

UNIVERZITET U BEOGRADU

MAŠINSKI FAKULTET

Centar za nove tehnologije Katedre za proizvodno mašinstvo
Laboratorija za kibernetiku i mehatronske sisteme - CMSys Lab
Kraljice Marije 16, 11120 Beograd, SRBIJA

Tehničko rešenje CMSysLab 2013-02

SISTEM ZA ADAPTIVNO UPRAVLJANJE PROCESOM PLAZMA REZANJA

Beograd, januar 2014.

Specifikacija tehničkog rešenja u skladu sa Pravilnikom za vrednovanje rezultata istraživanja Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije:

Vrsta tehničkog rešenja	Laboratorijski prototip (M85)
Autori tehničkog rešenja	Prof. dr Petar B. Petrović, Ivan Danilov, dipl. inž. maš., Nikola Lukić, dipl. inž. maš., Dušan Nikić, dipl. inž. maš. i Vladimir Miković, dipl. inž. maš.
Naziv tehničkog rešenja	Sistem za adaptivno upravljanje procesom plazma rezanja
Za koga je rađeno tehničko rešenje	Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu Tehničko rešenje je razvijeno u okviru projekta TR35007: Inteligentni robotski sistemi za ekstremno diverzifikovanu proizvodnju
Ko koristi tehničko rešenje	Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu
Godina realizacije tehničkog rešenja	2013.
Verifikacija rezultata	Od strane recenzenata: Prof. dr Janko Hodolić, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad Prof. dr Miroslav Pilipović, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu
Ko je prihvatio tehničko rešenje	Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu
Primena rezultata	Laboratorija za Kibernetiku i mehatronske sisteme, Centra za nove tehnologije - CeNT, Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu.

1. OBLAST NA KOJU SE TEHNIČKO REŠENJE ODNOSI

Tehničko rešenje se odnosi na oblast nekonvencionalnih tehnologija obrade lima plazma rezanjem. Rezanje lima plazmom je tehnologija koja ima široku primenu u savremenoj industrijskoj praksi. Ključna tehnološka vrednost ostvaruje se konvergencijom tehnologije plazma rezanja i tehnologije numeričkog upravljanja. CNC sistemi za plazma rezanje su sa aspekta produktivnosti i ekonomičnosti dominantna tehnologija za konturno rezanje čeličnih limova debljine između 5 i 50 mm.

2. TEHNIČKI PROBLEM

Tehnologija plazma rezanja izvedena je iz tehnologije elektrolučnog zavarivanja. Posebnom konstrukcijom gorionika omogućava se prolazak komprimovanog i visokofokusiranog gasa kroz Voltin luk i tako se stvara plazma, pregrejani komprimovani gas koji svojom visokom energijom lokalno sublimiše, sagoreva i topi materijal koji se reže. Za ostvarivanje visoke produktivnosti, kvaliteta rezanja i veka potrošnih komponenti gorionika, ključna je distanca između elektrode i površi lima koji se reže (u daljem tekstu samo distanca). Između ostalog, ovo je jedno od bitnih procesnih svojstava po kojem se proces rezanja plazmom razlikuje od procesa gasnog rezanja. Distanca između vrha elektrode i površi lima koji se reže mora da se precizno održava u odnosu na neku unapred zadatu vrednost. Za većinu komercijalno raspoloživih sistema i većinu materijala koji se režu, ta distanca se kreće u intervalu od 1.5 do 4.5 mm. Tipično, to je 3.2 mm. Distanca je dakle, procesna veličina čija vrednost mora da se održava u intervalu od nekoliko desetih delova milimetra!

Pored održavanja distance u toku procesa rezanja, zahtev za određivanjem i održavanjem distance pojavljuje se i u fazi probijanja. Probijanje je izuzetno delikatna operacija. Mlaz komprimovanog vazduha prevedenog u stanje plazme (tipično oko 6 bara), usmerava se na lim koji se reže. Zbog ogromne koncentracije energije dolazi do simultanog procesa sublimacije i topljenja. Lokalna temperatura naglo raste i prenosi se na mlaznicu gorionika. Paralelno, rastopljeni materijal se rasprskava na sve strane, slično vodenom mlazu koji se usmeri u otvor čaše. Kapljice rastopljenog metala prskaju po mlaznici gorionika, a u izvesnim situacijama uspostavljaju i kratak spoj između mlaznice i lima koji se reže, što ima katastrofične posledice po mlaznicu i gorionik u celni.

Održavanje zadate vrednosti distance u svim fazama procesa rezanja ima izuzetan tehnološki značaj. Suština problema je u tome kako da se na tehnički i ekonomski najefikasniji način realizuje sistem koji će: 1)robusno meriti distancu i 2)održavati distancu u unapred zadatim granicama.

3. STANJE TEHNIKE

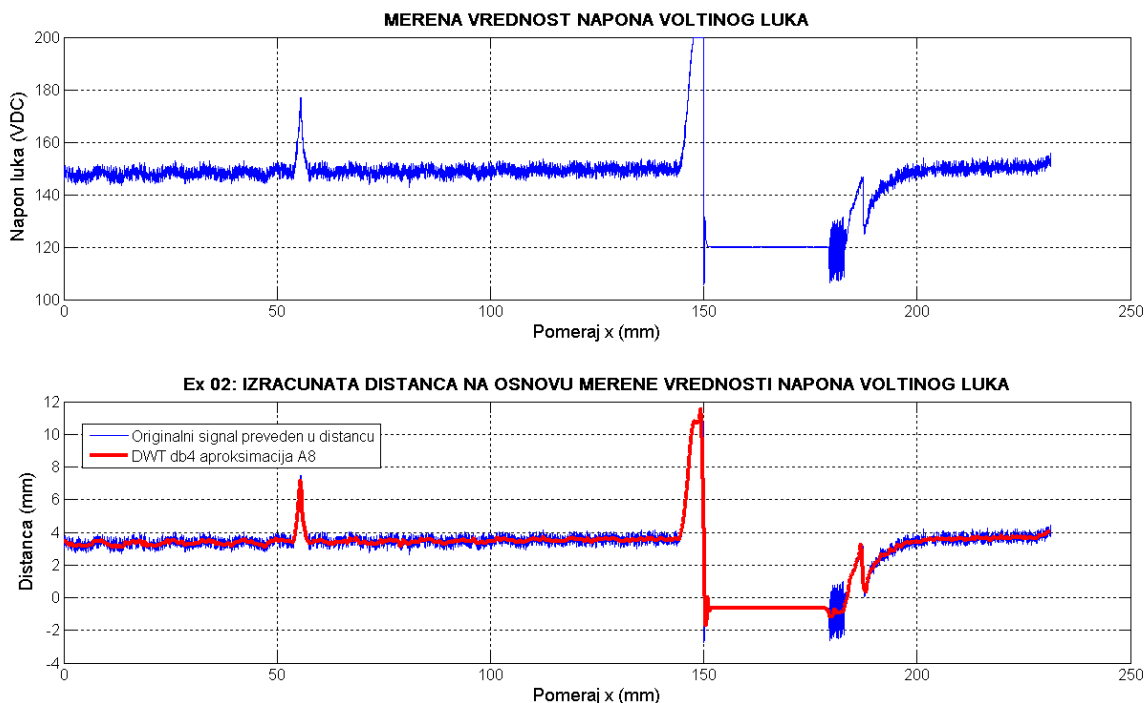
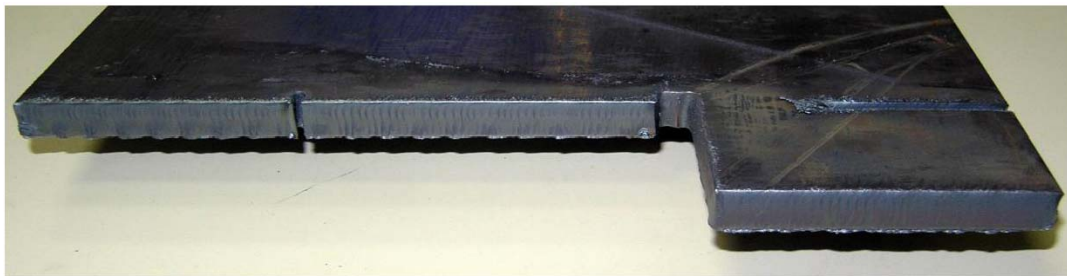
Distanca se može meriti na više načina. U praksi se koriste senzorski sistemi bazirani na pretvaračima optičkog tipa, induktivnog tipa, a vrlo često i pretvarači kapacitativnog tipa. Ipak, najčešće se za merenje distance koristi napon Voltinog luka. Napon Voltinog luka se kreće u intervalu od 100 do 200V i njegova vrednost je jako korelisana sa distancom elektrode gorionika (negativno poliarisana) od pozitivno polarisanog lima koji se reže. Mada je ova korelacija u osnovi linearna, postoji mnogo uticajnih faktora koji ovu zavisnost bitno usložnjavaju, a realizaciju sistema upravljanja distancom tehnički komplikuju. Po pravilu, u ovoj oblasti, proizvođači CNC sistema za plazma rezanje kupuju z-osu sa integrisanom adaptivnom upravljačkom funkcijom od specijalizovanih proizvođača. Na primer, to je nemačka firma IHT, koja je specijalizovana samo za domen merenja i upravljanja distancom i u toj oblasti je vodeći svetski proizvođač.

4. KONCEPT TEHNIČKOG REŠENJA

Ovo tehničko rešenje se odnosi na izgradju laboratorijske instalacije za eksperimentisanje u domenu adaptivnog upravljanja distancom izmedju elektrode plazma gorionika i površi lima koji se reže.

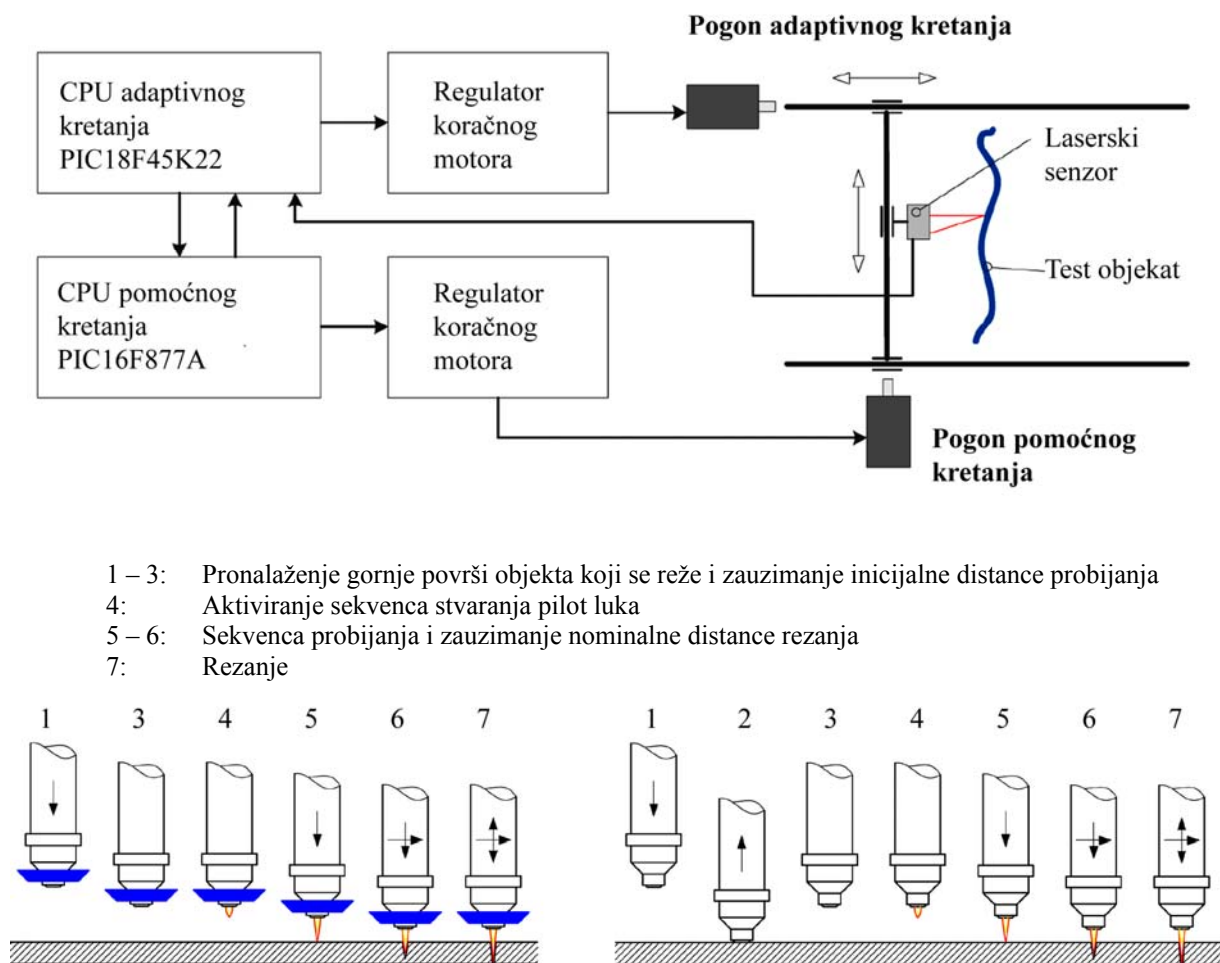
Polazi se od toga da se informacija o distanci generiše primenom specijalizovanog pretvaračkog sistema koji je baziran na naponu Voltinog luka. Napon Voltinog luka je dovoljan nosilac informacija za ovu vrstu primene.

Primer zavisnosti izmedju distance i napona Voltinog luka navodi se na slici 1. Uzorak korišćen u ovom primeru poseduje poprečne kanale različite širine kako bi se u proces plazma rezanja uneo poremećaj i tako na očigledan način prikazala korelacija napona Voltinog luka sa poremećajima ove vrste. U zoni kanala širine 10mm poremećaj je bio takvog intenziteta da je došlo do gubitka Voltinog luka što je ostavilo drastične posledice na generisani senzorski signal. Ova situacija ukazuje na kompleksnost problema ostvarivanja funkcije adaptivnog ponašanja.



Slika 1: *Proces rezanja izveden je na limu od ugljeničnog čelika debljine 10 mm, sa strujom od 100A i nominalnom distancom od 3.2 mm. Uzorak poseduje poprečne kanale različite širine kako bi se u proces plazma rezanja uneo poremećaj i tako na očigledan način prikazala korelacija napona Voltinog luka sa poremećajima ove vrste.*

Ova laboratorijska instalacija je bazirana na otvorenom sistemu upravljanja i senzorskom informacijom o distanci koju **umesto plazma gorionika generiše visokorezolutni triangulacioni senzor u realnom vremenu**. Konkretno, primenjen je triangulacioni senzor OMRON ZX-LD40 sa opsegom merenja 40 ± 10 mm i rezolucijom od 2 μ m. Senzor za navedeni opseg od 20 mm generiše analogni signal u intervalu od 0 do 5V. Arhitektura ovog sistema prikazana je na slici 2. Ovim pristupom je omogućeno olakšano eksperimentisanje u čistim laboratorijskim uslovima, uz očuvanje svih tehničkih atributa procesa plazma rezanja koji su relevantni za tematiku adaptivnog upravljanja distancom, ali bez nepoželjnih sadržaja koje prirodno prate proces plazma rezanja (zračenje, emisija gasovitih produkata i kontaminanata, uključujući i potrošnju materijala koji se reže i potrošnih delova gorionika).



Slika 2: Šematski prikaz eksperimentalne instalacije za emulaciju varijacije distance između elektrode plazma gorionika i površi objekta koji se reže (gore). Varijantne sekvence određivanja i održavanja distance u tipičnoj operaciji plazma rezanja sa probijanjem: slučaj rada sa kapacitivnim senzorom (dole levo) i slučaj rada sa senzorom baziranim na naponu Voltinog luka (dole desno).

5. DETALJAN OPIS TEHNIČKOG REŠENJA

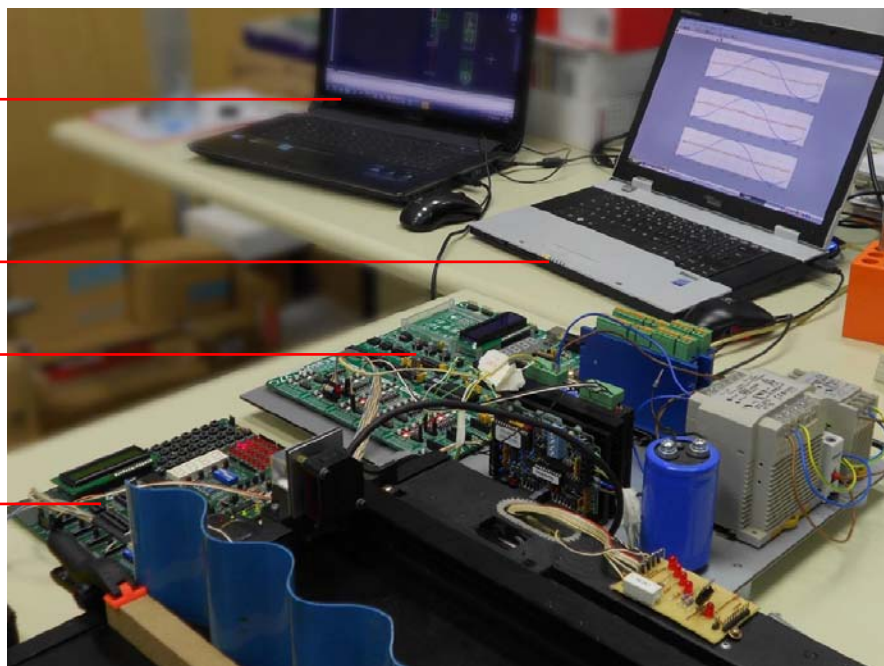
Na slici 3 navedene su fotografije koje prikazuju izgled i strukturu kompletnog tehničkog rešenja, odnosno eksperimentalnog sistema za emulaciju procesa plazma rezanja u obimu relevantnom za sintezu varijantnih upravljačkih zakona adaptivnog upravljanja distancom na bazi napona Voltinog luka i njihovu praktičnu proveru.

Računar sa razvojnim okruženjem za programiranje mikrokontrolera

Računar za akviziciju senzorskih podataka

Mikrokontroler za upravljanje adaptivnim kretanjem PIC18F45K22

Mikrokontroler za upravljanje pomoćnim kretanjem PIC16F877A

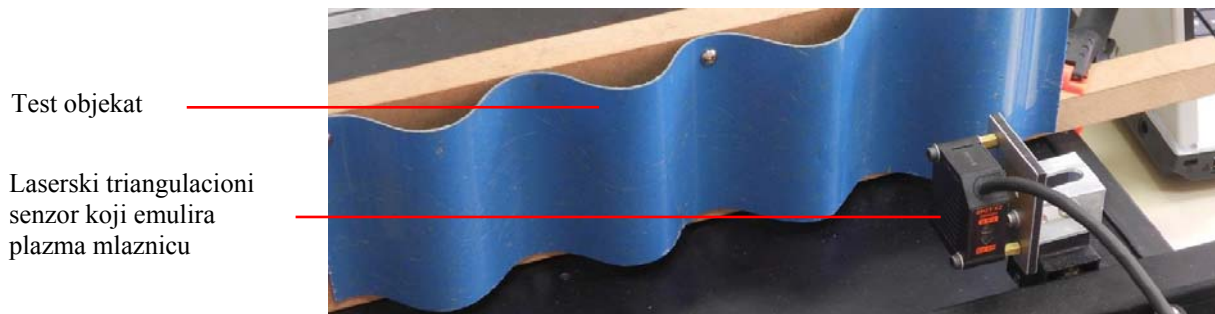


Slika 3: *Eksperimentalna instalacija za emulaciju procesa plazma rezanja u kontekstu razvoja adaptivnog algoritma za upravljanje distancom između elektrode gorionika i površine objekta koji se reže.*

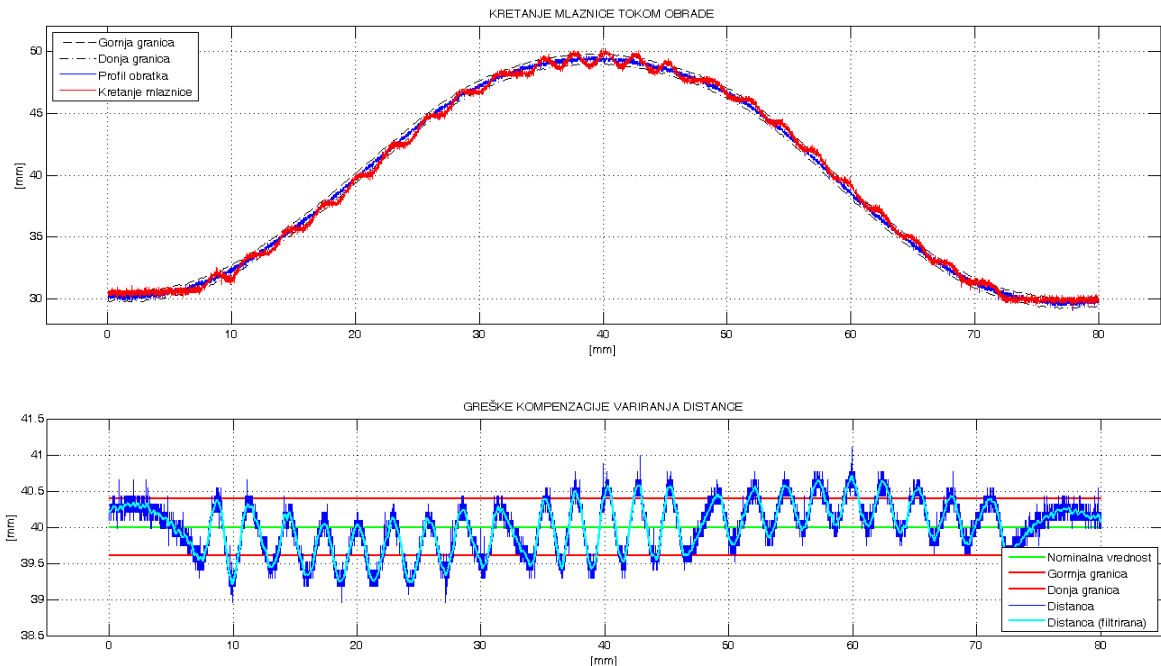
Za fizičku realizaciju ovog tehničkog rešenja u laboratorijskim uslovima korišćeni su integrisani mikroračunarski sistemi 8-bitne arhitekture. Cilj je bio da se na minimalnoj hardverskoj platformi realizuje kompletan zadatak adaptivnog upravljanja distancom. Koračni motor pomoćnog bočnog kretanja kojim je emulirano kretanje plazma gorionika na CNC stolu, ostvareno je pomoću mikrokontrolera PIC16F877A u okruženju EasyPIC v2 koji kao razvojni sistem proizvodi kompanija Mikroelektronika. Za ostvarivanje funkcije adaptivnog upravljanja distancom, korišćen je mikrokontroler PIC18F45K22, smešten u razvojni sistem EasyPIC v7, koji takodje proizvodi kompanija Mikroelektronika. Mada u računskom smislu moćnija od PIC16F familije, PIC18F familija je takodje bazirana na 8-bitnom. Sa aspekta ostvarivanja konkretnog zadatka, bitno je to da PIC18F CPU poseduje hardverski množač i integrisani A/D konvertor sa 10 bita rezolucije i brzinom uzorkovanja od maksimalno 20ksp/s. Ovako koncipirana procesorska platforma je potpuno otvorena i dovoljna za ekstenzivno eksperimentisanje na bazi emulacije plazma rezanja, a uz manju dogradnju i za eksperimentisanje sa neposrednim procesom plazma rezanja. Pored CPU modula, elektronski hardver ovog eksperimentalnog sistema sadrži i odgovarajuće interfejs module i regulatore za pokretanje koračnih motora. Pored navedenog, računarski hardver sadrži i dva PC računara od kojih je jedan opremljen razvojnim sistemom za programiranje mikrokontrolera, a drugi za akviziciju senzorskih signala, vizuelizaciju i njihovu analizu (slika 3).

Eksperimentalne probe su vršene za različite zakone adaptivnog upravljanja i za različite oblike profila test objekata. Kvalitet upravljanja distancom postignut test objektom prikazanim na slici 4-1, naveden je na slici 4.2. Svaka eksperimentalna proba sadrži dve sekvence: 1) skeniranje profila test objekta i 2) sprovođenje algoritma održavanja distance u realnom vremenu. Bitno je da se naglasi da je funkcija skeniranja profila radjena samo zbog kasnije analize a ne i zbog potreba implementacije konkretnog zakona adaptivnog upravljanja. Na slici 4-2 prikazana je identifikovana geometrija profila i trajektorija kretanja adaptivne ose kojom se održava zadata distanca u zadatim tolerancijama, generisana jednim od varijantnih

oblika zakona adaptivnog upravljanja. Na slici 4-2 dole, prikazan je grafik greške, odnosno odstupanje ostvarene od nominalne distance, za zadatu širinu tolerancijskog polja od ± 0.5 mm.

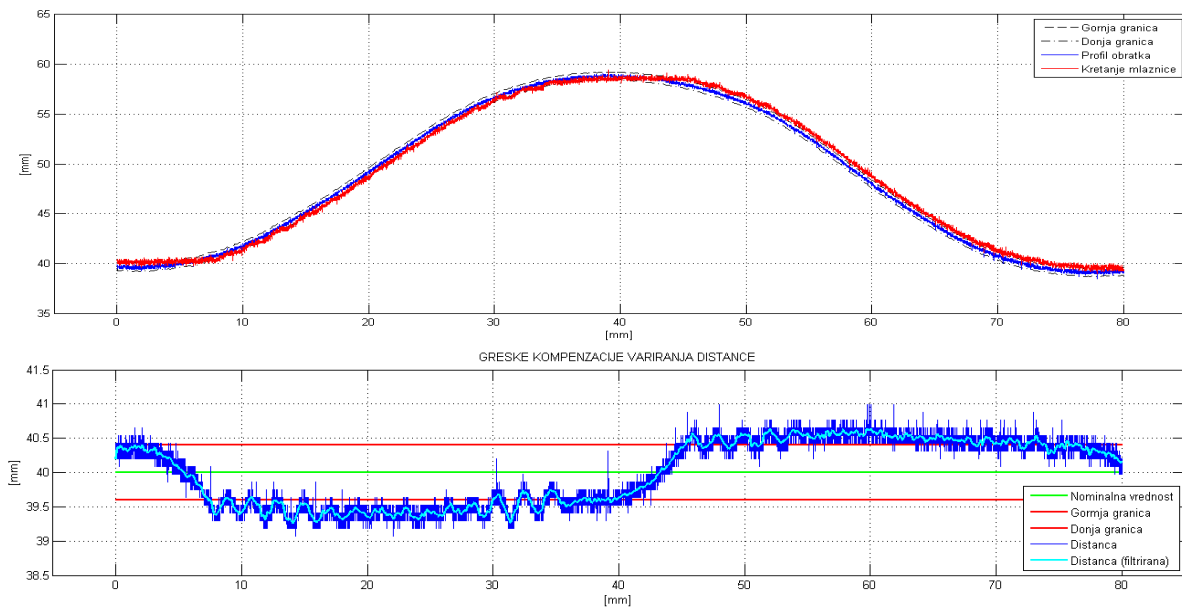


Slika 4-1: *Detalj jednog od korišćenih test objekata i laserski triangulacioni senzor koji u realnom vremenu generiše analogni signal proporcionalan varijaciji distance objekta od nominalne distance koja u ovom slučaju iznosi 40mm.*



Slika 4-2: *Kvantifikacija ostvarenih performansi adaptivnog sistema za održavanje zadate distance na sistemu kojim se emulira (imitira) proces plazma rezanja: a) Prikaz profila skeniranog objekta (linija plave boje, odgovara test objektu prikazanom na slici 4), granične linije tolerancijskog polja $+0.5 / -0.5$ mm i stvarno kretanje 'vrha mlaznice' (linija crvene boje); b) Grafik koji prikazuje varijaciju distance vrha mlaznice od referentne površine.*

Optimizovanim algoritmom upravljanja, postignute su značajno bolje karakteristike. Grafički prikaz ostvarene greške praćenja zadate distance sa optimizovanim algoritmima naveden je na slici 4-3. U skladu sa prethodno navedenim, ključni zahtev za optimizaciju algoritma adaptivnog upravljanja distancom odnosio se na računsku jednostavnost, jer je kao jedan od ciljeva razvoja ovog tehničkog rešenja postavljen zahtev praktične primene adaptivnog upravljanja na 8-bitnim CPU jedinicama, odnosno ekstremna jednostavnost.

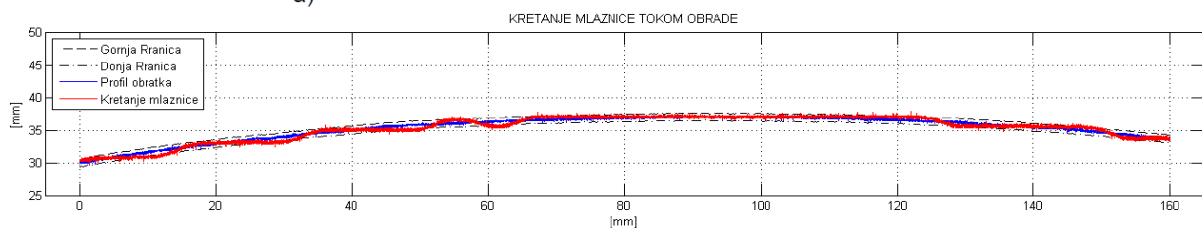


Slika 4-3: *Kvalitet adaptivnog održavanja zadate distance ostvarene unapredjenim algoritmom. Izborom užeg tolerancijskog polja ostvaruje se manje odstupanje od nominala. Ovaj algoritam pokazuje tendenciju konvergencije ka graničnim vrednostima tol. polja.*

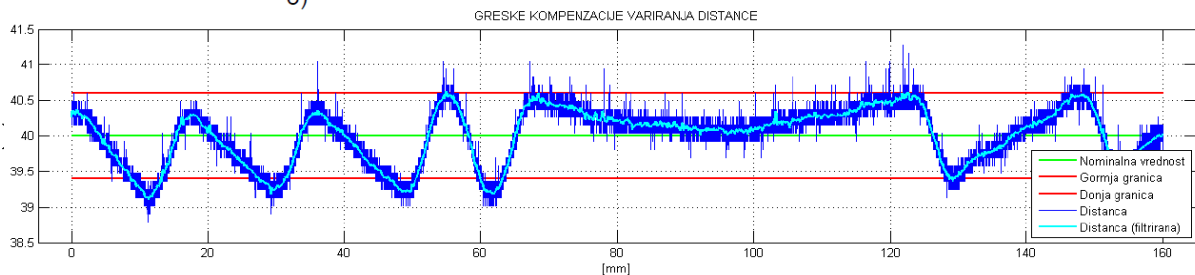
Na slici 5 prikazan je rezultat praćenja profila koji odgovara tipičnoj situaciji koja se sreće u praksi, a to je zakrivljeni lim. Algoritam upravljanja distancom je identičan onom koji je korišćen za primer naveden na slici 4-1.



a)

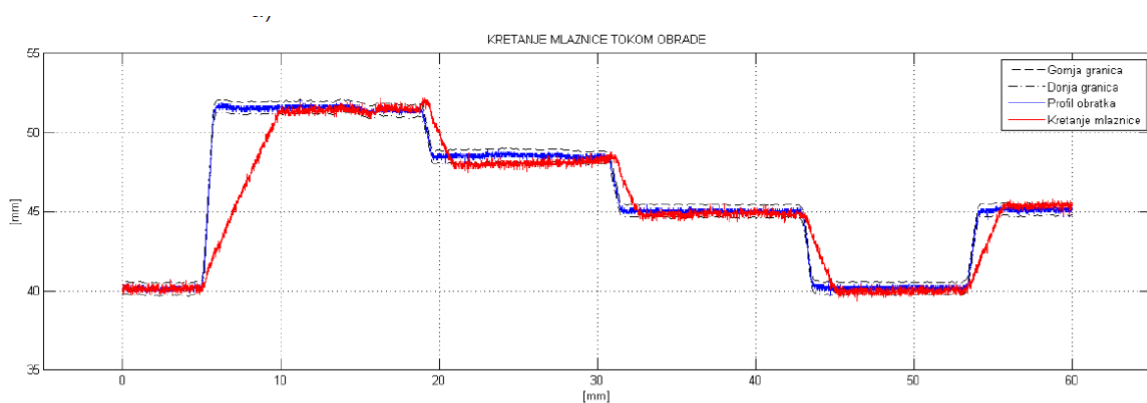
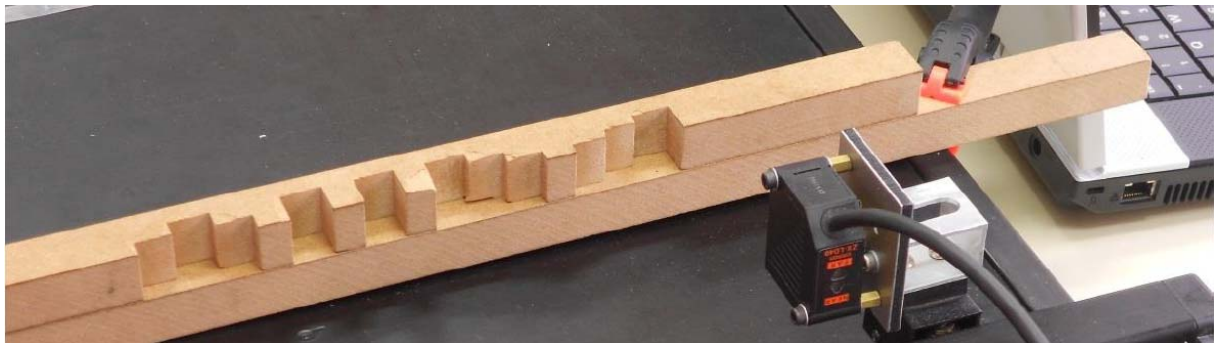


b)

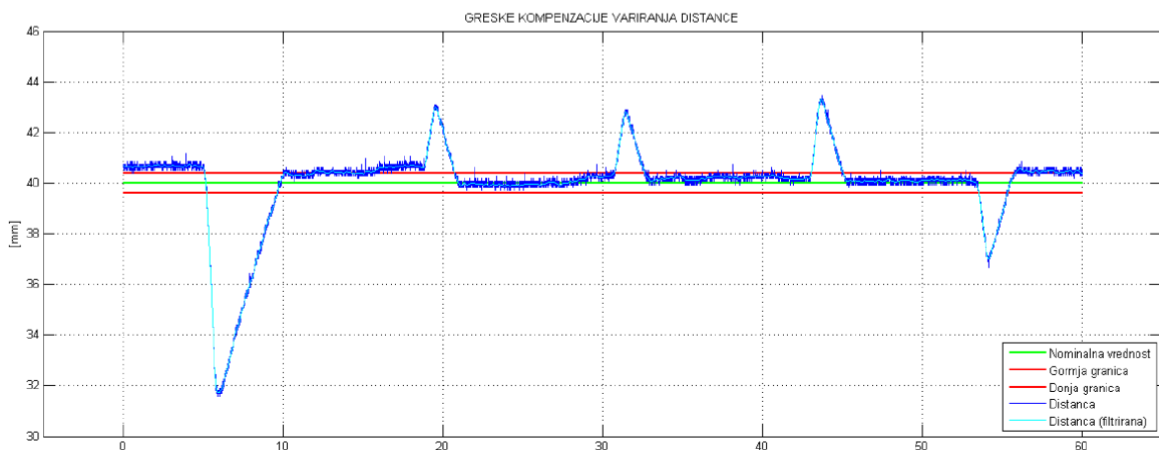


Slika 5: *Ostvarene performanse sa test objektom koji ima profil vrlo sličan realnom stanju geometrije lima.*

Testiranja su uz prethodno navedene primere sprovedjena i sa primerima koji su posedovali značajno dinamičnija svojstva, odnosno varijacije geometrije tipa pravougaonog ili trougaonog profila (slika 6).



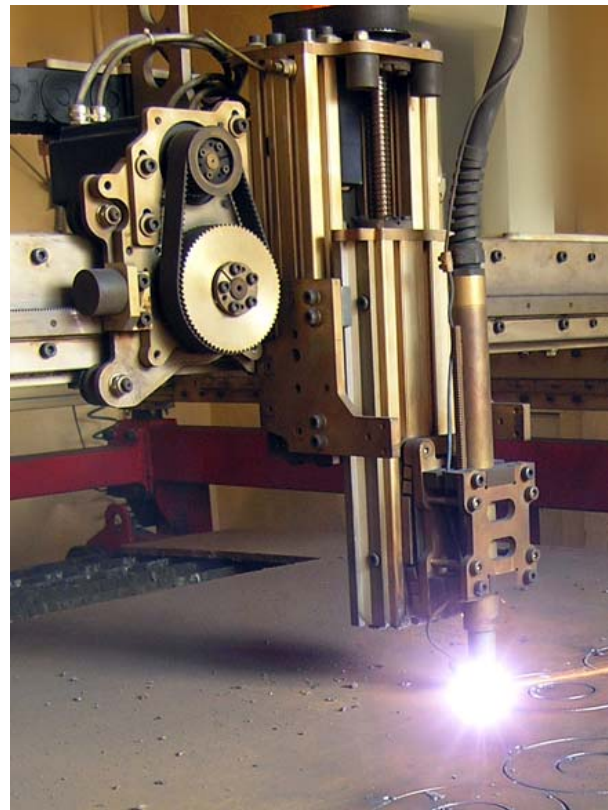
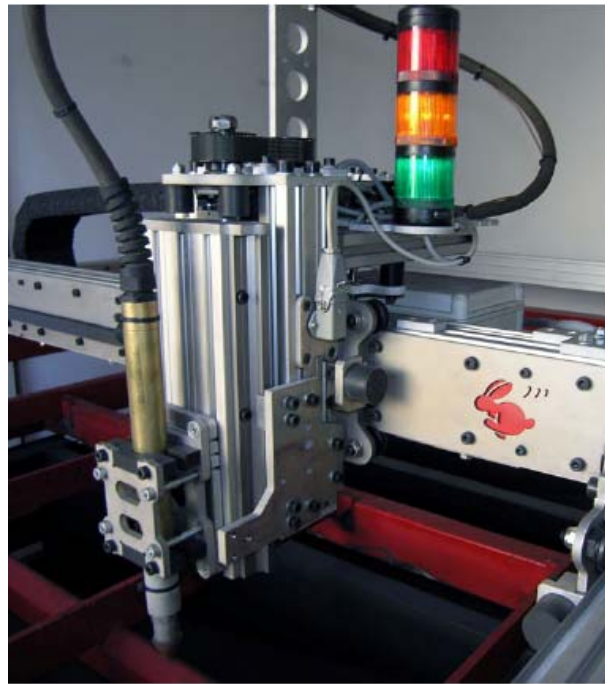
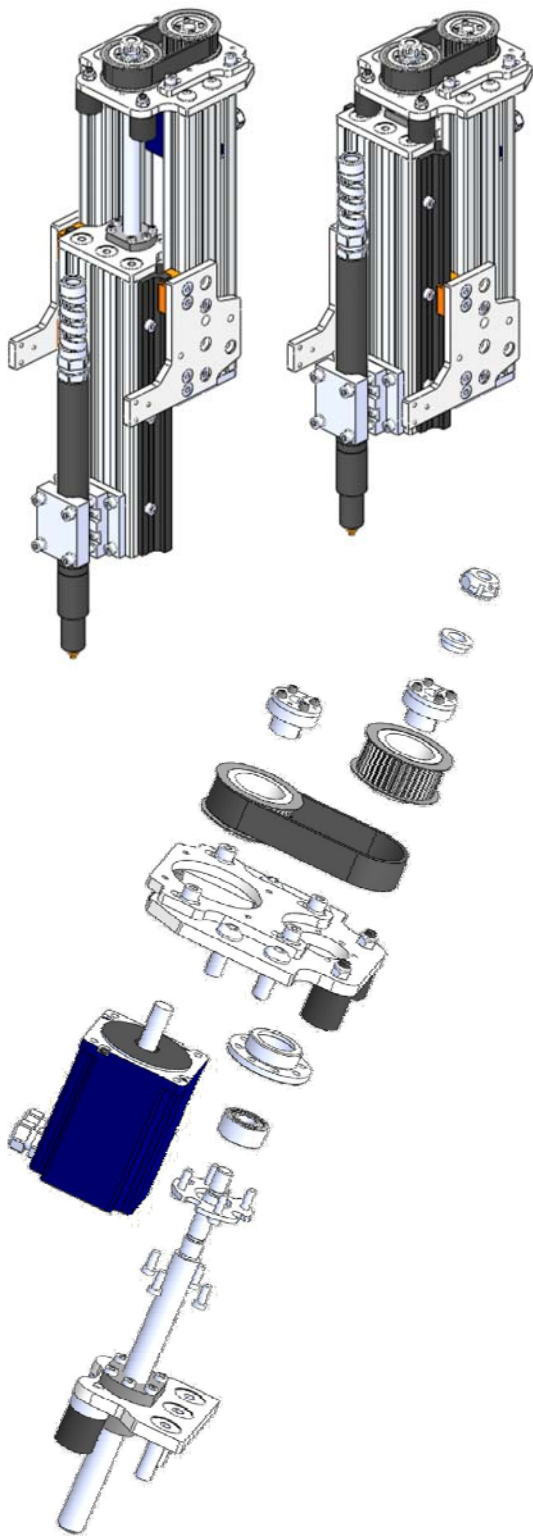
6)



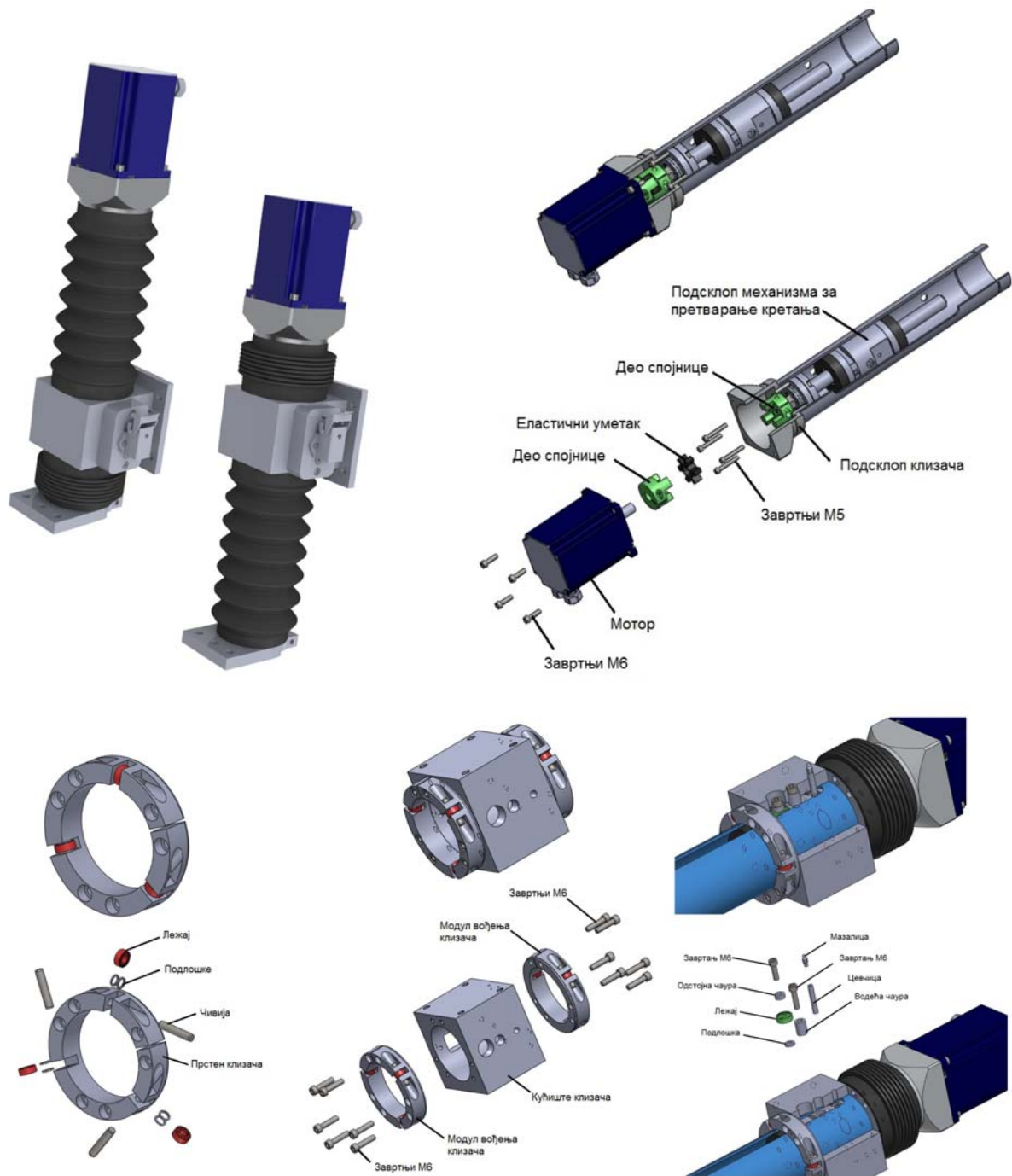
Slika 6: *Ostvarene performanse sa test objektom izuzetno dinamičnog profila – diskontinuitet tipa odskočne funkcije. Ovaj test jasnopokazuje potrebu za izgradnjom z-ose sa dobrom dinamikom!*

Ipak, distanca izvedena iz napona Voltinog luka je, mada dominantan, samo jedan od parametara koji su relevantni za adaptivno upravljanje procesom plazma rezanja. Širi kontekst uključuje: struju Voltinog luka, napon Voltinog luka, pritisak i protok plazma i zaštitnog gasa. Između ovih fizičkih veličina postoji složena fizička zavisnost koja se u potpunosti može identifikovati samo ekstenzivnim eksperimentisanjem nad realnim procesom plazma rezanja. U tom smislu, u narednoj godini istraživačke aktivnosti biće prenete sa eksperimentalne instalacije za emulaciju na realan sistem za plazma rezanje.

Paralelno sa razvojem sistema adaptivnog upravljanja, izvršen je i razvoj kompletnog modula z-ose. Na slikama 7 i 8 prikazana su dva varijantna rešenja.



Slika 7: Prototip #1 – Primenjen praktično u kompaniji Velpan iz Kikinde, gde se nalazi 4 godine u dvosmenskom režimu rada. Osnovni nedostatak ovog rešenja je relativno mala zaštićenost od gasovitih i čvrstih produkata plazma rezanja. Posle 3 godine rada došlo je do trajnog oštećenja navrtke kugličnog vretena i do oštećenja vodjica.



Slika 8: *Protoip #2 – Nova generacija modula z-ose ekstremno robusne mehaničke konstrukcije i bitno unapredjenih dinamičkih svojstava (neophodno za sledjenje dinamičkih profila). Svi vitalni elementi akcionog sistema i sistema vođenja su u potpunosti zaštićeni. Mehanička konstrukcija je optimizirana i ne zahteva održavanje. Takođe, masa je radikalno smanjena u odnosu na Prototip #1. Gabaritne mere takođe, što omogućava vrlo kompaktna rešenja klizača y-ose i / ili rad sa većim brojem modula z-ose (paralelizovani), što može da bude korisno kada je u pitanju gasno rezanje. Pogon se ostvaruje prijemnom koračnog motora sa integrisanim regulatorom i enkoderom u povratnoj sprezi. Konverzija obrtnog u linijsko kretanje ostvaruje se kugličnim vretenom velikog koraka, čime se omogućava postizanje vrlo velikih linijskih brzina i time dinamičnost z-ose u celini.*

6. ZAKLJUČAK

Tehničko rešenje: **Sistem za adaptivno upravljanje procesom plazma rezanja**, izvedeno je u obliku laboratorijskog prototipa, koji je kao univerzalna eksperimentalna platforma za ekstenzivna istraživanja u domenu adaptivnog upravljanja distancom u okviru procesa rezanja. U cilju stvaranja uslova za rad u čistoj sredini, izvršena je emulacija realnog procesa plazma rezanja primenom laserskog tirangulacionog senzora sa analognim izlazom u intervalu 0 do 5V.

Sistem adaptivnog upravljanja razvijen je na bazi integrisanih mikroprocesora osmootbitne arhitekture tipa MicroChip PIC18F45K22. Ekstenzivne eksperimentalne probe pokazale su da je ova mikroprocesorska platforma dovoljna za uspešnu realizaciju adaptivnog upravljanja, koje obezbeđuje potrebni kvalitet održavanja zadate vrednosti distance i ostavlja prostor za ugradnju dodatnih algoritama koji će uzeti u obzir druge specifičnosti procesa plazma rezanja, uključujući i aspekt robusnosti na poremećaje koji se tipično sreću u praksi.

Razvijeno tehničko rešenje ostvareno je samogradnjom (mehanika i odgovarajuća elektronika), u Laboratoriji za Kibernetiku i mehatronske sisteme, Centra za nove tehnologije, Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu.

7. LITERATURA

- [1] Nemchinsky V.A., Severance W.S., (2006), *What we know and what we do not know about plasma arc cutting*, Journal of Phys D: Appl Phys 39:R423.
- [2] ZHOU, Q., LI, H., LIU, F., GUO, S., GUO, F., and PING, X., (2008), *Effects of Nozzle Length and Process Parameters on Highly Constricted Oxygen Plasma Cutting Arc*, Jurnal of Plasma Chem Plasma Process (2008) 28:pp 729–747 DOI 10.1007/s11090-008-9154-y.
- [3] Freton P, Gonzalez JJ, Peyret FC, Glezes A (2003) Complementary experimental and theoretical approaches to the determination of the plasma characteristics in a cutting plasma torch. J Phys D: Appl Phys 36:1269
- [4] Ramakrishnan S, Rogozinski MW (1997) Properties of electric arc for metal cutting. J Phys D: Appl Phys 30:636
- [5] Pardo C, Gonzalez-Aguilar J, Rodriguez-Yunta A, Calderon MAG (1999) Spectroscopic analysis of an air plasma cutting torch. J Phys D: Appl Phys 32:2181
- [6] Freton P, Gonzalez JJ, Gleizes A, Peyret FC, Caillibotte G, Delzenne M (2002), Numerical and experimental study of a plasma cutting torch. J Phys D: Appl Phys 35:115.
- [7] Girard L, Teulet Ph, Razafinimanana M, Gleizes A, Camy-Peyret F, Ballot E, Richard F (2006), Experimental study of an oxygen plasma cutting torch. I. Spectroscopic analysis of the plasma jet. J Phys D: Appl Phys 39:1543
- [8] Peters J, Heberlein J, Lindsay J (2007) Spectroscopic diagnostics in a highly constricted oxygen arc. J Phys D: Appl Phys 40:3960
- [9] Hackett, C.M. and Garg, S., (2010), *Visualization of thermal cutting fluid flow*, Eur. Phys. J. Special Topics 182, 145–159, DOI: 10.1140/epjst/e2010-01230-3.
- [10] Microchip, PIC16F877A CMOS FLASH-based 8-bit microcontroller, PIC16F87XA Datasheet, DS39582C, 2013.
- [11] Microchip, PIC18F45K22 High Performance 8-bit RISC CPU, PIC18(L)F2X/4XK22 Datasheet, DS41412F, 2012.
- [12] Omron, ZX-LD40, ZX Series (ZX-L-N), Smart Sensors (Laser Type), Datasheet, 2012.

Odlukom Naučno-nastavnog veća Mašinskog fakulteta u Beogradu br. 2682/2 od 26.12.2013. godine imenovani smo za recenzente tehničkog rešenja **Sistem za adaptivno upravljanje procesom plazma rezanja**, autora: prof. dr Petar B. Petrović, Ivan Danilov, dipl. inž. maš., Nikola Lukić, dipl. inž. maš., Dušan Nikić, dipl. inž. maš. i Vladimir Miković, dipl. inž. maš. Na osnovu predloga ovog tehničkog rešenja podnosimo sledeći:

IZVEŠTAJ

Tehničko rešenje: **Sistem za adaptivno upravljanje procesom plazma rezanja**, koje su realizovali autori: prof. dr Petar B. Petrović, Ivan Danilov, dipl. inž. maš., Nikola Lukić, dipl. inž. maš., Dušan Nikić, dipl. inž. maš. i Vladimir Miković, dipl. inž. maš, opisano je na 12 stranica A4 formata pisanih sa 12pt singl proreda, sadrži 8 slika. Sastavljeno je od šest poglavlja i spiska korišćene literature. Naslovi poglavlja su:

1. Oblast na koju se tehničko rešenje odnosi
2. Tehnički problem
3. Stanje tehnike
4. Koncept tehničkog rešenja
5. Detaljan opis tehničkog rešenja
6. Zaključak

Sistem za adaptivno upravljanje procesom plazma rezanja, koji su realizovali autori: prof. dr Petar B. Petrović, Ivan Danilov, dipl. inž. maš., Nikola Lukić, dipl. inž. maš., Dušan Nikić, dipl. inž. maš. i Vladimir Miković, dipl. inž. maš., rezultat je višegodišnjih razvojnih iskustava u oblasti mehatronskih sistema, mikroprocesorskih sistema upravljanja i tehnologije plazma rezanja. Ovaj sistem je realizovan u okviru istraživačko-razvojnih aktivnosti na projektu TR 35007 sa ciljem zadovoljavanja potreba participanta na ovom projektu, kompanija Ikarbus a.d. iz Beograda i ponude drugim zainteresovanim kompanijama iz oblasti industrije prerade metala.

U prvom poglavlju se navode osnovne informacije o procesu plazma rezanja i sa tim u vezi potrebama za adaptivnim upravljanjem osnovnih fizičkih veličina kako bi se ostvario zahtevani kvalitet i produktivnost. Takodje, naveden je pregled stanja u oblasti rezanja čeličnih limova primenom termičkih postupaka i numerički upravljanog kretanja mlaznice. Identifikovane su potrebe za ovom tehnologijom u okvirima industrije Srbije i potencijal za proizvodnju ovakvih sistema u Srbiji sa ciljem supstitucije uvoza i eventualno plasiranje u izvoz.

U drugom poglavlju definiše se suština problema. Prvo se opisuje koncept plazma rezanja, zatim konstruktivno rešenje sklopa mlaznice i značaj održavanja zadate distance između elektrode i površi objekta koji se reže.

U trećem poglavlju se daje kratak opis stanja tehnike, gde se navodi pregled komercijalnih sistema za adaptivno upravljanje procesom plazma rezanja koje nude vodeći svetski proizvođači.

U četvrtom poglavlju se detaljno navodi koncept tehničkog rešenja, odnosno eksperimentalne platforme na kojoj su sprovedene aktivnosti eksperimentalne verifikacije, varijantni algoritmi za adaptivno upravljanje, hardverska platforma bazirana na integrisanim mikroprocesorskim sistemima i konstruktivno rešenje kompletnog modula z-ose.

U okviru petog poglavlja navodi se detaljan opis hardvera i softvera razvijenog rešenja, koje u delu hardvera obuhvata: 1)mehanički test sto sa dve servo-upravljanje ose, 2)laserski triangulacioni senzor za emulaciju procesa plazma rezanja i 3)upravljački hardver koji se sastoji iz dva mikroprocesorska sklopa. U delu upravljačkog softvera kojim se ostvaruje adaptivno ponašanje, opisani su varijantni algoritmi i dat prikaz osnovnih upravljačkih rutina. Dalje je naveden pregled sprovedenih eksperimentalnih radnji sa ciljem da se praktično verifikuje funkcionalnost i performanse razvijenih algoritama. Na kraju, navedena su dva varijantna rešenja mehaničkog

modula z-ose sa adaptivnim upravljanjem distance vrha mlaznice od površi objekta koji se reže plazma postupkom koji su razvijeni u okviru projekta TR35007.

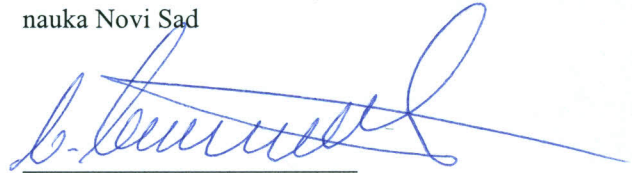
U zaključku se navodi da je razvijeni sistem za plazma rezanje fizički realizovan, testiran i uveden u laboratorijsku primenu u okviru Laboratorije za kibernetiku i mehatronske sisteme, Centra za nove tehnologije - CeNT, Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Razvijena eksperimentalna instalacija, nastala kao rezultat samogradnje uz vrlo mali obim investicija, predstavlja potentnu platformu za razvoj i dalja istraživanja u oblasti adaptivnog upravljanja procesom plazma rezanja.

MIŠLJENJE

Autori tehničkog rešenja **Sistem za adaptivno upravljanje procesom plazma rezanja**, koji je razvijen (koncipiran, projektovan i proizveden samogradnjom) na projektu TR 35007, su jasno prikazali kompletnu strukturu, sadržaj i upotrebnu vrednost tehničkog rešenja. Prikazane mogućnosti razvijenog sistema, čije su funkcionalne performanse uporedive sa sličnim sistemima vodećih svetskih proizvođača, predstavljaju nov doprinos naučnim i inženjerskim znanjima i potencijal za praktičnu valorizaciju kroz industrijsku proizvodnju za primenu u domaćoj industriji (supstitucija uvoza) i eventualne izvozne aktivnosti. Sa zadovoljstvom predlažemo Naučno-nastavnom veću Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu da novorazvijeni eksperimentalni sistem: **Sistem za adaptivno upravljanje procesom plazma rezanja**, koje su realizovali autori: prof. dr Petar B. Petrović, Ivan Danilov, dipl. inž. maš., Nikola Lukić, dipl. inž. maš., Dušan Nikić, dipl. inž. maš. i Vladimir Miković, dipl. inž. maš., prihvati kao novo tehničko rešenje, relevantno za korpus tehnoloških znanja Srbije u oblasti industrijskih tehnologija.



Prof. dr Janko Hodolić, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad



Prof. dr Miroslav Pilipović, Mašinski fakultet Univerziteta u Beograd

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
БРОЈ: 2682/2
ДАТУМ: 26.12.2013.

На основу захтева проф.др Петра Петровића, бр. 2682/1 од 26.12.2013. године и чл. 63. Статута Машинског факултета, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 26.12.2013. године, донело је следећу

О Д Л У К У

Да се за рецензенте Техничког решења рађеног у оквиру пројекта ТР35007 под насловом: **„Систем за адаптивно уптављање процесом плазма резања“**, чији су аутори: проф.др Петар Петровић, Иван Данилов, дипл.инж.маш., Никола Лукић, дипл.инж.маш., Душан Никић, дипл.инж.маш. и Владимир Миковић, дипл.инж., именују:

- проф.др Јанко Ходолич, Факултет техничких наука, Нови Сад
- и
- проф.др Мирослав Пилиповић.

Одлуку доставити: Министарству просвете, науке и технолошког развоја РС, рецензентима и архиви Факултета ради евиденције.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА



Проф.др Милорад Милованчевић

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
БРОЈ: 7611
ДАТУМ: 16.01.2014.

На основу захтева проф.др Петра Петровића, бр. 2682/1 од 26.12.2013. године, одлуке о именовању рецензента и чл. 63. Статута Машинског факултета, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 16.01.2014. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се Техничко решење рађено у оквиру пројекта ТР35007 под насловом: **„Систем за адаптивно уптављање процесом плазма резања“**, чији су аутори: проф.др Петар Петровић, Иван Данилов, дипл.инж.маш., Никола Лукић, дипл.инж.маш., Душан Никић, дипл.инж.маш. и Владимир Миковић, дипл.инж., а позитивну рецензију поднели: проф.др Јанко Ходолич, Факултет техничких наука, Нови Сад и проф.др Мирослав Пилиповић.

Одлуку доставити: Министарству просвете, науке и технолошког развоја РС, рецензентима и архиви Факултета ради евиденције.



ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић