoda, primjena*

ABSTRACT:

Application of new technologies of rapid manufacturing is conditioned by market. Successful development of new products is impossible without new technologies of rapid manufacturing. Technologies of additive rapid manufacturing have advantages over the classics because physical object is manufactured directly from CAD model. Domain of additive rapid manufacturing technology is constantly increased.

Keywords: *new technologies, additive technologies, rapid prototyping, rapid manufacturing, application*

1. UVOD

Nove tehnologije brze izrade, čiji je osnovni cilj integracija procesa, povećanje produktivnosti i kvaliteta, zasnivaju se na novim tehnikama i kratkom vremenu razvoja proizvoda. Postupci izrade dodavanjem (engl. Additive Manufacturing - AM) su definirani kao tehnologije brze izrade, gdje se na osnovu 3D digitalnog modela objekta direktno dodavanjem materijala izrađuje željeni fizički objekat. Osnovna razlika tehnologije izrade dodavanjem od konvencionalne tehnologije je u tome što se konvencionalnim tehnologijama željeni fizički oblik objekta postiže uklanjanjem materijala, na primjer: tokarenje i glodanje... Prednost upotrebe procesa dodavanjem je još veća za proizvode koji su geometrijski vrlo zahtjevni jer ako bi se izradili klasičnim postupcima u tom slučaju zahtijevali bi više vremena i veće troškove. Osim toga, neki od tih proizvoda, koji se mogu lako proizvesti koristeći postupke dodavanjem s klasičnim postupcima se ne mogu izraditi. Primjena tehnologija izrade dodavanjem je široka: automobilska industrija, proizvodi široke potrošnje, elektronska industrija, svemirska, medicina, industrija slušnih aparata, industrija sportske opreme, itd. [1-7].

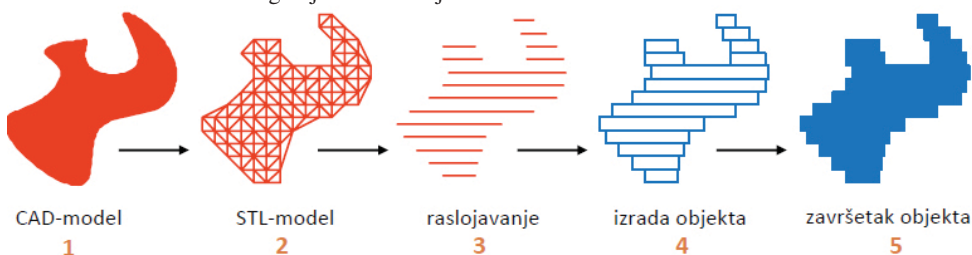
2. NOVE TEHNOLOGIJE BRZE IZRADE

Nove tehnologije brze izrade kada su u pitanju postupci dodavanjem materijala mogu se podijeliti prema različitim kriterijima, a najčešće se dijele prema:

- načinu izrade objekta (selektivno očvršćavanje, selektivno sinterovanje i topljenje, selektivno nanošenje, laminatna izrada objekata),
- materijalu za izradu (postupci s tekućinama, postupci s praškovima, postupci s krutinama),
- primjeni (brza izrada prototipa, brza izrada alata, brza izrada proizvoda).

Bez obzira na vrstu tehnologije dodavanjem, koraci za dobivanja fizičkog modela su dati na slici 1:

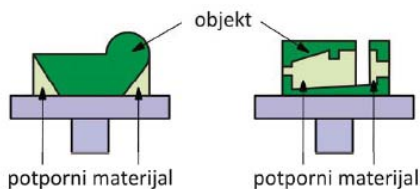
1. Modeliranje CAD modela objekta s CAD sistemom.
2. Spremanje CAD modela u STL format - datoteku (engl. Standard Triangulation Language).
3. Unos STL datoteke u program za pripremu izrade (postavljanje objekta u radni prostor, raslojavanje objekta i postavljanje noseće potpore).
4. Izrada fizičkog objekta po slojevima na stroju.
5. Završetak fizičkog objekta i čišćenje.



Slika 1: Osnovni koraci tehnologija dodavanjem

Zajedničke karakteristike svih procesa brze izrade su da se fizički model-proizvod izrađuje u slojevima, sloj po sloj, djelujući određenom energijom na površinu materijala na radnoj platformi, nakon čega materijal očvršćava. Nakon očvršćavanja sloja, platforma se spušta, a na već izrađenom sloju se formira naredni sloj i proces se ponavlja sve do dobijanja izradka.

Karakteristika tehnologija dodavanjem je da vrijeme izrade gotovo ne zavisi od složenosti proizvoda, već od njegove visine i u zavisnosti od broja slojeva. Što je veći broj slojeva, duže je vrijeme izrade. Iz tog razloga, veoma je važna orijentacija izradka. Orijentacija proizvoda ne samo da utječe na vrijeme izrade, nego i na tačnost izrade. Posebno se mora paziti na površine, koje su u horizontalnom ili vertikalnom smjeru samo malo nagnute. Ako objekt ima previsna mjesta, moraju se predvidjeti noseće potpore, da se mogu nanositi novi slojevi. Izrada potpore nije potrebna za svaku tehnologiju dodavanjem. Slika 2 prikazuje dva izradka izrađena tehnologijama dodavanjem kod kojih je izrada potpore potrebna.



Slika 2: Kod nekih postupaka dodavanjem potrebne su potpore

Tehnologije dodavanjem materijala imaju slijedeće prednosti u odnosu na klasične tehnologije:

- proizvodnja geometrijski vrlo složenih proizvoda,
- sloboda u dizajnu proizvoda,
- male serije, specifični zahtjevi kupca,
- izrada fizičkog modela u ranoj fazi razvoja proizvoda,
- značajno skraćanje vremena od dizajna do izrade proizvoda,
- povećanje saradnje između osoblja razvoja i proizvodnje sa kupcima.

Nedostaci tehnologija dodavanjem materijala:

- mali izbor materijala,
- male dimenzije objekata,
- slabije mehaničke osobine i niska tačnost,
- slabija dimenzionalna i geometrijska stabilnost objekata,
- stepeničast izgled,
- relativno visoki početni troškovi i troškovi održavanja [1-3].

3. PRIMJENA TEHNOLOGIJA BRZE IZRADE U PROIZVODNIM PROCESIMA

Primjena postupaka dodavanjem ubrzano se proširuje. Analize pokazuju da se oko 40% objekata izrađenih dodavanjem, koristi za analizu nalijeganja, montažu i funkcionalnosti, oko 30% za vizualizaciju i 30% za izradu alata i proizvoda. Mogućnosti upotrebe su velike: vizualizacija i inženjerske analize, izrada alata, industrijske aplikacije, automobilska, zrakoplovna industrija i brodogradnja, biologija, medicina, industrija proizvoda široke potrošnje, sport, arhitektura, elektronska industrija, napredni materijali, obrazovanje, umjetnost, dizajn i druga područja [1-3].

3.1. Stator izrađen SLS postupkom

Primjenom novog metalnog praha za brzu proizvodnju pomoću EOSINT M 270 sistema za lasersko sinterovanje dobiju se proizvodi otporani na toplotu. Prah EOS NickelAlloy IN718 je superlegura na bazi nikla čije karakteristike odgovaraju leguri Inconel 718. Dobijeni proizvodi ovom legurom laserskim sinterovanjem imaju dobru zateznu čvrstoću, otpornost na koroziju, puzanje i otpornost na temperature do 700 °C. Materijal će biti od posebnog interesa za avio industriju zbog strožih zahtjeva. EOS već obavlja opsežne testove u saradnji s nekoliko korisnika. Razvio je parametre procesa koji omogućavaju ispunjenje dobrog dijela relevantnih industrijskih standarda za ovu vrstu materijala. To uključuje, na primjer, termičku obradu u skladu sa AMS 5662 i AMS 5664 standardom, kao i mehanička svojstva na povišenoj temperaturi (650 °C). Na slici 3 je prikazan stator izrađen laserskim-sinterovanjem praha EOS NickelAlloy IN718 za Morris Technologies Inc u SAD [4].



Slika 3: Stator izrađen laserskim-sinterovanjem

3.2. Prototip podne konzole izrađen postupkom 3D štampanje

Primjenom tehnologije brze izrade prototipa GM dizajneri su redizajnirali podnu konzolu dodajući duži naslon za ruke za novi Chevrolet Malibu, slika 4. Prototip podne konzole omogućio je brze ispravke u dizajnu i skraćanje vremena izrade [5].



Slika 4: Podna konzola Chevrolet Malibu-a

3.3. Integrirana cijev izrađena SLS postupkom

Kao i kod svakog procesa izrade, maksimalna korist se postiže ako se u fazi dizajniranja proizvoda uzimaju u obzir troškovi proizvodnog procesa. Na primjer, cijev na slici 5 uključuje: 4 osnovna dijela, 12 dijelova za pričvršćivanje, ljepilo i više koraka montaže.

Proizvodnja cijevi na slici 6, iz jednog dijela SLS postupkom, je rezultirala sa manje dijelova, smanjenom težinom, povećanom čvrstoćom i bez potrebe za montažom. Dakle, projektiranje dijelova za proizvodnju SLS postupkom ima značajne prednosti, čime su mnoga ograničenja u odnosu na konvencionalnu proizvodnju izbjegnuta [6].



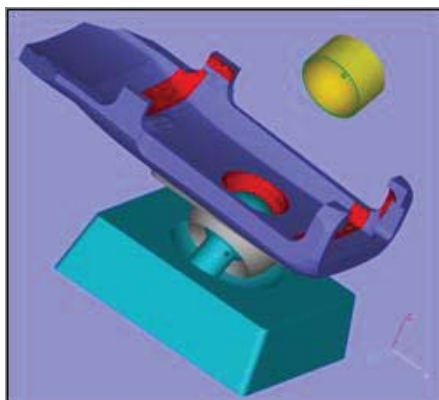
Slika 5: Originalna montažna cijev



Slika 6: Integrirana SLS cijev

3.4. Prototip držača mobilnog aparata izrađen PolyJet postupkom

Prototip na osnovu CAD modela (Slika 7) izrađen je PolyJet postupkom na 3D štampaču *EDEN 330*. Izrada modela držača mobilnog aparata trajala je 8 sati pri čemu je utrošeno: 222 g materijala modela *FullCure 730* i 239 g potpornog materijala *FullCure 705*. Potpora sa modela, kod ovog postupka, se uklanja mlazom vode pod određenim pritiskom. Poslije uklanjanja potpore model se prebriše i dobija se konačno prototip držača za mobilni aparat, slika 8 [3].



Slika 7. 3D CAD model



Slika 8. Prototip držača za mobilni aparat

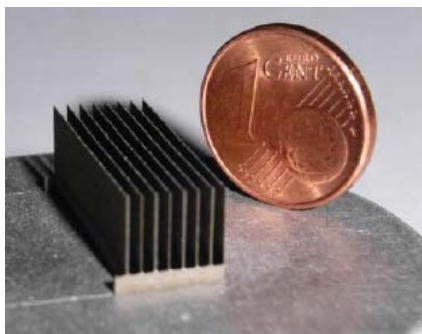
3.5. Mikro-lasersko sinterovanje

"Manji i pametniji" su ključne riječi za budućnost i integracije Mikro-komponenata u novim sistemima što predstavlja veliki izazov i za postupke brze izrade dodavanjem. Na slici 9. su prikazani keramički dijelovi izrađeni s debljinom sloja 2,5 mikrona, visoke gustoće od 98% i dobrih mehaničkih osobina: savojna čvrstoća 100 MPa i zatezna čvrstoća 800 MPa [7].

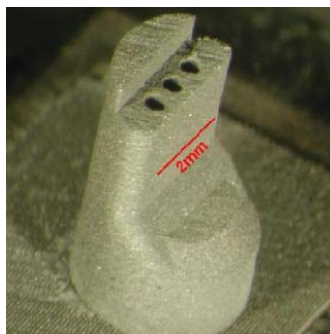


Slika 9: Minijturni keramički dijelovi

Dio katalizatora izrađenog od molibdena ima debljinu stijenke 80 μm i visinu 10 mm, slika 10. Mikro hvataljka sa unutrašnjim kanalima izrađena je sinterovanjem, slika 11.



Slika 10: Dio mikro katalizatora



Slika 11: Mikro hvataljka

4. ZAKLJUČAK

Stalni razvoj tehnologija i postupaka izrade uslovljen je zahtjevima tržišta. Najvažniji ciljevi proizvodnje su brzi razvoj i stjecanje konkurentske prednosti. Moderni razvoj proizvoda ne može se zamisliti bez tehnologija dodavanjem materijala jer se brzo dolazi do fizičkog modela koji zauzima značajno mjesto u nastanku novog proizvoda. U ranoj fazi razvoja mogu se uočiti eventualne greške u dizajnu i konstrukciji. Primjenom tehnologija brze izrade dolazi se do skraćivanja vremena razvoja proizvoda i višestrukog smanjenja troškova. Tehnologije brze izrade dodavanjem materijala su u stalnom razvoju i primjenjuju se u raznim granama industrije za izradu prototipa, alata i za direktnu izradu proizvoda. Najvažnija prednost tehnologija dodavanjem materijala je izrada objekata kompleksne geometrije koje nije moguće izraditi klasičnim tehnologijama.

5. LITERATURA

- [1] M. Brezočnik: Proizvodne tehnologije - osnove posebnih postupkov obdelave, Fakulteta za strojništvo, Maribor, 2011, ISBN 978-961-248-269-5
- [2] Goffard, R.; Sforza, T.; Clarinval, A.; Dormal, T.; Boilet, L.; Hocquet, S.; Cambier, F. (2013). Additive manufacturing of biocompatible ceramics, *Advances in Production Engineering & Management*, Vol. 8, No. 2, 96-106.
- [3] M. Mahmić: Razvoj i izrada proizvoda s povratnim inženjerstvom i brzom izradom prototipova, Magistarski rad, Tehnički fakultet, Bihać, 2005
- [4] <http://www.dpaonthenet.net/article/30919/Rapid-manufacturing-of-nickel-alloy-and-aluminium-alloy-components.aspx> (24.03.2014.)
- [5] <http://www.conceptcarz.com/articles/photo.aspx?articleID=2702&photoID=4387> (24.03.2014.)
- [6] <http://www.solidconcepts.com/resources/design-guidelines/sls-design-guidelines/> (24.03.2014.)
- [7] http://www.hs-owl.de/fb7/uploads/media/Buese_EOS.pdf (24.03.2014.)

RAZVOJ PROIZVODA PREDVIĐENIH ZA PROIZVODNJU TEHNOLOGIJAMA 3D PRINTA

DESIGN PROCESS OF PRODUCTS TO BE PRODUCED BY 3D PRINT TECHNOLOGIES

Nebojša Rašović¹, Milenko Obad²,

¹Fakultet strojarstva i računarstva, Sveučilište u Mostaru, nebojsa.rasovic@sve-mo.ba

²Fakultet strojarstva i računarstva, Sveučilište u Mostaru, milenko.obad@sve-mo.ba

SAŽETAK:

Dizajn predstavlja proces razvoja sistema ili komponente radi ostvarivanja postavljenih ciljeva. Ključno je razviti dobar dizajn, kako bi proizvod imao uspjeh na tržištu. Iz tog razloga, 3D print tehnologija omogućava provedbu inženjerskih analiza u cilju optimiranja dizajna proizvoda. Ovaj rad prikazuje mogućnosti vrednovanja dizajna CAD modela u cilju postizanja boljih performansi proizvoda kroz realizaciju putem 3D print tehnologije.

Ključne riječi: dizajn proizvoda, slojevita izrada, 3D print

ABSTRACT:

Design is the process of developing systems or components in order to achieve set goals. The key is to develop a good design, so that the product had success on the market. For that reason, 3D print technology is allowing implementation of engineering's analysis in order to optimize product design. This paper shows the possibilities of CAD design evaluation in order to achieve the better performances of the product by means of 3D print technology.

Keywords: products design, layered manufacturing, 3D print

1. UVOD

Slojevita izrada (Eng. Layered Manufacturing, LM) je u osnovi drugačiji postupak proizvodnje, gdje su dijelovi dobiveni iz CAD (Eng. Computer Aided Design) modela, izravnim numeričkim upravljanjem. To podrazumijeva sukcesivno dodavanje osnovnog materijala u formi dvodimenzionalnih slojeva, kako bi se dobio čvrsti unaprijed definirani oblik. Izrazita prednost u dobivanju dijela tehnikom sloj po sloj je u tome da geometrijska složenost dijela ima znatno manji utjecaj na proces proizvodnje nego u slučaju konvencionalnog procesa proizvodnje. Povrh toga, većina komercijaliziranih metoda slojevite izrade zahtijeva vrlo malo ljudskog djelovanja i vrijeme pripreme [1].

Dijelovi dobiveni postupkom slojevite izrade se koriste za vizualne preglede, analize oblikovanja, ergonomska vrednovanja itd. u raznim fazama razvoja proizvoda. Jedinствена značajka ove tehnologije leži u njenoj izravnoj mogućnosti proizvodnje, tj. ne zahtijeva izradu alata, podupirača i drugih pratećih sadržaja karakterističnih za konvencionalne postupke. Ako se pravilno koristi i dobro

isplanira proces, ova tehnologija može proizvesti složene geometrije u samo nekoliko sati. Stoga je osobito važno odabrati optimalne parametre u postupku slojevite izrade zbog željene kvalitete proizvoda. Zahtjevi kvalitete slojevitih dijelova značajno variraju i u izrazitom stupnju zahtijevaju stručnost za proizvodnju istih dosljedne kvalitete [2].

Temeljni princip zasnovan je na tome da se model kreira korištenjem trodimenzionalnih računalom podržanih sistema, kako bi se dio mogao dobiti bez dodatnih planiranih procesa. Ključ izrade dijelova dobivenih dodavanjem materijala u slojevima je u nizu tankih poprečnih presjeka proizašlih iz izvornog CAD modela. U fizičkom smislu, svaki sloj mora imati konačnu debljinu, što rezultira dijelom približnim onom izvornom. Tanji slojevi u konačnici doprinose da gotovi dio bude što dosljedniji. Svi strojevi prisutni na tržištu koriste pristup temeljen na slaganju slojeva, a glavni pravac koji čini razlike među njima su materijali koji se mogu koristiti, način na koji se stvaraju slojevi i način kojim se spajaju jedan na drugi. Takve razlike određuju kriterije poput preciznosti konačnog dijela, kao i njegova mehanička i materijalna svojstva. One također određuju kriterije poput, koliko brzo neki dio može biti napravljen, u kom obimu se zahtijeva post-obrada, koje su dimenzije korištenog stroja, kao i koliki su ukupni troškovi procesa.

Sljedeći početnu namjenu modela dobivenih slojevitom izradom, ova tehnologija je razvila materijale, preciznost, kao i ukupnu kvalitetu unaprijeđenog proizvoda. To je dovelo do modela koji su zadovoljavali pojam „3F“ (Eng. Form, Fit, Function) što bi značilo: forma, usklađenost i funkcija. Početni modeli su korišteni da pomognu u potpunoj ocjeni oblika i opće namjene dizajna (forma). Poboljšana preciznost u procesu podrazumijeva da su dijelovi izrađeni u propisanim tolerancijama, namijenjeni za potrebe sklopa (usklađenost). Poboljšana materijalna svojstva podrazumijevaju da se dijelovima može pravilno upravljati, kako bi se ocijenio njihov eventualni rad (funkcija). Ovo najbolje objašnjava zašto je u biti ova tehnologija evoluirala iz termina brza izrada prototipa (Eng. Rapid Prototyping) u termin slojevita izrada odnosno aditivna proizvodnja (Eng. Additive Manufacturing). U prilog tome ide i korištenje laserske tehnologije visoke snage, što podrazumijeva da dijelovi mogu biti izravno dobiveni iz raznih metala, čime se i dalje širi područje primjene [3].

1.1. 3D tehnologije izrade proizvoda

Tehnologije slojevite izrade proizvoda predstavljaju grupu tehnologija koje se koriste za izradu gotovih dijelova (Eng. Rapid Manufacturing), prototipova (Eng. Rapid Prototyping) i alata (Eng. Rapid Tooling). To je automatizirani način proizvodnje složenih oblika izravno iz 3D CAD modela, koristeći tehniku nanošenja materijala sloj po sloj. Najpoznatije metode tehnologije koje se danas koriste u svijetu su:

- Stereolitografija (Stereolithography, SLA)
- Taloženje rastaljenog materijala (Fused Deposition Modeling, FDM)
- Selektivno lasersko sinteriranje (Selective Laser Sintering, SLS)
- Laserska tehnologija oblikovanja praha (Laser Engineered Net Shaping, LENS)
- Izrada proizvoda laminiranjem (Laminated Object Manufacturing, LOM)
- 3D ispis (3D printing)

Stereolitografija je prva komercijalno dostupna metoda slojevite izrade razvijena u Kaliforniji (SAD). Uređaji koji koriste ovu tehnologiju sastoje se od četiri osnovna dijela: računala koje obrađuje podatke i kreira slojeve, kontrolnog računala koje nadzire proces, komore u kojoj se obavlja izrada dijelova te laserske jedinice. U srcu uređaja nalazi se posuda u kojoj se odvija čitav proces. Materijal koji se koristi za izradu dijelova je fotopolimerna tekućina koja se dodaje po konstrukciji u tankom sloju, debljine najčešće 0,1mm. Budući da ova tekućina ima svojstvo da se pod ultraljubičastim zračenjem laserske jedinice pretvara u krutu tvar, laser ocrtava konturu jednog po jednog sloja i tako nastaje čvrsti model. Zbog adhezivnih svojstava ovog materijala slojevi se odmah spajaju i formiraju dosta čvrst trodimenzionalni objekt.

Izrada modela metodom taloženja rastaljenog materijala je proces razvijen u kompaniji Stratasys u SAD-u. U ovom procesu se koriste samo polimerni materijali kao što su: ABS plastika (Eng. Akrlonitril Butadien Stiren), E20 (elastomer na bazi poliestera), vosak za precizno lijevanje itd. ABS je veoma poželjan materijal za izradu modela zbog toga što je tvrd, izdržljiv i nisko toksičan. Poznat je kao materijal koji se koristi za izradu igračaka Lego kockica. Lako se može bojiti, a uobičajeno je da se upotrebljava u originalnoj bijeloj boji. FDM stroj zagrijava ABS da bi ga omekšao i kada je ekstrudiran počinje se hladiti, skrućuje se i lijepi za sloj ispod. Zbog toga što je materijal ispočetka mek, svi dijelovi koji „vise“ moraju imati izgrađenu neku vrstu potpore ispod sebe koja se nakon završetka čitavog procesa uklanja. FDM strojevi grade jako precizne modele koji mogu biti korišteni u razne namjene.

Selektivno lasersko sinteriranje je proces trodimenzionalnog printanja na bazi tehnologije sinteriranja, a komercijaliziran je proizvodima kompanije 3D systems. Kao LM postupak patentiran je 1989. godine. Laserska zraka CO₂ lasera usmjerava se na materijal (u obliku finog praška) koji se uslijed visoke temperature kojoj je izložen sinterira. To znači da se pod visokom temperaturom između čestica praha povećava adhezija, tako da se prah grupira u veću krutu tvar točno određenog oblika. Fizikalne karakteristike produkata stvorenih sinteriranjem mogu se lako mijenjati promjenom gustoće, stvaranjem legura ili daljnjim pečenjem. Finalni proizvod može biti i mnogo čvršći nego onaj napravljen konvencionalnim metodama.

Laserska tehnologija oblikovanja praha je još jedna od tehnologija oblikovanja praha laserom. Razlika između LENS i SLS tehnologije je u tome što se kod metode LENS prah dodaje koaksijalno u fokus laserske zrake velike snage. Jednostavno rečeno, laserska zraka putuje kroz centar glave i fokusirana je na malu točku pomoću jedne ili više leća. Stol na kojem se formira objekt pomjera se po x-y osima i tako nastaje sloj po sloj modela. Glava se pomiče vertikalno nakon završetka svakog sloja. Metalni prah se dovodi kroz glavu ili uz pomoć gravitacije ili uz pomoć plina pod tlakom kao prijenosnika. Često se u ovom procesu koristi inertni plin kao zaštita vrha glave od kisika iz atmosfere gdje se proces topljenja odvija. Inertni plin se koristi radi bolje kontrole procesa kao i radi poboljšanja adhezijskih svojstava između slojeva.

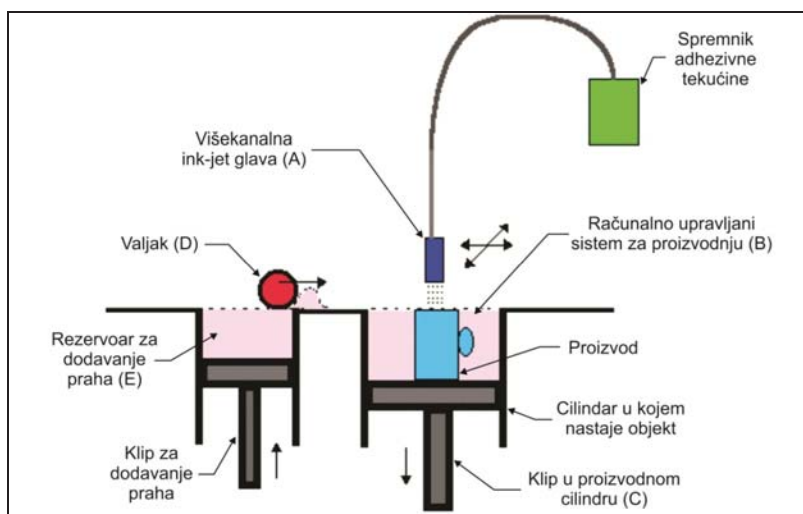
Izrada proizvoda laminiranjem je proizvodni proces u kojem se pomoću CO₂ lasera kreiraju pojedinačni slojevi trodimenzionalnog predmeta. Kao materijal koji se koristi za izradu slojeva najčešće je to papir, zatim razni polimeri i kompoziti. Najčešće je to ipak papir preko kojeg se nanosi sloj polietilena. Prvi korak u samom procesu je izrada baze na radnom stolu na kojoj će se izgraditi 3D model. Ovaj postupak se radi tako što se na platformu radnog stola lijepi specijalna ljepljiva traka. Papir se doprema pomoću para grijanih valjaka. Kako papir prolazi, vrelom parom se grije polietilenska obloga sa donje strane papira tako da se svaki novi sloj lijepi na prethodni. Nakon što valjci postave dio „beskonačne trake“ na poziciju za isijecanje, laserska zraka obilazi i siječe vanjsku i unutarnju rubnu liniju svakog pojedinačnog sloja. Nakon završenog isijecanja glavne konture sloja, laser isijeca kocke ili slične strukture koje će pružiti potporu osnovnom komadu tijekom procesa izrade. Potpora se poslije završenog procesa uklanja. Nakon što je dio izgrađen potrebno ga je skinuti sa platforme LOM stroja na kojoj je formiran. Pošto je gotovi model zalijepljen za platformu, za njegovo odvajanje se koristi metalna žica. U sličnom procesu kao što je piljenje drveta pilom, metalna žica se pomjera lijevo, odnosno desno kako bi se dio odvojio. Sljedeći korak je uklanjanje potpore. Često je dovoljno samo protresti komad pa da bi se potpora odvojila, ali ponekad je potrebno upotrijebiti i jednostavan alat kao što je odvijač i sl. Sljedeći korak je pjeskarenje i lakiranje modela, budući da je objekt napravljen LOM tehnologijom i od papira, osjetljiv je na vlagu i promjenu temperature [4].

1.2. 3D print tehnologija

3D ispis je pojam koji se odnosi na tehnologiju 3D ispisa i čitavu klasu strojeva koji za svoj rad koriste tzv. „ink-jet“ tehnologiju konvencionalnih pisača. Prvi takav pisač bio je 3DP (3D Printing) razvijen na američkom sveučilištu Massachusetts Institute of Technology (MIT). 3D printeri kompanije Z-Corporation su jedni od najpopularnijih ove vrste. Ova metoda koristi veoma jeftin materijal, radi relativno brzo i nema potrebu za posebnim kontroliranim uvjetima rada.

Negativno svojstvo ove tehnologije je da modeli proizvedeni na ovaj način nisu čvrsti kao modeli proizvedeni nekim drugim metodama slojevite izrade. Modeli dobiveni na ovaj način ne mogu služiti kao mehaničke zamjenske komponente strojeva i uređaja. Ali usprkos tome, modeli izrađeni na ovaj način pružaju veoma dobru kvalitetu, visoko detaljizirane objekte koji su idealni za dizajnerske timove i ocjenu od strane klijenata. S njima se može dosta grubo postupati, njihova površina može biti glatka i mogu se naknadno bojiti. Ovako izrađeni objekti mogu također sadržavati odvojene unutarnje dijelove.

Valjak D nanosi precizno određeni tanki sloj materijala u formi finog praha ili pudera iz rezervoara za dodavanje praha E na platformu predviđenu za izgradnju objekta B (Slika 1). Nakon toga računalno upravljana više-kanalna glava A putuje preko tog sloja (kao kod ink-jet pisača) prskajući tekućinu (određena vrsta ljepila) koja skrućuje prah.



Slika 1: Shema 3D print metode slojevite izrade proizvoda [4]

Tamo gdje je tečnost nanese prah se skrućuje. Kad je jedan sloj završen, cijeli proces nanošenja praha i prskanja tekućine se ponavlja, pri čemu klip u proizvodnom cilindru C spušta proizvodni objekt za visinu jednog sloja, a u isto vrijeme klip u rezervoaru praha se podiže istiskujući novu količinu praha pod valjak za nanošenje praha D. Sloj po sloj model biva izgrađen od dna do vrha. Materijal može biti u formi praha ili brašnaste supstance. Model se radi tako da nestvrđnuti prah od prethodnog sloja pruža potporu modelu i drži ga na mjestu dok se sljedeći sloj nanosi. Nakon izgradnje modela neiskorišteni prah se skuplja i kasnije može biti ponovo iskorišten.

Većina sistema za ovakvu slojevitú gradnju objekata zahtijeva privremenu potporu dijelovima konstrukcije tijekom izgradnje 3D modela. Ta potpora se izvodi u obliku privremenih podupirača ili

nekih sličnih formi potpore što je potrebno kako bi se model, koji postaje sve veći kako proces odmiče, zadržao na jednom mjestu. Ako bi u tijeku izgradnje modela, došlo do njegovog pomicanja, on bi postao neupotrebljiv zbog gubitka osnovnog oblika. To znači da nakon što se proces izgradnje završi, podupirači trebaju ukloniti ručno ili se uz pomoć određenih pomagala trebaju odvojiti od osnovnog modela i mjesta na kojima su bili pričvršćeni. Nakon toga se moraju dodatno obraditi i polirati. Kod 3D pisača ovo nije slučaj, jer prah koji nije učestvovao u izgradnji modela pruža potporu i drži ga čvrsto u stabilnom položaju. Kako „raste“ model, „raste“ i njegova potpora u vidu neskrućenog praha. Ovo omogućuje da se postupkom trodimenzionalnog ispisa mogu izrađivati dijelovi vrlo složenih oblika, što naročito pogoduje konstruktorima koji zbog toga imaju potpunu slobodu prilikom dizajniranja proizvoda. Nakon završetka procesa izgradnje objekta, prah se lako uklanja uz pomoć ugrađenog sistema zraka pod tlakom, a fino čišćenje se izvodi pomoću dodatnog mlaza stlačenog zraka. Cijeli proces čišćenja se odvija u za to predviđenoj komori i samo čišćenje 3D modela nema utjecaja na okoliš gdje je 3D pisac i postavljen. Metoda trodimenzionalnog ispisa se osim za izradu prototipova, koristi i za izradu alata. U slučaju izrade prototipova, kao materijal se koriste prahovi od plastomera, a u slučaju izrade funkcionalnih dijelova, koriste se metalni, keramički ili kompozitni prahovi.

Prednosti metode trodimenzionalnog ispisa su: mogućnost izrade i prototipova i funkcionalnih dijelova i alata vrlo složenih oblika, postupak izrade je fleksibilan, materijali su uglavnom neotrovni, preciznost izrade je visoka, površina modela je vrlo glatka.

Nedostaci metode trodimenzionalnog ispisa su: ograničene dimenzije izratka, ograničen broj materijala od kojih se izrađuju objekti, ograničena je brzina izrade modela [4].

2. PODRUČJA PRIMJENE

Interes za slojevitom izradu je narastao onoliko brzo koliko je napredovala i brza izrada prototipa u izradu gotovih proizvoda. Upotrebljavaju se metali, polimeri, kompoziti i puderi za „printanje“ game funkcionalnih komponenti, uključujući složene strukture koje se ne mogu proizvesti drugim metodama. Mogućnost modifikacije dizajna putem Interneta i stvaranje objekata bez stvaranja škarta dobivenog lijevanjem ili glodanjem, čini slojevitom tehnologiju ekonomičnom za kreiranje proizvoda i njihovo brzo slanje na tržište. Drugim riječima, ova tehnologija je postigla revolucionarnu brzinu izrade, učinkovitost i optimizaciju cjelokupnog procesa.

Metode slojevite izrade štede energiju eliminacijom pojedinih faza u proizvodnom ciklusu, uključivanjem u ponovnu upotrebu već upotrijebljenih dijelova i korištenjem pojedinih materijala. Ponovna izrada (Eng. Remanufacturing) dijelova kroz naprednu aditivnu izradu i procese površinskog tretiranja mogu „povratiti“ krajnje potrošene dijelove u potpuno nove, korištenjem svega 2-25% energije potrebne da se dobiju novi dijelovi.

Izgradnjom dijela tehnikom sloj po sloj, umjesto tradicionalnih strojnih obrada temeljenih na postupcima skidanja strugotine, može se postići ušteda u materijalu i cijeni koštanja i do 90%.

Dijelovi mogu biti izrađeni za toliko brzo za koliko se 3D model dijela može dobiti modeliranjem eliminirajući pritom potrebu za pravljenjem skupih alata kojim bi se izrađivali dijelovi, što samim tim doprinosi skraćanju vremena potrebnog za plasiranje proizvoda na tržište.

Slojeviti način izrade eliminira ograničenja tradicionalnog procesa proizvodnje, uključuje brzi odgovor tržištu i stvara nove opcije izrade izvan proizvodnih pogona, kao što su mobilne jedinice koje mogu biti smještene blizu izvora dopremanja materijala. Rezervni dijelovi se mogu dobiti na trenutni zahtjev i time smanjiti ili eliminirati potrebe za stvaranje zaliha i zamršenog lanca dostave.

Moderna industrija izvlači prednosti koje pruža slojevita izrada kako bi realizirala plastične, metalne ili kompozitne dijelove bez uključivanja tradicionalnog načina obrade dijelova. Danas, najveću primjenu slojevita izrada bilježi u automobilskoj industriji, gdje inženjeri istovremeno smanjuju utrošak materijala i lagano stvaraju veoma čvrste motorne dijelove složenih struktura. Primjenom ove

tehnologije, dobivaju se krajnje glatke i zakrivljene površine motornih dijelova koje dopuštaju učinkovit protok fluida za razliku od onih koji su dobiveni tradicionalnim načinom proizvodnje. Čak i automobilske šasije i motore, kao sklopove velikih dimenzija, moguće je izraditi uz minimalan postotak pogreški. Na taj način bi tradicionalne montažne linije mogle postati dio prošlosti.

Medicinska grana industrije okreće se nabavci protetike, dentalnih implanata i drugih tipova medicinske opreme dobivenim metodama slojevite izrade. Ide se do te mjere da se ljudima kirurškim putem ugrađuju dijelovi tijela koji nedostaju uslijed povreda zadobivenim u raznim vrstama nezgoda. Takvo što se ostvaruje pomoću računalne tomografije (CT) i magnetne rezonance (MRI), koje osiguravaju slike visoke rezolucije unutrašnjih organa ljudskog tijela. Te slike se dalje procesuiraju odgovarajućim softverskim alatima, što rezultira LM postupkom i dobivanjem medicinskog modela organa. Najveći postotak primjene ide u kirurške i dijagnostičke svrhe, razvoj i unaprjeđenje protetike, izradu medicinskih pomagala i ostalog [5].

Prednosti primjene tehnologija slojevite izrade mogu se svesti pod sljedeće karakteristike koje ih odlikuju [4]:

- Smanjenje vremena potrebnog za razvoj proizvoda;
- Izbjegavanje pogrešaka koje mogu dovesti do zastoja u proizvodnji;
- Smanjenje vremena potrebnog za dobivanje dijela;
- Mogućnost ispunjenja i najoštrijih zadanih rokova;
- Puno brža izrada potrebnih alata;
- Smanjenje troškova izrade alata;
- Relativno niska cijena dijela u slučaju iznimno složenih oblika;
- Smanjenje troškova cijelog procesa razvoja proizvoda;
- Eliminiranje nepotrebnih i skupih faza izrade;
- Izbjegavanje nedostataka oblikovanja;
- Poboljšano oblikovanje koje je okrenuto samoj proizvodnji;
- Poboljšano dizajniranje alata;
- Povećani životni vijek proizvoda;
- Smanjeni troškovi održavanja i zamjene dijelova;
- Puno brža analiza funkcionalnosti, oblika i dimenzija;
- Smanjeni zaostaci u fazi dizajniranja;
- Učinkovitija proizvodnja u kraćem vremenu;
- Bolja prodaja proizvoda na tržištu.

Da bi se postigao još širi dijapazon primjene metoda slojevite izrade, istraživanja u ovom području trebaju prerasti izazove koji uključuju sljedeće [5]:

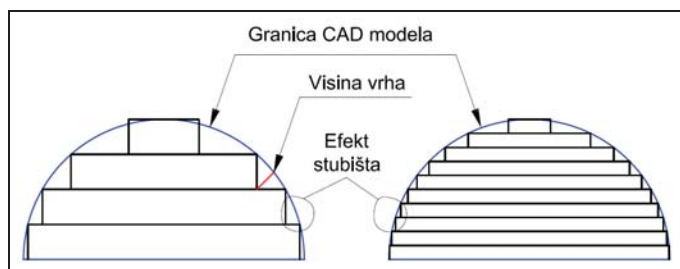
- Upravljanje procesom – sistemi upravljanja povratnom vezom su potrebni za poboljšanje preciznosti i pouzdanosti proizvodnog procesa, kao i povećanje propusnosti uz zadržavanje dosljedne kvalitete;
- Tolerancije – Neke potencijalne primjene mogu zahtijevati izradu modela čija se preciznost mjeri u mikrometrima;
- Finiširanje – Završna površina modela dobivenog aditivnom tehnologijom zahtijeva daljnju obradu. S poboljšanom geometrijskom preciznosti, finiširanje može pružiti korozivnu i drugu otpornost ili jedinstveni komplet željenih svojstava;
- Validacija i izgled – Proizvođači, dobavljači i ostale organizacije, održavaju visok standard ključnih strukturalnih materijala poput onih koji se koriste u svrhe svemirske primjene. Osiguravaju visoku razinu povjerenja u strukturalni integritet izgrađenih komponenti.

3. PROBLEMI I OGRANIČENJA

Tehnologija slojevite izrade stvara objekt izravno iz 3D CAD datoteke nanošenjem materijala u slojevima, tako da je sječenje važan proces planiranja zadaće u sklopu slojevite izrade. Zadatak sječenja podrazumijeva presijecanje CAD modela serijom paralelnih ravnina, kako bi se dobila serija dvodimenzionalnih slojeva. Trenutni standard ove tehnologije se temelji na tome da se model pretvara u trokutastu strukturu, odnosno STL format. Proces sječenja STL formata nosi dva važna pitanja preciznosti: efekt stubišta i teselaciju. Pored problema sječenja, jedno od važnijih ograničenja u postupku slojevite izrade predstavlja orijentacija modela unutar sistema. Pitanje orijentacije za sobom povlači čitav niz drugih pitanja poput vremena i kvalitete izrade objekata. Da bi se ostvarili i uspješno prevazišli svi navedeni problemi, potrebno je pažljivo odabrati vrstu tehnologije za izradu. Odabir određene tehnologije u prvom redu zavisi od izvorne namjene proizvoda kako bi on zadovoljio potrebe vlastite svrsishodnosti.

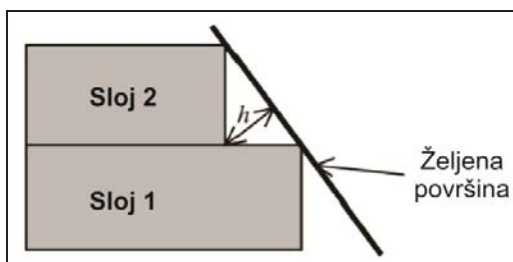
3.1. Efekt stubišta

Kao što je prethodno navedeno, slojevita izrada se temelji na proizvodnji dijelova tehnikom sloj po sloj. Svaki fizički sloj je dobiven obradom pokretne radne glave po ravnom profilu odsječka. Kao rezultat toga, svi dijelovi proizvedeni na ovaj način pokazuju efekt stubišta (Eng. Staircase Effect) u pravcu smjera izgradnje (Slika 2).



Slika 2: Efekt stubišta s većom (lijevo) i manjom (desno) debljinom sloja [6]

Pogreške nastale pojavom efekta stubišta mogu se kvantificirati razmatranjem visine vrha (Eng. Cusp Height). Koncept visine vrha nekog sloja je definiran kao maksimalna udaljenost između granice LM objekta i granice izvornog CAD modela (Slika 3) [7].

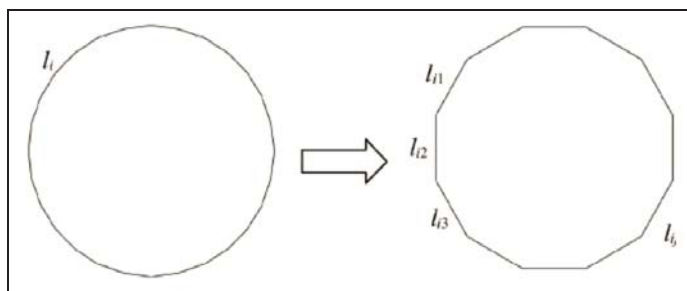


Slika 3: Visina vrha (h) [8]

Postupak sječenja izravno utječe na veličinu efekta stubišta. Široko rasprostranjeno nepromjenljivo sječenje (Eng. Uniform Slicing) može rezultirati velikim efektom stubišta, jer zanemaruje promjenu geometrije dijela u pravcu smjera izgradnje. Prilagođeno sječenje (Eng. Adaptive Slicing) koristi varijabilnu debljinu sloja za sječenje dijela u skladu s geometrijskom zakrivljenosti u pravcu smjera izgradnje. U usporedbi s nepromjenljivim sjećenjem, prilagođeni postupak može poboljšati završnu površinu i isto tako smanjiti vrijeme potrebno za izgradnju dijela [9].

3.2. Teselacija

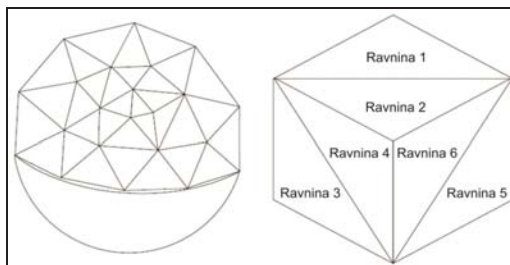
Teselacija podrazumijeva aproksimaciju 3D oblika serijom ravnih trokutova (Slika 4 i Slika 5)). Korištenjem ovakvog pristupa, preciznost je parametar unosa kontroliran od strane dizajnera. To je prihvatljiva tjemena pogreška (Eng. Chordal Error) između trokutasto aproksimirane površinske konture i „idealne“ CAD konture. Ta vrijednost nema značaja za npr. kocku koja je izrađena od ravnih ravnina, tako da koncept teselacije takvog objekta pri prijenosu podataka na LM sistem je prilično učinkovit. Međutim, lopta pokazuje drugu stranu, gdje zahtijevanje visoke točnosti dovodi do vrlo velike datoteke podataka.



Slika 4: Kontura dobivena CAD modelom (lijevo) i STL teselacijom (desno) [10]

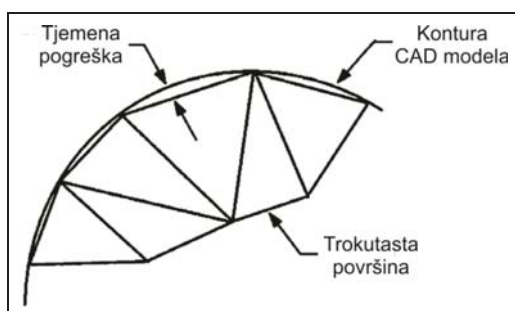
U stvarnoj primjeni, većina dizajna se prilagodi negdje između ova dva navedena primjera i ova metoda može biti korištena za razdvajanje modela u odvojene dijelove zbog:

- Smanjenja veličine datoteke;
- Mijenjanja tzv. kordalne preciznosti;
- Izbjegavanja teselacijskih problema;
- Fleksibilne izgradnje za višestruke modele s minornim međusobnim razlikama.



Slika 5: Princip teselacije lopte (sfere) [11]

Prva prethodno navedena točka je vrlo važna budući da je lako kreirati iznimno veliku teselacijsku datoteku. Najgori slučaj koji je ostao zabilježen je 55 Mb veličine STL formata (ASCII) kreiranog iz 4,5 byte CAD datoteke. Alatke za kompresiju mogu drastično smanjiti spomenute datoteke pri njihovom pohranjivanju i prijenosu. Razdvajanje CAD modela u dijelove omogućuje dizajneru da veličinu datoteke održi manjom, gdje bi praktično tim brojem trokuta osigurao dobru kvalitetu samo onih značajki koje su važne.



Slika 6: Tjemena pogreška [12]

Treba naglasiti da teselacijski model sa prihvatljivom preciznošću može biti pogrešan. Pogreška odstupanja u teselacijskom modelu ne garantira da će ujedno biti i najveća pogreška sječenja (Slika 6).

Prednosti teselacije uključuju sljedeće:

- Osigurava jednostavnu metodu prikaza 3D CAD podataka;
- Postoji već de facto standard koji većina CAD i LM sistema podržava;
- Za određene oblike, može osigurati male i precizne datoteke za prijenos podataka.

Nedostaci teselacije uključuju sljedeće:

- Kreira datoteke mnogo puta veće od izvornog CAD modela podatka;
- Implementacija STL prevoditelja unutar CAD sistema varira u kvaliteti i dosljednosti što predstavlja problem. To daje prostora za tzv. „programske ispravke“, što usporava proizvodni ciklus;
- Naknadno sječenje velikih STL datoteka može potrajati i do nekoliko sati, osim za LM procese gdje se može sjeći dok sistem gradi prethodni sloj, što ide u prilog vremenu, pa otuda i potiče naziv tehnologije brze izrade;
- Povremeno, dizajner nije u mogućnosti uspješno dobiti CAD model kroz STL sučelje, što rezultira ponovnim modeliranjem.

Bez obzira koliko učinkovite bile teselacijske datoteke, neophodno je izvršiti sječenje granične konture na ovakav način kako bi se uopće odvijao LM proces [11].

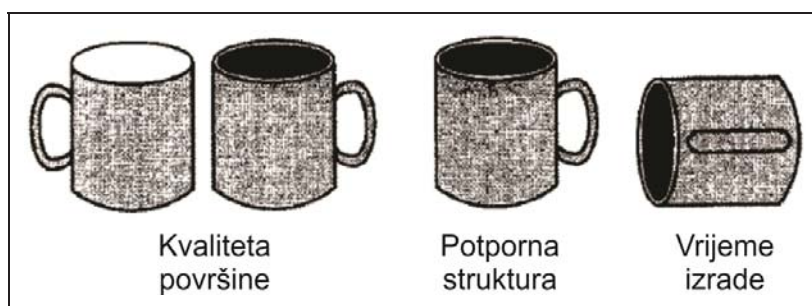
3.3. Orijentacija modela

Određivanje pravilne orijentacije modela je temeljni problem LM tehnologije. Orijentacija ima značajan utjecaj na mnoge važne kriterije koji u konačnici određuju troškove izrade. Prepoznavanjem tih kriterija, omogućuje se bolje razumijevanje njihovih utjecaja na troškove, kako bi se oni sveli na minimum.

Mnogi kriteriji doprinose definiciji orijentacije modela. Neki od tih kriterija podrazumijevaju: završnu površinu, vrijeme izrade, potporna strukturu, troškove materijala, zarobljeni volumen, deformaciju itd. Svi oni doprinose različitom stupnju kvalitete konačnog proizvoda i moraju biti sagledani pri razvoju alata za određivanje željene orijentacije.

Važnost završne površine prije svega zavisi o specifičnoj upotrebi dijela. Ta važnost pogotovu dolazi do izražaja kod nalijeganja dvaju površina. Stoga je vrlo važno orijentirati model na način kako bi se minimizirao efekt stubišta, koji je praktično zajednički imenitelj za sve sisteme slojevite izrade koje danas imamo. Neželjeni efekt stubišta se najčešće pojavljuje na kosim ili zakrivljenim površinama, pa stoga korisnik treba nastojati pravilnom orijentacijom tj. pravcem izgradnje izbjeći takve neželjene efekte na važnim površinama. Vrijeme izrade je važno u slučajevima kada je dio potrebno dobiti u vrlo kratkom vremenu. Često se dogodi da kvaliteta završne površine ima veći stupanj prioriteta od vremena izrade, pa vrijeme izrade u tom slučaju ima manji težinski faktor. U izravnoj vezi s vremenom izrade je potporna struktura. Drugim riječima, manja količina potporne strukture dovodi do kraćeg vremena izrade.

Kategorizacija kriterija koji definiraju orijentaciju može ići u više pravaca. Jedan od pravaca su geometrijske značajke. Neka istraživanja pokazuju da se željena orijentacija može dobiti sagledavanjem višestrukih geometrijskih i drugih značajki. U takvim okolnostima, od korisnika se zahtijeva da dodijeli prioritete određenim geometrijskim značajkama na dijelu, koje su u tom trenutku važne. Također, navedena istraživanja pokazuju i to da samo jedna geometrijska značajka može odrediti orijentaciju odnosno pravac izgradnje.



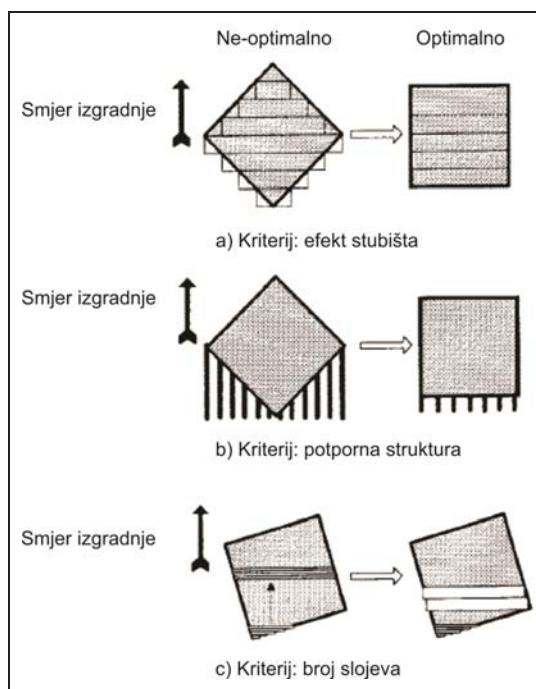
Slika 7: Optimalna orijentacija za tri kriterija [13]

Slika 7 ilustrira optimalnu orijentaciju objekta, izvedenu na osnovu tri kriterija. Prvi kriterij je kvaliteta ili preciznost površine, što predstavlja možda i najvažniji faktor kada je proizvod namijenjen za obavljanje određene funkcije. Moguće je reducirati, a možda i sasvim eliminirati efekt stubišta mijenjanjem orijentacije izgradnje koja doprinosi takvom rezultatu (Slika 8a).

Drugi kriterij predstavlja ukupno vrijeme izrade, koje je zavisno o broju slojeva koji trebaju biti obrađeni. Dva objekta potpuno jednakih volumena mogu imati različito vrijeme izrade ukoliko im se razlikuje broj slojeva od kojih se vrši izgradnja. To je iz razloga što je vrijeme izrade izravno povezano s brojem slojeva, tako da optimalna orijentacija s minimalnim brojem slojeva osigurava i najkraće vrijeme (Slika 8c).

Treći kriterij predstavlja potporna struktura koja ima ulogu da podupire objekt tijekom izgradnje. Treba voditi računa da se visina potpore svede na minimum, kako bi sistem čim prije prešao na izgradnju objekta i time izbjegao „prazan hod“. Kod nekih LM tehnologija nastoji se u što većem postotku smanjiti ukupna površina dodira između potpore i zidova objekta. To je iz razloga što se kod

takvih metoda, poslije same izrade, zahtijeva post-obrada, gdje se materijal potpore raznim alatima odstranjuje od objekta. Pri tome može doći do fizičkih oštećenja na konačnom proizvodu (Slika 8b).



Slika 8: Određivanje optimalne orijentacije u zavisnosti od zadanog kriterija [13]

4. RAZVOJ PROIZVODA U OVISNOSTI OD BUDUĆE EKSPLOATACIJE

Broj mogućnosti koje mogu zadovoljiti određenu potrebu je u ovisnosti od broja unosa (različitih načina) koji ispunjavaju tu funkciju. Veći broj unosa generira veći broj koncepata. Cilj je razviti metodologiju vrednovanja dizajna modela proizvoda kako bi se postigla potencijalna podloga za stvaranje proizvoda visoke kvalitete.

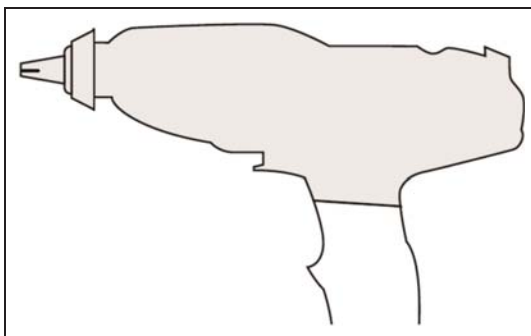
Poteškoće koje se javljaju u procesu evaluacije koncepata leže u činjenici da je dizajn proizvoda početni (inicijalni), tako da se proces odvija u limitiranom znanju i podacima. U takvim okolnostima, ključno je razviti mehanizam za odabir i poboljšanje koncepta odnosno varijanti kojima će se u krajnjoj liniji unaprijediti proizvod. To se može postići međusobnom usporedbom i evaluacijom više varijantnih područja koja su definirana od strane postavljenih kriterija. Rezultati uspoređivanja mogu voditi ka ponavljanju tehnike kontinuirano u iteracijama sve dok dizajner ne bude zadovoljan dobivenim rezultatima. Proces evaluacije se odvija u tri koraka [14]:

- Odabir kriterija za usporedbu – sveobuhvatna analiza dizajna modela proizvoda u cilju prepoznavanja karakterističnih područja. Svi kriteriji trebaju biti sortirani određenim redoslijedom kako bi bili pravilno upotrijebljeni. Izbor sheme evaluacije je u domeni odluke dizajnera. Metoda težinskih faktora je matematički model koji se temelji na inženjerskoj procjeni važnosti atributa koji opisuju finalni proizvod;

- Odabir varijantnih područja za usporedbu – varijantna područja moraju biti generirana. Neka varijantna područja mogu biti odbačena na samom početku iz razloga što ne zadovoljavaju zahtjeve ili nisu izvodiive;
- Generiranje ocjena – ocjene koje služe u svrhu rezultata proizašlih iz finalnog računanja vrijednosti težinskih faktora.

S obzirom na specifične vrijednosti pojedinih zona, dizajn CAD modela je neophodno tretirati kroz značajke koje ga pobliže određuju, kako bi se postigli optimalni parametri, gdje su granice navedenih zona definirane područjem značajke. Ovo ima za cilj mogućnost definiranja različitih optimalnih debljina sloja u zonama. Neophodno je u svakom slučaju, koristiti postupak prilagođenog sjećanja, kako bi se za svaki sloj odredila pojedinačna vrijednost visine.

Sagledavanjem i analizom dizajna proizvoda, dizajner identificira karakteristične zadatke svakog dijela komponente. Pojedinačno ili kolektivno, komponente ili neki njihovi dijelovi obavljaju određenu funkciju ili pod-funkciju ili su uvjetovani krajnjom primjenom u smislu da moraju biti estetski odnosno ergonomski oblikovani i prilagođeni konzumentu (Slika 9). Kako bi se svakom dijelu pojedinačno pristupilo, na modelu proizvoda se proglašavaju zone koje nose određene specifičnosti u pogledu izrade. Te specifičnosti se mogu odnositi na preciznost geometrije, brzinu izrade, montažu, ergonomiju, estetiku itd.



Slika 9: Dizajn proizvoda u funkciji obavljanja zadatke [14]

Iz prethodno navedenih razloga, zonama se pridružuju težinski faktori površine (w) koji se odnose na reguliranje debljine sloja, koja na koncu definira pitanje kvalitete površine i druge specifikacije. Težinski faktori se određuju na temelju specifičnih značajki koje karakteriziraju model odnosno pojedine zone modela.

Dodjeljivanjem težinskih faktora određuje se važnost uloge značajke koja ustvari postaje kriterij za evaluaciju, čime se utječe na krajnje pronalaženje rezultata. Sam postupak definiranja težinskih faktora može se razlikovati s obzirom na složenost CAD modela i različite zahtjeve s kriterijskog aspekta tog modela. Cilj je povećati odnosno smanjiti vrijednost promatranom kriteriju. Za računanje težinskih faktora, mogu se upotrijebiti metode određivanja prednosti i matrica odluke.

Određivanje prednosti temelji se na uspoređivanju svakog pojedinog kriterija sa svim ostalim i dodjeljivanja prednosti promatranom kriteriju. Ukoliko je prednost na strani kriterija kojeg uspoređujemo piše se vrijednost jedan, ukoliko je prednost na strani kriterija s kojim uspoređujemo piše se vrijednost dva, a ukoliko kriteriji imaju jednaku važnost, piše se nula. Kriteriji koji se nalaze u retku matrice su kriteriji koje uspoređujemo s kriterijima u stupcima matrice.

Kod matrice odluke, glavnu ulogu igra definiranje težinskih vrijednosti svih uključenih kriterija. Svakom varijantnom području dodjeljuju se vrijednosti rejting faktora u ovisnosti od važnosti utjecaja

pojednog kriterija na promatrano varijantno područje. Konačne vrijednosti se dobivaju računanjem umnoška težinskog faktora i njemu pripadajućeg rejting faktora.

Vrijednosti težinskih faktora dobivenih po zonama potrebno je priključiti visini sloja. Ukoliko ta novonastala vrijednost visine, prelazi onu minimalnu odnosno maksimalnu dozvoljenu definiranu u zavisnosti od mogućnosti LM sistema, vrijednost visine se korigira na tu graničnu vrijednost. Ovakvim pristupom, postižu se poboljšane vrijednosti proizvoda za njegovu krajnju uporabu. U ovisnosti od eksploatacije proizvoda, ovisi će i način tretiranja dizajna CAD modela kroz prikazanu metodologiju.

5. ZAKLJUČAK

Dobar dizajn budućeg proizvoda predstavlja više od pola uspješno odrađenog posla. Dakle, cilj je dizajnirati proizvod koji je jednostavan i ekonomičan za proizvesti. U literaturi se navodi da je važnost procesa dizajniranja za proizvodnju, protkana činjenicom, da oko 70% troškova izrade proizvoda je određeno iz odluka donesenih u procesu dizajniranja, dok nekih 20% otpada na odluke donesene u samom proizvodnom procesu. Međutim, uspješan dizajn ne garantira ujedno i optimalan dizajn nekog proizvoda. Važnu zadaću procesa dizajniranja predstavlja način na koji će se istovremeno smanjiti troškovi izrade, a povećati funkcionalnost i kvaliteta proizvoda. Reduciranje broja dijelova na proizvodu je svakako najbolja prilika za reduciranjem proizvodnih troškova, jer manje dijelova znači i manje utrošenog materijala i vremena razvijanja. Problemi u dizajnu se mogu umanjiti i korištenjem standardnih dimenzija i oblika, jer njihova dostupnost i raširenost doprinosi lakšem uklapanju unutar funkcionalne strukture. Općenito, proces dizajna predstavlja kombinaciju niza faza, od kojih svaka faza sadrži niz smjernica ili preporuka u cilju postizanja što optimalnijeg načina proizvodnje, koji u konačnici doprinosi kvalitetnijem proizvodu.

Glavna beneficija primjene aditivnog postupka integriranog u procesu dizajna proizvoda je mogućnost izrade krajnje složenih oblika i geometrijskih značajki. Kompletan bit problema leži u činjenici da, ako dio, ma koliko složen bio, može biti stvoren tehnikom 3D modeliranja, onda može biti i stvoren tehnikom sloj po sloj unutar sistema slojevite izrade. 3D izvor je ključ uspjeha i ekspanzije u povezanosti aditivne industrije i procesa dizajna. Put od ideje do realizacije na ovaj način je kratak i faze razvoja proizvoda se kreću munjevitom brzinom. Ovom u prilog ide i činjenica da nečija ideja može biti u samo par sekundi prenesena na Internet i realizirana na nekom drugom dalekom mjestu širom planete.

Izgradnja trodimenzionalnog objekta u bilo kojoj fazi dizajniranja je od velikog značaja prije svega za inženjere i dizajnere zaposlene na odjelu razvoja proizvoda. Na taj način se omogućava pristup raznim vrstama analiza nad modelom prototipa kako bi se u konačnici proveo što kvalitetniji inženjering. Ovim načinom rada se u primarnom smislu smanjuje vrijeme potrebno za plasiranje proizvoda u upotrebu. Dakle, fokus je na poboljšanju funkcije dijela i njegovom obavljanju zadaća u nekom sklopu, a istovremeno i na vizualnom dojmu i ergonomskom oblikovanju.

6. LITERATURA

- [1] Prashant, K., Anne, M. & Debasish, D., (2000) *A review of process planning techniques in layered manufacturing*. Rapid Prototyping Journal. **6**(1): p. 18-35.
- [2] Choi, S.H. & Samavedam, S., (2001) *Visualisation of rapid prototyping*. Rapid Prototyping Journal. **7**(2): p. 99-114.
- [3] Gibson, I., Rosen, D.W. & Stucker, B., (2010) *Additive manufacturing technologies; rapid prototyping to direct digital manufacturing*, New York: Springer.
- [4] Obad, M., (2009) *CAD/CAM tehnologije*, Mostar: Sveučilište u Mostaru.
- [5] *Additive Manufacturing: Pursuing the Promise*. (2012); Available from: http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/pdfs/additive_manufacturing.pdf.
- [6] Luo, R.C., Chang, Y.C. & Tzou, J.H., (2001) *The Development of a New Adaptive Slicing Algorithm for Layered Manufacturing System*. Proceedings / **2**: p. 1334-1339.
- [7] Kulkarni, P. & Dutta, D., (1996) *An accurate slicing procedure for layered manufacturing*. Computer-Aided Design. **28**(9): p. 683-697.
- [8] Denis, C., Kittinan, U. & Ezat, S., (2000) *Specifying non-uniform cusp heights as a potential aid for adaptive slicing*. Rapid Prototyping Journal. **6**(3): p. 204-212.
- [9] Yan, J.Q., Zhou, M.Y. & Xi, J.T., (2004) *Adaptive direct slicing with non-uniform cusp heights for rapid prototyping*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. **23**(1-2): p. 20-27.
- [10] Lin, F., Sun, W. & Yan, Y., (2001) *Optimization with minimum process error for layered manufacturing fabrication*. Rapid Prototyping Journal. **7**(2): p. 73-82.
- [11] Ron, J. & Herbert, H., (1995) *Direct slicing of CAD models for rapid prototyping*. Rapid Prototyping Journal. **1**(2): p. 4-12.
- [12] Rianmora, S. & Koomsap, P., (2010) *Recommended slicing positions for adaptive direct slicing by image processing technique*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. **46**(9-12): p. 1021-1033.
- [13] Hur, J. & Lee, K., (1998) *The Development of a CAD Environment to Determine the Preferred Build-up Direction for Layered Manufacturing*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. **14**(4): p. 247-254.
- [14] Haik, Y., (2003) *Engineering design process*, [South Melbourne, Victoria], Australia; Pacific Grove, CA: Thomson/Brooks/Cole.

DINAMIČKO MODELIRANJE I 3D VIZUALIZACIJA ROBOTA

DYNAMIC MODELING AND 3D VISUALIZATION OF THE ROBOTS

Vjekoslav Damić¹, Maida Čohodar²,

¹Sveučilište u Dubrovniku, ul. Čira Carića 4, Dubrovnik, vdamic@unidu.hr

²Univerzitet u Sarajevu, Mašinski fakultet Sarajevo,
Vilsonovo šetalište 9, Sarajevo, cohodar@mef.unsa.ba

SAŽETAK:

Sa unapređenjem kompjuterske snage, kompjuterska simulacija robotskih sistema i njihova vizualizacija dobijaju na značaju. U tom su se smislu razvile dvije skupine programa. Prvi, namijenjeni off line programiranju robota, dopuštaju kreiranje virtualne fleksibilne robotizirane linije. Ovi programi su temeljeni su kinematičkom modelu robota. Druga skupina programa omogućuje njihovu dinamičku analizu. U ovom radu je prikazan postupak razvoja dinamičkog modela robotskog manipulatora primjenom bond graphova na primjeru antropomorfne ruke sa njenom vizualizacijom. Pri tome je za razvoj dinamičkog modela korišten program BondSim, a za vizualizaciju BondSimVisaul. Tokom simulacije između ova dva programa je uspostavljena dvosmjerna komunikacija.

Ključne riječi: vizualizacija, 3D CAD model, robot, bond graphovi

ABSTRACT:

With the increase of computer power, simulation of robot systems and their visualization attract more attention. In this sense, there are two approaches to develop of robot software. The first one is devoted to off line robot programming that provides creating of visual, virtual flexible manufacturing line with included robots. These programmes are based on kinematic model of robot. The second group of robot programmes provides dynamic analysis of robot systems. This paper demonstrates procedure for development of dynamic model in the case of anthropomorphic arm by bond graphs. Its visual model is also developed in the paper. These two models, dynamic and visual, are created using different two programmes BondSim and BondSimVisual. Two-way communication is established between BondSim and BondSimVisual during simulation.

Keywords: visualization, 3D CAD model, robot, bond graphs

1. UVOD

S povećanjem kompjuterske snage, postupci modeliranja i simulacije robotskih sistema kombinirani sa njihovom vizualizacijom se, kao moćnim alatom sve više koriste i dobijaju na značaju. Pri razvoju novih robotskih sistema i prihvatnica (hvataljki) tehnika vizualizacije omogućuje optimiranje dizajna. Npr. Robotske hvataljke moraju imati siguran rad, omogućiti dovoljnu silu

stezanja, biti što lakše, popustljivije, a ukoliko manipuliraju sa vrlo osjetljivim objektima kao što su stakleni komadi, kolači ili neki drugi prehrambeni artikli, zahtjevi koje prihvatnica treba ispuniti još su složeniji. U takvom kontekstu vizualizacija može pomoći pri dizajnu i razvoju konstruktivnog rješenja, te pomoći njegovom optimiranju. Na taj način se potreba za eksperimentalnim istraživanjem koje zahtjeva angažman materijalnih resursa i više vremena minimizira.

S druge strane vizualizacija se sve više koristi pri programiranju robota. Tehnikama off line programiranja, koje se temelje na virtualnom okruženju u kojem realni robotski sistem radi, moguće je generiranje robotskog programa bez zaustavljanja proizvodnje, analiza i sprečavanje kolizije objekata u okruženju, optimiranje robotske trajektorije i sl. Vizualizacijom se postupak razvoja robotskih ćelija znatno ubrzava i olakšava. Softwarei koji se koriste za off line programiranje, najčešće su temeljeni na kinematičkom modelu: direktnom i inverznom, bez razmatranja dinamike realnih sistema, a najčešće su razvijani od strane robotskih proizvođača.

Jedan od pravaca razvoja alata za vizualizaciju u robotici temelji se na softwareima za kinematičku i dinamičku analizu omogućujući optimiranje performansi robota. Pregled softwarea za vizualizaciju dat je u [7].

Ovaj rad je organiziran na sljedeći način. U drugom dijelu dat je pregled tehnika za vizualizaciju robotskih sistema, a u trećem je demonstriran primjer razvoja dinamičkog modela antropomorfne ruke primjenom bond graphova, te navedena mogućnost njene vizualizacije.

2. VIZUALIZACIJA U ROBOTICI

2.1. Off line programiranje robota

Znatno kraće vrijeme prelaska na novu proizvodnju, mogućnost otkrivanja i otklanjanja kolizije pri radu robota, priprema i razvoj robotskog programa bez zaustavljanja proizvodnje, optimiranje trajektorije koju slijedi prihvatnica robota, analiza vremena potrebnog za obavljanje planiranog zadatka osnovni su razlozi zbog kojih je off line programiranje nezaobilazna metoda u programiranju rada industrijskih robota. Jedan od prvih softwareskih paketa GRASP (Graphical Robot Application Simulation Package), razvijen na Univerzitetu u Nottinghamu, uvodi simulacije temeljene na CAD modelima, čime je postupak integriranja robotskih ćelija i fleksibilnih proizvodnih sistema unaprijeđen. Ovakav pristup, temeljen na 3D CAD modelima prihvatili su proizvođači robota razvijajući vlastite software. Pregled programskih paketa koje su razvili proizvođači robota dat je u tabeli 1.

Tabela 1: Programski paketi temeljeni na 3D CAD modelima

Proizvođač	Software
ABB	RobotStudio [11]
Fanuc	RoboGUIDE [12]
Kuka	Kuka Sim [13]
Motoman	MotoSim EG [14]
Siemens	RobotExpert
Denso	3D Create ROSY
Kawasaki	PC-Roset
Nachi	Robview NACHI

Navedeni softwarei sadrže biblioteke robota, npr. RobotStudio sadrži biblioteku sa više od 50 ABB robota koji se insertuju u radni prostor dopuštajući razvoj robotske ćelije, odnosno fleksibilne proizvodne linije. Osim robota, postoje biblioteke razvijenih alata npr. za zavarivanje, biblioteke hvataljki, te dopunske opreme kao što su pozicioneri i sl. S ciljem razvoja virtuelnog okruženja moguće je kreiranje vlastitih mehanizama korištenjem standardnih oblika iz biblioteka koje podržava RobotStudio, ali je moguće insertovanje iz drugih 3D CAD softwarea, npr. Catie, SolidWorksa i sl. Integracija kompletne opreme ostvaruje se virtuelnim kontrolerom.

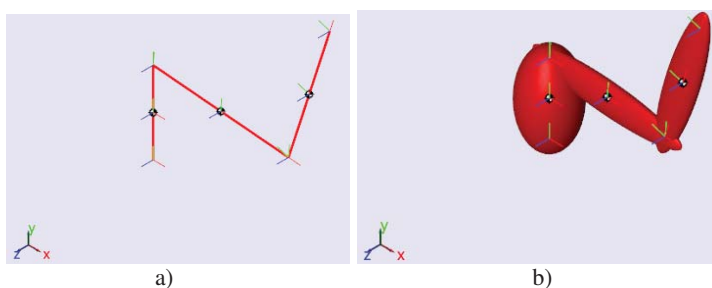
Komponiranje sistema i veza među komponentama sistema definirana je matricama homogenih transformacija, dok je orijentaciju moguće definirati i Eulerovim uglovima, odnosno Rodrigueзовim parametrima, što podrazumijeva definiranje koordinatnih sistema (koordinatnog sistema svijeta, baznog sistema koji se postavlja za svaki robot, koordinantih sistema objekata i dr.). Za svaki robot ugrađen je njihov direktni i inverzni kinematički model kojim je uspostavljena veza između koordinata TCP (eng. Tool Centre Point) tačke i orijentacije prihvatnice sa jedne strane, te kretanja u zglobovima sa druge strane.

Osim navedenih, razvijenih od strane proizvođača robota, Dassault Systems je razvio software Delmia, namijenjen off line programiranju robota. Tu je i Robotmaster i dr.

S druge strane CAD/CAM softwarei, kao što je Catia imaju module za kinematičku analizu koji dopuštaju razvoj mehanizama, pa samim tim i robotskih manipulatora.

2.2. Dinamička analiza robotskih sistema sa vizualizacijom

Za razliku od software koji se koriste za off line programiranje robota, namijenjenih korisnicima robota za programiranje njihovog rada, koje su razvili proizvođači robota, softwarei za dinamičku analizu robotskih sistema razvijani su na univerzitetima, ili su ih razvili proizvođači software. Koriste se na univerzitetima za istraživačke svrhe ili razvojnim centrima proizvodnih kompanija, s ciljem razvoja novih produkata. Jedan od softwarea koji omogućuje dinamičku analizu robotskih sistema je Matlab sa Simulink modulima. Modul SimMechanics dopušta kreiranje modela mehanizama uz mogućnost uključivanja animacije. Način animacije pokazan je na primjeru antropomorfne ruke čiji je dinamički model razvijen u [5]. Na slici 1a članci su predstavljeni konveksnim tijelima sa pridruženim koordinatnim sistemima u centrima masa članaka, a u slučaju prikazanom na slici 1b članci su modelirani ekvivalentnim elipsoidima.

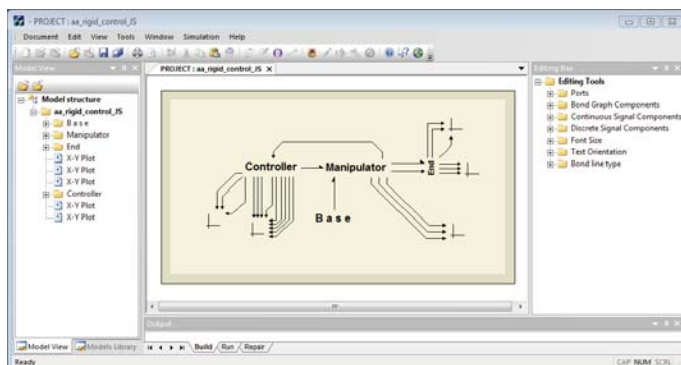


Slika 1: Animacija u SimMechanics: a) sa konveksnim tijelima, b) sa ekvivalentnim elipsoidima

Matlab/Simulink dopušta kreiranje vizualnog modela pri čemu podržava importiranje xml i stl *fileova*. S obzirom da je vizualizacija u robotici jako važna razvijen je set alata i instrukcija za modeliranje robotskih sistema [15], te alata za vizualizaciju [16]. Dinamičku analizu robotskih sistema uz mogućnost vizualizacije omogućuju i softwarei Dymola [17], MapleSim [18], 20Sim [19].

3. DINAMIČKI MODEL ANTROPOMORFNE RUKE

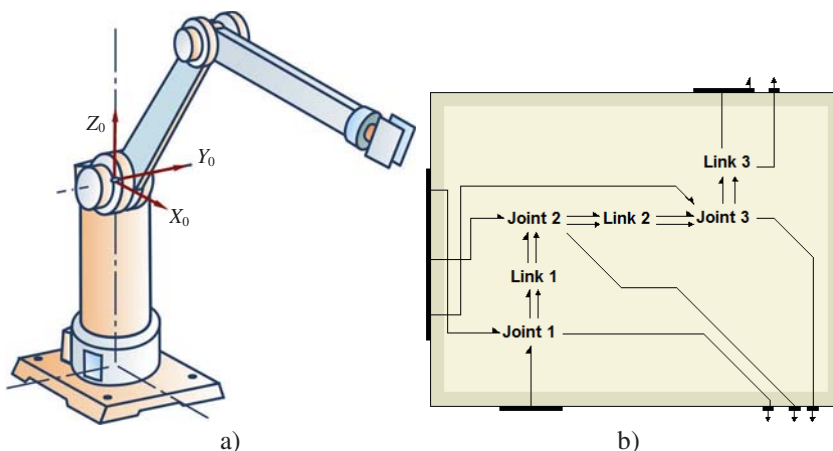
U ovom dijelu je prikazan način razvoja dinamičkog modela robota na primjeru antropomorfne ruke.



Slika 2: Okruženje programa BondSim [6]

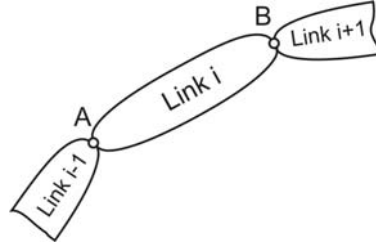
Dinamički model razvijen je primjenom bond graphova korištenjem programa BondSim [6]. Na slici 2 prikazano je vizuelno okruženje objektno orijentiranog programa BondSim, sa otvorenim projektom antropomorfne ruke na sistemskoj razini. BondSim omogućuje razvoj modela složenog sistema na više hijerarhijskih razina. Koristeći se Windows rutinama *Copy-Paste* moguće je pohranjivanje i preuzimanje već razvijenih komponenti iz biblioteke komponenti, čime se postupak modeliranja znatno ubrzava. Nakon što je bond graph model razvijen BondSim automatski generira njegov matematički model u formi diferencijalno-algebarskih jednažbi i rješava ga korištenjem odgovarajućeg solvera.

Robotska ruka je komponirana od tri rotaciona zgloba i tri članka, prema slici 3a. Njen bond graph model prikazan je na sistemskoj razini (slika 2) komponentom **Manipulator**, čija je dekompozicija data na slici 3b.



Slika 3: Antropomorfna ruka: a) struktura; b) bond graph model

Inercijalni, globalni sistem označen je sa $O_0X_0Y_0Z_0$. Za svaki članak pridružen je odgovarajući koordinanti sistem $O_iX_iY_iZ_i$ ($i=1,2,3$). Članci su tretirani krutim tijelima i reprezentovani bond graph komponentama, nazvanim **Link i**. Njihova dinamika je opisana u koordinantom sistemu tijela $O_iX_iY_iZ_i$. Postupak razvoja bond graph komponente krutog tijela detaljno je objašnjena u [6].



Slika 4: Povezivanje članka **Link i** sa drugim člancima

Svaki članak djeluje na sljedeći u nizu određenom silom i momentom. To znači da postoji protok snage od jednog ka drugom članku, od tačke A do tačke B, slika 4. Za prikazivanje ove interakcije upotrijebljena su dva porta snage. 6D vektori toka $\mathbf{f}_k^i$ i napora $\mathbf{e}_k^i$ u tačkama A i B, kao i centru mase C svakog članka sadrže vektore linearane $\mathbf{v}_k^i$ i ugaone brzine $\boldsymbol{\omega}^i$, odnosno rezultirajuće sile $\mathbf{F}_k^i$ i momente $\mathbf{M}_k^i$, slijedno, svi definirani u koordinantom sistemu tijela $O_iX_iY_iZ_i$:

$$\mathbf{f}_k^i = \begin{pmatrix} \mathbf{v}_k^i \\ \boldsymbol{\omega}^i \end{pmatrix}, \mathbf{e}_k^i = \begin{pmatrix} \mathbf{F}_k^i \\ \mathbf{M}_k^i \end{pmatrix}, k = A, B, C. \quad (1)$$

Brzine na portovima (koje odgovaraju tačkama A i B) mogu se izraziti u funkciji odgovarajućeg vektora toka centra mase tijela prema:

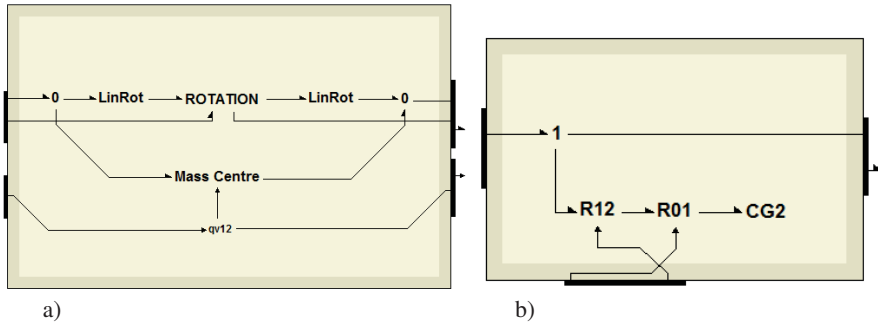
$$\mathbf{f}_k^i = \begin{pmatrix} \mathbf{I} & -\mathbf{r}_{Ck}^i \times \\ \mathbf{0} & \mathbf{I} \end{pmatrix} \mathbf{f}_C^i, \quad k = A, B, \quad (2)$$

gdje su sa $\mathbf{r}_{Ck}^i$ označeni vektori koji spajaju tačke A i B sa centrom mase C, prikazani u koordinantom sistemu tijela. Veza između vektora napora na portovima i centra mase može biti uspostavljena na osnovu jednačbe koja reprezentuje protok snage kroz sistem prema:

$$\mathbf{f}_k^{iT} \mathbf{e}_k^i = \mathbf{f}_C^{iT} \begin{pmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{0} \\ -\mathbf{r}_{Ck}^i \times & \mathbf{I} \end{pmatrix} \mathbf{e}_k^i, \quad k = A, B, \quad (3)$$

što, nakon uvođenja vektora toka, datih izrazom (2) rezultira relacijom:

$$\begin{aligned} \mathbf{v}_k^{iT} \mathbf{F}_k^i &= \left(\mathbf{v}_C^{iT} \quad \boldsymbol{\omega}^{iT} \right) \begin{pmatrix} \mathbf{F}_k^i \\ \mathbf{r}_{Ck}^i \times \mathbf{F}_k^i + \mathbf{M}_k^i \end{pmatrix} \\ &= \mathbf{v}_C^{iT} \cdot \mathbf{F}_k^i + \boldsymbol{\omega}^{iT} \cdot (\mathbf{r}_{Ck}^i \times \mathbf{F}_k^i + \mathbf{M}_k^i), \quad k = A, B. \end{aligned} \quad (4)$$



Slika 5: Bond graph model: a) *Link i*, b) *Mass centre*

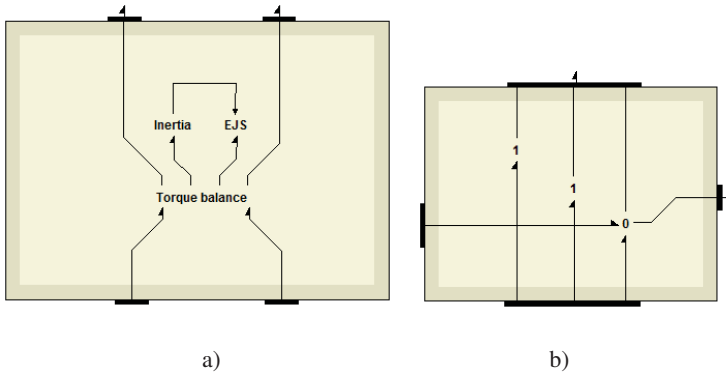
Struktura bond graph model *i*-tog članka **Link i**, na sljedećoj razini dekompozicije, prikazana je na slici 5a. Translatorni dio kretanja opisan je u globalnom sistemu sa:

$$\begin{aligned} \mathbf{p} &= m\mathbf{I}\mathbf{v}_C, \\ \frac{d\mathbf{p}}{dt} &= \mathbf{F}. \end{aligned} \quad (5)$$

Brzina centra mase u globalnom sistemu dobija se prema (Slika 5b):

$$\mathbf{v}_C = \mathbf{R}_i^0 \mathbf{v}_C^i, \quad (6)$$

gdje je $\mathbf{R}_i^0$ rotaciona matrica koja opisuje orijentaciju koordinatnog sistema tijela u odnosu na globalni sistem.



Slika 6: a) Bond graph model **Rotation**; Rotacija oko ose Z_{i-1}

Rotacija članka u prostoru opisana je poznatom Eulerovom jednadžbom:

$$\frac{d\mathbf{H}^i}{dt} + \boldsymbol{\omega}^i \times \mathbf{H}^i = \mathbf{M}^i, \quad (7)$$

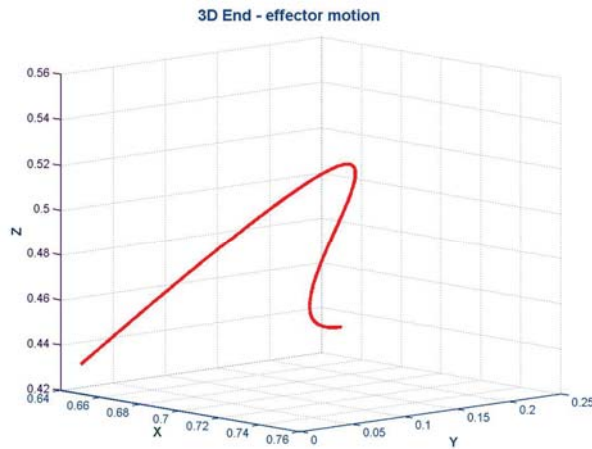
a realizirana je komponentom **Rotation**, čija je struktura data na slici 6a.

Rotacioni zglob **Joint i** (koji spaja dva susjedna članka – **Link i-1** i **Link i**) sadrži dva dijela (masa zgloba je zanemarena u ovom radu). Ulazni dio je kruto povezan za članak **Link i-1** a izlazni, koji obavlja rotaciju oko ose zgloba je povezan za sljedeći članak **Link i**. **Joint i** omogućuje rotaciju oko ose Z_{i-1} i njegov model (slika 6b) je razvijen u lokalnom sistemu $O_{i-1}X_{i-1}Y_{i-1}Z_{i-1}$:

$$\omega_i^{i-1} = \omega_{i-1}^{i-1} + \omega_{i,i-1}^{i-1}, \quad (8)$$

gdje je relativna ugaona brzina data sa:

$$\omega_{i,i-1}^{i-1} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\theta}_i \end{pmatrix}. \quad (9)$$

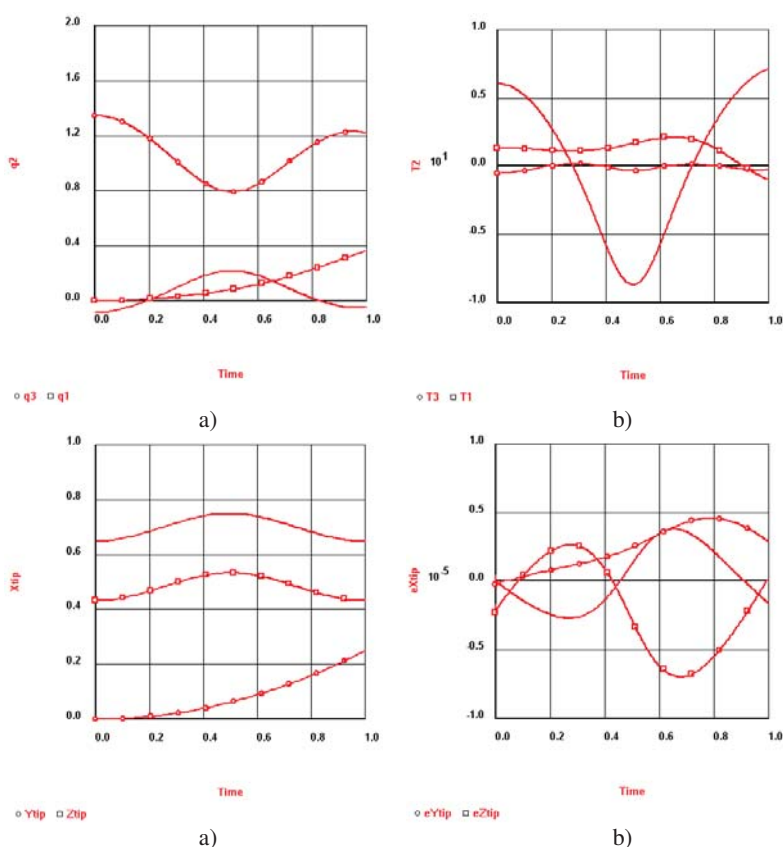


Slika 7: Trajektorija koju slijedi vrh antropomorfne ruke

Materijalni i geometrijski podaci za antropomorfnu ruku su preuzeti iz [2,10]. Tačka TCP treba da slijedi trajektoriju (slika 7):

$$\left. \begin{aligned} X &= 0,7 - 0,05 \cos(2\pi t) \\ Y &= 0,25t^2 \\ Z &= 0,05 + 0,25\sqrt{3} - 0,05 \cos(2\pi t) \end{aligned} \right\}. \quad (10)$$

Simulacija je urađena za vrijeme od 1s, sa vremenskim korakom od 1 ms. Odgovarajuće promjene zglobnih varijabli prikazani su na slici 8a, razvijeni momenti za osnaživanje zglobova dati su na slici 8b. Pri tome vrh ruke manipulatora slijedi trajektoriju prema slici 8c. Uz PD upravljanje sa proporcionalnim i derivacijskim pojačanjem od $1.5e5$ postiže se tačnost trajektorije od $1e-5$, slika 8d. Više rezultata prezentirano je u [2].



Slika 8: Rezultati simulacije - Vremenske promjene: a) uglova u zglobovima, b) razvijenih momenata u zglobovima, c) X-Y-Z koordinata vrha ruke u globalnom sistemu, d) Odstupanja ostvarenih koordinata vrha ruke od željenih u globalnom sistemu

Vizualizacija antropomorfne ruke urađena je u programu BondSimVisual (razvijen od strane prvog autora rada), temeljena na VTK C++ (Visualization Tool Kit) biblioteci. Između BondSima i BondSimVisual uspostavljena je dvosmjerna komunikacija. Dinamički model i vrijednosti zglobnih varijabli računaju se u programu BondSim, koji signale dostavlja vizualnom modelu u program BondSimVisual. To su vrijednosti uglova rotacije u zglobovima. Vizuelni model signale o stanju okoline, postojanju kolizije i slično može dostavljati dinamičkom modelu natrag. Vizuelni model biće prezentiran video klipom tokom prezentacije.

4. ZAKLJUČAK

U radu je pokazan način razvoja dinamičkog modela antropomorfne ruke primjenom bond grafova (u programu BondSim), čija je validacija izvršena usporedbom dobijene trajektorije koju slijedi vrh ruke sa tačnim vrijednostima koordinata ove tačke. Vizualni model ruke razvijen u BondSimVisual. Tokom simulacije između dva modela – dinamičkog, razvijenog pomoću BondSima, i vizualnog, razvijenog u BondSimVisualu, ostvarena je dvosmjerna komunikacija.

Buduća istraživanja obuhvatiće primjenu robota u procesima glodanja ili brušenja, kada alat treba da slijedi 3D trajektoriju. Trajektorija će biti definirana na vizualnom modelu, a planira se proširenje i na real time aplikacije s ciljem uključivanja signala sa senzora koji bi bili dopremani do dinamičkog i vizualnog modela.

5. LITERATURA

- [1] Corke, P. Robotics, 2013, *Vision and Control: Fundamental Algorithms in Matlab* (Springer Tracts in Advanced Robotics), Springer, ISBN-13: 978-3642201431
- [2] Čohodar, M. (2005). Modeliranje i simulacija robota sa fleksibilnim člancima primjenom bond grafova, doktorska disertacija, Mašinski fakultet Univerziteta u Sarajevu
- [3] Daberkow, A. Kreuzer, E. Leister, G. Schiehlen, W. 1993, CAD Modeling, Multibody System Formalisms and Visualization – An Integrated Approach, Advanced Multibody System Dynamics, 87-103, Kluwer Academic Publisher,
- [4] Damić, V. & Čohodar, M. 2006, Bond Graph Based Modelling and Simulation of Flexible Robotic Manipulators, 20th *European Conference on Modelling and Simulation ECMS*, Bonn
- [5] Damić, V. , Čohodar, M., 2009. Modelling and Simulation of Robot System using MatLab and SIMULINK, *Annals of DAAAM for 2009 & Proceedings of the 20th International DAAAM Symposium*, ISBN 978-3-901509-70-4, ISSN 1726-9679, Editor B[ranko] Katalinic, Published by DAAAM International, Vienna, Austria 2009, pp 1247-1249.
- [6] Damić, V. Montgomery, J. 2003, Mechatronics by Bond Graphs, Springer-Verlag, Berlin
- [7] Darcovich, J., Angeles, J., Montagnier, P., Wu, C.-J. 1999, *RSV: A Robot Visualization Software Package*, Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering '98, Springer, pp 265-272.
- [8] Dupac, M. 2011, An object-oriented approach for mechanical components, *Engineering with Computers*, Vo.28, ISSN:0177-0667, DOI 10.1007/s00366-011-0220-3, pp 95-107
- [9] Siciliano, B.; Sciavicco, L.; Villani, L. & Oriolo, G. 2009, *Robotics, Modelling, Planning and Control*, Springer-Verlag, ISBN 978-1-84628-641-4, London
- [10] Wehage, R. A.; Shabana, A. A. & Hwang, Y.L. (1992). Projection methods in Flexible Multibody Dynamics. Part II: Dynamics and Recursive Projection Methods.*Int. Journal for Numerical methods in Engineering*, Vol.35, No.35, pp 1941-1966.
- [11] <http://new.abb.com/products/robotics/robotstudio> (posljednji pristup 25.03.2014)
- [12] <http://www.fanucamerica.com/products/vision-software/ROBOGUIDE-simulation-software.aspx> (posljednji pristup 25.03.2014)
- [13] http://www.kuka-robotics.com/en/pressevents/productnews/NN_040630_KUKASim.htm (posljednji pristup 25.03.2014)
- [14] <http://www.motoman.com/> (posljednji pristup 25.03.2014)
- [15] <http://www.mathworks.com/matlabcentral/linkexchange/links/2961-robotics-toolbox-for-matlab> (posljednji pristup 25.03.2014)
- [16] <http://www.petercorke.com/RVC/> (posljednji pristup 25.03.2014)

- [17] <http://www.modelon.com/products/dymola/> (posljednji pristup 25.03.2014)
[18] <http://www.maplesoft.com/products/maplesim/> (posljednji pristup 25.03.2014)
[19] <http://www.20sim.com/> (posljednji pristup 25.03.2014)

ROBOTI KAO BITAN ČIMBENIK RAZVOJA ZNANOST I NOVIH TEHNOLOGIJA

ROBOTS AS AN IMPORTANT FACTOR IN DEVELOPMENT OF SCIENCE AND NEW TECHNOLOGIES

Snježana Rezić¹, Boris Crnokić²,

¹Sveučilište u Mostaru, Fakultet strojarstva i računarstva, snjezana.rezic@gmail.com

²Sveučilište u Mostaru, Fakultet strojarstva i računarstva, boriscrnokic@hotmail.com

SAŽETAK:

Roboti nisu više samo strojevi koji imaju sposobnost obavljanja jednostavnih zadaća. Ubrzani razvoj društva za posljedicu je imao i ubrzan razvoj robotike i njenu primjenu u gotovo svim segmentima života modernog čovjeka. Roboti su postali inteligentni sustavi i njihova uloga poprima sasvim neku drugu dimenziju, te postaju, ne samo sastavni dio tehnološkog i znanstvenog napretka, već i pokretač razvoja u mnogim oblastima. Ovaj rad će prikazati važnu ulogu robota u razvoju znanosti i novih tehnologija kroz primjere primjene u bitnim segmentima društva.

Ključne riječi: roboti, znanost, nove tehnologije, razvoj

ABSTRACT:

Robots are no longer just machines that have the ability to perform simple tasks. The rapid development of society also brought about a rapid development of robotics and its application in almost all segments of modern humans life. Robots have become an intelligent systems and their role assumes a completely other dimension, thus becoming not only a constituent part of the technological and scientific progress, but also the driving force of development in many fields. This paper will present an important role of robots in development of science and new technologies through examples of application in important segments of human society.

Keywords: robots, science, new technologies, development

1. UVOD

Od prvih ideja do gotovo savršenih strojeva u svijetu robotike i inteligentnih sustava prošlo je tek nekoliko decenija. Roboti danas nisu samo ishod mašte pisaca znanstvene fantastike. Izgledom često podsjećaju na ljude i obavljaju sve više poslova umjesto njih: u tvorničkim halama i na najopasnijim mjestima, po svemiru i na površinama drugih svemirskih tijela, u morskim dubinama i u zraku. Roboti su radnici u tvornicama i kućne pomoćnice, astronauti i rudari, liječnici i umjetnici. Svaki segment ljudskog života uskoro bi mogao postati nezamisliv bez tog umjetno kreiranog društva. Zahvaljujući njima, sve se češće razmišlja o granici prirodne i umjetne inteligencije. U ovome radu biti će obrađena tematika povijesti nastanka, i razvoja u budućnosti, robotike i inteligentnih strojeva kao bitnih čimbenika u razvoju znanosti i novih tehnologija, a samim time i bitnih čimbenika u

svakodnevnom životu čovjeka i njegovom okruženju. Koja će biti naredna faza i razina u razvoju robota i što će nam roboti i inteligentni strojevi pružati u budućnosti? Da li će roboti biti samo strojevi ili možda pomoćnici, poslugi, zabavljači, ili će možda u konačnici robot biti kao čovjek? Trenutno je vrlo teško naći odgovore na sva ova pitanja, ali evolucija koja se odvija u ovoj oblasti već u bliskoj budućnosti će pokazati u kojem smjeru i do kojih granica ide taj razvoj. U ovome radu pokušat ćemo približiti taj svijet kroz konkretne primjere razvoja i primjene raznih robotskih inteligentnih sustava.

2. POVIJEST RAZVOJA ROBOTA I INTELIGENTNIH STROJEVA

Koncept *inteligentnih strojeva* može se u tragovima pronaći već u grčkoj mitologiji. U srednjem vijeku pojavljuju se primitivni strojevi koji oponašaju ljudski govor. Ideje i izvedbe mehaničkih automata su dosta stare, čak od antičkog doba, tako je 880. god. p.n.e. Homer opisao pokretne tronošce u *Ilijadi*, zatim Aristotel, 350. god. p.n.e., piše o mehanizmima čiji će se rad temeljiti na "pokornosti i predosjećanju". Naziv robot prvi puta je uporabljen 20. stoljeću. Ovaj termin uveo je češki književnik Karel Čapek 1921. godine u svojoj drami "R.U.R." (Rossum's Universal Robots), u kojoj je opisao bezemocionalna bića slična ljudima. Pojam robot potječe od češke riječi "robota", što znači najamnik, kmet. [1]

Leonardo Da Vinci je 1495. godine dizajnirao mehanički uređaj koji je izgledao kao vitez u oklopu, mehanizam je omogućavao kretanje poput pravog čovjeka. Leonardo Da Vinci nije nikada napravio svoga robota, ali nakon što je njegov dizajn otkriven 1950.g. i napravljen pokazalo se da se mehanizam ponaša baš onako kako je Leonardo Da Vinci predvidio. [2] Već 1898. godine prvog mobilnog robota je razvio *Nikola Tesla*. Taj robot je ustvari bio bežično upravljivo vozilo, tj. mali brod upravljan pomoću radio talasa.[3]

Pravi napredak razvoja robota načinjen je u 20-om stoljeću i to zahvaljujući pronalasku binarnog stroja – računala. Računalo je uspjelo da „udahne život“ u mehaničku konstrukciju robota. *John Hammond* i *Benjamin Meissner* su 1912. godine su razvili robota koji je nazvan „električni pas“. Robot je imao mogućnost praćenja svjetlosti uperene u njega, a kasnije je taj sustav korišten za izradu prvih torpeda s mogućnošću upravljanja.[4] Tvrtka *Westinghouse* 1937.g. predstavlja robota *Westinghouse Elektro*, koji je imao je rječnik kapaciteta 700 riječi. Također, tvrtka *Westinghouse*, 1940. g. predstavlja robota *Westinghouse Sparko* koji je mogao da osjeti prisutnost ljudskih bića preko toplinskih senzora.[5]

Pod utjecajem II svjetskog rata razvijaju se roboti kao što su automatski protuavionski top koj je 1940. godine razvio *Norbert Wiener* [6], te autonomni zrakoplov i samonavođene rakete (V1 i V2) koje su razvijene 1944. godine od strane skupine njemačkih znanstvenika [7].

Između 1948. i 1949. godine *William Grey Walter* je konstruirao prve autonomne robote koje je nazvao "turtois" (kornjače). To su bili roboti sa tri točka koji su bili u stanju sami pronaći stanicu za punjenje nakon što osjete da su im baterije prazne.[8] 1954. godine predstavljen je prvi industrijski robot, odnosno „sustav za programirano premještanje predmeta“, kojega je dizajnirao *George Devol*. [9] Tvrtka *General Electric Co.* 1967. godine predstavlja robota pod nazivom „Walking Truck“ (hodajuća kolica), to je bio robot na četiri noge koji je korišten za prijevoz tereta u Pentagonu.[10] Između 1967. i 1972. godine, na SRI-u (Stanford Research Institute), razvijen je prvi mobilni robot „Shakey“ sa umjetnom inteligencijom i vizualnim sustavom za raspoznavanje.[11]

U 80-im godinama prošlog stoljeća pojavljuju se roboti koji imaju sposobnost prilagodbe i promjene ponašanja prema okolini u kojoj se nalaze, a takvu sposobnost nazivamo inteligencija. Pokretni robot

sa šest nogu razvijen je na *Odetics Inc.* 1983. god. *Dr. William Bargar i Howard Paul* razvili su robota „Robodoc“ koji je 1990. godine obavio operaciju kuka kod psa, a 1992. godine na čovjeku. U međuvremenu roboti postaju mehanički sve savršeniji, a njihovi upravljački sustavi posjeduju sve više umjetnih čula i elemenata *umjetne inteligencije*. Na *Massachusetts Institute of Technology (MIT)* 1994. godine *Rodney A. Brooks* počinje praviti „Cog-a“, robota koji se educira kao i čovjek. 1996. godine *Honda* otkriva P-2 (prototip 2), - čovjekolikog robota koji šeta. Na Mars je lansiran 1997. NASA-in robot „Pathfinder“, a „Sajourner rover“ robot istražuje marsovsko tlo. Na turniru RoboCup-u 2000., tri čovjekolika robota se susreću prvi put: „Jonny Walker“ sa *University of Western Australia*, „Mk-II“ sa japanskog *Aoyama Gakuin University* i „Pino“ sa *Kitano Symbolic Systems Project-a*. [1]

Honda je 2000. godine predstavila prvu verzije globalno poznatog robota ASIMO. ASIMO je humanoidni robot osmišljen kao multifunkcionalni mobilni pomoćnik. Posljednja verzija ASIMO robota prezentirana je 2011. godine.[12] 2001. godine bespilotna letjelica „Global Hawk“, koja je dizajnirana u tvrtki *Ryan Aeronautical*, je napravila svoj prvi autonomni neprekidni let preko Pacifika koji je trajao 22 sata. Popularni robotski usisavač „Roomba“, tvrtke *iRobot*, predstavljen je 2002. godine. *University Cornell* 2004. godine prezentira robota koji ima mogućnost samorepliciranja, odnosno skup kocaka koje imaju sposobnosti spajanja i odvajanja, te je na taj način nastao prvi robot koji uspješno pravi replike samoga sebe. Također, *University Cornell*, 2006. godine predstavlja četveronožnog robota „Starfish“ koji ima sposobnost samomodeliranja i učenja da hoda nakon što je bio oštećen. „Robonaut 2 (R2)“ je posljednja generacija NASA-inog astronautskog pomagača koji je predstavljen 2010. godine. To je prvi humanoidni robot u svemiru. [13]

Naravno, ovo su samo reprezentativni primjerci razvoja robotike kroz karakteristična vremenska razdoblja, ali uz ove projekte još je mnogo robotskih sustava i inteligentnih strojeva koji zaslužuju veliku pozornost i koji su dali veliki doprinos razvoju modernog društva.

3. PRIMJENA ROBOTA U ZNANOSTI I RAZVOJU TEHNOLOGIJE

3.1. Industrijski roboti

Industrijskih robota još uvijek ima mnogo više od svih drugih robota koji se proizvode za druge svrhe i namjene. Industrijski roboti danas se koriste u velikom broju industrijskih grana i za različite aplikacije. Poslovi koji se ponavljaju, koji zahtijevaju veliku preciznost, radnje koje zahtijevaju izdržljivost, pouzdanost i brzinu, mogu biti efikasnije rađeni s robotom, te se sve veći broj industrijskih poslova koje su radili ljudi zamjenjuje robotskim radom. Na primjer, za posljednjih 30 godina roboti su postepeno preuzeli u potpunosti automatizirane proizvodne linije automobilske industrije (Slika 1[14]), pri čemu šasija vozila se transportira duž transportne trake i zavarivanjem dijelovi vozila se sastavljaju.



Slika 1: Automatizirana proizvodna linija u automobilske industriji.

Neki od drugih industrijskih robota obavljaju poslove paletiranja i pakiranja robe, drugi roboti odabiru minijaturne elektronske komponente iz kasete ili trake i precizno ih postavljaju na štampane ploče u elektronsku industriju. Njihova primjena je zauzela značajno mjesto u svim segmentima ljudske djelatnosti: uz spomenuti rad u tvornicama, sve je veća primjena i rad u bolnicama, preko obavljanja složenih zadataka u rudnicima, ili izvršavanja zahtjevnih zadataka u vojsci, ali i u mnogim istraživačkim institutima, itd.

3.2. Roboti u medicini

Operiranje ljudskog tijela zahtijeva visoki stupanj spretnosti ali i kontrole, što roboti svakako mogu da ispune s obzirom na to da su strojevi. Ideja o robotu kirurgu izazvala je strah kod ljudi da će roboti bez nadzora odlučivati o ljudskom životu, ali u stvarnosti roboti samo pomažu kirurzima da obave procedure za koje je potrebna maksimalna preciznost. Mnogi eksperimenti i konkretne aplikacije na području robotizacije kirurških postupaka doveli su ovaj dio robotike na visoku razinu. Liječnici koji su udaljeni tisućama kilometara od pacijenata obavljaju složene operacije uz pomoć robota kirurga koji je s njima uvezan upravljačkom mrežom i vizualnim nadzornim sustavom. Možda najuspješnijih i najpouzdaniji kirurški robot koji je u uporabi od 2000. godine, je robot „da Vinci“ (Slika 2). To je projekt tvrtke *Intuitive Surgical Inc*, te je ujedno predstavljao i prvi stroj koji je dobio dozvolu rezanja i šivanja na tijelima pacijenata. Robot je napravljen za obavljanje kompleksnih operacija koristeći „minimalno invazivni“ pristup. Tijekom kirurškog zahvata pacijent se nalazi na operacijskom stolu, a operaciju vrše robotske ruke kojima upravlja (živi) kirurg preko upravljačke konzole. Cijeli postupak može se pratiti preko trodimenzionalnog endoskopa i sustava za obradu slike. Do siječnja 2013. godine instalirano je više od 2 000 jedinica Da Vinci robota u bolnicama širom svijeta. Samo u 2012. godini obavljeno je skoro 200 000 operacija. Međutim, Da Vinci je kritiziran zbog njegove visoke cijene, ali i zbog mnogih problema koji se pojavljuju prilikom operacija. Sa svakim obnavljanjem i nadogradnjom sustava broj takvih pogrešaka se smanjuje, ali sa napretkom tehnologije broj pogrešaka trebao bi biti minimiziran a cijena prihvatljivija.[15], [16] Još jedan robot koji obavlja slične zadatke kao i da Vinci je robot „MiroSurge“ proizveden u njemačkom svemirskom centru *DLR*.



Slika 2: Kirurški robot „da Vinci“.

U tablici 1 dat je prikaz prednosti i nedostataka čovjeka i robota u ulozi kirurga.

Tablica 1. Prednosti i nedostaci ljudskih i robotskih sposobnosti

	Kirurzi	Roboti
Prednosti	Sevstranost	Ponovljivost
	Iskustvo	Stabilnost i preciznost
	Koordinacija pokreta	Tolerantan na ionizirajuća zračenja
	Točnost na milimetarskoj i centimetarskoj skali	Razni senzori
	Velik broj osjetila s besprijekornom fuzijom podataka	Optimiziran za određeni okoliš
	Brzo obraditi veliku i različitu količinu informacija	Rukovanje s lakoćom u radnom prostoru
		Odraduje višestruke zadatke
Nedostaci	Drhtanje	Skupi
	Umor	Nezgrapni
	Nepreciznost	Veliki
	Varijabilnost u vještini, dobi, stanje uma	Nemogućnost procesiranja kvalitativnih informacija
	Teškoće u obradi kvantitativnih podataka	Nisu svestrani
	Neučinkovitost u submilimetarskim ljestvicama	Tehnologija još uvijek u povojima

3.3. Roboti u obrazovanju i znanosti

U suvremenim obrazovnim sustavima već dugo je poznat pojam „obrazovna robotika“, odnosno okruženje za učenje u kojem su ljudi motivirani kreacijama koje posjeduju karakteristike slične onim ljudskim ili životinjskim. Obrazovna robotika prvenstveno je fokusirana na kreiranje robota koji će korisnicima pomoći u razvijanju što više praktičkih i didaktičkih kognitivnih i motoričkih vještina. Ovaj pristup je namijenjen i za poticanje interesa za istraživanje i znanost kroz set različitih aktivnosti koje podupiru jačanje specifičnih područja znanja i vještina koje se kod studenata razvijaju kroz dizajn, kreiranje, montažu i rad robota. Robotika je sve više zastupljena ne samo u visokoškolskom obrazovanju i znanstveno-istraživačkim institucijama, već i u predškolskom, osnovnom i srednjoškolskom obrazovanju. Tvrtka *Fischertechnik* u svojoj ponudi ima mnoštvo projekata i robotskih sustava koji se koriste u obrazovanju i obuci djece od 5 godina pa sve do završetka srednje škole, od samostalnog dizajna i slaganja robotskih sustava pa do programiranja samih funkcija. [17] Možda najzastupljeniji i najpoznatiji od svih obrazovnih robotskih sustava, za sve razine obrazovanja, su oni tvrtke *LEGO*, a prije svega tu su robot „Lego Mindstorms NXT“ i obrazovni set „LEGO WeDo“. „Lego Mindstorms NXT“ je programabilni mobilni robot koji ima mogućnost programiranja kroz veliki broj alata kao i ugradnju različitih senzora, a što pruža velike mogućnosti učenja o različitim tehničkim poljima. „LEGO WeDo“ je jednostavan set koji omogućava konstruiranje različitih robota i programiranje jednostavnih funkcija kroz jednostavne programske alate.[18] Korejska tvrtka *ROBOTIS* proizvela antropomorfnog robota za edukaciju i istraživanje „DARwIn-OP“. To je humanoidni robot sa naprednom računalnom tehnologijom, sofisticiranim sensorima, s velikom nosivosti i sposobnošću dinamičkog kretanja.

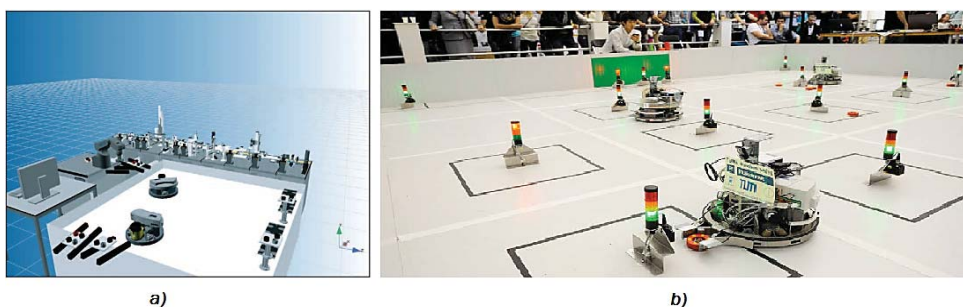
Njemačka tvrtka *Festo Didactic* proizvela je nekoliko serija mehatroničkog mobilnog robotskog sustava „Robotino“ koji se koristi za obrazovanje, obuku ali i za znanstveno-istraživačke svrhe. Robotino posjeduje raznolike vrste senzora, aktuatora i programskih sučelja koja su na najvišoj razini u svijetu mobilne robotske tehnike. Mobilni robotski sustav Robotino je primjenljiv i prilagodljiv za srednjoškolsko i fakultetsko obrazovanje, u jednostavnim ali i složenijim znanstveno-istraživačkim projektima, te kroz treninge i obuke u programima cjeloživotnog učenja i obrazovanja. Ovaj fascinantni i motivirajući sustav koristi se širom svijeta u obrazovnim i istraživačkim institucijama.



Slika 3: Mehatronički mobilni robotski sustav „Robotino“

Širok je spektar mogućnosti kreiranja programa učenja ili istraživačkih projekata uz pomoć Robotina, a neke od njih su: prikupljanje, skaliranje i analiza podataka sa velikog broja različitih senzora i primjena tih podataka za različite aplikacije; upoznavanje sa elektromotornom pogonskom i upravljačkom jedinicom; proučavanje zatvorenog kruga upravljanja mehatroničkog sustava; grafičko

programiranje aplikacija mobilnog robota; programiranje aplikacija mobilnog robota u programskim jezicima kao što su: .Net, C++, C, C#, JAVA, sa MatLab ili Lab View sučeljem; digitalna obrada slike i praćenje objekata; unutarnja i vanjska navigacija robota uz izbjegavanje prepreka, simuliranje virtualnih aplikacija u proizvodnim linijama i laboratorijama (Slika 4 a); i još mnoge aplikacije u oblasti mobilne i servisne robotike. Uz navedene mogućnosti primjene, Robotino je također i službena oprema na svjetskom natjecanje u vještinama iz različitih oblasti „WorldSkills International“. Istraživači iz cijelog svijeta međusobno se natječu u ligi „RoboCup Logistics League“ u kojoj se Robotino koristi za obavljanje različitih zadataka kao autonomni operacijski sustav bez vozača (Slika 4 b). Tvrtka Festo organizira natjecanje u hokeju „Festo Robotino Hockey Challenge“, u kojem se ekipe iz različitih država natječu sa timovima Robotina, te kroz igranje hokeja pokazuju vještine i sposobnosti operiranja mobilnih robota zajedno u skupinama.[19]–[21]



Slika 4: a) Simuliranje rada u laboratoriji; b) Natjecanje „RoboCup Logistics League“

3.4. „Robonaut“ – prvi robot astronaut

Projekt „Robonaut“ predstavlja pokušaj projektiranja humanoidnog robota koji bi bio sposoban da obavlja zahtjevne zadatke u svemiru. Za razliku od ostalih sličnih svemirskih projekata, Robonaut neće obavljati zadatke koje obavljaju današnji roboti u svemiru poput raznih rovera, kranova ili mehaničkih ruku, a koji se uglavnom koriste za micanje velikih objekata, već će njegovi zadaci biti mnogo delikatniji i sofisticiraniji, te će zahtijevati mnogo više sposobnosti i vještina. Sam projekt je djelo znanstvenika NASA-e, odnosno posebne laboratorije koja se bavi istraživanjima tehnologije robota koji će posjedovati određenu inteligenciju potrebnu za obavljanje delikatnih zadataka u bestežinskom stanju. Razvoj ovoga projekta otpočeo je 1997. godine, a već početkom ovoga stoljeća prvi robonauti materijalizirani su u vidu prototipa koji su se koristili za razna testiranja - ali nikada nisu poslani u svemir. Stečena iskustva su primijenjena u aktualnom projektu „Robonaut 2“ popularno nazvanog „R2“, koji je prikazan na slici 5.



Slika 5: Robonaut koristi iste alate i okruženje kao astronauti

Danas postoje 4 operativna modela R2 koji se koriste za razna testiranja dok su novi projekti još uvijek u fazi razvoja. Prednost humanoidnih robota u odnosu na ostale vrste robota je u tome što imaju sposobnost korištenja istog okruženja i isti alata kao i ljudi. „R2“ je sposoban da radi i obavlja zadaće rame uz rame sa astronautima unutar svemirske postaje, što astronautima olakšava posao i ostavlja mogućnost izvršavanja drugih zadaća dok Robonaut obavlja jedan dio njihovog posla. Robonaut 2 je do sada najsuvremeniji model robota ikada razvijen sa visokim stupnjem antropomorfizma i razvijenim vještinama potrebnim za obavljanje zahtjevnih zadaća, sposoban je da rukuje širokim dijapazonom alata i sučelja. Nakon svih obavljenih potrebnih modificiranja odlučeno je da se u okviru misije šatla „Discovery“, 23. veljače 2011. izvrši slanje Robonauta 2 na Međunarodnu svemirsku stanicu (MSS). Uvjeti koji vladaju unutar MSS su pogodni za rad Robonauta, kojima su za početak povjerene zadaće održavanja higijene stanice i čišćenje filtra za zrak, naravno uz dodatak sustava koji će Robonautu omogućiti kretanje unutar stanice. Sljedeća modifikacija će omogućiti da Robonauti nesmetano rade u prostoru svemirskog vakuuma, gdje bi bio od velike pomoći prilikom vanjskog održavanja stanice ili dodavanja raznih dijelova i vršenja eksperimenata. U 2014. godini planirana je ugradnja nogu za penjanje. Robotom će biti moguće upravljati i glasovnim naredbama, a robot će odgovarati da li je ispunio ili nije naloženu radnju. Kada se u njegovoj memoriji nakupi dovoljno iskustva, biti će sposoban za autonomne zadatke.[22]

3.5. Roboti u vojsci i roboti za spašavanje

Robotika je jedan od ključnih elemenata programa reforme vojske SAD-a, budućeg borbenog sustava ili FCS-a (Future Combat Systems). Na tisuće borbenih robota već služi u američkoj vojsci. Među najkorištenijim kopnenim robotima su „TALON“ i „iRobot“ koji pomažu kopnenim rodovima vojske. Roboti TALON su mali gusjeničari kojima se upravlja preko prijenosnih računala i radijskih signala, a obično se koriste za ispitivanje sumnjivih paketa s veće udaljenosti i za razminiravanje (Slika 6 a). U Afganistanu i Iraku su u svakodnevnoj uporabi. Tu je i robot „SWORD“, odnosno verzija robota TALON opremljena naoružanjem.



a)



b)

Slika 6: a) Robot „TALON“ ; b) Bespilotna letjelica „MQ-1 Predator“

iRobot može poduzimati radnje navođen preko bežičnog upravljanja, a obično se koristi za izviđanje te prikaz unutrašnjosti zgrada i područja prije borbe. Fotografira područje, a može i nacrtati točnu kartu koja ga prikazuje. Jedna od oblasti gdje je vidljiv ogroman napredak je razvoj bespilotnih letjelica. To su u osnovi izviđačke letjelice na daljinsko upravljanje koje mogu letjeti same ako izgube kontakt sa svojim pilotom. Jedna od takvih letjelica je „MQ-1 Predator“ koja na sebi nosi kamere i različite vrste senzora, ali također je opremljena i obrambenim raketama ili nekim drugim oružjem (Slika 6 b). Te letjelice se također mogu koristiti i za nadgledanje i praćenje požara u šumama. Kroz projekt Falcon u SAD-u se razvija i potpuno autonomna letjelica nazvana „HTV-2“ (Hypersonic

Technology Vehicle 2) koja će imati mogućnost autonomnog borbenog djelovanja pri brzinama od čak 21 000 km/h.[23], [24]

Jedan od prvih zabilježenih slučajeva korištenja robota u operaciji pretrage i spašavanja bio je 2001. godine nakon terorističkog napada na Svjetski trgovački centar u New Yorku. Od tada radnici u hitnim službama širom svijeta koriste male, daljinski upravljane, mobilne robote sa kamerom i raznim drugim senzorima za pronalazak žrtava i mapiranje mjesta nesreće. Većina ovih robota imaju gusjenice, slično kao i navedeni vojni roboti, pa izgledaju kao mali tenkovi. Nakon katastrofe u nuklearnoj elektrani Fukushima 2011. godine, korišteni su upravi ovakvi roboti za procjenu štete i vršenje opravaka u elektrani. Nakon uviđanja neophodnosti uporabe robota za spašavanje u teškim nesrećama i katastrofama, Agencija za napredna istraživanja projekata obrane SAD-a (DARPA) odlučila je pokrenuti natjecanje robota za spašavanje. Umjesto natjecanja u trčanju, skakanju ili bacanju predmeta, roboti se natječu u obavljanju različitih zadataka u simuliranim nesrećama. Natjecanje će se održati 2014. godine, a pobjednika će dobiti nagradu od 2 milijuna dolara.[25]

3.6. Roboti kao pomoć u kući ili kao zabava

Usprkos činjenici da je koncept robota poznat duže vrijeme, butleri strojevi koji se kreću po našim domovima donedavno su bili samo plod naše mašte. Umjesto toga, većina robota radila je u tvornicama obavljajući neku od industrijskih rutinskih aktivnosti. Međutim, kombinacija sve veće računalne moći i napretka ostvarenog na polju umjetne inteligencije dovela je do proizvodnje dovoljno pametnog programa pomoću kojeg roboti postaju mnogo korisniji. Pored robota usisavača, metli, kosilica za travu, čistača za bazen pa čak i automatskih kolijevki za bebe, došlo je do prave eksplozije kada su u pitanju roboti za zabavu. Odjednom, ljudi su počeli da kupuju robote koji nemaju neku određenu funkciju. Umjesto robota koji su zamijenili nekadašnje robove, zavaladali su roboti kućni ljubimci koji služe čovjeku kao zabava, društvo ili pratnja. Roboti zabavljači su se, ipak, najbolje pokazali zato što kućni poslovi još uvijek predstavljaju izazov za robote, u pogledu spretnosti, okretnosti i inteligencije pa čak i kada su u pitanju jednostavni poslovi kao što je peglanje. Daleko od kućnog okruženja, roboti mogu imati i drukčije oblike. Neki su čak dizajnirani da mijenjaju oblik, kao što je „TetraBot“ koji mijenja formu, ili samoklonirajući robot.[26] Harvard University je predstavio projekt TERMES u sklopu kojeg su razvili robotske termine koji su sposobni autonomno graditi 3D konstrukcije po uzoru na stvarni svijet termita. Pretpostavlja se da bi ovakvi roboti mogli imati veliku ulogu pri koloniziranju planeta u budućnosti.[27]

4. ZAKLJUČAK

Pojava robota koji posjeduju inteligenciju, te imaju sposobnost učenja i samoodlučivanja, izazvati će ogromne promjene u društvu budućnosti. Umjetna inteligencija je prestala biti stvar ekskluzivnih laboratorija i polako se širi na konkretnu primjenu u svim segmentima ljudskog života. Predviđanja iz futurističkih romana i filmova sve su realnija. Sve je izvjesnije da će se u sve većem broju roboti koristiti za različite operacije u ekstremnim uvjetima, poput gašenja požara, rada na velikim dubinama, do kućnih čuvara ili pomoćnika, ili u potpunosti zamijeniti tenkove i zrakoplove. Roboti bi u budućnosti trebali komunicirati s ljudima, davati im savjete, ali možda i kuhati ručak ili pospremati, odnosno, možda je konačan cilj da roboti sve rade a da ljudima ostaje što više vremena za uživanje. Da li će to sve ići u smjeru u kojem čovjek želi pokazat će budućnost.

Svaka od oblasti primjene robotike, koja je navedena u radu, sigurno će doživjeti veliki napredak u budućnosti. Međutim, trenutačno, najveća ulaganja i najviše istraživanja je usmjereno na razvoj robota u vojnim i svemirskim programima. Razvoj naprednih tehnologija kroz vojne programe ujedno

može biti i velika opasnost za čovječanstvo. Prevelika autonomija, koja se predviđa vojnim robotima, sigurno će biti tema za raspravu u visokim znanstvenim i političkim krugovima u narednim decenijama. Što kada roboti budu autonomno odlučivali kada treba da primjene oružje? Pitanje je koje treba postaviti granice i norme u razvoju vojne robotike. Kod razvoja robotske tehnologije u medicini veliki problem će biti odgovornost za pogreške nastale u kirurškim zahvatima. Tko će biti odgovoran za fizičko ozljeđivanje ili smrt tijekom operacija, da li čovjek ili robot? Ako je robot krivac, koja je posljedica? Kvaliteta obrazovanja sigurno će biti podignuta na višu razinu uporabom inovativnih robotskih sustava, prije svega u tehničkim znanostima ali i u ostalim granama. Uz mogućnost učenja o različitim znanstvenim područjima samo na jednom robotu, kao i prikaz aplikacija u realnom vremenu i prostoru, učenje uz pomoć robota dobiva potpuno novu dimenziju. Međutim, i tu se postavlja važno pitanje, što će se desiti ako roboti dobiju još važniji status u obrazovanju, pa čovjeka zamijeni autonomni robotski predavač? Mnogo je ovakvih pitanja i razmišljanja za primjenu robota u budućnosti. Odgovore na neka od tih pitanja čovječanstvo će vrlo brzo dobiti. Jedna važna činjenica je ta da je čovjek kreirao robota da mu bude od pomoći, uz ljudski nadzor, a ne da u potpunosti zamijeni čovjeka prelaženjem granice dopuštene autonomije.

Uz kronološki pregled, u Poglavlju 2., korisno je napomenuti i predviđanja razvoja robotike u budućnosti, a koja svakodnevno predstavljaju znanstvenici, velike korporacije i državna tijela. Pa tako, predviđa se da će od 2015. do 2020. godine svako južnokorejsko kućanstvo posjedovati robota za različite namjene, a da će već 2018. godine roboti rutinirano obavljati složene kirurške zahvate. Iz SAD-a najavljuju da će od 2015. godine jedna trećina oružanih snaga SAD-a biti robotizirana, a 2035. godine trebao bi u uporabu ući prvi potpuno autonomni vojnik. U Japanu najavljuju uporabu agrikulturalnih robota već od ove godine, a od 2017. godine predviđaju uporabu robota u kućanstvima za obavljanje velikog broja svakodnevnih poslova.

5. LITERATURA

- [1] V.Doleček; I.Karabegović, *Robotika*, 1st ed. Bihać: Tehnički fakultet Bihać, 2002, p. 301.
- [2] S. Behnke, "Humanoid Robots – From Fiction to Reality?," *Künstliche Intelligenz*, vol. 22, no. December, pp. 5–9, 2008.
- [3] M. Vukobradović, "Nikola Tesla and Robotics," *SERBIAN J. ELCTRICAL Eng.*, vol. 3, pp. 163–175, 2006.
- [4] David Mitchell, "Electric Dog-1912." [Online]. Available: <http://davidbuckley.net/DB/HistoryMakers/HM-ElectricDog1912.htm>. [Accessed: 12-Feb-2014].
- [5] David Buckley, "Westinghouse Elektro - 1937; Westinghouse Sparko - 1940." [Online]. Available: <http://davidbuckley.net/DB/HistoryMakers/HM-Elektro.htm>. [Accessed: 14-Feb-2014].
- [6] Wikipedia, "Norbert Wiener." [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Norbert_Wiener. [Accessed: 12-Feb-2014].
- [7] IEEE Global History Network, "V1 and V2 Rockets." [Online]. Available: http://www.ieeeahn.org/wiki/index.php/V1_and_V2_Rockets. [Accessed: 12-Feb-2014].
- [8] Wikipedia, "William Grey Walter." [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/William_Grey_Walter#Robots. [Accessed: 12-Feb-2014].
- [9] Wikipedia, "George Devol." [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/George_Devol. [Accessed: 12-Feb-2014].

- [10] David Buckley, “GE Walking Truck 1968.” [Online]. Available: <http://davidbuckley.net/DB/HistoryMakers/HM-GE-Truck1968.htm>. [Accessed: 12-Feb-2014].
- [11] Wikipedia, “Shakey the Robot.” [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Shakey_the_robot. [Accessed: 12-Feb-2014].
- [12] Asimo-Honda, “ASIMO.” [Online]. Available: <http://asimo.honda.com/asimo-history/>. [Accessed: 13-Feb-2014].
- [13] Wikipedia, “History of robots.” [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_robots. [Accessed: 13-Feb-2014].
- [14] Christine R  th, “More with Less.” [Online]. Available: http://www.siemens.com/innovation/apps/pof_microsite/_pof-spring-2013/_img/images/MICRO_068_1_cover_908x340.jpg. [Accessed: 14-Feb-2014].
- [15] J. Bodner, F. Augustin, H. Wykypiel, J. Fish, G. Muehlmann, G. Wetscher, and T. Schmid, “The da Vinci robotic system for general surgical applications: a critical interim appraisal,” *Swiss Med. Wkly.*, vol. 135, no. 45–46, pp. 674–8, Nov. 2005.
- [16] Wikipedia, “da Vinci Surgical System.” [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Da_Vinci_Surgical_System. [Accessed: 14-Feb-2014].
- [17] Wikipedia, “Fischertechnik.” [Online]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Fischertechnik>. [Accessed: 19-Feb-2014].
- [18] LEGO, “LEGO education.” [Online]. Available: <http://education.lego.com/?domainredir=www.legoeducation.com>. [Accessed: 19-Feb-2014].
- [19] Festo Didactic, “Robotino-Workbook With CD-ROM Festo Didactic 544307 en.” Denkendorf, p. 124, 2012.
- [20] Festo Didactic, “Robotino-Instructor volume,” vol. 544307. Denkendorf, p. 42, 2007.
- [21] Festo Didactic, “Robotino@ Mobile robot platform for research and training.” Denkendorf, p. 12, 2013.
- [22] D. Lazarevi  , “PLANETA-Magazin za nauku, istra  ivanja i otkri  a-Robot astronaut,” *Belmedia*, Beograd, pp. 38–40, 2012.
- [23] Chemgeneration, “HO  E LI ROBOTI O  IVJETI?” [Online]. Available: <http://www.chemgeneration.com/hr/news/ho?e-li-roboti-o?ivjeti.html>. [Accessed: 14-Feb-2014].
- [24] Wikipedia, “Military robot.” [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Military_robot. [Accessed: 14-Feb-2014].
- [25] Erico Guizzo, “DARPA’s Rescue-Robot Showdown,” *IEEE Spectrum*, 2013. [Online]. Available: <http://spectrum.ieee.org/robotics/humanoids/darpas-rescuerobot-showdown>. [Accessed: 14-Feb-2013].
- [26] I. Jak  i  , “PLANETA-Magazin za nauku, istra  ivanja i otkri  a-Na pragu robotske pobune,” *Belmedia*, Beograd, pp. 26–29, 2012.
- [27] K. Petersen and J. Werfel, “TERMES : An Autonomous Robotic System for Three-Dimensional Collective Construction,” *Proc. Robot. Sci. Syst.*, vol. VII, 2011.

PRISTUPI ANALIZI EFIKASNOSTI ZAVARIVANJA TRENJEM SA MIJEŠANJEM

APPROACHES TO ANALYSES OF FSW EFFICIENCY

Petar Tasić¹, Ismar Hajro²,

¹Mašinski fakultet Sarajevo, Vilsonovo šetalište 9, tasic@mef.unsa.ba

²Mašinski fakultet Sarajevo, Vilsonovo šetalište 9, hajro@mef.unsa.ba

SAŽETAK:

Zavarivanje trenjem sa miješanjem je relativno nov postupak spajanja materijala u čvrstom stanju. U upotrebi je već više od 20 godina, i za to vrijeme je našao brojne primjene u industriji, posebno tamo gdje ga njegove prednosti stavljaju ispred svih ostalih mogućih rješenja. Usprkos tome, to je proces spajanja čiji mehanizam stvaranja spoja do sada nije u potpunosti objašnjen. Sa aspekta iskorištenja utrošene energije, vremena i novca, ovo je proces iznimne efikasnosti, i to potvrđuju njegovi industrijski korisnici. Sa naučnog aspekta, postoji nekoliko različitih objašnjenja za takvu efikasnost, ali i brojnih nepoznanica koje to dovode u pitanje. Ovaj rad, na određen način, daje pregled i poredenje rezultata iz industrije i nauke, kao dva različita ali međusobno nadopunjujuća aspekta.

Ključne riječi: zavarivanje trenjem sa miješanjem, FSW, efikasnost

ABSTRACT:

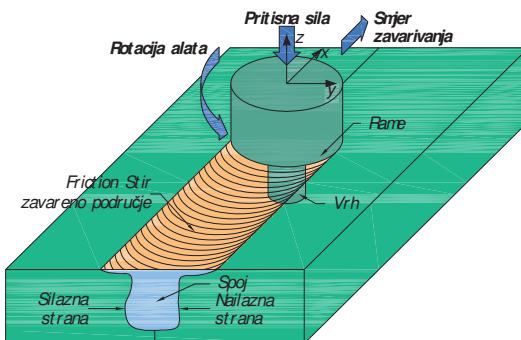
Friction stir welding is relatively new solid state joining process. It is actively used for more than 20 years, and during this period it has found numerous industrial applications, especially where its advantages sets it ahead competitive solutions. Despite that, it is joining technique with no fully explained joining mechanism yet. It is outstandingly efficient process regarding usage of energy, time consumption and money, verified by large number of industrial users. From scientific point of view, there are several possible explanations for such high efficiency, but there is number of unknowns doubting it. This paper, in some way, gives overview and comparison of industrial and scientific results, as opposite yet mutually complimentary aspects.

Keywords: friction stir welding, FSW, efficiency

1. UVOD

Zavarivanje trenjem sa miješanjem (eng. *Friction Stir Welding, FSW*) je patentirano 1991. To je proces zavarivanja u čvrstom stanju, i u početku je korišten samo za aluminijske legura, dok je kasnije prihvaćen i za čelike, polimere i kompozite. Koncept FSW procesa je veoma jednostavan. Alat (koji nije potrošni), sa posebno dizajniranim vrhom i ramenom, se ubacuje u materijal na mjestu početka spoja, i kreće se duž linije spoja (slika 1). Alat služi za dvije osnovne funkcije: (a) zagrijavanje osnovnog materijala, i (b) miješanje materijalâ u svrhu stvaranja spoja. Toplota se stvara trenjem između alata i komada, i dodatno plastičnom deformacijom osnovnog materijala. Jednostavnim

promjenama geometrije alata je moguće mijenjati produktivnost i efikasnost procesa u izuzetno širokom rasponu vrijednosti. FSW se smatra jednim od najznačajnijih izuma u tehnici spajanja, ali i „zelenom“ tehnologijom zbog općenito visoke energetske efikasnosti.



Slika 1: Osnovni parametri pri sučeonom zavarivanju trenjem sa miješanjem [1]

U poređenju sa konvencionalnim metodama zavarivanja topljenjem, FSW troši značajno manje energije (ukupno gledano), a ne koriste se dodatni ili zaštitni gasovi te je zbog toga proces prihvatljiv i po okolinu. U većini slučajeva ne uključuje dodatni materijal. Zavareni spojevi napravljeni koristeći FSW imaju u pravilu nizak nivo zaostalih napona, i uglavnom nije potrebna naknadna termička obrada. Za razliku od rotacionog zavarivanja trenjem, FSW se može koristiti za različite tipove zavarenih spojeva (sučeon, preklapni, T spojevi). Visok nivo kvalitete i ponovljivosti zavarenog spoja je osiguran kroz upotrebu isključivo CNC i robotiziranih sistema koji izvedu proces zavarivanja, i vrše automatsku akviziciju osnovnih pokazatelja kvalitete (kao što su temperatura površine ili njen izgled).

2. ŠTA KAŽE NAUKA?

Kada se posmatra efikasnost bilo kog procesa, ona se može predstaviti kao odnos dobijenog i uloženog. Uobičajeno je da se pri razmatranju potrošnje energije pri zavarivanju razmatra stepen termičkog iskorištenja, odnosno broj koji pokazuje koliko je toplote, od ukupno proizvedene, utrošeno na zagrijavanje materijala i njegovo topljenje (odnosno korisno utrošeno). Ovaj stepen je izuzetno bitan jer direktno utiče na pogonsku energiju, a ona opet na metalurške transformacije, što se odražava na kvalitet zavarenog spoja i njegove osobine.

Ukupno iskorištenje obuhvata cijeli proces FSW zavarivanja, i može se izračunati kao:

$$\eta_{total} = \frac{Q}{Q_{total}} \quad (1)$$

Gdje je Q_{total} ukupna energija koja je predana sa mašine u radni komad (pri tome su zanemareni gubici), a Q ukupna toplota utrošena na stvaranje zavarenog spoja. Kako se FSW proces vrši skoro isključivo na CNC mašinama, kontrolni program je u stanju da bilježi obrtni moment kao i stvarni broj obrtaja alata, pa se Q_{total} može izračunati kao:

$$Q_{total} = \int_0^{kraj} M(t)\omega(t)dt \quad (2)$$

Ovdje je $M(t)$ obrtni moment (zabilježen programom), a $\omega(t)$ ugaona brzina. Može se pretpostaviti da je $\omega(t)=\text{const.}$, a mašina podatke bilježi digitalno (podaci se najčešće bilježe frekvencijom 20 Hz, pa je $\Delta t=0,05$ s), onda je:

$$Q_{\text{total}} = \omega \int_0^{\text{kraj}} M(t) dt = \omega \sum_{i=1}^n M_i \Delta t \quad (3)$$

Ovakav pristup u teoriji zvuči veoma jednostavno, ali u praksi se pokazao potpuno neprimjenjivim. Najveća nepoznanica tu je, naravno, količina toplote koja je utrošena na stvaranje zavarenog spoja. Nakon brojnih pokušaja da se ta toplota opiše na odgovarajući način, razvila su se dva glavna načina. Prvi je direktni način, sa eksplicitnim izrazima za količinu stvorene toplote. Drugi je inverzni (poznat i kao inženjerski) način, gdje se mjere temperature tokom procesa zavarivanja, a tada se postavljaju relacije između pojedinih faktora (stvorena toplota, koeficijent trenja, sila, brzina obrtanja i druge) i temperaturâ dostignutih tokom procesa.

Ovdje će u najkraćim crtama biti izložena oba načina, bez opterećivanja teksta nepotrebnim detaljima. Kod *direktnog* načina definisanja stvaranja toplote, postoje dva različita pristupa. Jedan pretpostavlja da je stvaranje toplote zavisno od tangencijale jačine materijala, a drugi od koeficijenta trenja. Ispravno je uzeti u obzir da oboje imaju uticaja na tok materijala oko alata [2]. Materijal se naizmjenično lijepi i klizi oko alata (eng. *stick/slip*), a brzina na kojoj će se ostvariti klizanje zavisi od tangencijalne čvrstoće materijala [3]. Uspostavlja se stanje ravnoteže između sila ostvarenih kroz trenje i naponâ koji se javljaju kao otpor. Toplota stvorena na vrhu alata (najvećim dijelom usljed plastične deformacije) može biti i do 20% ukupno stvorene toplote.

Radi ilustracije složenosti problema izračuna toplote prilikom FSW procesa ovim pristupom, dat je izraz za toplotu nastalu usljed plastične deformacije (4), što je mnogo veći problem za definisati od one nastale trenjem.

$$\dot{Q}_{\text{pin}} = 2\pi r_p h \bar{Y} \frac{V_m}{\sqrt{3}} + \frac{2\mu \bar{Y} \pi r_p h V_{rp}}{\sqrt{3(1+\mu^2)}} + \frac{4F\mu V_m \cos \Theta}{\pi} \quad (4)$$

$$\Theta = 90 - \lambda - \arctan(\mu) \quad (5)$$

$$V_m = \frac{\sin \lambda}{\sin(180 - \Theta - \lambda)} V_p$$

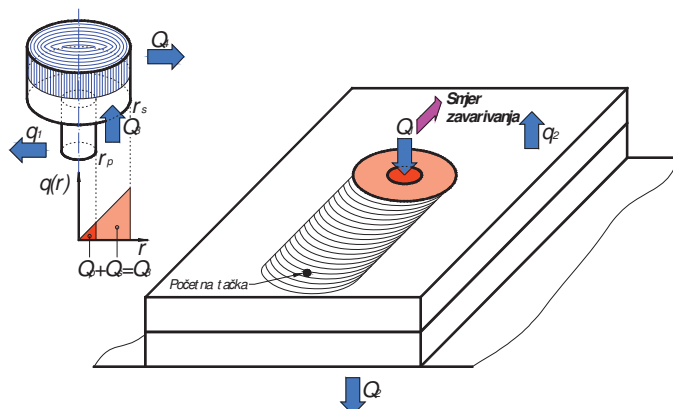
$$V_{rp} = \frac{\sin \Theta}{\sin(180 - \Theta - \lambda)} V_p \quad (6)$$

$$V_p = \omega \cdot r_p$$

Ovdje je r_p radijus vrha alata, h debljina materijala, $\bar{Y}$ srednji tangencijalni napon u materijalu, μ koeficijent trenja, F translaciona sila tokom zavarivanja, a λ ugao zavojnice na vrhu alata.

Kako se vidi, ovo pretpostavlja slučaj najjednostavnije moguće geometrije alata, dakle samo navoj na cilindričnom dijelu. Takva geometrija se relativno rijetko koristi, zbog ograničenja po pitanju debljine materijala koji se sa takvim alatom mogu zavariti.

Nesto jednostavniji je *inverzni* (inženjerski, indirektni) način određivanja količine toplote (slika 2).



Slika 2: Prijenos toplote u alatu i komadu tokom FSW procesa prema inženjerskom pristupu [4]

Prijenos toplote u alatu i mašini uključuje Q_3 , Q_4 i q_1 , gdje je Q_3 toplotni fluks prema alatu (stvoren trenjem između alata i radnog komada), q_1 je toplota odvedena sa alata u okolinu putem konvekcije, a Q_4 je toplota prenesena na mašinu u kojoj se nalazi alat. Za radni komad uključuje Q_1 , Q_2 , q_2 i Q , gdje je Q_1 toplotni fluks koji dolazi od trenja između alata i radnog komada, Q_2 je toplota provedena sa donje površine komada prema oslonj ploči na mašini, q_2 je gubitak toplote sa površine komada prema okolini usljed konvekcije, dok je Q povećanje unutrašnje toplote u radnom komadu.

Uopšte gledano, u tipičnom problemu prijenosa toplote, dovođenje i odvođenje toplote u i iz sistema su često poznati, i tada se mogu izračunati temperaturna polja unutar njega. Ako bismo slijedili istu proceduru pri modeliranju FSW procesa, to bi zahtijevalo konstantan napor da se odrede ulazni i izlazni toplotni protoci, prikazani na slici 2. Toplota Q_3 je, vjerovatno, funkcija dinamičkog koeficijenta trenja, pritiskne sile alata na komad, temperature i triboloških uslova na kontaktnoj površini. Svaki od ovih parametara uzrokuje posebne probleme i nesigurnosti ukoliko im se želi utvrditi stvarna i trenutna vrijednost, jer je, na primjer, veoma teško dobiti dinamički koeficijent trenja kao funkciju brzine i temperature. Međutim, uvodeći određena pojednostavljenja i praveći određene aproksimacije, pristup omogućava da bude samo jedna nepoznata, a to je Q_1 [4]. Ona se nalazi mjerenjem temperatura prilikom zavarivanja, koristeći činjenicu da je toplota kao funkcija radijusa alata definisana kao:

$$q(r) = \frac{3Q_1 r_i}{2\pi r_0^3} \text{ za } 0 \leq r_i \leq r_s \quad (7)$$

Pri ovome, skoro u potpunosti je zanemarena toplota koja nastaje usljed plastične deformacije. Ona se uobičajeno dodaje između 10% i 20% od Q_1 . Za razliku od direktnog načina, ovdje je potrebno odlično poznavanje uslova u kojima se zavarivanje odvija (temperatura i sastav okoline, pa samim time i koeficijenti konvekcije). Tako se zapravo ulazi u područje procjene vrijednosti koeficijenata konvekcije (umjesto definisanja tačnih vrijednosti) koji su suštinski i ključni za ocjenu efikasnosti FSW procesa. Bilo je čak prijedloga da se kao koeficijenti konvekcije jednostavno uzimaju deset puta veće vrijednosti od onih pri mirnom zraku [4]. Ukoliko se radi o izračunu jednog od najvažnijih parametara procesa, takav pristup ne bi trebalo da bude prihvatljiv.

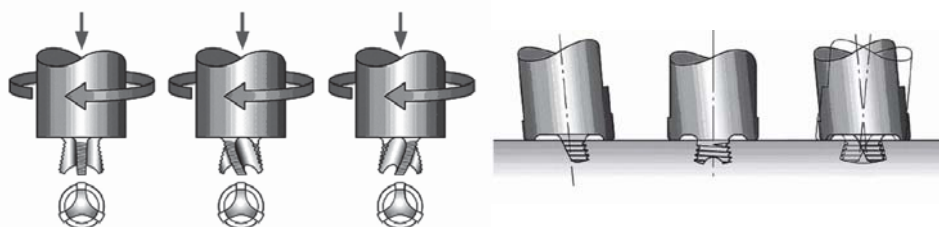
Geometrija alata je ta koja definiše strujanje materijala, što se može smatrati esencijalnim za nastanak spoja [5]. Navedeni načini (direktni i inženjerski) definisanja toplote utrošene na nastanak spoja (Q iz

izraza 1) sa izrazima kakvi su navedeni su podesni u najboljem slučaju za jednostavne geometrije, dok za složenije problem opisa strujanja materijal ostaje.

3. A ŠTA KAŽE INDUSTRIJA?

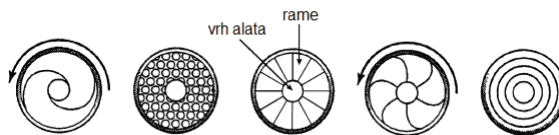
Uopšte gledano, u industriji se efikasnost nekog procesa zavarivanja može posmatrati iz nekoliko različitih uglova. Pri ovome, za razliku od naučnog pristupa koji se, uglavnom, bavi efikasnošću isključivo kao termičkim stepenom iskorištenja, u industriji to može uključivati i druge pokazatelje koji su relevantni za dati konkretan primjer. Primjeri su postojanje potrebe za dodatnom termičkom obradom, količina škarta i složenost i obim kontrole konačnog proizvoda i kvaliteta.

Ono što je jedan od najvećih problema kod naučnog pristupa analizi efikasnosti je alat i način na koji on ostvaruje djelovanje na materijal. Istovremeno, to je kod industrijskog aspekta glavni razlog zašto je FSW proces tako efikasan. Od otkrića procesa pa do danas je razvijen čitav niz različitih modifikacija osnovnog koncepta FSW, a sve sa ciljem da se još više povećaju brzine zavarivanja, smanji utrošak energije i poveća efikasnost (odnosno iskorištenost) uložene energije. Primjera radi, Flared Triflute™ i A-Skew™ alati za FSW (slika 3) dozvoljavaju povećanje brzine zavarivanja za preko 100% uz smanjenje pritisne sile za 20% u odnosu na obični cilindrični alat, samo zahvaljujući uvođenju relativno jednostavnih izmjena geometrije.



Slika 3: Flared Triflute™ (lijevo) i A-Skew™ alat (desno), razvijeni na The Welding Institute [1]

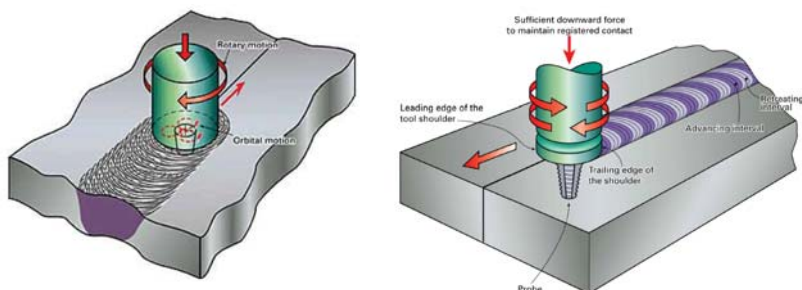
Postoji još čitav niz geometrija alata koje se nalaze u svakodnevnoj upotrebi, uključujući vrh koji je konusni navoj, vrh u obliku kocke, alat sa dva ramena, alat sa vrhom kvadratnog profila i navojem i mnogi drugi. Pored toga, postoji i niz različitih ramena alata (slika 4), sve sa potpuno istim ciljem. Izmjenama geometrije alata postignuta su značajna povećanja efikasnosti, ali i primjena FSW procesa tamo gdje se inače ne bi mogao koristiti, kao na primjer zavarivanje aluminijskih limova debljine i do 50 mm, te zavarivanje profila složenih geometrija (Hitachijev brzi voz Shinkansen, Siemensova lokomotiva ES 64 U).



Slika 4: Različite geometrije ramena alata [1]

Za potrebe industrije su eksperimentalno razvijene i modifikacije samog procesa. Uglavnom se radi o izmjeni načina kretanja alata ili zavarivanju sa više alata. Com-stir™ (slika 5) je varijanta u kojoj alat

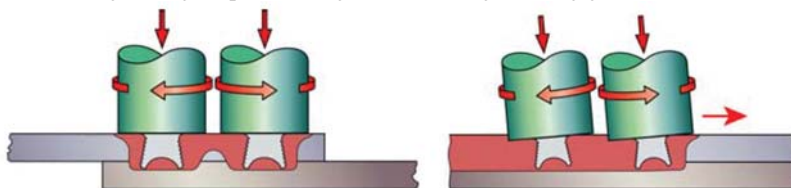
pored obrtanja oko vlastite ose vrši i orbitalno kretanje. Ovo nudi mogućnost efikasnog zavarivanja preklopnih i T spojeva, sa duplo širom zonom zagrijavanja (u poređenju sa običnim FSW).



Slika 5: Com-stirTM [6] i Re-stirTM [7] tehnike FSW procesa

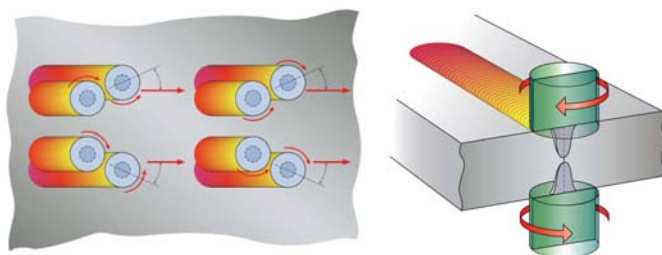
Za potrebe zavarivanja debelih aluminijskih profila je razvijena Re-stirTM varijanta, u kojoj alat vrši naizmjenično kretanje u oba smjera. Tako je na sučeonom spoju aluminijskih limova debljine 10 mm postignuta brzina zavarivanja od 250 mm/min.

Ideja simultanog korištenja dva alata, pri čemu bi jednom uloga bila predgrijavanje, a drugom zavarivanje, je postojala još 1999., ali je tek razvojem mogućnosti CNC kontrole tako složenog kretanja ostvarena u praksi. Postoje različite kombinacije (slike 6 i 7), ali je svima suština ista, a to je povećati produktivnosti i efikasnost korištenje uložene energije. Ovo se ostvaruje kroz čitav niz metalurških prednosti koje se postižu na ovakav način kreiranja spoja. Posebno korisno je to što upotreba dva alata koji rotiraju suprotnim smjerovima značajno smanjuje reaktivni moment.



Slika 6: Twin-stirTM, alati jedan pored drugog (lijevo), jedan iza drugog (desno) [8]

Potrebno je napomenuti da pored navedenih varijacija geometrija alata i njegovih kombinacija, postoji još priličan broj drugih koje su razvijene za specifične namjene (uglavnom avijacija i vojska).



Slika 7: Mogući rasporedi pri Twin-stirTM procesu (lijevo) i dvostrani FSW proces (desno) [8]

Međutim, u svim tim slučajevima se pristupalo razvoju procesa i njegovoj industrijskoj primjeni mnogo prije nego su se razumjele osnovne nastanka zavarenog spoja.

Ilustracije radi, ovdje su dati samo neki primjeri primjene FSW procesa u industriji. Eclipse Aviation je 2002. napravila revoluciju u proizvodnji aviona usvajanjem FSW procesa za spajanje komponenti vanjskih limova i dijelova strukture na modelu Eclipse 500. Boeing je ovom tehnikom proizveo rezervoare za gorivo rakete Delta 2 i dijelove unutrašnje strukture C-17. Lockheed-Martin je također prihvatio FSW proces za proizvodnju trupa aviona, a NASA ga je iskoristila u proizvodnji rezervoara za gorivo za Space Shuttle.

FSW proces je uveden i u proizvodnju oklopa amfibijskog vozila AAHV koji koriste US Marine corps, gdje su uspješno sučeno zavareni limovi debljine 25 mm od legure Al-Ti, i pri tome ostvarene mnogo bolje osobine u odnosu na konvencionalne postupke. Slična je situacija i u Velikoj Britaniji, gdje je već 1994. FSW proces uveden u proizvodnju oklopa vozila.

Uz ranije spomenutu upotrebu u proizvodnji vozova i lokomotiva, koristi se i u automobilskoj industriji. Jedan od prvih modela koji je proizveden koristeći FSW kao postupak spajanja dijelova je Mazda MX-5 Miata (2006., korišten za spajanje rezervoara za gorivo od aluminija na čeličnu karoseriju, i objavljeno da je ušteda u energiji 90% i u cijeni opreme 40%, u poređenju sa konvencionalnim postupcima zavarivanja), a korišten je i za Hondu Accord (2013., spajanje aluminijskih profila karoserije sa nosačima motora, konkretni detalji su još uvijek tajni).

Iako se FSW proces dominantno koristi za spajanje legura aluminija, magnezija i, u zadnje vrijeme, čelika, postoje slučajevi gdje se koristi za polimere i kompozite. Za polimere upotreba ipak i nije tako česta, jer se oni uspješnije zavaruju drugim procesima, ali je za kompozite (posebno one sa aluminijskim matriksom) u upotrebi već desetak godina, uz ograničenje na relativno proste geometrije (uglavnom pravolinijski spoj).

4. POREĐENJE I DISKUSIJA

Procjena efikasnosti nekog procesa zavarivanja u većini slučajeva se svodi na određivanje termičkog stepena iskorištenja. Kod konvencionalnih elektrolučnih postupaka, u ocjenu ukupne efikasnosti ulaze i dodatni parametri, poput stepena iskorištenosti dodatnog materijala, energije koja se troši na pripremu ili dodatnu obradu. Takvi parametri možda nisu od ključnog interesa za naučno objašnjavanje fenomena koji se događaju prilikom zavarivanja, ali zato jesu u industriji. Tada postaju jako bitni, budući da direktno utiču na cijenu i vrijeme proizvodnje.

Sam stepen iskorištenja je relativno lako izračunati (izraz 1), pod uslovom da je poznata vrijednost Q . Međutim, tu upravo i jeste problem, jer je vrijednost Q jako teško odrediti. Ukupno gledajući, najveća prepreka tačnom određivanju stepena termičke iskorištenosti je alat. Njegova geometrija je izuzetno značajna za opisivanje strujanja materijala i toplote dobijene na taj način, kao i određivanje uslova trenja na površini i unutar materijala i toplote dobijene na taj način. Pri ovome, alati koji su našli stvarnu primjenu uglavnom nemaju jednostavnu geometriju, već su prepuni žljebova, nagiba i konusa, sve sa ciljem da se omogući bolje miješanje materijala (jednostavnije spajanje). Analitički izrazi koji opisuju stvaranje toplote čak i sa najjednostavnijim alatom su glomazni (izrazi 4 do 6).

Sa druge strane, nije potpuno poznat ni suštinski mehanizam nastanka spoja. Postoje različite ideje koje su iznesene zadnjih godina, ali još uvijek nisu potvrđene. Jedna od njih smatra da do spoja dolazi međusobnim „zaključavanjem“ pojedinih slojeva materijala nakon miješanja, a druga da usljed unosa mehaničke energije dolazi do povezivanja materijala na atomskom nivou. Ovo u velikoj mjeri onemogućava korištenje numeričkih metoda u analizi FSW procesa, pogotovo ako se radi o postupku spajanja gdje se koristi više alata (slike 6 i 7), i gdje njihov međusobni uticaj nije dovoljno istražen.

Industrija nije pokazala baš veliki interes za objašnjavanje tih fenomena, već se fokusirala na primjenu u proizvodnji. Razvijena je cijela paleta alata za široki spektar primjena, postupak potpuno automatizovan, a kasnije i robotizovan (većinom u proizvodnji automobila). Tako se dogodila

situacija da je već 1994. godine FSW korišten u vojsci, 2002. u avio-industriji i 2006. za proizvodnju automobila. Za sve to vrijeme, čak ni sam proces spajanja nije u potpunosti objašnjen.

Razvijene su različite varijante procesa za primjenu u proizvodnji, koje su omogućavale brojne uštede zahvaljujući metalurškim prednostima FSW procesa nad konvencionalnim. Tako je otkriveno da se FSW može koristiti i za predgrijavanje materijala na licu mjesta, da u najvećem broju slučajeva nema potrebe za naknadnom termičkom obradom, da se kontrola kvalitete može vršiti kontrolom osnovnih parametara, a ako se kontrola kvalitete vrši to se može svesti na vizuelni pregled. Naravno da ovo donosi ogromne uštede i povećava sveukupnu efikasnost.

Zanimljivo je spomenuti da postoje i određene sumnje da je FSW proces tako efikasan [9]. Pokazano je da je pogonska energija potrebna za nastanak zavarenog spoja veća kod njega, nego kod konvencionalnih procesa. Međutim, dok god se ne objasni u potpunosti mehanizam nastanka spoja, jako je teško dati bilo kakvu ocjenu termičkog stepena iskorištenja.

5. ZAKLJUČAK

Biće potrebno uložiti dodatne napore da bi se način FSW spajanja u potpunosti objasnio i matematički opisao. Tek tada će se moći razmatrati šta je to što utiče na termički stepen iskorištenja. Sasvim je sigurno da najveću ulogu tu igraju alat i varijacija procesa, a to su istovremeno i najveći problemi za opisati. Razumijevanje strujanja materijala u omekšanom stanju oko složene geometrije je dovoljno težak problem čak i kada je u pitanju homogen i izotropan materijal (na primjer čist metal). Na osnovu svega, moguće je reći da je FSW proces takav da ili zaista ima visoku efikasnost ili zahtjeva ulaganje manje energije u nastanak spoja.

Ipak, pokazalo se da je industrija veoma zainteresovana za primjenu FSW tamo gdje on nudi prednosti u odnosu na ostale postupke spajanja, uključujući i mehaničke. Tome nije bila prepreka činjenica da proces nije u potpunosti objašnjen, jer se do mnogih sjajnih rezultata došlo zapravo eksperimentalnim putem. Razvoj alata i različitih varijacija procesa se nastavlja i danas, samo što se konkretni podaci još uvijek drže tajnim. Uzevši u obzir druge pogodnosti koje ovaj proces nudi, može se reći da je sa industrijskog aspekta to zaista efikasan proces.

6. LITERATURA

- [1] R. S. Mishra, Z. Y. Ma, 2005, Friction stir welding and processing, *Materials Science and Engineering R*, No. 50, pp: 1-78.
- [2] P. Colegrove, 2000, 3 Dimensional Flow and Thermal Modelling of the Friction Stir Welding process, Proceedings on the 2nd International Symposium on Friction Stir Welding, Gothenburg, Sweden, 27-29 June 2000.
- [3] P. Vilaça, L. Quintino, J. F. dos Santos, 2005, iSTIR – Analytical Thermal model for FSW, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 169, pp: 452-465.
- [4] J. C. Yuh, X. Qi, W. Tang, 2003, Heat Transfer in FSW - Experimental and Numerical Studies, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Vol. 125, pp: 138-145.
- [5] D. Sharma, R. K. Bhushan, 2013, Thermomechanical Modelling of FSW: A Review, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, Vol. 3, Special Issue 2, ISSN 2250-2459, pp: 130-135.
- [6] W. Thomas, 2004, Com-stir™ – Compound motion for friction stir welding and machining, TWI
- [7] W. Thomas, 2003, Reversal Stir Welding – ReStir™, TWI
- [8] W. Thomas, 2005, The simultaneous use of two or more friction stir welding tools; TWI
- [9] T. J. Lienert, W. L. Stellwag, L. R. Lehman jr., 2002, Comparison of Heat Inputs: Friction Stir Welding vs. Arc Welding, AWS Intl., 2002.

ROBOTIKA U GOSPODARENJU/TRETMANU OTPADA

ROBOTICS IN MANAGEMENT/TREATMENT OF WASTE

Tomislav Grizelj¹, Jasmina H. Bajramović²

¹ITG Wärmetechnik, Wien, grizelj@grizelj.com

²GRIZELJ d.o.o. Sarajevo, jasmina@grizelj.com

SAŽETAK:

Tehničko – tehnološka dostignuća i napredak danas u razvijenim pa i srednje razvijenim zemljama ide izuzetnom brzinom. Čovjek razvija različite tehnike i tehnologije koje mu olakšavaju funkcionisanje na različite načine. Svrishodno danas manipulatore i robote pronalazimo u različitim primjenama koji čovjeku pomaže kroz različite vidove.

Kako napredak čovjeka rapidno se odvija nezanemarive su količine otpada koje nastaju svakodnevno. Generirani otpad, mora se i regenerirati, jer jedino tako životni ambijen dobija epitet da zdrav, ugodan i održiv. Radi postizanja upravo različitih epiteta manipulatori i roboti su pronašli svoje mjesto kako bi ubrzali određene procese, osigurali preciznost, zamjenili čovjeka na mjestima gdje je narušen ambijent koji ne pogoduje njegovom zdravstvenom kartonu i sl. U gospodarenju otpadom namjenski manipulatori i roboti danas pronalaze svoje značajne pozicije.

Ključne riječi: otpad, roboti, životni ambijent.

ABSTRACT:

Technical - technological achievements and progress today in developed countries going at an incredible rate. The man developed a variety of techniques and technologies that make functioning easier for him in various ways. Today manipulators and robots are in implementation in a variety of applications that helps people.

As man advances very rapidly and quantity of waste that generated daily are incredible.

Generated waste must be recovered, because that is only way for living ambience to gets title - healthy, enjoyable and sustainable. In order to achieve something like that, manipulators and robots have found place to speed up certain processes, ensure accuracy, healthier for people, etc.

Manipulators and robots in the waste management today are finding their significant positions.

Keywords: waste, robots, living environment.

1. UVOD

Sa sigurnošću danas se može tvrditi da na Planeti ne prođe ni jedna sekunda a da ne nastane neka vrsta otpada, odnosno otpadne materije. Različite aktivnosti doprinose nastanku različitih vrsta otpadne materije, te se klasifikacija pravi na različite načine i potrebe. Svjedoci smo i prevelikog nastanka otpadnog i ambalažnog materijala zbog velikih tržišnih zahtjeva za različitim ambalažama.

Kako je otpad materija koja ima svoju specifičnost neophodno je s istom konkretno postupati, tačnije gospodariti.

Mnogi postupci donose količine nusprodukata ili otpada koji je najčešće toksičan odnosno opasan za okolinu, a samim tim i za ljude i životinje.

Porast populacije kao i novi životni stilovi doveli su do porasta stvaranja otpadnih materija. Ono što je neminovno i neizbježno jeste efektno rješenje za postupanje sa otpadom na način da se okolini ne nanosi šteta i da se čovjek ne "zatrpa" vlastitim otpadom.

Postupajući sa otpadom mora se sačuvati i zaštititi zrak, voda, tlo i hrana.

To je izvodljivo kroz gospodarenje otpadom, a olakšavajuće je uz primjenu manipulatora i robota.

Danas u vremenu različitih tehničko tehnoloških dostignuća otpad pronalazi svoje mjesto u privredi kao resurs, repromaterijal, sirovina, reciklant pa i energent.

Moglo bi se reći da je otpad zaista "ekonomska vrijednost", ali ukoliko se s njim gospodari, odnosno ukoliko se postupa na efektan i efikasan način.

Gospodarenje podrazmijeva humanost, ekološku prihvatljivost, zdravstvenu i veterinarsku podobnost, sanitarno i higijensku ispravnost, energetska efikasnost i ekonomsku profitabilnost.

Hijerarhijsko postupanje sa otpadom obuhvata:

- smanjenje nastanka,
- ponavna upotreba,
- reciklaža,
- energetsko iskorištenje, i
- okolinski prihvatljivo odlaganje nekorisne/neupotrebljive materije.

Prema vrsti otpada, odnosno ovisno o specifičnosti materije planira se i gospodarenje.

Prema mjestu nastanka otpad se može razvrstati na:

- kućni/komunalni,
- komercijalni,
- medicinski,
- životinjski,
- industrijski,
- otpadni mulj.

Ono što je osnovno kod gospodarenja sa svim vrstama otpada jeste sakupljanje, selekcija, obilježavanje, vaganje, siguran transport, sljedivost i maksimalno iskorištenje.

Obzirom na specifičnost materije, pa i rizičnost, manipulatori i roboti svoje mjesto pronalaze u gospodarenju otpada, kao efikasno rješenje.

Stacionaran ili mobilan, višenamjenski, automatiziran manipulatori i roboti postaje izuzetno primjenjivo tehničko – tehnološko rješenje u industriji, pa tako i u gospodarenju otpadom.

2. OSNOVE ROBOTA

Mehatronika i robotika je primijenjena tehnička znanost koja predstavlja spoj strojeva i računarske tehnike. Ona uključuje različite oblasti kao što su projektiranje strojeva, teoriju upravljanja i regulacije, mikroelektroniku, kompjutersko programiranje, umjetnu inteligenciju, ljudski faktor i teoriju proizvodnje.

Drugim riječima, mehatronika i robotika je interdisciplinarna znanost koja pokriva područja mehanike, elektronike, informatike i automatike.

Ona se bavi prvenstveno proučavanjem strojeva koji mogu zamijeniti čovjeka u izvršavanju zadataka, kao što su razni oblici fizičkih aktivnosti i donošenje odluka (odlučivanje). Razvoj robotike je iniciran željom čovjeka da pokuša pronaći zamjenu za sebe koja bi imala mogućnost oponašanja njegovih svojstava u različitim primjenama, uzimajući u obzir i međudjelovanje sa okolinom koja ga okružuje [1].

Zbog uspješnog prepoznavanja, rukovanja, manipulacije, mjerenja i sl. industrijski roboti danas pronalaze svoje mjesto urazličitim industrijskim oblastima, ali i u gospodarenju otpadom.

Robot najčešće je sinonim za industrijskog robota koji se još naziva i robotski manipulator (eng. robotic manipulator) ili robotska ruka (engl. robotic arm).

Industrijski roboti su vrlo često u primjeni jer imaju vrlo zadovoljavajuću fleksibilnost i pokretljivost/okretljivost.

Glavni dijelovi industrijskog robota su [1] :

1. Mehanička struktura ili manipulator koji se sastoji od niza krutih segmenata (eng. links) povezanih pomoću zglobova (eng. joints). Ponašanje manipulatora je određeno rukom (eng. arm) koja osigurava pokretljivost, ručnim zglobovom (eng. wrist) koji daje okretljivost i vrhom manipulatora (eng. End effector) koji izvršava operacije koje se zahtijevaju od robota.
2. Aktuatori (pogoni) postavljaju manipulator u određeno kretanje pomicanjem zglobova. Najčešće se upotrebljavaju električni i hidraulički motori, a ponekad i pneumatski .
3. Senzori detektiraju status manipulatora (proprioceptivni senzori), ako je potrebno, status okoline (heteroceptivni senzori).
4. Sistem upravljanja (računar) omogućuje upravljanje i nadzor kretanja manipulatora.

Roboti koje čine navedeni dijelovi svoju primjenu danas pronalaze u različitim industrijama, te osiguravaju efikasne procese od ulaza sirovine do izlaza finalnog proizvoda.

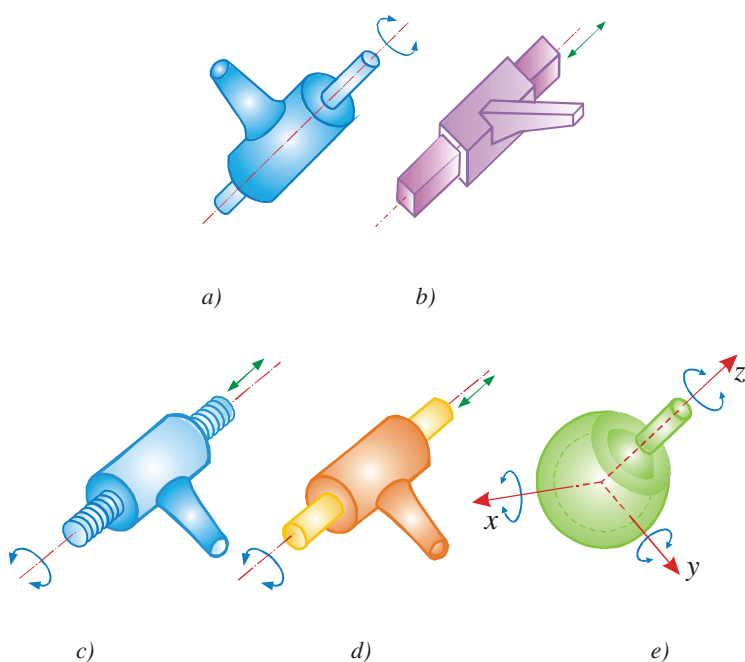
Kompletan proces izdvajanja/razvrstavanja otpada sa trake izvodi se precizno/pouzdana bez tolerancije/greške uz nadzor i mogućnost mjerenja, odnosno dokazivanja izdvojene pojedinačne količine otpada - reciklanta.

Robotski manipulator sastoji se od tijela, ruke i ručnog zgloba. U proizvodnim procesima najčešće se koriste roboti pričvršćeni na podlogu. Na kraju ruke nalazi se ručni zglob sastavljen od mnogo komponenti koje mu omogućuju orijentaciju u različitim položajima. Relativna kretanja među različitim komponentama tijela, ruke i ručnog zgloba ostvaruju se pomoću niza zglobova.

Kod industrijskih robota koriste se dva osnovna tipa zglobova: rotacijski i translacijski, prikazano na slici 1.

Rotacijski zglob vrši rotaciju oko osi, a translacijski (linearni) linijsko kretanje po osi. Dva susjedna zgloba spojena su pomoću krutih segmenata.

Na ručni zglob pričvršćena je šaka koja se u tehničkom žargonu naziva vrh manipulatora, alat i hvataljka. Vrh manipulatora se ne smatra dijelom robota, već služi za obavljanje određenih zadataka koji se traže od robota [1].



Slika 1: Vrste zglobova : a) rotacioni, b) translatorni, c) vijčasti, d) valjkasti, e) kuglasti

Manipulacioni prostor s obzirom na geometriju možemo podijeliti na:

1. pravokutna (eng. Cartesian or rectangular) ili TTT,
2. cilindrična (eng. cylindrical) ili RTT,
3. sferna (eng. spherical) ili RRT,
4. rotacijska (eng. articulated) ili RRR.

Obzirom na specifičnost potrebe za robotima, manipulatorima planiraju se i izrađuju roboti po namjeni, danas najčešće višenamjenski radi ekonomičnosti.

3. ROBOTI U GOSPODARENJU OTPADOM

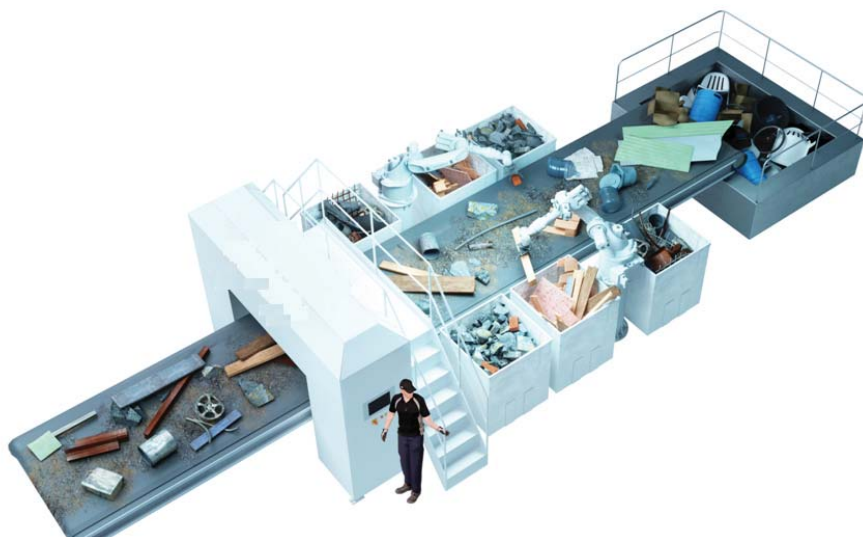
Obzirom na specifičnost manipulatora i robota njihove primjene već duže vrijeme svoje mjesto pronalaze u gospodarenju hazardnim, nuklearnim otpadom.

Međutim tek se razvijaju robotizirana rješenja za tretman/obradu, odnosno rješenja za gospodarenje otpadom.

Kako je otpad specifična materija, i vrlo često neočekivanog sastava kompanije koje proizvode robote i manipulatore zadnjih godina sve više i češće razvijaju rješenja koja služe za gospodarenje otpadom. Roboti koji su već pronašli svoje mjesto u gospodarenju otpadom su za selekciju i reciklažu građevinskog otpada kao što je prikazano na slici 2.



Slika 2: Selekcija građevinskog otpada



Slika 3: Traka za selekciju građevinskog otpada sam robotima i manipulatorima

Industrijski robot koji se pričvršćuju za osovину bilo da je podne ili stropne izvedbe u određenom području imaju mogućnost manipulacije sa sirovinama koje dolaze do manipulacijske ruke preko senzora koji prepoznaje materijal i šalje je na mjesto selekcije. Manipulator izdvaja materiju i sprema je na mjesto namijenjeno za tu vrstu.

Već uspješne selekcije vrše se za izdvajanje inertnih materijala, drveta, metala, betona kao što prikazuje slika 3.

Ono što je novo izazov jeste komunalni/kućni otpad, jer je najčešće to mješavina različitih vrsta i specifičnosti materijala.

Dosadašnja praksa je bila primjena čovjeka za selekciju otpada, odnosno manualna selekcija u sortirnicama.

Čovjek je izdvajao materiju prema specifičnosti s namjenom izdvajanja za reciklažu.

Uslovi u kojima je čovjek vršio selekciju otpadnih materijala, u svrhu izdvajanja ekonomski vrijednih reciklanata, najčešće su nehumanizirani i narušavaju njegovo zdravlje.

Kod čovjeka dišni, slušni i očni sistem izložen je tokom manualne selekcije otpada te je mogućnost za unos različitih mikroba u čovjekov organizam na visokom nivou.

Različite higijensko tehničke opreme otežavaju rad radnika, pa radnici najčešće rade bez higijensko tehničke zaštite, te svjesno i nesvjesno se izlažu opasnosti.

Sortirnica prikazana na slici 4 predstavlja nadzirano i posebno opremljeno mjesto za odvojeno prikupljanje i iskoristivih, kao i problematičnih (opasnih i/ili potencijalno opasnih) otpadnih tvari. Najčešće sortirnica se sastoji od površina za prihvatanje različitih vrsta otpada: papira, kartona, ambalažnog otpada, stakla, PET, PVC, MET, glomaznog otpada i opasnih komponenata komunalnog otpada. Namjena manualne selekcije u sortirnici je da se dobije što je više moguće i kvalitetnije, frakcija prikladnih za reciklažu (npr. različite vrste plastike /PET/ po bojama, PEHD, polipropilen, polistiren i sl., papir, karton, metali /Fe, Al/).

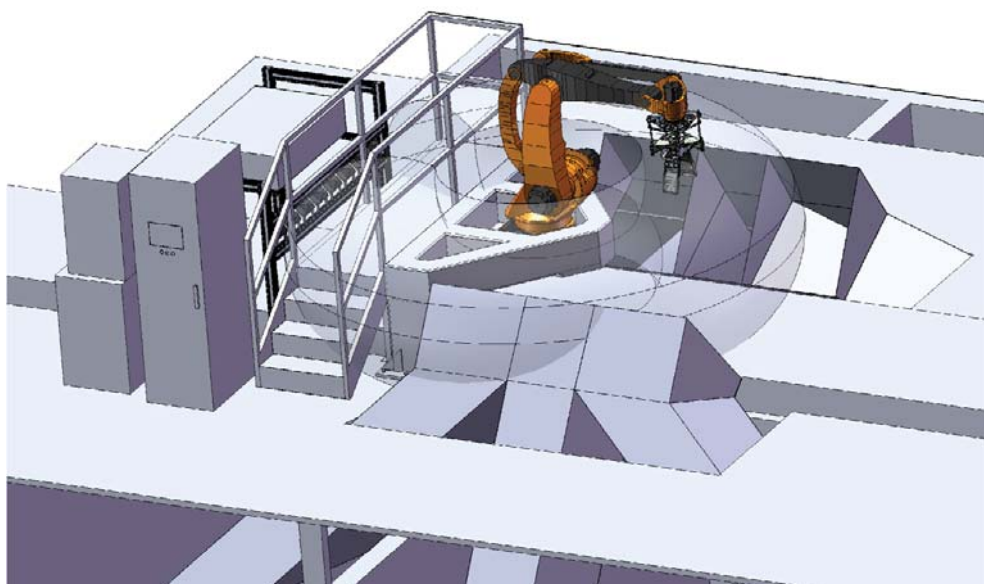


Slika 4: Manualna selekcija komunalnog otpada

Na koji način radi robotizirani sistem pri selektiranju i odvajanju različitih materijala prikazuje slika 5.

Traka na kojoj dolazi otpad spreman za selekciju na samom ulazu ima spektroskopske kamere, 3D kamere, lasere i senzore koji vrše prepoznavanje i detekciju materijala.

Nakon skeniranja, analize i identifikacije robot preuzima materiju te je smješa u mjesto namijenjeno za tu vrstu materije.



Slika 5: Područje djelovanja industrijskog robota pri sortiranju materijala

Selekcija različitih materijala je moguća, međutim neophodan je predtretman, odnosno "rastresanje" materijala, kao i njegovo usitnjavanje.

Obraden materijal koji dolazi na traku za selekciju biva identificiran, i pomoću poslanog signala manipulacijska ruka bira materijal koji odlaže u određene spremnike.

Robotizirani prihvat može biti pneumatski sa vakumom ili sa prihvatnim dvostranim ili trostranim hvataljke ovisno o vrsti i obliku reciklanta.

Zanimljiva je brzina kojom robot može da vrši određene radnje, tako npr. u procesu selekcije, skeniranja, identifikacija uzimanje materijala i odlaganje na predviđeno mjesto traje < 3 sekunde;

5 000 sati/godišnje x 1400 „manipulacija/uzimanja“ po satu

= 7 miliona „manipulacija/uzimanja“ godišnje

7 000 000 „manipulacija/uzimanja“ godišnje x 1,5 kg (po robotu)

= 10 000 tona selektiranog materijala na nivou godine

Ukoliko se napravi ekonomski bilans:

100 \$/t (prosječna prodajna cijena reciklanta) x 10 000 t/a

= 1 000 000 \$/a

Brzina, količine i težine kojima roboti mogu manipulirati predstavljaju fascinantne podatke koje čovjek nije u mogućnosti postići.

Primjena robota u gospodarenju/tretmanu otpada je ideja savremenog doba koja će osigurati čovjeku nove i značajne benefite, kroz automatizovan proces koji će zasigurno ogledat se u tačnosti, preciznosti, sigurnosti, brzini, iskoristivosti i izdržljivosti.

4. ZAKLJUČAK

Rješenja savremenog doba odnosno roboti i manipulatori pronalaze svoje mjesto u različitim namjenama kroz korištenje u različitim industrijskim granama, pa tako u novije doba i u gospodarenju otpadom.

Otpad je specifična materija koja nastaje svakodnevno i mora biti zbrinuta/tretirana na korektan i efektan način kako bi čovjek bio siguran, promatrajući kroz različite aspekte, u svom životnom ambijentu. Aspekti kroz koje se ogleda efikasan i siguran životni ambijent čovjeka, pa i životinja, su ekološki, zdravstveni, veterinarski, sanitarni, energetski i svakako ekonomski.

Korištenje robota i manipulatora u gospodarenju otpadom može doprinjeti zadovoljenju svi aspekata, a da čovjeku ne naruši opstanak i sigurnost.

5. LITERATURA

- [1] V. Doleček, I. Karabegović: Robotika, Tehnički fakultet Bihać, Bihać, 2002.
- [2] I. Karabegović, V. Doleček: Roboti u industriji, Tehnički fakultet Bihać, Bihać, 2008.
- [3] Doc.dr.sc. Jasmin Velagić 2008, *Analiza i kontrola Robot manipulatori* (monografija; na bosanskom), Sveučilište knjiga, Mostar, ISBN: 978-9958-603-26-6.
- [4] V.Doleček, I. Karabegović 2012, *Servisni roboti*, I izdanje, Univerzitetska knjiga, Društvo za robotiku BiH
- [5] *Fotografije* – ZenRobotics Ltd. Vilhonkatu 5A, FI – 00100 Helsinki, Finland, Europ <http://www.zenrobotics.com/product/>
- [6] *Dokumentacija* - ITG Wärmetechnik GmbH Wien, A – 1100, Senefeldergasse 53/13 <http://itgwien.com/indexe.htm>

Indeks autora – Authors Index

B

Boris Crnokić: 123

D

Darko Bajić: 39, 63

Dragi Tiro: 85

E

Edina Karabegović: 51, 93

Ermin Husak: 93

H

Himzo Đukić: 51

I

Isak Karabegović: 17, 27

Ismar Hajro: 135

Ivan Polajner: 39

J

Jasmina Bajramović: 143

M

Majda Čohodar: 113

Mehmed Mahmić: 93

Milenko Obad: 99

Mirna Nožić: 51

N

Nebojša Rašović: 99

P

Petar Tasić: 135

S

Safet Isić: 73, 85

Samir Vojić: 39

Sead Pašić: 73, 85

Snježana Rezić: 123

T

Tomislav Grizelj: 143

V

Vjekoslav Damić: 113

Vlatko Doleček: 17, 27

Z

Zijad Haznadar: 5, 11

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 broj 3

77 000 Bihać

Bosna i Hercegovina

www.robotika.ba

E-mail: robotikabih@yahoo.com

Predsjednik Društva za robotiku

Akademik Vlatko Doleček

Generalni sekretar Društva za robotiku

Prof.dr.sc. Isak Karabegović

