

37. JUPITER KONFERENCIJA
sa međunarodnim učešćem

37th JUPITER CONFERENCE
with foreign participants

ZBORNIK RADOVA **PROCEEDINGS**



UNIVERZITET U BEOGRADU - MAŠINSKI FAKULTET

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

Beograd, maj 2011.

37. JUPITER KONFERENCIJA

ZBORNIK RADOVA PROCEEDINGS



30. simpozijum
**CIM U STRATEGIJI TEHNOLOŠKOG
RAZVOJA INDUSTRIJE PRERADE METALA**

24. simpozijum
CAD/CAM

33. simpozijum
NU – ROBOTI –FTS

39. simpozijum
**UPRAVLJANJE PROIZVODNJOM U
INDUSTRIJI PRERADE METALA**

17. simpozijum
MENADŽMENT KVALITETOM

Organizator:

UNIVERZITET U BEOGRADU - MAŠINSKI FAKULTET

Beograd, maj 2011. godine

37. JUPITER KONFERENCIJA

ZBORNIK RADOVA

Organizator:

UNIVERZITET U BEOGRADU - MAŠINSKI FAKULTET

Adresa:

Kraljice Marije 16, 11120 Beograd, Srbija

Tel: 011-3370341, Fax: 011-3370364

El. pošta: jupiter@mas.bg.ac.rs

Tehnički urednici:

Prof. dr Ljubodrag Tanović

Mr Mihajlo Popović

Beograd, maj 2011.

Tiraž: 150 primeraka

Štampa: **Planeta print**,

11000 Beograd, Ruzveltova 10, tel.: 011 3088 129

ISBN 978-86-7083-724-9

37. JUPITER KONFERENCIJA

PROGRAMSKI I NAUČNI ODBOR

Predsednik:

Prof. dr Pavao Bojanić, Mašinski fakultet Beograd

Članovi:

Prof. dr Slavko Arsovski, MF Kragujevac • Prof. dr Bojan Babić, MF Beograd • mr Goran Vujačić, VŽŠ Beograd • Akademik Miomir Vukobratović, Institut „M. Pupin“ • Prof. dr Ratko Gatalo, FTN Novi Sad • Prof. dr Miloš Glavonjić, MF Beograd • Prof. dr Milan Zeljković, FTN Novi Sad • Prof. dr Milisav Kalajdžić, MF Beograd • dr Vladimir Kvirgić, LOLA Institut Beograd • Prof. dr Miodrag Lazić, MF Kragujevac • Prof. dr Ljubomir Lukić, MF Kraljevo • Prof. dr Vidosav Majstorović, MF Beograd • Prof. dr Velibor Marinković, MF Niš • Prof. dr Vladimir Milačić, MF Beograd • Prof. dr Dragan Milutinović, MF Beograd • Prof. dr Dragoje Milikić, FTN Novi Sad • Prof. dr Milorad Milovančević, dekan, MF Beograd • Prof. dr Zoran Miljković, MF Beograd • Prof. dr Bogdan Nedić, MF Kragujevac • Prof. dr Petar Petrović, MF Beograd • Prof. dr Miroslav Pilipović, MF Beograd • Prof. dr Radovan Puzović, MF Beograd • Prof. Dr Zoran Radojević, FON Beograd • Prof. dr Žarko Spasić, MF Beograd • Prof. dr Ljubodrag Tanović, MF Beograd • Prof. dr Velimir Todić, FTN Novi Sad • Prof. dr Ilija Čosić, FTN Novi Sad • dr Nebojša Čović, Beograd • Prof. dr Emilia Assenova (Bugarska) • Prof. dr Vladimir I Averchenkov (Rusija) • Prof. dr Nikolai I. Bobir (Ukrajina) • Prof. dr Konstantin D. Bouzakis (Grčka) • Prof. dr Miodrag Bulatović (Crna Gora) • Prof. dr Doina Dragulescu (Rumunija) • Prof. dr Alexander Janac (Slovačka) • Prof. dr Vid Jovišević (BiH) • Prof. dr Michael I Kheifetz (Belorusija) • Prof. dr Sergey A. Klimenko (Ukrajina) • Prof. dr Radovan Kovačević (SAD) • Prof. dr Andrey A. Kutin (Rusija) • Prof. dr Peter P. Melnichuk (Ukrajina) • Prof. dr Nicolae Negut (Rumunija) • Prof. dr Stanislaw Pytko (Poljska) • Prof. dr Sreten Savićević (Crna Gora) • Prof. dr Mirko Soković (Slovenija) • Prof. dr Victor K. Starkov (Rusija) • Prof. dr Momir Šarenac (BiH) • Prof. dr Radomir Vukasojević (Crna Gora) • Prof. dr Milan Vukčević (Crna Gora)

ORGANIZACIONI ODBOR

Predsednik:

Prof. dr Ljubodrag Tanović, Mašinski fakultet Beograd

Sekretar:

Asist. mr Mihajlo Popović, Mašinski fakultet Beograd

Članovi:

Doc. dr Božica Bojović, MF Beograd • Doc. dr Saša Živanović, MF Beograd • Asist. dr Živana Jakovljević, MF Beograd • Asist. mr Branko Kokotović, MF Beograd • Asist. dr Goran Slavković, MF Beograd • Asist. Nikola Slavković, dipl.inž.maš., MF Beograd • Asist. Goran Mladenović, dipl.inž.maš., MF Beograd • Asist. Slavenko Stojadinović, dipl.inž.maš., MF Beograd

ZAHVALNICA

Organizacioni odbor **37. JUPITER KONFERENCIJE** se najsrdačnije zahvaljuje svim institucijama i pojedincima koji su ličnim angažovanjem i konstruktivnim delovanjem pomogli u organizovanju ove konferencije.

Posebno se zahvaljujemo pokroviteljima:

Ministarstvo prosvete i nauke Vlade Republike Srbije



OSA Računarski inženjering

Beograd

<http://www.osa.rs/>

PREDGOVOR

JUPITER Konferencija, kao najznačajnija stalna aktivnost JUPITER asocijacije (asocijacija industrije, fakulteta, instituta, visokih škola strukovnih studija i komora), prikazuje najvrednije rezultate postignute prethodne godine. Ovogodišnja XXXVII JUPITER Konferencija je prilika da se sagledaju trendovi u domenu nauke, obrazovanja i industrije u Republici Srbiji, da ukaže na prednosti i nedostatke kako bi se što spremnije integrirali u EU.

Organizator, Katedra za proizvodno mašinstvo – Centar za nove tehnologije Mašinskog fakulteta, je ambiciozno pristupila organizovanju ove konferencije postavljajući tri cilja: (1) da se ukaže na značaj permanentnog obrazovanja kao preduslova ekonomije zasnovane na znanju; (2) da inicira nove naučne i tehnološke pravce u funkciji razvoja domaće industrije, pre svega njene reindustrijalizacije; (3) definiše novu generaciju naučnih radnika u oblasti proizvodnog inženjerstva u kontekstu definisanih nacionalnih programa.

Predviđeni okrugli sto na temu: **Centar za nove tehnologije – uloga i značaj**, treba da definiše ulogu Centra kao naučnog i tehnološkog poligona koji bi generisao nove ideje, koncepte i proizvode ka njihovim mogućim industrijama. Poseban akcenat će biti usmeren ka povezivanju sa relevantnim naučnim institucijama, našim naučnim radnicima u inostranstvu, međunarodnim projektima i permanentnim inovacijama znanja.

Između dve konferencije u Centru za nove tehnologije formirana je savremena računarska učionica sa deset radnih stanica, namenjena obuci studenata za rad u Autodesk Inventoru sa inicijativom da u narednom periodu preraste u komercijalni edukacioni centar Autodesk.

Na Konferenciji će biti izloženo 55 radova autora iz Srbije i inostranstva.

Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije i OSA Računarski inženjering su finansijskom podrškom omogućili organizovanje ove konferencije kao podršku naporima za unapređenje obrazovanja i nauke u oblasti proizvodnog mašinstva, na čemu im se organizator i ovim putem zahvaljuje.

U ime organizacionog odbora posebno se zahvaljujem svim domaćim i stranim autorima, kao i članovima recenzentskog tima na izvršenim recenzijama.

Dobro došli na XXXVII JUPITER Konferenciju.

U Beogradu, 6. maj 2011.

Prof.dr Ljubodrag Tanović

Izaberite simpozijum JUPITER Konferencije

UVODNI RADOVI – OKRUGLI STO

ROUND TABLE

**CIM U STRATEGIJI TEHNOLOŠKOG RAZVOJA
INDUSTRIJE PRERADE METALA**

CIM IN THE STRATEGY OF TECHNOLOGICAL
DEVELOPMENT OF METALWORKING INDUSTRY

CAD/CAM

NU – ROBOTI – FTS

NC - ROBOTS – FMS

**UPRAVLJANJE PROIZVODNJOM U INDUSTRIJI
PRERADE METALA**

PRODUCTION CONTROL IN METALWORKING INDUSTRY

**MENADŽMENT KVALITETOM
QUALITY**

Spisak svih radova na JUPITER Konferenciji

Avakumović, J., Avakumović, Č., Vujačić, N. UTICAJ FAKTORA POSLOVNOG OKRUŽENJA NA UPRAVLJANJE PROIZVODNJOM U INDUSTRIJI.....	4.6
Blanuša, V., Zeljković, M., Tabaković, S. AUTOMATIZOVANO PROGRAMIRANJE NU MAŠINA ZA NEKONVENCIONALNE POSTUPKE OBRADE	3.20
Bojanić, P., Mladenović, G. ANALIZA PROBLEMA PRI GENERISANJU PUTANJE ALATA PRI OBRADI SKULPTORSKIH POVRŠINA	2.57
Bojović, B., Kojić, D., Miljković, Z., Babić, B. ULOGA BRAZDA U FENOMENOLOGIJI POLIRANJA	5.18
Bulatović, M. KULTURA ORGANIZACIJE – ČINILAC POSLOVNE IZVRSNOSTI	5.24
Dimić, Z., Glavonjić, M., Milutinović, D., Živanović, S., Kvrgić, V. UPRAVLJAČKI SISTEM OTVORENE ARHITEKTURE ZA UPRAVLJANJE TROOSNE MAŠINE SA PARALELNOM KINEMATIKOM.....	4.17
Dimitrijević-Marković, Lj. Prilog za prikupljanje građe za PROUČAVANJE DELA ŽENA DIPLOMIRANIH MAŠINSKIH INŽENJERA.....	OS.1
Dondur, N., Pokrajac, S., Spasojević Brkić, V., Grbić, S. TOTALNA FAKTORSKA PRODUKTIVNOST PRIVATIZOVANIH PREDUZEĆA U METALOPRERAĐIVAČKOJ INDUSTRIJI	4.1
Grbić, S., Savanović, M. ENERGIJA VETRA KAO ALTERNATIVNI IZVOR ENERGIJE	4.29
Jakovljević, Ž., Petrović, P. KONSTRUKCIJA AKCEPTORA KONTAKTNIH STANJA ZA AUTOMATSKU MONTAŽU	4.34
Jovišević, V., Borojević, S., Lakić-Globočki, G., Sredanović, B. OPTIMIZACIJA PROCESA PROIZVODNJE PRIMJENOM PROGRAMSKOG SISTEMA TECNOMATIX PLANT SIMULATION	2.8
Komarov, D., Stupar, S., Simonović, A., Zorić, N. PARAMETRIZACIJA FAMILIJE AEROPROFILA ZA KORENI DEO LOPATICE VETROTURBINE	3.60
Kosarac, A., Zeljković, M., Gatalo, R., Trifković, S. PRIMJENA TEHNOLOGIJE VIRTUALNE REALNOSTI U FAZI PROJEKTOVANJA KONCEPCIONIH RJEŠENJA FLEKSIBILNIH TEHNOLOŠKIH	3.80
Kovljenić, B. ISTRAŽIVANJE MODELA ZA STANDARIZACIJU RAZMENE PODATAKA U DOMENU CAD/CAM-ERP INTEGRACIJE.....	2.69
Kvrgić, V., Bućan, M., Ilić, D., Trgovčević, S., Dimić, Z. ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ NOVE GENERACIJE VERTIKALNIH 5-OSNIH STRUGARSKIH OBRADNIH CENTARA - REKAPITULACIJA UKUPNIH REZULTATA NA PROJEKTU TR - 14026.....	3.7
Lukić, D., Todić, V., Milošević, M., Jovičić, G., Vukman, J. PRIMENA VIŠEKRITERIJUMSKOG ODLUČIVANJA U IZBORU OBRADNOG SISTEMA.....	3.87
Majstorović, V. ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ IMS MODELA	5.1
Majstorović, V. OBRAZOVANJE PROIZVODNIH INŽENJERA – IZAZOVI SADAŠNJOSTI.....	UR.29
Marjanović, Z., Brzaković, R. SIMULACIJA HIBRIDNOG ELEKTRIČNOG VOZILA PRI VOŽNJI NA OTVORENOM PUTU	3.66

Marković, D. PRIMENA INFORMACIONO KOMUNIKACIONIH TEHNOLOGIJA U REALIZACIJI VIRTUELNOG PROJEKTA	1.33
Marković, B. VAZDUHOPLOVSTVO I ODBRAMBENA INDUSTRIJA KREĆU KA IZMENJENIM MEĐUNARODNIM STANDARDIMA	5.6
Mikalački, Ž., Tabaković, S., Zeljković, M., Živković, A. PROJEKTOVANJE ZGLOBNIH PRENOSNIKA PRIMENOM SAVREMENIH PROGRAMSKIH SISTEMA	3.36
Milačić, V. GLOBALNI UNIVERZITET I VELIKA TRKA ZA LJUDSKIM KAPITALOM	UR.37
Milčić, D., Mijajlović, M., Anđelković, B., Đurić, S. RAZVOJ MODULA ZA PRORAČUN ZAVARENIH SPOJEVA	3.53
Milosavljević, A., Polić Radovanović, S., Petronić, S. CAD/CAM TEHNOLOGIJE I PRIMENA SUPERLEGURA U SAVREMENOM DIZAJNU	2.80
Milutinović, D., Glavonjić, M., Tanović, L., Bojanić, P., Puzović, R., Živanović S., Kokotović B., Popović M., Slavković N., Mladenović G. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I RAZVOJA NOVE GENERACIJE OBRADNIH SISTEMA	UR.51
Mitić, M., Miljković, Z., Vuković, N., Lazarević, I. KONCEPCIJSKO REŠENJE UPRAVLJANJA MOBILNOG ROBOTA U DOMENU UNUTRAŠNJEG TRANSPORTA MATERIJALA INTELIGENTNOG TEHNOLOŠKOG SISTEMA	4.23
Mladenović, G. ANALIZA STRATEGIJA OBRADE KORIŠĆENJEM KOMERCIJALNIH CAD/CAM SOFTVERA	2.63
Mladenović, C., Tabaković, S., Zeljković, M., Gatalo, R. VIRTUELNI MODEL KAO OSNOVA ZA KINEMATSKU ANALIZU MAŠINE ALATKE	3.1
Pejić, V., Petković, Z., Mišić, B. KONCEPT SISTEMA ZA ODREĐIVANJE PARAMETARA REŽIMA REZANJA ZASNOVANOG NA WEB - TEHNOLOGIJAMA	3.115
Peković, O., Simonović, A., Stupar, S., Komarov, D. KONSTRUKTIVNO REŠENJE VRHA DIMNJAKA SA KOMPENZACIJOM TERMIČKIH DILATACIJA	2.46
Perović, M., Veljić, D. KARAKTERIZACIJA ZAVARENOG SPOJA RAZLIČITIH LEGURA ALUMINIJUMA FORMIRANOG POSTUPCIMA TOPLJENJEM I PLASTIČNOM DEFORMACIJOM	3.47
Petrakov, Y. NEW METHOD OF 3-D SIMULATION FOR CAD/CAM SYSTEMS	2.1
Petrašinović, N., Petrašinović, D., Posteljnik, Z., Svorcan, J. PRIMENA NAPREDNIH SOFTVERSKIH ALATA ZA RAZVOJ MLINSKOG KOLA OD KONCEPTA DO GOTOVOG PROIZVODA	3.42
Petrović, P., Milanov, M., Vičentić, A., Stojović, M., Spasić, Ž. PRIMENA INELIGENTNIH SENZORSKIH SISTEMA U RAZVOJU INTEGRISANE AUTOMATIZACIJE REALNIH I VIRTUELNIH PROCESA PROIZVODNOG PREDUZEĆA – REKAPITULACIJA REZULTATA NA PROJEKTU MA14035	1.17
Petrović, P., Danilov, I., Lukić, N. NOVI PRISTUPI U PROJEKTOVANJU EKSTREMNO VARIJANTNIH PROIZVODA	3.26
Petrović, M., Miljković, Z., Babić, B., Čović, N. VEŠTAČKE NEURONSKE MREŽE I AKSIOMATSKA TEORIJA PROJEKTOVANJA U KONCEPCIJSKOM PROJEKTOVANJU ROBOTIZOVANOG UNUTRAŠNJEG TRANSPORTA MATERIJALA	3.72
Petrović, M., Danilov, I., Lukić, N., Glavonjić, M., Kokotović, B. MEHANISTIČKA IDENTIFIKACIJA MODELA SILE PRI ORTOGONALNOM REZANJU	3.93

Pilipović, M. KOMPJUTERSKO NADZORNO UPRAVLJANJE – PRIMER LABORATORIJE ZA AUTOMATIZACIJU PROIZVODNJE	4.44
Polić Radovanović, S., Srećković, M., Milosavljević, M. 3D LASERSKO SKENIRANJE, CAD/CAM i CNC TEHNOLOGIJE U ZAŠTITI KULTURNE BAŠTINE.....	2.74
Posteljnik, Z., Trivković, S., Petrašinović, N., Stanojević, M. PROJEKTOVANJE LOPATICE NAPREDNE VETROTURBINE PRIMENOM SAVREMENIH CAD SOFTVERA	2.41
Radić, V. NEKI ASPEKTI SIMULACIJE OBLIKOVANJA EKSPLOZIJOM KORIŠĆENJEM METODE KONAČNIH ELEMENATA.....	3.103
Radojević, Z., Radojević, M., Radojević, D. CIM SISTEM - INOVATIVNOST KA POVEĆANJU PRODUKTIVNOSTI RADA	1.7
Ružičić, D. KONTROLING U FUNKCIJI POSLOVNE IZVRSNOSTI PREDUZEĆA	1.11
Slavković, G., Spasić, Ž. PROJEKTOVANJE SISTEMA UPRAVLJANJA UNIVERZITETOM PRIMENOM TEORIJE KOMPLEKSNIH SISTEMA	1.1
Slavković, R., Milićević, I., Popović, M., Radiša, R. SIMULACIJA PROCESA LIVENJA KAO OSNOVA CAD/CAM PROJEKTOVANJA DINAMIČKI OPTEREĆENIH ODLIVAKA U MAŠINOGRAĐNJI.....	2.30
Spasić, Ž. KANDIDATURA I PREGOVORI O PUNOPRAVNOM ČLANSTVU SRBIJE U EU: --- Korelacija sadržaja pitanja i odgovora Uпитnika EU sa sinergetskim aktivnostima JUPITER- asocijacije.....	UR.1
Sredanović, B., Lakić-Globočki, G., Nedić, B., Čiča, Đ. NOVI PRISTUP DEFINISANJU UNIVERZALNE OBRADIVOSTI MATERIJALA PRI REZANJU	3.109
Stojadinović, S., Majstorović, V. PRIMENA VAST - MERNE TEHNOLOGIJE I OPTIČKIH METODA U RAZVOJU HOLISTIČKIH MERENJA U PROIZVODNOJ METROLOGIJI	5.12
Stojčić, M., Knežević, B. PROJEKTOVANJE DIGITALNOG KONTROLERA KOJI OBEZBEĐUJE ROBUSNO PRAĆENJE TRAJEKTORIJE SA KONTROLISANIM TRZAJEM	4.11
Svorcan, J., Simonović, A., Stupar, S., Peković, O. ODREĐIVANJE KONSTRUKTIVNIH PARAMETARA UVODNIKA DIMNIH GASOVA ČELIČNIH DIMNJAKA.....	2.51
Tanović, L., Puzović, R., Popović, M., Bojanić, P., Mladenović, S. PRIMENA CAD/CAM/CAE PROGRAMSKOG PAKETA PRI PROJEKTOVANJU I IZRADI ALATA ZA LIVENJE POD PRITISKOM DELOVA OD POLIMERA	2.22
Trivković, S., Simonović, A., Živković, R., Stupar, S. NAPONSKO-DEFORMACIONA ANALIZA TEMPORO-MANDIBULARNOG ZGLOBA	2.36
Vasić, M., Čarapić, V., Radiša, R., Milićević, R., Kvrgić, V. UNAPREĐENJE RADNOG KOLA PELTONOVE TURBINE	2.16
Vujačić, G., Marjanović, Ž. NADZOR CIM PROCESA PUTEM BLUETOOTH TEHNOLOGIJA	1.39
IN MEMORIAM Prof. Dr Dragiša M. Mandić.....	IM.1

SPISAK AUTORA
LIST OF AUTHORS

ANĐELKOVIĆ, BOBAN
AVAKUMOVIĆ, ČEDOMIR
AVAKUMOVIĆ, JELENA

BABIĆ, BOJAN
BLANUŠA, VLADIMIR
BOJANIĆ, PAVAO
BOJOVIĆ, BOŽICA
BOROJEVIĆ, STEVO
BRZAKOVIĆ, RADOMIR
BUĆAN, MIRKO
BULATOVIĆ, MIODRAG

ČARAPIĆ, VLADIMIR
ČIČA, ĐORĐE
ČOVIĆ, NEBOJŠA

DANILOV, IVAN
DIMIĆ, ZORAN
DIMITRIJEVIĆ-MARKOVIĆ,
LJILJANA
DONDUR, NIKOLA

ĐURIĆ, SAVA

GATALO, RATKO
GLAVONJIĆ, MILOŠ
GRBIĆ, SONJA

ILIĆ, DRAGOMIR

JAKOVLJEVIĆ, ŽIVANA
JOVIČIĆ, GORAN
JOVIŠEVIĆ, VID

KNEŽEVIĆ, BOJAN
KOJIĆ, DUŠAN
KOKOTOVIĆ, BRANKO
KOMAROV, DRAGAN
KOSARAC, ALEKSANDAR
KOVljenić, BORISLAV
KVRGIĆ, VLADIMIR
LAKIĆ-GLOBOČKI, GORDANA
LAZAREVIĆ, IVAN
LUKIĆ, DEJAN
LUKIĆ, NIKOLA

MAJSTOROVIĆ, VIDOSAV
MARJANOVIĆ, ŽELJKO
MARJANOVIĆ, ZORAN
MARKOVIĆ, BILJANA
MARKOVIĆ, DUŠAN
MIJAJLOVIĆ, MIROSLAV
MIKALAČKI, ŽIVA
MILAČIĆ, VLADIMIR
MILANOV, MILE
MILČIĆ, DRAGAN
MILIĆEVIĆ, IVAN
MILIĆEVIĆ, MARIJA
MILIĆEVIĆ, RADISAV
MILJKOVIĆ, ZORAN
MILOSAVLJEVIĆ, ANĐELKA
MILOSAVLJEVIĆ, MILAN
MILOŠEVIĆ, MIJODRAG
MILUTINOVIĆ, DRAGAN
MIŠIĆ, BOŠKO
MITIĆ, MARKO
MLADENOVIĆ, GORAN
MLADENOVIĆ, CVIJETIN

NEDIĆ, BOGDAN

PEJIĆ, VLASTIMIR
PEKOVIĆ, OGNJEN
PEROVIĆ, MILENKO
PETKOVIĆ, ZORAN
PETRAKOV, YOURI
PETRAŠINOVIĆ, DANILO
PETRAŠINOVIĆ, NIKOLA
PETRONIĆ, SANJA
PETROVIĆ, MILICA
PETROVIĆ, PETAR
PILIPOVIĆ, MIROSLAV
POKRAJAC, SLOBODAN
POLIĆ RADOVANOVIĆ,
SUZANA
POPOVIĆ, MARKO
POPOVIĆ, MIHAJLO
POSTELJNIK, ZORANA
PUZOVIĆ, RADOVAN

RADIĆ, VLADO
RADIŠA, RADOMIR
RADOJEVIĆ, DARKO
RADOJEVIĆ, MIROSLAV
RADOJEVIĆ, ZORAN
RUŽIČIĆ, DANIJELA

SAVANOVIĆ, MARKO
SIMONOVIĆ, ALEKSANDAR
SLAVKOVIĆ, GORAN
SLAVKOVIĆ, RADOMIR
SPASIĆ, ŽARKO
SPASOJEVIĆ BRKIĆ, VESNA
SREČKOVIĆ, MILESA
SREDANOVIĆ, BRANISLAV
STANOJEVIĆ, MARIJA
STOJADINOVIĆ, SLAVENKO
STOJČIĆ, MIHAJLO
STOJOVIĆ, MIRKO
STUPAR, SLOBODAN
SVORCAN, JELENA

TABAKOVIĆ, SLOBODAN
TANOVIĆ, LJUBODRAG
TODIĆ, VELIMIR
TRGOVČEVIĆ, SANJA
TRIFKOVIĆ, SPASOJE
TRIVKOVIĆ, SRDJAN

VASIĆ, MIROSLAV
VELJIĆ, DARKO
VIĆENTIĆ, ALEKSANDAR
VUJAČIĆ, GORAN
VUJAČIĆ, NIKOLA
VUKMAN, JOVAN
VUKOVIĆ, NAJDAN

ZELJKOVIĆ, MILAN
ŽIVANOVIĆ, SAŠA
ŽIVKOVIĆ, ALEKSANDAR
ŽIVKOVIĆ, RADE
ZORIĆ, NEMANJA

37. JUPITER KONFERENCIJA
sa međunarodnim učešćem

37th JUPITER CONFERENCE
with foreign participants

ZBORNİK RADOVA
PROCEEDINGS



UVODNI RADOVI

OKRUGLI STO

Beograd, maj 2011.

UVODNI RADOVI – OKRUGLI STO
ROUND TABLE

Spasić, Ž. KANDIDATURA I PREGOVORI O PUNOPRAVNOM ČLANSTVU SRBIJE U EU: --- Korelacija sadržaja pitanja i odgovora Upitnika EU sa sinergetskim aktivnostima JUPITER- asocijacije	UR.1
Majstorović, V. OBRAZOVANJE PROIZVODNIH INŽENJERA – IZAZOVI SADAŠNJOSTI	UR.29
Milačić, V. GLOBALNI UNIVERZITET I VELIKA TRKA ZA LJUDSKIM KAPITALOM	UR.37
Milutinović, D., Glavonjić, M., Tanović, L., Bojanić, P., Puzović, R., Živanović S., Kokotović B., Popović M., Slavković N., Mladenović G. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I RAZVOJA NOVE GENERACIJE OBRADNIH SISTEMA	UR.51
 Dimitrijević-Marković, Lj. Prilog za prikupljanje građe za PROUČAVANJE DELA ŽENA DIPLOMIRANIH MAŠINSKIH INŽENJERA	OS.1

← NAZAD



Жарко Спасић¹

**КАНДИДАТУРА И ПРЕГОВОРИ О ПУНОПРАВНОМ ЧЛАНСТВУ СРБИЈЕ У ЕУ: -
-- Корелација садржаја питања и одговора Упитника ЕУ са синергетским
активностима ЈУПИТЕР-асоцијације²**

Резиме

После претходног пута ка Европским интеграцијама најзад се види светло на крају тунела после кога је тај пут изванредан, без дилема и без повратка. Претходно путујемо јер нисмо хтели да знамо да је у основи технолошког напретка индустрије сваке земље управо систем образовања који треба да обезбеди креативне експерте свих профила. Само креативни инжењери у иновативном пословном окружењу могу да допринесу опоравку индустрије Србије из стања које не задовољава предуслове за европске интеграције. Такође, нећемо да знамо да реформа универзитета није дала очекиване резултате у процесу трансформације наставног процеса према принципима Болоњске декларације. Не видимо да је транзиција и власничка трансформација индустрије Србије спора и често неуспешна. У раду се полази од принципа Болоњске декларације и анализе питања и одговора Упитника Европске уније у очекивању преговора о пуноправном чланству Србије у Европску унију. Тада ће вероватно афирмисани Универзитет и можда опорављена привреда моћи успешније да заједнички учествују у образовним и истраживачким програмима интегрисане Европе.

Кључне речи: *Образовање, Истраживање, Упитник Европске уније, Дигитални универзитет, Технолошки развој, Дигитално предузеће, Европске интеграције.*

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

Србија се претходно налази на путу ка европским интеграцијама. Потцењени Универзитет кроз примену принципа Болоњског процеса не доприноси довољно успешној интеграцији, иако систем образовања представља основу за привредни развој Србије. *Индустрија* је у колапсу са неуспешним и такође претходним процесима транзиције и власничке трансформације.

Улога Универзитета у систему образовања Србије и синергија са *Индустријом* у технолошком развоју и истраживању анализирана је перманентно у контексту процеса европских интеграција Србије кроз конференције ЈУПИТЕР-асоцијације [1-5]. Посебно су дефинисане реалне дилеме и непотребне заблуде које се односе на Универзитет (професоре и студенте) и *Индустрију* у времену када се интегришу европски образовни и истраживачки простори будућег друштва заснованог на знању [4]. Машински факултет као оснивач ЈУПИТЕР-асоцијације је започео свију програмску и институционалну реформу [6, 7] као академска институција која је оријентисана индустрији.

Пуноправним чланством Србија уноси у Европску унију своје вредности (ћирилично писмо са Мирослављевим јеванђељем, православну веру и манастире, историју, културу, традиционалне обичаје, брендиране производе, туристичке потенцијале, предности географског положаја, освојене титуле и медаље у спорту и све друге вредности) које и даље остају неотуђива вредност Србије. *Acquis communautaire* је француски термин за укупну правну регулативу (уговори, закони, директиве, конвенције, резолуције и декларације) које су усвојиле релевантне европске институције и која дефинишу интегралну правну политику Европске уније за све чланице које су обавезне да је прихвате и примењују. Термин *Acquis communautaire* се помиње најчешће у вези са прилагођавањем закона и изведених нормативних аката у свим фазама европске интеграције. Нарочито је важна законска регулатива за слободно кретање робе, радне снаге и капитала, за јавне набавке, за политику

¹ Др **Жарко Спасић**, редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду; Е-mail: zspasic@mas.bg.ac.rs или z.spasic@sezampro.rs

² Овај текст припада серији уводних радова Јупитер конференција којом **Јупитер-асоцијација** универзитета и индустрије Србије прати у континуитету важне активности у процесу Европских интеграција Србије.

конкурентне индустријске сарадње на заједничком тржишту, за заштиту интелектуалне својине, развој информационог друштва и медија, у економији и монетарној политици, за област социјалне политике и запошљавања, науку и истраживање, као и за образовање и културу.

Попуњавање Упитника Европске уније не представља аутоматску кандидатуру за пуноправно чланство Србије. Тај документ илустрије наше мишљење о нама самима, а то је најчешће улепшани лик у огледалу. Предстоје допунска питања и допунски одговори за опис спремности Србије којој предстоје озбиљне економске реформе на јачању конкурентности привреде, у борби противу корупције, смањењу незапослености, поштовању интелектуалне својине, изградњи пословног амбијента и инфраструктуре, даљој реформи универзитета, као и других области које ће привреди и грађанима да обезбеде боље услове живота и пословања. Чак и у последњој фази преговора мора доста да се поправља и мења.

Зато је и значајна ова критичка анализа корелације између садржаја питања и одговора *Упитника Европске уније* и синергетских активности *Универзитета* и *Индустрије* као програмских активности *ЈУПИТЕР-асоцијације*. Једини циљ анализе је допринос да Србија буде респектована чланица интегрисане Европе засноване на знању.

2. ТРЕНУТНИ СТАТУС СРБИЈЕ У ЕВРОПСКИМ ИНТЕГРАЦИЈАМА

Неопходно је да се потсетимо на све фазе процеса европске интеграције које су земље чланице испуњавале различитим брзинама. Такође је важно да знамо садржаје питања и одговора из *Упитника Европске уније*.

2.1 Фазе европске интеграције

На путу ка пуноправном чланству у Европској унији све земље Европе су прошле или ће проћи седам добро дефинисаних фаза [11, 12]. Са датумима који се односе на догађања у Србији то су:

Фаза 1: Припремна фаза.

Фаза 2: Позитивна *Студија изводљивости*. (Одлука од 25.04. 2005. године).

Фаза 3: Преговори о закључивању *Споразума о стабилизацији и придруживању*. (Одлука Савета Министара Европске уније од 03.10. 2005. године). ***Преговори су прекидани и настављани !***

Фаза 4: Потписивање и спровођење *Споразума о стабилизацији и придруживању*. ***Споразум је парафиран и потписан под примедбама и претњама да ће се поништити од стране наредног сазива Скупштине !***

Фаза 5: **Кандидатура** за чланство у Европској унији.

Фаза 6: **Преговори** о пуноправном чланству.

Фаза 7: **Потписивање Споразума о приступању Европској унији на позив Европског савета.**

Споразум о стабилизацији и придруживању који је потписан 2005. године садржи 10 поглавља. То су: *Општи принципи, Политички дијалог, Регионална сарадња, Слободно кретање робе, Кретање капитала и давање услуга, Усклађивање законодавства, Правосуђе и унутрашњи послови, Политика сарадње, Финансијска сарадња*, као и *Институционалне, опште и завршне одредбе*. Сматрало се да је на почетку *Фазе 3* Србија имала предност у односу на остале земље региона, у тренутку њиховог започињања те исте фазе, јер су нека усаглашавања Србије са стандардима Европе већ тада била постигнута.

Данас смо на прагу кандидатуре Србије за чланство у Европској унији која би се прихватила на основу одговора на питања из *Упитника Европске уније*. Било би добро да се одмах одреди и датум почетка преговора о пуноправном чланству. Ово су очекивања која се на разне начине повезују са датумом превремених избора и различитим мишљењима о дефинисању изборних листа и проистеклих посланика. У том кошмару тзв „*бланко оставки*“ и „*шетања посланика између посланичких клубова*“ чини се да никоме није важан садржај питања и одговора *Упитника Европске уније*. Као да тај садржај не исказује спремност Србије да постане кандидат за чланство и да отпочну преговори о пуноправном чланству.

Када се у будућности потпише коначан *Споразум о приступању Европској унији*, биће потребна и његова ратификација од стране Скупштине Србије. Поред тога, потребна је ратификација

Споразума од стране свих земаља које су већ примљене у Европску унију, као и коначно одобрење Споразума од стране Савета министара Европске уније.

2.2. Садржај Упитника Европске уније

Питања и одговори Владе Републике Србије на Упитник Европске уније су дата у 33 поглавља, за сваку од области које су битне за процену спремности Србије за пуноправно чланство. То су: Слободно кретање робе (поглавље 1); Слободно кретање радника (2); Право пословног настањивања и слобода пружања услуга (3); Слободно кретање капитала (4); Јавне набавке (5); Компанијско право (6); Право интелектуалне својине (7); Политика конкуренције (8); Финансијске услуге (9); Информационо друштво и медији (10); Пољопривреда и рурални развој (11); Безбедност хране, ветеринарска и фитосанитарна политика (12); Рибарство (13); Транспортна политика (14); Енергетика (15); Опорезивање (16); Економска и монетарна политика (17); Статистика (18); Социјална политика и запошљавање (19); Предузетништво и индустријска политика (20); Трансевропске мреже (21); Регионална политика и координација структуралних инструмената (22); Правосуђе и основна права (23); Правда, слобода и безбедност (24); **Наука и истраживање (25); образовање и култура (26);** Заштита околине (27); Заштита права и здравља потрошача (28); Царинска унија (29); Економски односи са иностранством (30); Спољна, безбедоносна и одбрамбена политика (31); Финансијска контрола (32); Финансијске и буџетске одредбе (33).

3. ПИТАЊА И ОДГОВОРИ ЗА РАЗВОЈ УНИВЕРЗИТЕТА И ИНДУСТРИЈЕ СРБИЈЕ

Да би текст анализе садржаја Упитника Европске уније у контексту даљег развоја Универзитета и Индустрије био јасан, морамо да цитирамо [13] одговарајућа питања и делове одговора (*Arial 9 Italic font*) како би дефинисали одговарајуће закључке, препоруке и акције (*Times New Roman 11 font*). Анализа се односи на два поглавља 26 и 25 Упитника.

3.1. образовање и култура (поглавље 26)

Област образовања је првенствено у надлежности земаља чланица Европске уније. Формирање европског заједничког образовног простора (енгл: ЕНЕА – *European Higher Education Area*) респектује Уговор о функционисању Европске уније [14] којим се предвиђа сарадња земаља чланица Европске уније, уз поштовање њихове појединачне одговорности за садржаје образовања, за организацију образовања и стручног усавршавања, као и за националне и регионалне етничке, културне и остале разноликости.

Правна регулатива Европске уније (нарочито Лисабонска стратегија [15] и Отворени метод координације [16] у политици образовања и усавршавања) претставља оквир сарадње у овој области ради конвергенције националних политика и заједничких циљева, прихваћених Болоњским процесом за високошколско образовање [17], као и Копенхашким процесом за стручно усавршавање [18]. Прогрес реформе и визија Болоњског процеса 2020 са досадашњим прогресом ове реформе је сагледан у документу [19] институције *Education International* (EI) која представља 30 милиона наставника запослених у образовању у 172 земље од којих раде око 700.000 у високом образовању земаља ЕНЕА. Ова институција истиче имплементацију и наставак реформе према крајњим циљевима реформе, а нарочито на радне услове и могућност запошљавања. Академска популација је главни учесник у свакодневној примени Болоњског процеса на свим нивоима – институционалним, националним и Европском. Владине структуре често укључују екстерне учеснике – менаџере компанија, представнике индустрија и слично, што има негативан утицај на академске слободе, а тиме и на креирање знања и развој науке за бенефите целе заједнице образовања и друштва у целини.

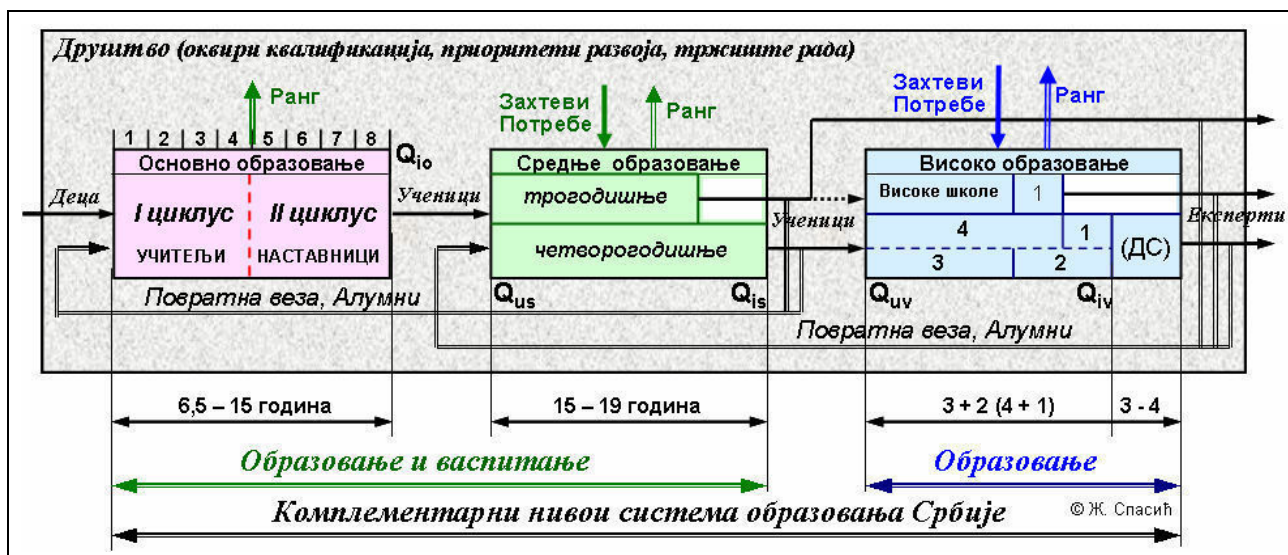
Питање 1: Структура образовног система: *Молимо, опишите структуру образовног система, укључујући и стручно усавршавање и обуку, као и образовање одраслих, пратећи Eurydice формат (<http://www.eurydice.org>). Наведите детаље о различитим нивоима образовања, било да је реч о обавезном и/или бесплатном образовању, као и механизме за прелаз између њих. Молимо, опишите улогу приватног образовања и пружалаца услуга у стручном усавршавању и обуци и улогу предузећа у обезбеђивању стручног усавршавања и обуке.*

... Предшколско васпитање и образовање део је јединственог система образовања и у надлежности је Министарства просвете и локалне самоуправе. Овим нивоом образовања су обухваћена деца узраста од

шест месеци до поласка у основну школу. Према Закону о предшколском васпитању и образовању за јаслени узраст је предвиђена нега и васпитање, а тек за узраст вртиће је укључена и компонента образовања. ... Похађање предшколског образовања није обавезно. Почев од 2006. године, у Србији је уведен обавезан припремни предшколски програм, за све децу узраста од 5,5 до 6,5 година. ... Локална самоуправа води евиденцију о деци која су стасала за похађање припремног предшколског програма. ...

... **Основно образовање и васпитавање** је обавезно, траје осам година и остварује се у два образовна циклуса од по четири разреда. Наставу предмета у овом циклусу изводи учитељ (енгл: class teacher), али наставу неких предмета (нпр, уметности и страних језика) може да изводи наставник (енгл: subject teacher) који ове предмете предаје у другом циклусу. Други циклус обухвата разреде од петог до осмог, а наставу сваког предмета реализује наставник. ... Локална самоуправа води евиденцију о деци која су стасала за упис, као и о деци која су уписана у школу. Деца се уписују у школу по територијалном принципу. ... После завршеног осмог разреда, сви ученици излазе на завршни испит, а не само они који настављају образовање у четворогодишњим средњим школама. ... Основно образовање је бесплатно у државним (јавним) школама, док у приватним школама родитељи сnose трошкове школовања. ... Поред обавезних основних школа, систем образовања укључује и основне музичке и основне балетске школе, као и школе за музичке и школе за балетске таленте.

... **Средње образовање и васпитавање** се односи на ученике узраста 15-19 година и није обавезно. Бесплатно је за оне кандидате који се први пут уписују. По завршетку обавезног основног образовања ученици се уписују у школе које изводе програме средњег образовања у трајању од три или четири године. ... Услов за упис је остварени успех у 6, 7. и 8. разреду обавезног основног образовања и постигнути резултати на квалификационом испиту за гимназије и стручне школе у четворогодишњем трајању, односно завршном испиту или пријемном испиту за специјализоване гимназије и уметничке школе. ... Средње образовање и васпитавање реализује се као опште средње образовање у трајању од четири године (гимназије) и средње стручно и уметничко образовање у трајању од три или четири године (стручне и уметничке школе). ...



Слика 1. Каскадно компоновање комплементарних нивоа образовања Србије

... **Средње опште образовање** стиче се у гимназијама. Постоје две врсте гимназија: гимназија општег типа и специјализована гимназија. Гимназија општег типа може да организује четири програмска усмерења. То су опште, друштвено-језичко, природно-математичко и информатичко усмерење. Специјализоване гимназије (математичка гимназија, филолошка гимназија, спортска и рачуарска гимназија) намењене су образовању ученика талентованих у овим областима. У гимназијама општег типа организују се одељења ученика који показују даровитост у неким посебним областима: математичка, физичка, језичка или спортска одељења. ... На крају четворогодишњег гимназијског школовања полаже се матурски испит, а од школске 2014/2015. предвиђено је да се полаже општа матура.

... **Средње стручно образовање** стиче се у стручним школама које припремају ученике за рад у 15 подручја рада (пољопривреда, шумарство, геологија, машинство, електротехника, графичарство, текстилство, грађевинарство, саобраћај, хидрометеорологија, трговина, економија, здравство, уметност, личне услуге). У средњој стручној школи ученици стичу и развијају општа и стручна знања као и способности за даље школовање, односно за рад. У овим школама трајање образовања је различито: обука и стручно оспособљавање у трајању до једне године, образовање за рад у трајању од две године, средње трогодишње и четворогодишње образовање, специјалистичко и мајсторско образовање (након две године рада) у трајању од једне до две године. ... Средње стручне школе такође реализују програме преквалификација и доквалификација. ... Практична настава се изводи у школским радионицама и код послодаваца. На крају трогодишњих образовних програма се полаже завршни испит, а по завршетку четворогодишњих образовних програма полаже се матурски испит.

... **Средње уметничко образовање** траје четири године и реализује се у музичким, балетским и уметничким школама ликовне области у подручју рада Култура, уметност и јавно информисање. По завршетку средњег уметничког образовања полаже се уметничка матура. ...

... У систему средњег образовања, кроз Програм Европске Уније за Србију - КАРДС Програм реформе средњег стручног образовања и ИПА 07 – Програм модернизације система средњег стручног образовања, који је усмерен и на подршку стручном образовању одраслих, основано је 5 Регионалних центара за обуку. ...

... Делатност високог образовања се реализује на универзитетима и високим школама. ... Високошколски систем има два типа студија. То су академске студије које се реализују на универзитетима и струковне студије, које су професионално оријентисане и које се изводе на високим школама струковних студија и на универзитетима. ... Тростепени или троциклични систем академских студија обухвата: основне академске студије у трајању 3-4 године, које носе од 180 до 240 ЕСПБ, мастер студије у трајању од 1-2 године са 60-120 ЕСПБ, и докторске академске студије са минимално три године студија или 180 ЕСПБ. ... У области медицинских наука (студије медицине, стоматологије и ветерине) су уведени интегрисани студијски програми који трају обавезно 6 година и носе минимално 360 ЕСПБ и интегрисане студије фармације које имају 300 ЕСПБ. Осим тога други циклус академских студија укључује и специјалистичке академске студије које могу имати минимално трајање од једне године и носе 60 ЕСПБ, ако је студент на предходним студијама остварио укупно 300 ЕСПБ. ... Према статистичким подацима за школску 2008/09. годину на високошколским институцијама образовања у Србији студирало је 235.940 студената од чега 63% на државним универзитетима, 16% на приватним универзитетима, 19% на државним високим школама струковних и академских студија, и преосталих 2% студената на приватним високим школама. Србија са Косовом и Метохијом тренутно има 13 акредитованих универзитета - 8 универзитета су државни и укључују 83 факултета, а 5 су приватни универзитети са укупно 26 факултета. Још 5 приватних универзитета се налазе у процесу акредитације. Укупно је 70 акредитованих високих школа струковних студија, а постоје и четири акредитоване школе струковних студија на којима се изводе академски програми првог и другог нивоа или степена.

ЗАКЉУЧЦИ, ПРЕПОРУКЕ И АКЦИЈЕ:

- П-1.1. Нивои укупног образовања Србије морају да буду садржајно међусобно комплементарни како би чинили кохерентан систем образовања (слика 1). Ово данас није случај па су последице тога недовољно креативни дипломирани експерти и колапс индустрије и привреде.
- П-1.2. Средње образовање не оспособљава матуранте да креативно решавају проблемна студијама. Усмереност ка репродуковању лекција се тешко исправља у току студирања.
- П-1.3. Неопходна је реформа средњег образовања уз помоћ *Алумни асоцијација* средњих школа које данас не постоје.
- П-1.4. Неопходан је наставак реформе високог образовања према принципима *Болоњске декларације* и трендовима развоја Европе до 2020. године.

Питање 2. Статистика: *Молимо, наведите податке о ђацима/студентима и наставницима/тренерима на различитим нивоима образовног система, укључујући и стручно усавршавање и обуку и образовање одраслих. Уколико је могуће, наведите процену развоја за наредних десет година. Наведите статистичке податке о државним и, уколико је могуће, приватним средствима намењеним образовању на државном нивоу (у % БДП-а и државног буџета). Молимо наведите податке о ученицима који прекидају школовање на школском и универзитетском нивоу (са анализама по полу, етничким групама и географским областима).*

... У школској 2009/10. години 189 **основних школа** организовало је припремни предшколски програм за 6020 деце у оквиру 337 васпитних група четворочасовног програма и 315 комбинованих одељења. На територији КиМ, припремни предшколски програм организовало је 18 ОШ, за 406 деце обухваћених у 29 група четворочасовног програма и 8 комбинованих одељења. ...

Табела 1. Школе, одељења и ученици средњег образовања за 2008/09. годину [13]

Врста школе	Школе		Одељења		Ученици		Од тога ученице		
	свега	%	свега	%	свега	%	свега	%	ученице у %
Гимназије	113	100 %	11.074	100 %	283.412	100 %	143.093	100 %	50,5 %
државне	100		2.221		61.494		36.854		
приватне	13		66		1.177		474		
Стручне	303	61,2 %	7.768	70,1%	198.156	69,9%	93.643	65,4%	47,3 %
државне	283		7.660		196.640		92.927		
приватне	20		108		1.516		716		
Уметничке (муз. бал. лик.)	38	7,7 %	298	2,7 %	4.643	1,6 %	2.911	2,0 %	62,7 %
Мешовите (стр-гимназ.)	33	6,7 %	594	5,4 %	15.020	5,3 %	8.288	5,8 %	55,2 %
Мешовите (стр-уметн.)	3	0,6 %	97	0,9 %	2.274	0,8 %	781	0,5 %	34,3 %
Верске	5	1,0 %	30	0,3 %	648	0,2 %	142	0,1 %	21,9 %
УКУПНО :	495	100 %	11.074	100 %	283.412	100 %	143.093	100 %	50,5 %

Табела 2. Ученици по подручјима рада и трајању средњег образовања за 2009/10 годину [13]

Подручје рада	Укупно	Трајање образовања		% ученика	
		4 год.	3 год.	4 год.	3 год.
Гимназија	40.465	40.465		100 %	
Пољопривреда, производња и прерада хране	9.529	7.440	2.089	78,1 %	21,9 %
Шумаство и обрада дрвета	1.484	1.371	113	92,4 %	7,6 %
Геологија, рударство и металургија	392	367	25	93,6 %	6,4 %
Машинство и обрада метала	5.523	5.228	295	94,7 %	5,6 %
Електротехника	2.132	2.012	120	94,4 %	5,6 %
Хемија, неметали и графичарство	7.255	7.014	241	96,7 %	3,3 %
Текстилно и кожарство	4.040	3.072	968	76,0 %	24,0 %
Геодезија и грађевинарство	2.073	2.025	48	97,7 %	2,3 %
Саобраћај	3.577	3.205	372	89,6 %	10,4 %
Трговина, угоститељство и туризам	15.420	8.718	6.702	56,5 %	43,5 %
Економија, право и администрација	25.326	25.326		100 %	
Хидрометеорологија	152	152		100 %	
Култура, уметност и јавно информисање	3.716	2.716		100 %	
Здравство и социјална заштита	18.299	18.107	174	99,0 %	1,0 %
Остало (личне услуге)	3.839	206	3.633	5,4 %	94,6 %
РЕПУБЛИКА СРБИЈА	143.222	128.442	14.780	89,7 %	10,3 %

... Пролазност, понављање и напуштање школе (енгл: drop-out) пре завршетка средњег образовања, за школску 2008/09. годину је: ...

Табела 3. Пролазност у средњем образовању за школску 2008/09. годину [13]

ПРОЛАЗНОСТ у средњем образовању	3-годишње образовање	4-годишње образовање
Пролазност ученика у %	89,0 %	96,7 %
Понављање ученика у %	3,1 %	1,0 %
Напуштање школе у %	7,8 %	2,3 %

... На универзитетима Србије студира 216.647 студената, од чега на државним 181.688 студената и на приватним 34.959 студената. На високим школама Србије студира 50.292 студента, од чега на државним 45.285 студената и на приватним 5.007 студената. Број студената на појединим државним универзитетима Србије износи: Универзитет у Београду (75.037 студената), Универзитет уметности у Београду (2.508), Универзитет у Новом Саду (46.857), Универзитет у Крагујевцу (14.263), Универзитет у Нишу (29.327) и Универзитет у Приштини са привременим седиштем у Косовској Митровици (10.521). ...

... Број страних студената на универзитетима Србије је 8.846, а на струковним студијама високих школа 1431, што укупно износи 10.277 студената. То су углавном студенти из бивших република Југославије (97,19% на универзитетима и 98,61% на високим школама). ...

... Према врсти и нивоу студија број уписаних студената са одговарајућим процентом је:

Табела 4. Број уписаних студената на државним универзитетима [13]

Врста и ниво студија	Број уписаних студената	% од укупног броја
Основне академске и интегрисане студије	145.139	79,88 %
Основне струковне студије (на универзитету)	1.481	0,82 %
Мастер академске студије	7.097	3,91 %
Специјалистичке струковне студије (на универзитету)	817	0,45 %
Специјалистичке академске студије	2.230	1,23 %
Докторске студије	3.693	2,03 %
Стари програм	21.231	11,69 %
СВЕГА	181.688	100, 00 %

... за приватне универзитете и високе школе ови подаци су:

Табела 5. Број уписаних студената на приватним универзитетима [13]

Врста и ниво студија	Број уписаних студената	% од укупног броја
Основне академске и интегрисане студије	29.708	84,98 %
Основне струковне студије (на универзитету)	3.084	8,82 %
Мастер академске студије	1.676	4,79 %
Специјалистичке струковне студије (на универзитету)	0	0,00 %
Специјалистичке академске студије	178	0,51 %
Докторске студије	313	0,90 %
СВЕГА	34.959	100, 00 %

... У Републици Србији на свим високошколским установама (универзитетима, факултетима и високим школама струковних студија) чији је оснивач Република (државним) и чији оснивач није Република (приватним) укупно је дипломирало **46.108** студената; од тога **31.656** студената на **државним** (68.66 %) и **14.452** студената на **приватним** (31.34 %) високошколским установама. ... Од **државних** високошколских установа, на **академским** студијама (универзитетима, факултетима) дипломирало је **21.293** студента (67.26 %) а на **струковним** студијама **10.363** студената (32.74 %). ... Од **приватних** високошколских установа, на **академским** студијама (универзитетима, факултетима) дипломирало је **10.387** студената (71.87 %) а на **струковним** студијама **4065** студената (28.13 %).

... Просечно трајање студија на универзитетима:

Табела 6. Трајање студија на државним и приватним универзитетима [13]

Врста и ниво студија	Државни универзитети	Приватни универзитети	Укупно
Основне академске студије	4 - 7,75 године	3 - 6 година	3 - 7.75 година
Мастер академске студије	1,5 - 2 године	11 месеци - 2 године	11 месеци – 2 године
Специјалистичке академске студије	2 године	1 - 2 године	1 - 2 године

... На државним високим школама струковних студија основне струковне студије трају 3 – 5.4 године а специјалистичке струковне студије трају 1 – 2 године. ...

... Број студената који напуштају образовање без формално признатих квалификација је:

Табела 7. Број студената који напуштају студије [13]

Државни универзитети	Приватни универзитети	Високе школе
1357	704	1266

ЗАКЉУЧЦИ, ПРЕПОРУКЕ И АКЦИЈЕ:

- П-2.1. Капацитети институција за све нивое образовања Србије треба комплементарно да се усагласе са општим потребама Србије за све области и за све дипломиране експерте.
- П-2.2. Пројектоване потребне капацитете усагласити са *Националним оквиром квалификација* који треба да буде усаглашен са *Европским оквиром квалификација*.
- П-2.3. Број страних студената на институцијама високог образовања Србије је мали и углавном из бивших република Југославије. Неопходна је акредитација студијских програма и предмета на енглеском језику. Неопходан је одговарајући међународни рејтинг универзитета и факултета Србије ради атрактивности у образовном простору за наставу на енглеском језику.
- П-2.4. Број ученика или студената који напуштају школе и универзитете је важна перформанса укупног система образовања. Неопходно је перманентно праћење ове образовно-пословне перформансе као дела интегрисаног система обезбеђивања квалитета [20].
- П-2.5. Опремљеност лабораторија и кабинета факултета и школа је основни предуслов за успешну наставу и стицање вештина ученика и студената за потребе тржишта рада.
- П-2.6. Усагласити број (не)запослених са потребним капацитетима и потребама индустрије Србије.
- П-2.7. Повезивање школа и универзитета са индустријом је неопходно ради успешније праксе. За то су потребни *Центри за професионални тренинг* при водећим индустријама [21]. Посебним уговорима треба да се регулишу међусобне обавезе појединих индустрија и школа/универзитета уз обезбеђење финансијских средстава од стране министарстава и Владе.
- П-2.8. Програми за модел учења током читавог живота (енгл: *Long Life Learning*) треба да обухвате и програме за иновацију знања запослених експерата.

Питање 3: Стабилизација реформи: Који су главни циљеви и динамика спровођења најскоријих од текућих реформи образовног система и система обуке? Да ли би систем требало да прође кроз још реформи?

... Главни циљеви започетих реформи тичу се повећања квалитета и релевантности, праведности, и ефикасности система образовања и васпитања. Промене које су уведене законима усвојеним 2009 и 2010 односе се на постизање ових циљева и имају своје законске оквире за довршавање имплементације, поред тога, оне су наведене у програму НПИ и у годишњим програмима Министарства просвете. ...

... Национални просветни савет израдио је Правце развоја образовања у Србији а детаљнија свеобухватна Стратегија развоја образовања израђује се током 2011. ...

1.Предуниверзитетско образовање по областима реформе:

а) Наставни кадар:

... Тренутно се довршава правилник за ову област, а као подршка стручном усавршавању наставника отварају се нови Регионални центри за стручно усавршавање. Тренутно 9 таквих центара ради у Србији, а у току 2012 очекује се отварање још 3. ...

... напредовање у каријери се такође иновира истим правилником, и креће од 2011, у оним оквирима који су финансијски одрживи у оквиру буџета за 2011, а очекује се пуна примена од 2012. ...

б) Курикулум:

... Реформа и увођење новина у опште средње образовање у складу са законом планирано је за школску 2011/2012. Новине подразумевају промену наставног плана и програма. Као и у основном образовању и овде се планира озбиљна курикуларна реформа након израде стандарда за крај општег средњег образовања ...

... За сваку школску годину предвиђено је сукцесивно увођење евалуираних огледних профила у редован систем образовања и обуке. Довршење целог рол-оута предвиђено је за 2014/15, када се уводи и стручна матура. Поред тога, школске 2011/12 уследиће извесно иновирање свих програма у стручном образовању. ...

... Уводи се нова електронска платформа за наставнике са базом наставничких припрема за часове и додатним материјалима, која ће бити у слободној употреби за све наставнике (у погледу пуњења, коментарисања и коришћења за сопствене наставне потребе). Портал ће се лансирати почетком 2011. ...

ц) Осигурање квалитета

... Израђен је и усвојен нови оквир за екстерно осигурање квалитета рада установа образовања и васпитања, који ће се примењивати од школске 2011/12, након обуке саветника и израде подзаконских аката, уз подршку Холандског инспектората. ...

д) Менаџмент

... Новим законом повећана је улога Савета родитеља у животу школе; ојачана је и улога Ученичког парламента кроз учешће у процесима самовредновања и развојног планирања, као и кроз учешће у стручним органима. ... Предстоји увођење обуке за директоре – програм ове обуке се разрађује и очекује се потпуна примена током 2012. ...

е) Уџбеници

... Стандарде квалитета уџбеника и упутство о њиховој примени утврдио је 2010. године Национални просветни савет. ... Предстоји евентуална ревизија ових стандарда на основу евалуације ефеката. ...

ф) Финансирање

... Министарство просвете ради на рационализацији одељења и школа и отклањању вишкова наставника ради побољшања ефикасности система образовања и васпитања. Стабилизација ове активности очекује се до школске 2012/13. ...

3. Високо образовање

... Главни циљеви реформе високог образовања су унапређење квалитета, повећање ефикасности студија, осавремењавање курикулума, усмеравање курикулума према тржишту рада и хармонизација система са процесима у европском образовном простору (ЕНЕА). ...

... Систем ЕСПБ бодова је формално примењен у целокупном систему високог образовања. Имајући у виду да су познати први ефекти увођења овог система који је у великој мери променио структуру студијских програма, постоји потреба за усаглашавањем оних студијских програма на којима је уочено да оптерећење студената није адекватно дефинисано. На одређеним високошколским институцијама постоје проблеми, јер студенти не успевају да у току академске године остваре 60 ЕСПБ. ...

... Припремљеност студената да прихвате систем континуалног рада и провере знања кроз предиспитне обавезе нарочито у првим годинама реформе није била довољна. ...

... Конференција универзитета Србије и Студентска конференција универзитета Србије која је формирана ове године су у фази припреме заједничког акционог плана у овој области. ...

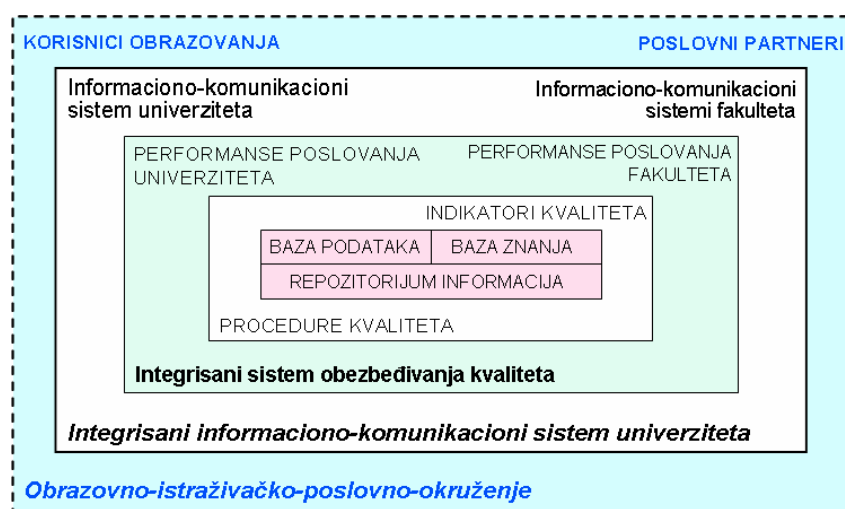
... Национални савет за високо припрема стратегију развоја високог образовања с посебним делом који ће бити посвећен мобилности студената и наставног особља. ...

ЗАКЉУЧЦИ, ПРЕПОРУКЕ И АКЦИЈЕ:

- П-3.1. Министарство за просвету је административно предимензионисано. Слабом координацијом послова нису спроведене промене које би на време обезбедиле комплементарност појединих нивоа образовања. Зато је улазни квалитет студената на *Универзитет* незадовољавајући. Нови студенти су навикли на репродуковање наставних материјала, а не на решавање конкретних и стручних проблема, што је тешко да се исправи током универзитетске наставе.
- П-3.2. Стратегије развоја за поједине нивое образовања се усвајају са огромним закашњењем у односу на почетак *Болоњског процеса*.
- П-3.3. Реформи средњег образовања и промени начина полагања матуре се не поклања довољна пажња [22]. Процедура постављања директора је политизована, па директори често имају проблеме са Управним одборима, Саветима родитеља, Ученичким парламентима и у самим колективима. Директори треба да се бирају директније у колективу, а са смањеном улогом

локалне самоуправе и Министарства. Обука за директоре је пренаглашена и води ка даљој политизација када он постаје више послушник него креативни менаџер развоја своје школе у прописаним комплементарним оквирима Министарства. Непостојеће *Алумни-асоцијације* средњих школа би биле велики потенцијал за развој [22], што садашњи директори не виде.

- П-3.4. Није реализован национални модел интегрисаног система обезбеђивања квалитета (енгл: *Quality Assurance*), иако је то био један од захтева *Берлинског министарског састанка* [23]. Овај главни проблем реформе високог образовања слабо је координиран од стране ректорских и деканских колегијума, да би на свим факултетима био успешно решен са електронским процедурама квалитета као дела интегрисаног информационог система (слика 2).
- П-3.5. Требало је да прође више од 10 година *Болоњског процеса*, а да се проблеми са 60 ЕСПБ бодова решавају на разне начине. *Година за годину* је био један од полазних принципа *Болоњске декларације* који је код нас, изгледа, заувек напуштен. И то на штету самих студената, вредновања наших диплома и рејтинга наших универзитета у Европи и свету.



Слика 2. Структура интегрисаног информационог система универзитета

Питање 4. Управљање и финансирање. Молимо опишите на који начин је уређено управљање образовањем и обуком и њихово финансирање, укључујући и детаље о степену финансијске и административне аутономије установа и оучешићу заинтересованих страна. Молимо посебно опишите улогу социјалних партнера у стручном усавршавању и обуци (VET).

Управљање Предшколско, основно и средње образовање

... **Орган управљања** је школски одбор у школи и управни одбор у предшколској установи и именује се на локалном нивоу, на период од четири године. Орган управљања има девет чланова које именује и разрешава скупштина јединице локалне самоуправе. Састав органа управљања је трипартитни и чине га представници запослених, родитеља и јединице локалне самоуправе. ... Седницама органа управљања, осим представника синдиката, присуствују и учествују у раду и два ученика – представника ученичког парламента, без права одлучивања. Међутим, проширени састав органа управљања средње школе чине и два пунолетна ученика који равноправно учествују у доношењу свих важних аката и одлука, осим оних који се односе на финансијско пословање, кадровска питања и одлучивање по жалбама и приговорима ученика и запослених. ... **Саветодавни орган** установе је савет родитеља, који има свака установа осим школе за образовање одраслих. Састав овог органа чини по један представник родитеља ученика сваког одељења, односно васпитне групе. ... **Орган руковођења** установе је директор. Директора бира орган управљања на основу конкурса, по прибављеном мишљењу васпитно-образовног, наставничког, односно наставничког и педагошког већа коме присуствују сви запослени и који се изјашњавају тајно о свим кандидатима. ...

... Обавеза органа управљања установе у којој се образовно-васпитни рад изводи и на језику националне мањине, као и у установи у којој је утврђено да је од посебног значаја за националну мањину, да пре избора прибави и мишљење одговарајућег националног савета националне мањине. ... На одлуку органа управљања о изабраном кандидату министар даје сагласност. Неизабрани кандидати имају право на судску заштиту у управном спору. ... За свој рад директор је одговоран органу управљања и министру. О правима, обавезама и одговорностима директора одлучује орган управљања. ... Директор је одговоран за законитост рада и за успешно обављање делатности установе. Организује остваривање програма образовања и свих активности установе; стара се о осигурању квалитета, самовредновању, остваривању стандарда постигнућа и унапређивању образовно-васпитног рада; организује и врши педагошко-инструктивни увид и надзор, прати квалитет образовно-васпитног рада и педагошке праксе и предузима мере за унапређивање и усавршавање рада запослених; одлучује о коришћењу средстава утврђених финансијским планом и одговара

за одобравање и наменско коришћење тих средстава, у складу са законом; планира и прати стручно усавршавање и спроводи поступак за стицање звања наставника, васпитача и стручног сарадника; предузима мере у случајевима повреда забрана из овог закона и недоличног понашања запосленог и његовог негативног утицаја на децу и ученике; стара се о благовременом и тачном уносу и одржавању ажурности базе података о установи у оквиру јединственог информационог система просвете; стара о благовременом објављивању и обавештавању запослених, ученика и родитеља, односно старатеља, стручних органа и органа управљања о свим питањима од интереса за рад установе и ових органа и др. ... Подршку унапређивању и развоју средњег стручног образовања и других облика образовања пружа Савет за стручно образовање и образовање одраслих, који именује Влада. Ово тело је од националног значаја и има задатак да пројектује, прати и усаглашава развој стручног образовања и обуке, као и да прати и усаглашава интересе, потребе и могућности свих социјалних партнера. ...

Високо образовање

... Начин управљања високошколским установама је јединствено решен и исти је у установама чији је оснивач Република Србија и приватним установама. Високошколским установама управљају савети високошколске установе и органи пословођења које бира савет. Број чланова савета високошколске установе је минимално 17, од чега представници високошколске установе чине дветрећине, док су представници студената и представници оснивача заступљени са једнаким бројем чланова до пуног састава. Када је оснивач Република представнике оснивача именује Влада из реда истакнутих личности из области науке, културе, просвете, уметности и привреде. Управљање се пре свега односи на финансијско пословање и доношење интерних правних аката високошколске установе. ... Орган пословођења универзитета је ректор, факултета – декан, високе школе и високе школе струковних студија – директор. Орган пословођења се бира из реда наставника који са пуним радним временом ради у установи. Орган пословођења се бира на три године са могућношћу једног поновног избора. ... Ради координирања рада, утврђивања заједничке политике, и остваривања заједничких интереса оснива се Конференција универзитета и Конференција академија струковних студија. Ради остваривања заједничких интереса студената као партнера у процесу високог образовања оснивају се Студентска конференција универзитета и Студентска конференција академија струковних студија. ...

Финансирање

... За финансирање високог образовања обезбеђују се средства из буџета Републике Србије. Ова средства се користе за плате запослених, материјалне трошкове, набавку материјала, текуће одржавање и капиталне издатке у зграде и опрему. Средства се расподељују на основу норматива и стандарда наставног и ненаставног особља, трошкова пословања и материјалних трошкова. Финансирање се базира на нормативним групама броја студената који су испунили услов да буду финансирани из буџета, броју часова активне наставе - контакт часова и недељном оптерећењу наставника и сарадника. ... Аутономија универзитета и других високошколских установа, поред осталих права, подразумева и право на располагање финансијским средствима у складу са Законом. ... Средства из буџета се обезбеђују и за накнаде чланова Националног савета за високо образовање у циљу праћења развоја високог образовања на националном нивоу и његову усклађеност са европским и међународним стандардима. Трошкови рада, финансирају се из накнада за акредитације државних и приватних факултета и студијских програма истих. ... Високошколске установе свој рад финансирају и из других извора: школарина, донација, поклоне и завештања, средства за финансирање научно-истраживачког, уметничког и стручног рада, пројеката и уговора у вези са реализацијом наставе, истраживања и консултантских услуга, накнада за комерцијалне и друге услуге и оснивачких права из уговора са трећим лицима. ...

ЗАКЉУЧЦИ, ПРЕПОРУКЕ И АКЦИЈЕ:

- П-4.1. Универзитет је комплексан, нелинеаран, дистрибуирани систем са повратном спрегом која обезбеђује континуално праћење и унапређење квалитета свих активности у настави, истраживању и менаџменту [20]. Да би универзитет био управљив, он мора да послује користећи интегрисани информационо-комуникациони систем са јединственом базом података (слика 2). Није могућа успешна електронска размена информација у оквиру универзитета уколико факултети и високе школе примењују парцијалне и међусобно независне платформе за информационе системе.
- П-4.2. Систем управљања универзитетом мора да се заснива на примени високих информационо-комуникационих технологија. Претходно је потребно дефинитивно одређење за правни статус универзитета и његових образовних јединица. Решење овог проблема се пролонгира још од почетка рада на реформи високог образовања, или још од времена првих самоевалуација универзитета Србије од 2001. године. Групације факултета имају доста специфичних активности и информационих токова.
- П-4.3. Финансирање високог образовања није решено на начин који одговара улози универзитета у развоју друштва. Најлакше је да министри и Влада кажу да нема пара, без сагледавања важности образовања. При томе не треба да потцењују и остале секторе који су такође незадовољни. У комплексном систему са „временским кашњењем“ (технички термин) какав је универзитет, последице лошег финансирања су велике.

П-4.5. Учешће студената у управљању универзитетом и факултетом је недовољно, иако су студенти, према принципима *Болоњске декларације*, партнери у реформи високог образовања. Учешће на појединим студентским пројектима студенти нису институционализовали, иако постоје бројни програми *Европске уније* који су намењени студентима. Размена студената и њихово кретање по образовном простору Европе је недовољно.

Питање 5: Квалификације: *Молимо опишите оквире и структуре образовања и стручног усавршавања, укључујући и системе за признавање неформалног и ванинституционалног учења (радно искуство, обука на радном месту, самостално учење итд.).*

Нови образовни и стручни оквир квалификација је у процесу развоја: 1. Тренутно се ради (Републички завод за статистику, Министарство рада и социјалне политике, Министарство економије и регионалног развоја, Министарство просвете) на иновирању номенклатуре занимања. 2. Ослањајући се на Стратегију развоја стручног образовања, Стратегију развоја образовања одраслих и Акционе планове за њихово спровођење, Законом о основама система образовања и васпитања, одређено је да Савет за стручно образовање и образовање одраслих између осталог, предлаже министру просвете Национални оквир квалификација за ниво средњег стручног образовања, стручног усавршавања и за друге облике стручног образовања, а припрему НОК-а обавља Центар за стручно образовање и образовање одраслих у оквиру Завода за унапређивање образовање и васпитања. ... 3. Текст националног оквира квалификација Србије за високо образовање (НОКС) је усвојио Национални савет за високо образовање 23. априла 2010. године којим су обухваћене квалификације у систему високог образовања Републике Србије, а полазећи од Закона о високом образовању и подзаконских аката. НОКС дефинише опште исходе учења, а студијским програмом се у оквиру система високог образовања утерђују знања, вештине и компетенције, примерене образовно-научном пољу и области којој програм припада.

... Преглед нивоа квалификација у тренутно важећој номенклатури занимања :

Табела 8. Квалификације према номенклатури [13]

Нивои квалификација
Висока – VIII ниво
Висока – VII ниво, са два поднивоа
Виша – VI степен ниво, са два поднивоа
Специјалистичка средња – V степен ниво
Средња – IV ниво
Нижа средња – III ниво
Полуквалификовани – II ниво
Неквалификовани – I ниво

... У хоризонталном смислу, занимања су сврстана у једно од 19 подручја рада као што су: машинство и обрада метала, електротехника, геодезија и грађевина, здравство и социјална заштита, саобраћај, текстилство и кожарство, пољопривреда, производња и прерада хране и т.д. а у оквиру свакога постоји више различитих група занимања. ... Укупан број занимања садржаних у важећој номенклатури је 3272. ... VII и VIII ниво стиче се високим образовањем. Нацрт НОКС усвојио је Национални савет за високо образовање после обављених консултација са заинтересованим странама. Документ се заснива на прописима Републике Србије, као и документима који се односе на европски образовни простор, посебно Препоруке са Европски оквир квалификација за учење током читавог живота. Најзначајнији чинилац овог оквира су три циклуса успостављена Болоњским процесом. Развијени су одговарајући дескриптори у складу са ова три циклуса.

... За основне и дипломске академске студије задовољени су следећи дескриптори исхода учења:

Табела 9. Упоредни преглед дескриптора за основне и дипломске академске студије [13]

Основне академске студије ВА-1а	Дипломске академске студије ВА-2а
Показао знање у области студирања које се заснива на претходном образовању и које је на нивоу који омогућава коришћење стручне литературе, али истовремено обухвата аспекте који се ослањају на кључна знања његовог поља студирања.	Показао знање и разумевање у области студирања, које допуњује знање стечено на основним академским студијама и представља основу за развијање критичког мишљења и примену знања.
У стању да примени своје знање и разумевање на начин који указује на професионални приступ послу или звању и који има способности које се најчешће исказују смишљањем и одбраном аргумената и решавањем проблема унутар поља студирања.	У стању да примени знање у решавању проблема у новом или непознатом окружењу у ширим или мулти-дисциплинарним областима унутар образовно-научног односно образовно-уметничког поља студија.
Има способност да прикупља и тумачи потребне податке. Има способност размишљања о релевантним друштвеним, научним или етичким питањима	Има способност да интегрише знање, решава сложене проблеме и да расуђује на основу доступних информација које садрже промишљања о друштвеним и етичким одговорностима повезаним са применом знања и судова.
У стању да о свом раду и резултатима рада обавештава стручну и широј јавност.	У стању да на јасан и недвосмислени начин пренесе знање и начин закључивања стручној и широј јавности.
Развио способности које су неопходне за наставак студија.	Поседује способност да настави студије на начин који ће самостално изабрати.

... Систем за признавање неформалног или информалног учења још није установљен. ... Квалификације стечене учењем ван званичних институција образовања, радним или животним искуством вреднују се, преваходно, у организацијама са приватним оснивачким улогом. ...

... Институције формалног система образовања, пре свега средње стручне школе, проблем неразвијеног система валидације неформалног образовања преко пилот програма за различите обуке. Постоје дефинисане процедуре за развој, реализацију и валидацију ових програма у школама – они су препознати и сертификати су јавно важећи. ...

... Планира се да начин признавања неформалног и ванинституционалног учења буде регулисан законом о образовању одраслих. ...

ЗАКЉУЧЦИ, ПРЕПОРУКЕ И АКЦИЈЕ:

- П-5.1. У *Књизи предмета* као документу за процес акредитације за многе предмете нису добро дефинисани исходи учења. Узрок томе је лоша координација процеса реформе од стране ректорских и деканских колегијума.
- П-5.2. Дескриптори из табеле 9 нису довољно познати студентима и наставницима због закаснелих дефиниција и усвајања. Иначе, они су познати и добро дефинисани у земљама Европе са успешном реформом високог образовања.
- П-5.3. Наши студенти су прецењени дескрипторима за основне академске студије (табела 9). Главни разлог томе је оријентисаност студената ка репродуковању познатог, али и због лошег односа теоријских, методолошких и апликативних предмета у студијским програмима.
- П-5.4. Студенти не бирају изборне предмете према исходима учења, већ према неким другим критеријумима. Опредељење студената за изборне предмете мора да буде сваког семестра (никако само на почетку школске године!), пошто семестар представља временску јединицу за праћење прогреса студената кроз студије.
- П-5.5. На предавањима се не повезују лекције и наставне дисциплине са исходима учења предмета. Због тога је кампањски приступ студената у испуњавању предиспитних активности.
- П-5.6. Студенти немају визију запошљавања јер касни израда важног документа *Национални оквир квалификација*.

... „Размотриће се потреба за изменом и допуном прописа из области високог образовања и уколико буде потребно приступиће се изради доношењу одговарајућих прописа.“ ... До пуног усвајања новог оквира важи досадашње решење -квалификације и занимања су организоване у јединствен систем под називом Национална номенклатура занимања у којој су сврстани на један од осам нивоа у зависности од категорије сложености послова. ...

Питање 6: *Молимо наведите податке о постојећим мерама за интегрисање младих на тржиште рада или у систем високог образовања или стручног усавршавања и обуке (VET), укључујући ту и образовно и стручно усмеравање.*

... Активности које се односе на професионално усмеравање и укључивање младих у свет рада реализује Национална служба за запошљавање (НСЗ), а Министарство Омладине и спорта се бави развијањем каријерног вођења. ...

... Активне мере (програми) које су доступне у оквиру пројеката су: обука у институцији, обука на радном месту, обука код послодавца, субвенција доприноса, пробни рад, самозапошљавање, као и субвенције за запошљавање особа са инвалидитетом. ...

... МОС је основао Центар за каријерно вођење и саветовање младих талената при Фонду за младе таленте Министарства омладине и спорта. ...

... У области високог образовања се у протеклих неколико година знатна пажња посвећује лакшем уласку младих са стеченим високим образовањем на тржиште рада. Готово сви реформисани студијски програми струковних студија (90%) садрже стручну праксу која се обавља у различитим институцијама и предузећима. Део академских студијских програма такође садржи обавезну студентску праксу: највећи број студијских програма из техничко-технолошких наука као и студијски програми из области образовања. ...

... Организацију стручне праксе спроводе саме високошколске установе, Центри за развој каријере формиран на универзитетима или студентске организације (ИАСТ-техничке и природне науке, ЕЕСТЕЦ-економске науке, ИАСС-пољопривредне науке). ...

... Центри за каријерно вођење и саветовање се оснивају и на високошколским установама. На нивоу високог образовања на четири државна универзитета су основани центри за каријерно вођење, а таквих центара има и на неким факултетима. Слична је ситуација и на приватним универзитетима и факултетима. ... Дакле, улога ових центара за развој каријере није да посредују у запошљавању, већ да пружају релевантне информације о могућностима запослења, док је на студентима да те могућности остваре у директном контакту са послодавцима.

ЗАКЉУЧЦИ, ПРЕПОРУКЕ И АКЦИЈЕ:

- П-6.1. Стручна паркса факултета је лоше организована у производним предузећима. Све је мање индустрија у којима ученици и студенти могу да стекну вештине и практична знања.
- П-6.2. Морају да се правно дефинишу уговори између факултета и индустрије која за успешно вођену стручну праксу мора да добије одговарајућа финансијска средства од Владе.
- П-6.3. Центри за професионални тренинг у индустрији и производним предузећима су решење које је корисно и универзитету (стручна пракса студената на одговарајућим радним местима у центру), али и индустрији (иновација знања у комуникацији са лабораторијама универзитета). При томе би се користила документација, опрема и информациони систем са реалном базом података индустрије [21].

Питање 7: *Молимо вас да наведете податке о прелазу из школе на посао и о улози социјалних партнера и предузећа.*

... Прелазак од школе ка раду одвија се у Србији недовољно брзо и уз неадекватну системску подршку младим људима. Не постоје развијени и системски подржавани процеси и организационе структуре које подржавају бржи прелазак од школе до радног места. ...

... Током 2009. године, по први пут је спроведена анкета о уласку младих на тржиште рада, заједно са редовном Анкетом о радној снази. ... Анкета је показала да је око 40 % младих чекало на први посао више од две године, са друге стране око 30 % младих успело је да посао пронађе у првих 6 месеци након дипломирања. ... Због слабих изгледа за запошљавањем млади људи у Србији дуже задржавају у процесу образовања него њихови вршњаци у ЕУ (већина младих људи у добу 20 – 24 године још увек били у процесу образовања). ...

Табела 10. Просечна дужина чекања на посао [13, 24]

Април, 2009. г.	Просечна дужина чекања на први посао [месеци]			
	Узраст	Нивои образовања	Основно образовање	Средње образовање
15 – 19 година	8,6	17,5	5,7	---
20 – 24 године	28,5	42,4	28,0	5,3
25 – 29 година	47,5	72,2	57,1	10,1

... Водећу улогу у процесу преласка из школе у посао у Србији има Национална служба за запошљавање - НСЗ. ... Унапређење у овој области уследиће током 2011 године као резултат ступања на снагу Стратегије каријерног вођења и саветовања која је усвојена 2010. године. ...

ЗАКЉУЧЦИ, ПРЕПОРУКЕ И АКЦИЈЕ:

- П-7.1. Лош је увид у дефицитарна занимања и квалификације без *Европског* и *Националног оквира квалификација*. Оба ова документа треба повезати са исходима учења и дескрипторима студијских програма.
- П-7.2. Не постоје дефинисани стратешки развоји региона и локалних управа. Градови Србије заостају, између осталог и због одлива младих који се више не враћају и који прекидају све комуникације са школама и факултетима.
- П-7.3. Центри за професионални тренинг при водећим индустријама би спречили или умањили последице поменутог проблема.
- П-7.4. Време чекања на први посао за дипломиране експерте универзитета је тешко да се одреди. То треба да раде *Алумни асоцијације* школа, факултета и универзитета [22, 25-26].

Питање 8. *Млади који напуштају образовање или обуку без формално признатих квалификација: Који је њихов број и проценат? Које су мере предузете, као друга шансе, како би се обезбедили алтернативни начини за стицање квалификација?*

... Република Србија се суочава са проблемом раног напуштања система образовања, младих старости 15-18 година, што за последицу има да око 15,8 % становништва ове групације није обухваћено средњим образовањем, тј. нема формално признату квалификацију. ...

... Напуштање школе, средње образовање, почетак и крај шк. 2006/07, 2007/08, 2008/09 године, према трајању образовања је:

Табела 11. Напуштање школа средњег образовања [13]

Напуштање школе у %	2006/07. г.	2007/08. г.	2008/09. г.
Четворогодишње школе	2,6 %	2,5 %	2,3 %
Трогодишње школе	8,0 %	8,2 %	7,8 %

... Да би се појава осипања ученика умањила, нарочито у трогодишњем образовању, држава је новом законском регулативом предузела неколико системских мера: бесплатно ванредно школовање, повећање програмске образовне понуде и креирање програма, прилагођавање програма индивидуалним потребама младих, подизање нивоа компетентности наставника у стручном образовању, унапређивање законске регулативе у делу уписне политике. ...

... Србија се суочава и са проблемом пролазности, понављања и напуштања система образовања и на основношколском нивоу ...

... Пролазност, понављање и напуштање основне школе (drop-out) пре завршетка основног образовања, почетак и крај школске 2008/09 године је:

Табела 12. Пролазност, понављање и напуштање основних школа [13]

2008/09. година	I – IV разред	V – VIII разред	I – VIII разред
Пролазност у %	99,10 %	97,90 %	98,50 %
Понављање у %	0,50 %	1,10 %	0,80 %
Напуштање у %	0,45 %	1,05 %	0,70 %

ЗАКЉУЧЦИ, ПРЕПОРУКЕ И АКЦИЈЕ:

П-8.1. Пролазност, понављање и напуштање учења или студирања могу да се прате једино интегрисаним информационо-комуникационим системом универзитета и школа са јединственом и увек актуелном базом података.

П-8.2. Повратном спрегом се враћају информације нижем нивоу образовања ради корекције наставних планова и програма, као и ради праћења квалитета наставе.

Питање 9. *Да ли бисте били заинтересовани да учествујете у структурама утврђеним у оквиру Отвореног метода координације?*

... Изузетно смо заинтересовани за учешће у структурама успостављеним у оквиру Отвореног метода координације (ОМК). ...

Питање 10. *Статус образовних институција: Опишите процедуре за успостављање образовних институција. Који орган надзире оснивање и функционисање образовних институција? Да ли постоје различити статуси образовних институција (нпр. приватно, државно, приватно лице за контролу итд.)?*

... Образовне установе имају једнак статус, без обзира на облик својине. ...

... Државне установе предшколског и основног образовања оснивају се у складу са актом о мрежи установа који се доноси се на локалном нивоу, на основу критеријума које је прописала Влада. ...

... Државне установе средњег образовања оснивају се у складу са актом о мрежи средњих школа који се доноси на централном нивоу, односно на нивоу аутономне покрајине. ... Приватне установе не подлежу акту о мрежи те не морају поштовати ове критеријуме. ...

... Процедура за оснивање установа високог образовања је другачија. Ове установе оснивају се као самосталне високошколске установе или као високошколске јединице у саставу самосталних високошколских установа. Самосталне високошколске установе јесу: универзитет, висока школа, академија струковних студија и висока школа струковних студија. ...

... Високошколска установа може обављати делатност по добијању дозволе за рад, коју издаје Министарство просвете. ... Комисија за акредитацију и проверу квалитета утврђује да ли су испуњени стандарди, а посебно у погледу садржаја, квалитета, обима студијских програма, броја и квалификација наставника, другог особља, простора и опреме. По извештају Комисије, Министарство издаје дозволу за рад високошколске установе, након чега се установа уписује у судски регистар. ... Оснивање и рад свих установа високог образовања, прати Министарство просвете, надлежни орган аутономне покрајине, као и Комисија за акредитацију и проверу квалитета и Национални савет за високо образовање.

ЗАКЉУЧЦИ, ПРЕПОРУКЕ И АКЦИЈЕ:

П-10.1. Потребно је да се успостави временски циклус акредитација институција високог образовања. Интегрисани информационо-комуникациони систем са базом података треба да обезбеди целокупну документацију за циклусне акредитације између којих се перманентно прати квалитет наставе и истраживања.

Питање 11. *Општи механизми за надзор и оцењивање образовног система: Да ли већ постоје или да ли су у процесу спровођења механизми за надзор и оцену образовних установа? Шта они испитују? Колико су независни од министарстава Владе?*

... Механизми за праћење и оцену урађени су у систем образовања и васпитања, и за сада нису независни од Министарства. Надзор може бити стручно–педагошки и управни, односно инспекцијски, као и интерни (унутрашњи) који врши сама установа и екстерни (спољни) који врше овлашћени органи. ...

... Систем обезбеђивања квалитета **високошколских установа** се базира на самовредновању установа и студијских програма који се у њима изводе. Циклична провера квалитета високошколских установа се врши кроз спољашњу проверу квалитета сваких пет година, и процес акредитације који установама и студијским програмима обезбеђује дозволу за рад, а на основу јавно публикованих стандарда који су у складу са ESG. Одговорност за унапређење квалитета је обавеза саме високошколске установе а за спровођење поступака контроле квалитета и акредитације је у надлежности Националног савета за високо образовање и Комисије за акредитацију и проверу квалитета. ...

ЗАКЉУЧЦИ, ПРЕПОРУКЕ И АКЦИЈЕ:

П-11.1. *Комисија за акредитацију и проверу квалитета Србије тренутно има статус кандидата за пријем у чланство Европске мреже акредитационих комисија ENQA (European Network for Quality Assurance in Higher Education). Ово ће омогућити унапређење спецификација стандарда квалитета за домаће институције у образовању.*

Питање 12. Средства за прикупљање и обраду статистичких података: Опишите средства за прикупљање података и врсту сакупљених података. Опишите различите нивое на којима се такви подаци прикупљају и обрађују. Да ли постоје статистички подаци о судбини оних који напуштају школу, стручну обуку и усавршавање и о дипломцима високошколских установа? Постоје ли статистике о конкретним показатељима за побољшање образовања и система обуке (особе које рано напуштају школу, број дипломираних студената и биланс по полу у математици, природним наукама и технологији, број ученика који заврше средњу школу, основне вештине, учешће у континуираном образовању и стручном усавршавању).

... **Републички завод за статистику**, са својим регионалним одељењима и Градски завод за статистику и информатику, са седиштем у Београду, задужени су за послове прикупљања, обраде, анализе, дисеминације и публикавања статистичких података о образовном систему у Републици Србији. ...

... **Министарство просвете** такође има своју базу података, за коју на почетку сваке школске године прикупља податке, и то на два начина ...

... На већини **универзитета** постоје информациони системи који садрже све релевантне податке за све факултете из састава универзитета, као што су број студената уписаних на све године студија и све студијске програме, дато по начину финансирања (буџет, самофинансирање), број први пут уписаних, број поноваца, број дипломираних, број магистара, специјалиста, доктора укупно ипо школским годинама. Такође се воде подаци о просторним капацитетима факултета, техничкој опремљености и запосленима (наставно особље, стручноособље и ненаставно особље). ... На високим школама струковних студија нема систематског вођења података. ...

... Министарство просвете прикупља и обрађује податке путем јединственог информационог система, који је још увек непотпун. Податке из своје евиденције, у јединствени информациони систем просвете, основне и средње школе уносе саме. Тренутно се овај информациони систем налази у статусу ревизије и очекује се да ће исти бити свеобухватнији и да ће задовољити потребе за информацијама најразличитијих корисника - како самог Министарства и других државних органа, тако и локалне самоуправе и шире заједнице. ...

... Информациони систем високог образовања је такође у фази пројектовања. Он ће пратити ресурсе и образовне процесе на високошколским установама. У оквиру својих база ће садржати детаљне информације које прате студента од тренутка конкурсања на изабрану високошколску установу, уписа, па до дипломирања, специјализације и докторирања. Базе ће се ажурирати на почетку и крају сваке школске године. ... Нема довољно прецизних и поузданих података о судбини оних који напусте школу, тј. нигде се систематски не прати **dropout rate**. ...

... Од осталих показатеља стања образовања у Србији наводимо следеће, који су расположиви у бази података Републичког завода за статистику, Министарства просвете, Завода за вредновање квалитета образовања и васпитања и Завода за унапређивање образовања и васпитања. ...

ЗАКЉУЧЦИ, ПРЕПОРУКЕ И АКЦИЈЕ:

П-12.1. Успешна примена интегрисаног информационо-комуникационог система универзитета утицаће на ранг универзитета и на позицију на ранг листама Универзитета у Београду у Европи и свету. Данас се такав интегрисани информациони систем још увек не користи.

П-12.2. Прикупљање података за јединствену базу података универзитета треба да буде дефинисан пројектом интегрисаног информационо-комуникационог система универзитета.

Питање 18. Молимо опишите захтеве у вези са обавезним квалификацијама наставника и директора у школама на свим образовним нивоима.

... Квалификације за наставнике подразумевају : иницијално образовање наставника и стицање дозволе за рад / лицензирање наставника. ...

... Директори морају да испуњавају услове прописане за обављање послова васпитача, наставника и стручног сарадника установе, али и додатне услове - обуку и положен испит за директора установе и најмање десет година рада у предшколској установи на пословима васпитања и образовања после стеченог одговарајућег образовања. ... Испит за директора установе може да полаже и лице које није директор, ако испуњава услове за директора установе и има доказ о похађаном прописаном програму обуке. Лице које положи испит за директора стиче дозволу за рад директора (лиценца за директора). ... Ова додатна решења која се односе на стицање лиценце за директоре нису примењена у пракси до доношења правилника о условима полагања испита и потребним компетенцијама директора., који је у припреми. ...

Питање 22. Молимо опишите примену методе наставног плана и програма стручног усавршавања (VET) и високог образовања. Да ли су курсеви модулари? Какви договори постоје по питању преноса кредита?

... У **средњем стручном** образовању ученици стичу општа и стручна знања и способности за даље школовање, односно за рад. У средњим стручним школама стиче се: обука и стручно оспособљавање у трајању до једне године, образовање за рад у трајању од две године, средње трогодишње и четворогодишње образовање, специјалистичко и мајсторско образовање (након две године рада) у трајању од једне до две године. Средње стручне школе такође реализују програме преквалификација и доквалификација. ... Законом је дефинисан однос општег и стручног, односно минимум 40% општих и 55% стручних садржаја у четворогодишњим, односно минимум 30% општих и 65% стручних садржаја у трогодишњим програмима. ...

... Сваки студијски програм у **високом образовању** има дефинисане следеће елементе: назив и циљеве студијског програма; врсту студија и исход учења; стручни, академски назив титуле која се стиче након завршетка студијског програма; услове уписа на студијски програм; листу обавезних и изборних студијских подручја листу предмета са садржајем; начин извођења студија и потребно време за извођење појединих врста студија; бодовну вредност сваког предмета исказану у складу са европским системом преноса бодова (ЕСПБ); бодовну вредност завршног рада на основним, специјалистичким и мастер студијама, односно докторске дисертације, исказану ЕСПБ; предуслове за упис појединих предмета или групе предмета, одређеног модула; начин избора предмета из других студијских програма, као и услове за прелазак са других студијских програма у оквиру истих или сродних области студија. ...

... Циљеви студијског програма укључују постизање компетенција и академских вештина, као и методе њиховог стицања. Циљеви такође укључују развој креативних способности и овладавање специфичним практичним вештинама потребним за обављање професије. Студијским програмом се дефинишу исходи знања и које опште и предметно специфичне компетенције студенти стичу након завршетка студијског програма. ...

... Опис сваког појединачног предмета садржи назив, тип предмета, годину и семестар студија, број бодова, име наставника, очекиване исходе знања, предуслове за похађање предмета, садржај предмета, препоручену литературу, методе извођења наставе, начин провере знања. Сваки појединачни предмет у програму има одређен број бодова. ...

... Студијски програми у високом образовању имају модулари систем. Студијски програми свих нивоа студија имају изборне модуле, који зависе од обима, врсте и начина реализације студија. Студенти се за одговарајуће изборне модуле опредељују према сколоностима на почетку академске године. Сви студијски програми у различитом обиму сардје вежбе или практични рад студената. ...

... У студијским програмима је предвиђен начин преноса бодова, али на нивоу целокупног система високог образовања није у потпуности остварена мобилност студената. Систем ЕСПБ бодова у свим високошколским установама у високом образовању је у примени свега неколико година. Очекује се да ће у наредном периоду пренос бодова са једне у другу високошколску установу бити унапређен. ...

ЗАКЉУЧЦИ, ПРЕПОРУКЕ И АКЦИЈЕ:

П-22.1. Модули студијских програма често нису прецизно дефинисани у односу на скуп предмета који чине акредитовани студијски програм. У статутима многих факултета нису извршене измене према резултатима акредитације студијских програма.

П-22.2. Оптерећење студената по предметима и студијским програмима није прецизно дефинисано.

Питање 24. Утврђеним потребним/дефицитарним вештинама и одговорима образовног система и система стручног усавршавања и обуке (VET).

... Тек се сад приступа изради механизма за системску идентификацију потребних/недостајућих вештина кроз неколико пројеката које реализује Национална служба за запошљавање. Пројекти се ослањају на истраживање у неколико регија Србије да би се утврдили правци краткорочног кретања потреба на нивоу послова, образовне структуре и звања (занимања, квалификација). ... У недостатку овог приступа, а да се ипак одговори на потребе тржишта рада, користе се различити механизми које реализују Министарство економије и регионалног развоја преко Националне службе за запошљавање и Министарство просвете. ...

... У области високог образовања уочени су бројне вештине, потребне дипломцима у успешном укључивању у посао, а које нису обухваћене студијским програмима. Наводимо неке од њих: лидерске вештине, вештине доношења одлука, аналитичке вештине, организационе вештине, вештине рада под притиском, вештине рада у тиму, вештине пословне комуникације, вештина преговарања. .. Савладавање ових вештина студентима је организовано у бројним радионицама, семинарима и другим облицима неформалног учења при центрима за развој каријере и саветовање студената. ...

Питање 25. Прилагођавању образовања и обуке захтевима друштва заснованог на знању.

... Да би образовање постало снажан развојни ресурс, неопходан је континуиран рад на подизању образовног нивоа целокупне популације у Србији и повећању релевантности система образовања за потребе тржишта рада. ... У односу на ЕУ мерила, образовни ниво целокупне популације у Србији је низак, квалитет образовања се поправља али још не задовољава, веома мали проценат одраслих учествује у програмима доживотног учења а стопе раног напуштања школовања нарочито код вулнерабилних група су високе. ...

... У образовној структури радно активног становништва од 15 година и више, више од половине чине особе са средњим образовањем (Анкета о радној снази, април 2010. год). Око 30% особа узраста 18-24 године је рано прекинуло школовање и нису на обуци. ...

Табела 13. Образовни ниво становништва узраста 15 – 64 године [13]

	Укупно	Без школе	Нижњи ниво	Средњи ниво	Високи ниво
Број становништва	4.822.936	42.603	1.380.796	2.711.945	687.592
Процент	100 %	0,88 %	28,63 %	56,23 %	14,26 %

Питање 26. Промовисању осећаја за иницијативу и предузетништво као основних способности младих људи на различитим нивоима образовања.

... Инкубатор пословних технологија Техничког факултета у Београду је формиран као партнерство четири факултета Универзитета у Београду. ...

ЗАКЉУЧЦИ, ПРЕПОРУКЕ И АКЦИЈЕ:

П-26.1. *Инкубатор пословних технологија и Иновациони центар* треба да организују више пројеката које ће утицати директније на опоравак домаће индустрије и отварање *start-up* компанија. Потребна је стимулација индустрије да производи иновативне производе и да даје иновативне усугле.

Питање 27. Прилагођавање образовања и обуке индустријским и технолошким променама.

... Прилагођавање образовања и обука за индустријске и технолошке промене одвија се на свим образовним нивоима. ...

... На нивоу високог образовања приметни су сви горе поменути видови прилагођавања друштву знања и технолошким иновацијама. Међутим, пословни инкубатори су један специфичан инструмент прилагођавања који је присутан само на факултетима. Један од најуспешнијих примера је Пословно технолошки инкубатор техничких факултета Универзитета у Београду www.bitf.rs основан у партнерству са једном београдском општином са циљем да се обезбеди подршка младим људима у раној фази развоја њихових бизнис идеја и иновација. ...

ЗАКЉУЧЦИ, ПРЕПОРУКЕ И АКЦИЈЕ:

П-27.1. Треба да се ствара пословни амбијент у коме неће бити отпора индустријским, технолошким и пословним променама, као и променама у читавом друштву.

Питање 28. Преносу иновација и добре праксе у обуци у редовни систем образовања и пружање обуке.

... Трансфер иновација и добре праксе у редовни систем образовања и обуке је главни механизам развоја образовања у Србији. Правни оквир за системско увођење добрих иновативних решења обезбеђен је ступањем на снагу Закона о систему образовања и васпитања 2003 и 2009. ...

ЗАКЉУЧЦИ, ПРЕПОРУКЕ И АКЦИЈЕ:

П-28.1. Само правни оквир није довољан да се постигне наведени циљ. Потребно је коришћење добре праксе престижних универзитета, факултета и школа у успостављеној сарадњи.

П-28.2. Упоредивање са универзитетима и школама света (енгл: *benchmarking*) није наша уобичајена пракса. Будућим рангирањем универзитета и факултета бићемо приморани на овај начин унапређења укупног пословања.

П-28.3. Организованим припремама ученика за пријемне испите на вишим нивоима образовања сами негирамо успешност и кохерентност система образовања Србије. То не сме да буде додатна зарада у финансијски иначе потцењеном универзитету.

Питање 29. *Примена принципа доживотног учења на политику, системе и структуре образовања и стручног усавршавања.*

... Примена принципа доживотног учења представља једну од централних активности Министарства просвете последњих година. ... Стратегијом развоја образовања одраслих и Акционим плановима за њихово спровођење-усвојеним 2009.год., створени су битни предуслови за примену принципа доживотног учења у структуре општег и стручног образовања, а пре свега доступност система образовања и обуке свим категоријама одраслог становништва кроз успостављање институционалног и програмског плурализама у систему образовања. ...

Питање 30. *Интеграција стручног усавршавања у редовни систем образовања и везе између токова општег и стручног образовања.*

... Стручна обука је интегрисани део наставног плана и програма свих стручних образовних профила у свим подручјима рада. ... Реформом курикулума у стручном образовању уведен је модуларни курикулум, заснован на прописаним стручним компетенцијама и исходима учења. Овим је спроведен још један облик интеграције практичне и теоријске наставе и то на нивоу модула. Модули су дефинисани као интегрисани пакети учења општег, стручног и практичног са циљем стицања захтеваних компетенција, односно знања, вештина и професионалних ставова. ...

ЗАКЉУЧЦИ, ПРЕПОРУКЕ И АКЦИЈЕ:

П-30.1. Стручна обука није добро организована, између осталог и због колапса домаће индустрије. Студијски програми садрже више теоријских предмета и наставних дисциплина него практичних и апликативних.

Питање 39. *Каква је ваша процена нивоа интересовања и учешћа универзитета, научних радника и студената у земљи у могућностима које нуде програми Tempus and Erasmus Mundus?*

... **Tempus програм** је наишао на велико интересовање у Србији. Овај програм је у великој мери допринео реформи високог образовања у Србији. Сви државни универзитети су учествовали у Tempus пројектима и постоје индикације и о све већем интересовању приватних универзитета за овим пројектима....

... Реализација Tempus програма у Србији је отпочела 2000/2001. године (то је била Трећа фаза Tempus програма). Четврта фаза Tempus програма потврђује не само повећану заинтересованост, већ и апсорпциони капацитет институција из Србије, пошто не укључује само све универзитете, већ и одређени број високих школа које по први пут учествују у овом програму. ...

... У поређењу са осталим партнерским земљама, Србија има највећи број одобрених пројеката у Tempусу.

... **Erasmus Mundus програм** је до сада користило преко 500 студената и наставника и сарадника, што одсликава велику заинтересованост за учествовање у овом програму. ... До сада су за финансирање изабрана два мастер и један докторски програм са учешћем универзитета у Србији.

ЗАКЉУЧЦИ, ПРЕПОРУКЕ И АКЦИЈЕ:

П-39.1. Србија је и даље изнуђени учесник у *Tempus програму* Европске уније зато што није у наредној фази интеграције. Друге земље Европе нису више учеснице овог програма пошто су или кандидати или пуноправни чланови Европске уније (на пример, Бугарска и Румунија нису више учеснице у *Tempus програму*). Много је боље је да се користи финансирање програма вишег нивоа као и средства приступних фондова Европске уније.

П-39.2. Корисније је било за Србију да је раније постала кандидат за пуноправно чланство па да, уместо Tempus пројекте, користи пројекте Европске уније већег значаја. *Erasmus Mundus програм* можемо да користимо тек од 2009. године.

П-39.3. Закаснило је све веће интересовање приватних универзитета за *Tempus програм*. Највећи број одобрених Tempus пројеката за Србију данас није вредан индикатор када други не учествују.

3.2. Наука и истраживање (поглавље 25)

... Правне тековине ЕУ у Поглављу 25 – Наука и истраживање – као што стоји у наслову XIX Уговора о функционисању Европске Уније (УФЕУ) захтевају од држава чланица да предузму кораке и спроведу потребне активности да би се реализовао Европски истраживачки простор, као и да предузму неопходне мере да обезбеде примену оквирног програма истраживања. Тековине ЕУ у овом поглављу не захтевају преношење правила ЕУ у правни поредак државе. ... Истраживачка политика у ЕУ има за циљ да ојача научне и технолошке основе Уније стварањем Европског истраживачког простора (ЕИП) у коме се истраживачи,

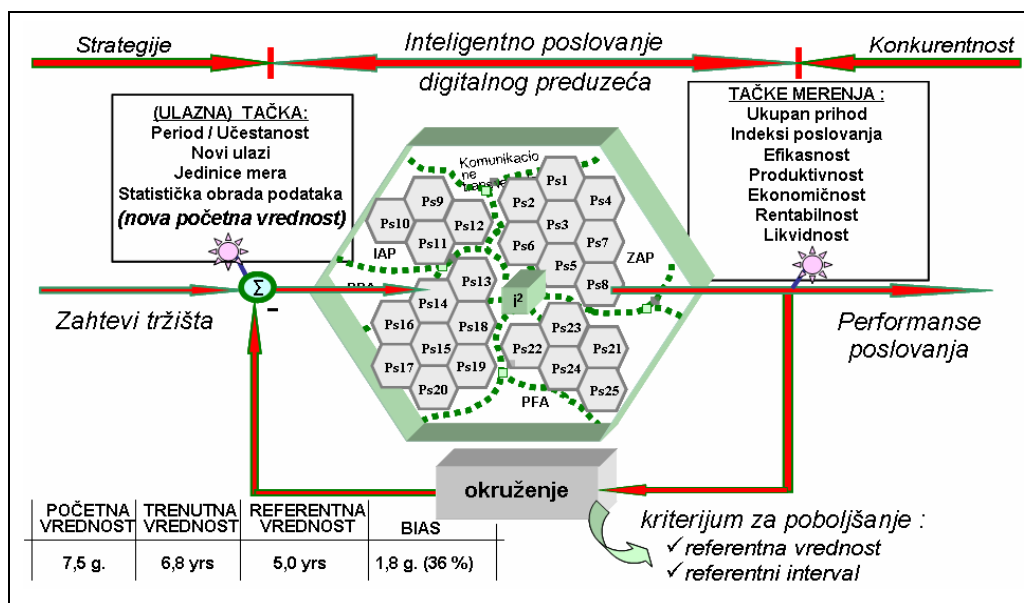
научна и технолошка сазнања слободно крећу и које подстичу конкурентност (укључујући ту и своје индустрије), промовишући све неопходне истраживачке активности, обавезно укључујући ту и мере које се заснивају на другим политикама ЕУ. На путу ка ЕИП-у важно је да земље кандидати у потпуности учествују у Оквирним програмима истраживања (FP). ...

Питање 1. Да ли имате државну стратегију истраживања? Када је усвојена и на ком нивоу? Која је била улога Скупштине у усвајању државне политике?

... Влада Републике Србије усвојила је 25. фебруара 2010. године Стратегију научног и технолошког развоја Републике Србије за период од 2010. до 2015. године (у даљем тексту: Стратегија). На основу члана 8. став 1 Закона о научноистраживачкој делатности ..., Влада доноси Стратегију у домену науке и технолошког развоја. Скупштински одбор за науку и технолошки развој имао је прилику да учествује у јавној расправи нацрта Стратегија, коначни документ је представљен свим посланицима у Скупштини. ...

ЗАКЉУЧЦИ, ПРЕПОРУКЕ И АКЦИЈЕ:

- П-1.1. У Србији не постоје програми истраживања који се финансирају, а који се односе на универзитетску наставу. У исту групу пројеката би били и пројекти који се односе на синергију универзитета и индустрије у заједничким развојним програмима.
- П.1.2. Синергија универзитета и индустрије је неопходна за развој будућег друштва заснованог на знању. На основу аналогија са интегрисаним системом квалитета производног предузећа интегрисаних технологија (слика 3) пројектован је интегрисани систем квалитета дигиталног универзитета [20].



Слика 3. Модел мерења перформанси пословања дигиталног предузећа

Питање 2. Да ли је државна стратегија дата на јавну расправу пре усвајања? Да ли су представници индустрије и друге приватне заинтересоване стране консултовани у вези са стратегијом?

... Јавна расправа нацрта Стратегије почела је 29. јуна 2009. године на скупу "На путу интеграције Србије у Европски истраживачки простор" коме је присуствовао европски комесар за науку господин, Јанез Поточник и трајала је све до краја октобра 2009. године. У току трајања јавне расправе организовани су скупови у универзитетским центрима у Србији, као и тематски састанци у Београду према научним дисциплинама. ... У изради Стратегије учествовао је и експертски тим УНЕСКО-а који је значајно допринео побољшању квалитета документа и усаглашавању са европским и светским стандардима. ...

Питање 3. Који су главни елементи политике (видети такође и питања под III о Европском истраживачком простору)?

... Два кључна елемента Стратегије су: фокус и партнерство. Фокус означава дефинисање националних приоритета у домену науке и технологије а кроз јачање партнерстава се у овим доменима постиже критична маса, већа присутност на међународној научној сцени и јаче повезивање са привредом. ... Поред дефинисања националних приоритета, препознат је и значај успостављања јачих партнерстава

унутар научне заједнице Србије, али и са међународном научном заједницом и међународним организацијама, са друштвом, привредом, дијаспором, као и другим министарствима. ...

... Стратегија предлаже динамику повећања инвестиција у науку и технологију од 0,2% БДП-а годишње, чиме би Србија 2015. година прешла 1% БДП-а улагања у науку. Поред буџетских улагања, планиране су инвестиције у научну и технолошку инфраструктуру у вредности од 400 милиона евра у периоду трајања Стратегије а у сарадњи са међународним финансијским институцијама. ...

Питање 7. Које је учешће основног система финансирања из буџета у односу на финансирање од стране државних извора за истраживачке институције?

... Систем финансирања заснива се углавном на буџетским средствима, 80-90%, а остали јавни извори финансирања чине 10-20%. ...

Питање 9. Како се одлучује о томе које ће научне теме или области бити финансиране? Како се одређују научни приоритети? Да ли имате приоритете по секторима? У којој мери се приоритети одређују узимајући у обзир ЕУ?

... У домену основних истраживања и технолошког развоја, истраживачима је остављена могућност да кандидују пројекте у свим научним дисциплинама и одабир пројеката се врши искључиво на основу унапред одређених критеријума који утврђују квалитет пројекта (оцена истраживачког тима, домаћа и инострана рецензија и оцена квалитетивних параметера од стране Матичног научног одбора и Стручног савета). ...

... У Програму суфинансирања интегралних и интердисциплинарних истраживања истраживачи су позвани да кандидују пројекте у оквиру седам националних приоритета у домену науке, и то као одговор на теме које су утврђене Програмом за циклус истраживања 2011-2014. године. ...

Питање 10. Да ли правила учешћа у оквирним програмима Уговора о функционисању Европске Уније имају икакав утицај на осмишљавање националних конкурентских инструмената финансирања која за циљ имају истраживачке институције?

... Правила учешћа у Оквирним програмима имају утицај на осмишљавање конкурентских националних инструмената финансирања, и у одређеној мери су укључена у Национални позив за пројекте који је објављен у 2010. години. ...

Питање 14. Како се промовише истраживачка сарадња унутар оквирног/их истраживачког/их програма ЕУ: да ли то ради Министарство? Које одељење? Да ли се за промотивне активности, или за део тих активности, ангажују канцеларије или агенције за промоцију и маркетинг?

... За промовисање активности унутар Оквирног програма Европске комисије задужен је Сектор за међународну сарадњу и европске интеграције Министарства за науку и технолошки развој. ... Партнери министарства у промотивним активностима су универзитети, односно факултети и институти, национална и регионална привредне коморе, агенције, Покрајински секретаријат и друге институције. ...

Питање 23. Опишите стратегију која доприноси циљевима дефинисаним у Лисабону и Барселони у погледу улагања у истраживање: да ли постоји акциони план о улагању у истраживање који за циљ има повећање улагања?

... У Стратегији научног и технолошког развоја Републике Србије предвиђен је раст буџетских издвајања за науку и технолошки развој у наредних пет година по годишњој стопи од 0,15% БДП-а. Овим темпом, буџетска издвајања ће 2015. године достићи 1,05%. У току је процес израде Акционог плана за имплементацију Стратегије. ...

Питање 28. Молимо наведите који проценат укупне радне снаге чине научни радници.

... Према подацима Републичког завода за статистику Србије, Статистички годишњак Србије 2010., број запослених у истраживању и развоју у 2009. години је 11 534 а укупан број запослених у Србији је 1.889.085. Према наведеним подацима научни радници чине 0,611% укупне радне снаге. ...

Питање 32. Да ли постоји акциони план да се повећа број научних радника у земљи?

... Израда Акционог плана Стратегије је у току и његовим завршетком ће бити тачно одређени пројекти усмерени на повећање броја истраживача. ...

Питање 35. Да ли постоји проблем кад је реч о одливу мозгова истраживача и научника из ваше земље? Постоје ли подаци о томе колико је српских истраживача у иностранству и где?

... Према последњем попису (2002), више од 400 000 грађана Србије налази се у страним земљама широм света. Преко 50% исељених је напустило земљу у периоду 1991-2002. Преко 6% од укупног броја је са

високом школском спремом (25.254). ... Будући трендови одласка научноистраживачког кадра из Србије ће првенствено зависити од потражње страних земаља за тим стручњацима, као и од брзине развоја националне економије и науке. ...

Питање 47. Да ли су српске истраживачке институције и инфраструктуре повезане са другим институцијама и инфраструктурама у региону и/или са инфраструктурама земаља чланица ЕУ?

... Српски истраживачки институти су повезани са регионалним и ЕУ кроз билатералне и мултилатералне (ФП6 и ФП7) програме, али програм инфраструктурног повезивања још увек не постоји. ...

Питање 48. Да ли су српске истраживачке институције и инфраструктуре отворене за научнике који нису из Србије? Који су услови приступа?

... Постојећа научна инфраструктура је доступна и научницима ван Србије по једнаким условима као и за научнике из Србије, уколико су страни научници део пројектног тима или конзорцијума који спроводи пројекат. ...

Питање 56. Да ли имате стратегију за међународну S&T (научно-технолошку) сарадњу (било самостално или укључену у општу S&T/стратегију глобализације)? Ако имате, опишите главне стубове те стратегије (нпр., како одлучујете о томе коју врсту истраживања да радите са ким? Које тематске и географске приоритете имате у међународној S&T сарадњи?

... Тематски приоритети међународне сарадње у потпуности се поклапају са националним, научним приоритетима, дефинисаним у Стратегији. ...

Питање 57. Која су главна средства за подршку/спровођење међународне S&T сарадње (нпр. отвореност државних истраживачких програма за стране учеснике, укључујући и финансирање страних учесника; посебни инструменти подршке; билатерални S&T дијалози/споразуми итд.)?

... У оквиру новог националног пројектног циклуса 2011-2014 отворена је могућност учешћа страних истраживача на националним пројектима. Ова врста сарадње је у евалуацији предлога пројеката посебно вреднована додатним бројем бодова оним тимовима који су укључили стране истраживаче у планирана истраживања. С друге стране, средства за активности страних истраживача су обезбеђена пројектним буџетом. ...

Питање 60. Шта Србија чини да стимулише иновације: како се стимулише индустрија да производи иновативне производе и услуге?

... Министарство је донело Закон о иновационој делатности ... којим је образован Фонд за иновациону делатност. ...

Питање 61. Да ли имате правила владиног деловања које поспешује коришћење иновативних производа и услуга? Да ли нудите помоћ код заштите резултата истраживања ИГР-ом или је помажете?

... Не постоји посебан програм Владе за поспешивање и коришћење иновативних производа и услуга. ...

Питање 62. Постоје ли мере да се олакша приступ тзв. ризичном капиталу?

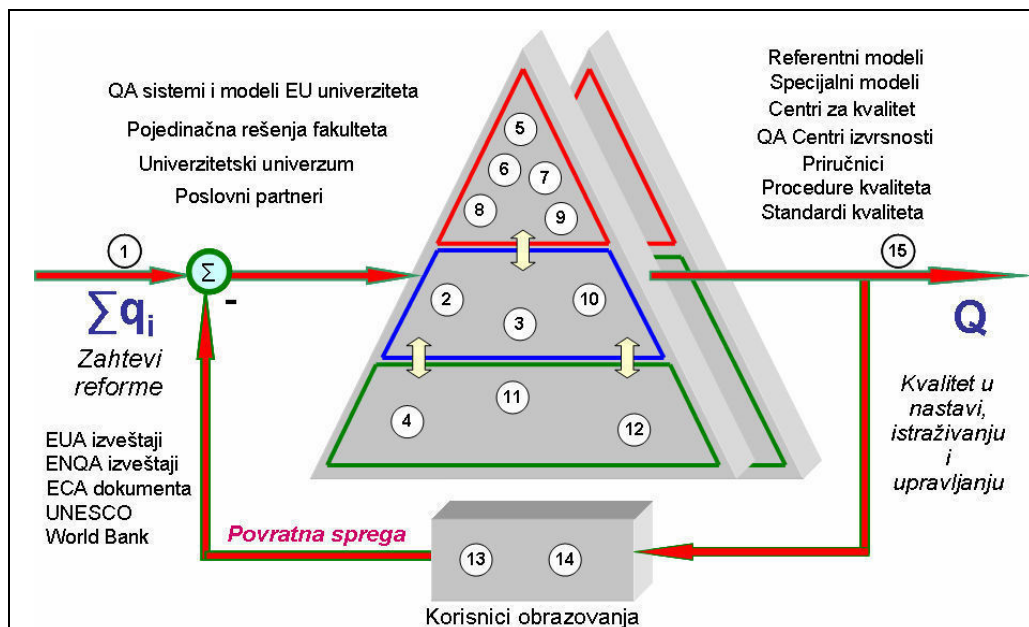
... Да би се подстакла активност развоја ризичног капитала, Министарство је основао Фонда за иновациону делатност који ће финансирати ране фазе развоја нових технологија у приватном сектору и подстицати учешће ризичног капитала у трансферу технологије. ...

4. ПРИМЕР СИНЕРГИЈЕ У САРАДЊИ УНИВЕРЗИТЕТА И ИНДУСТРИЈЕ

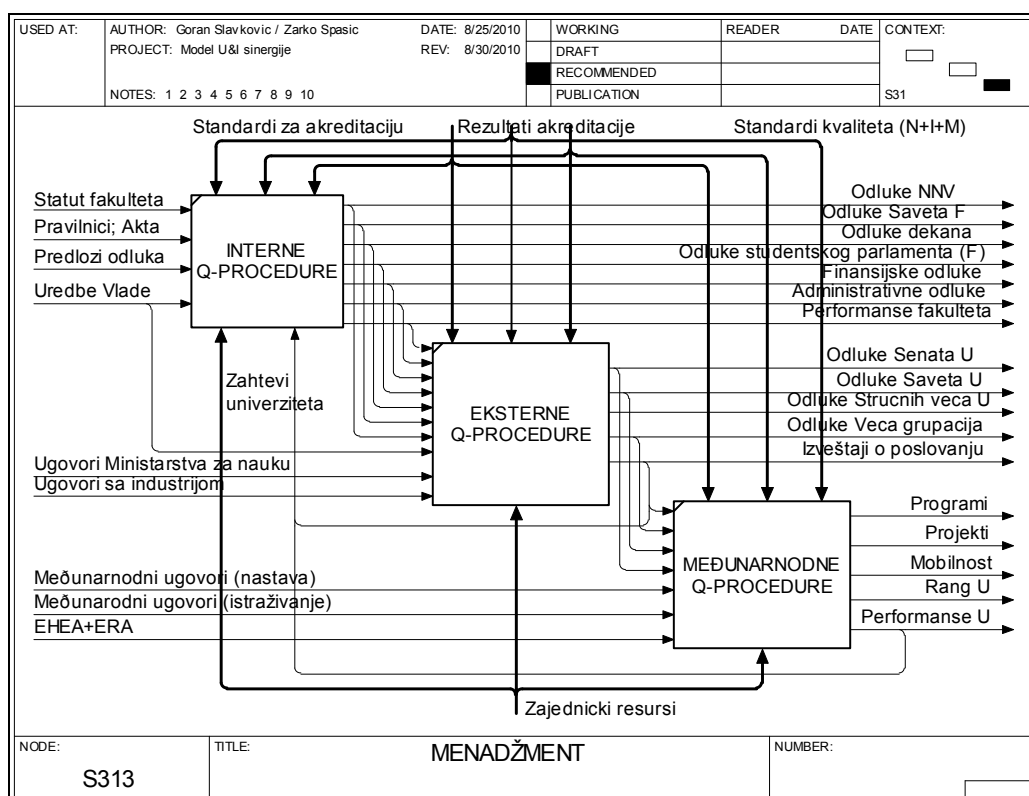
Интегрисани систем обезбеђивања квалитета за универзитете је мулти-објектни, динамички и комплексан систем са континуалним и постепеним побољшањем квалитета [20]. Остале карактеристике се односе на мулти-критеријумски проблем у координацији, крос-дисциплинарне експертизе, потпуну функционалну и информациону интеграцију универзитета, на пословне везе са корисницима образовања, на ишестепени процес одлучивања са дефинисаним циљевима, оптимизацију перформанси пословања упркос сталним изменама у окружењу, као и на координацију и хармонизацију комплексних циљева образовања и истраживања.

На основу специфицираних захтева и пројектовања за непосредну примену, дефинисано је петнаест подсистема (слика 4). То су: 1. Анализа система и модела обезбеђивања квалитета (QA – *Quality Assurance*) европских универзитета; 2. Референтни и специјални (парцијални и партикуларни) QA системи и модели; 3. Дефинисање индикатора квалитета интегрисаног система; 4. Пројектовање

интегрисане базе података/знања; 5. Евалуација студијских програма; 6. Евалуација академских институција; 7. Упитници и статистичка обрада података; 8. Акредитација и обезбеђивање квалитета; 9. Студентске активности; 10. Процедуре квалитета и спецификације стандарда (слика 5); 11. Центри изврности за обезбеђивање квалитета; 12. Комуникациона инфраструктура; 13. Алумни асоцијације за повратне информације о квалитету; 14. Образовно-пословно окружење универзитета; 15. Тестирање, модификација и примена интегрисаног информационог система.



Слика 4. Модел интегрисаног система квалитета дигиталног универзитета

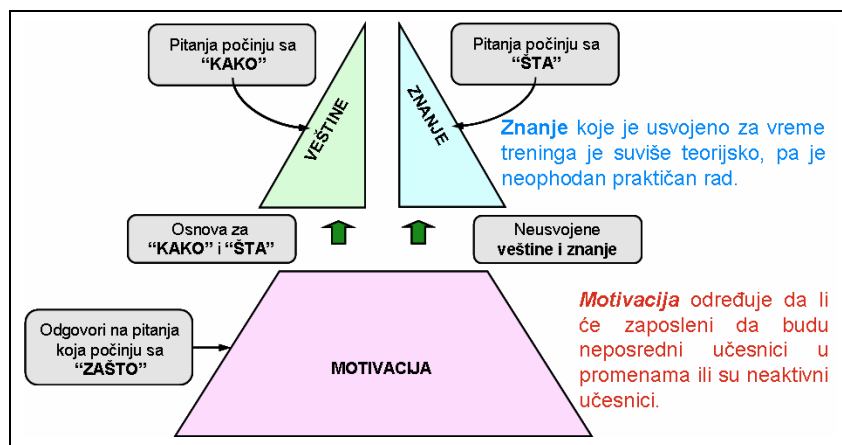


Слика 5. Интерне и екстерне процедуре квалитета у пословању универзитета

5. МЕНАЏМЕНТ ПРОМЕНАМА ЗА УНИВЕРЗИТЕТ И ИНДУСТРИЈУ

У реалним активностима савременог пословања и развоја *Универзитета* и *Индустрије* само су промене сталне (слика 7). За *Универзитет* је то реформа свих нивоа образовања (*Болоњски процес* за

високо образовање), док је за *Индустију* Србије то транзиција и власничка трансформација у условима примене високих информационо-комуникационих технологија. Основни циљеви промена подразумевају увећање користи од иновација и побољшања, унапређење информационе и комуникационе инфраструктуре, интеграцију нових подсистема и модула, примену нових софтверских решења, односно повећање верovatnoће успеха у пословању [27, 28].



Слика 6. Компоненте организационих промена

Познато је да код многих постоји страх од промена, или отпор да се измени постојећи начин студирања или постојећи начин рада. Пракса и корпоративна култура у пословању познају психологију промена, укључујући рационалне и емоционалне процесе који одређују понашање студената на универзитету и запослених у индустрији у спровођењу реформи и промена. Притисци захтевима за променама потичу са свих страна: глобализација у свету, реформа универзитета, конкуренција на тржишту, потреба за већим доприносом, унапређење квалитета производа и услуга и друго. Живети са променама и менаџмент променама је основна вештина потребна сваком студенту и сваком инжењеру.



Слика 7. Студенти и инжењери за друштво засновано на знању

Менаџмент променама подразумева и менаџмент ризицима. Кроз електронске процедуре квалитета неопходно је да се иновирају и побољшају старе процедуре и процеси спровођењем промена. Основно правило је да се не примењују стари пословни процеси у новим решењима. Развој савремених менаџера за будуће лидере и развој флексибилног лидерства у пословању је основа да се обезбеди пословни успех.

Организационе промене (слика 6) подразумевају стратешке промене, технолошке промене, структуралне промене и промене мотивисања и понашања студената и професора на универзитету, као и запослених у индустрији. Постављањем ефективне стратегије образовних и пословних комуникација треба да се премосте еви неспоразуми у разумевању бенефиција које доносе промене у образовању и пословању.

6. УМЕСТО ЗАКЉУЧКА

У очекивању кандидатуре и одређивања датума почетка преговора о пуноправном чланству Србије у *Европској унији*, од користи је свака детаљна анализа питања и одговора пратеће документације у овом важном интеграционом процесу. Нама предстоји огроман рад у прилагођавању многих области пословања стандардима *Европске уније*. Од посебног значаја за Србију су промене које се односе на *Универзитет и Индустрију*. Парцијални закључци са препорукама и предлозима могућих решења су дати после најважнијих питања из *Упитника Европске уније*. Остала питања су наведена у прилозима А и Б.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Спасић, Ж., *Европске интеграције – Судбина дезинтегрисане Србије*, Уводни рад, Зборник радова 32. Јупитер конференције, Машински факултет, Златибор, 2006. CD: TF6 –TF17.
- [2] Спасић, Ж., Пилиповић, М., *Могућности индустрије и универзитета Србије у евро-атланским интеграцијама – Тренутне алтернативе су европска перспективност или даља неизвесност*, Уводни рад, 33. Јупитер конференције, Машински факултет, Златибор, 2007. CD.
- [3] Спасић, Ж., *Универзитет и индустрија на предугом путу ка европским интеграцијама – Реалне дилеме и непотребне заблуде*, Уводни рад, 34. Јупитер конференције, Машински факултет, Београд, 2008. CD.
- [4] Спасић, Ж., *Систем образовања је основа за привредни развој Србије*, Уводни рад, Тематски форум, 35. Јупитер конференција, Машински факултет, Београд, 2009. CD: TF3 –TF18.
- [5] Спасић, Ж., *Едукациони аспекти за технолошки развој индустрије Србије према принципима европских интеграција*, Уводни рад, Тематски форум, 36. Јупитер конференција, Машински факултет, Београд, 2010. CD: TF3 –TF18.
- [6] Spasić, Ž., Nedeljković, M., Bošnjak, S., Obradović, A., *Interna evaluacija Univerziteta u Beogradu – Mašinski fakultet - SWOT analiza*; 000001, MF 01-01, Mašinski fakultet, Beograd, 2001.
- [7] Spasić, Ž., Nedeljković, M., Bošnjak, S., Obradović, A., *Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu - Misija na putu ka evropskim integracijama*, Monografija, Mašinski fakultet, Beograd, 2003.
- [8] http://ec.europa.eu/enlargement/enlargement_process/index_en.htm, European Commission Enlargement
- [9] <http://www.eurofound.europa.eu/areas/industrialrelations/dictionary/definitions/acquiscommunautaire.htm>, Eurofound
- [10] <http://en.euabc.com/word/12>, The Lisbon Treaty
- [11] Weidenfeld, W., Wessels, W., *Europa von A bis Z, Taschenbuch der europäischen Integration*, Europa Union Verlag GmbH, Bon, 2002.
- [12] Batt, J., *The EU's New Borderlands*, Centre for European Reform, London, 2003.
- [13] <http://www.seio.gov.rs/code/navigate.asp?Id=440>, Србија и ЕУ, Упитник Европске комисије
- [14] <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2008:115:0047:0199:EN:PDF>, (The Treaty of the Functioning of the European Union, consolidated version)
- [15] http://ec.europa.eu/education/focus/focus479_en.htm (From the Lisbon Strategy to „Europe 2020“).
- [16] http://ec.europa.eu/invest-in-research/coordination/coordination01_en.htm, Open Method of Coordination
- [17] http://www.coe.int/T/E/Cultural_Co-operation/education/Higher_education/, 2004. (Bologna Declaration 1999: *Joint Declaration of the European Ministers of Education*).
- [18] http://ec.europa.eu/education/pdf/doc125_en.pdf, The Copenhagen Declaration, 2002.
- [19] Budapest-Vienna, 2010: Statement to the Bologna Anniversary Ministerial Conference, Education International, 2010. EI_Declaration_2010BolognaAnniversaryConference.pdf. Adobe Acrobat Pro.
- [20] Spasić, Ž., *Integrisani sistem kvaliteta digitalnog univerziteta*, Monografija, Mašinski fakultet, 2007.
- [21] Спасић, Ж., Пилиповић, М., *Едукациони аспекти и дисеминација резултата пројекта*, Студија МНТ-МФБ 14035.6-7/10, Пројект 14035, Машински факултет, 2010.
- [22] Spasić, Ž., *Kvalitet gimnazijskog obrazovanja – Alumni GimLes-2009*, Gimnazija Leskovac, Beograd, 2010.
- [23] Berlin Communiqué 2003: *"Realising the European Higher Education Area"*, European Higher Education Area, http://www.coe.int/T/E/Cultural_Co-operation/education/Higher_education/, 2004.
- [24] Крстић, Г., *Транзиција младих од школе до посла април-октоба*, MDG Achievement Fund. 2009.
- [25] *Alumni Fond Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu αMEβ*, Saopštenja I Kongresa "Savremeni zadaci mašinstva", Urednici: Spasić, Ž., Nedeljković, M., ISBN 86-7083-542-8, Mašinski fakultet, Beograd, 2005.

- [26] *Alumni Fond Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu aMEß*, Saopštenja II Kongresa "Integracija generacija mašinaca – INGEM '07", Urednici: Spasić, Ž., Nedeljković, M., Rosić, B., Mitrović, Č., ISBN 978-86-7083-612-9, Mašinski fakultet, Beograd, 2007.
- [27] Cisco: *Change Management – Best Practice*, White paper, 2008.
- [28] Gallopin, L., Caems, S., *Managing Organizational Change During SAR Implementation*, Galileo Press, Bonn-Boston, 2010.

Žarko Spasić, CANDIDACY AND NEGOTIATION FOR FULL MEMBERSHIP OF SERBIA IN EU: Correlation between Content of Questions and Answers in the EU Questionnaire and Synergetic Activities of the JUPITER-Association, Keynote paper.

Abstract: *After a too long way towards European integration, finally we can see lights at the end of the tunnel, after which our path will be certain, without dilemmas, and with no return. For too long we travel because we don't want to know that the technological progress of industry in each country just depend of the education system that should provide the creative experts of all profiles. Only creative engineers in an innovative business environment can contribute to the recovery of the Serbian industry from a state that does not satisfy the preconditions for European integration. Also, we know that reform of the Higher Education did not give expected results in the transformation of the education process according to the principles of the Bologna Declaration. We do not see that the transition and ownership transformation of the Serbian industry is slow and often unsuccessful. The paper starts from the principles of the Bologna Declaration and analysis of questions and answer of the Questionnaire of the European Union, expecting the date of negotiations for full membership of Serbia into the European Union. Then it will probably renowned University and may be recovered economy to jointly participate in education and research programs of the integrated Europe.*

Key Words: *Education, Research, EU Questionnaire, Digital University, Technological development, Digital Enterprise, European integrations.*

Прилог А: Остала питања Упитника (поглавље 26):

Питање 13. *Критеријумима за успостављање инфраструктуре: Покривености државне територије: Које променљиве се узимају у обзир када се успоставља образовна инфраструктура (густина насељености, географски критеријуми итд.)? Према којим критеријумима се успоставља инфраструктура за образовање деце припадника националних мањина?*

Питање 14. *Критеријуми за набавку опреме: Ко доноси одлуке када је реч о куповини опреме за школе и универзитете и на основу којих процедура? Да ли опрема укључује: приручнике, библиотеке, наставну опрему за предаваче, рачунарску и мултимедијалну опрему? Наведите информације за све врсте опреме и на свим образовним нивоима.*

Питање 15. *Молимо наведите информације и статистичке податке о употреби информационих технологија у образовању и обуци, укључујући и број ученика по рачунару и могућности учења на даљину итд.*

Питање 16. *Обезбеђивање смештаја за студенте/особе на стручној обуци који не живе код куће. Какви објекти за то постоје? Које услуге они обезбеђују? Да ли је предвиђено да се те институције развијају? Ако јесте, на који начин?*

Питање 17. *Да ли постоје посебне институције, на свим образовним нивоима, за особе са хендикепом у редовном систему образовања и у установама за стручно усавршавање и обуку (VET)?*

Питање 19. *Молимо опишите могућности за почетну и дугорочну обуку које су на располагању наставницима.*

Питање 20. *Децентрализација одлучивања о плановима и програмима: Који органи утврђују програме на свим образовним нивоима? Који степен аутономије имају образовне установе у односу на одређивање фонда часова за планове и програме и садржај тих часова?*

Питање 21. *Који је основни/обавезни део наставног плана и програма у основношколском и средњошколском образовању?*

Питање 23. *Настава званичних језика Европске уније: молимо опишите наставу предвиђену на различитим нивоима образовног система. Наведите доступне статистичке податке о броју младих особа или деце која уче различите језике.*

Питање 31. *Да ли постоје и које су националне стратегије које обухватају једно или више следећих поља: запошљавање младих и предузетништво, неформално образовање младих људи, креативност и културу, партиципацију младих, здравље/благостање младих људи, социјалну инклузију младих и омладинско волонтирање?*

Питање 32. *Која институција је задужена за свеобухватну координацију омладинске политике у вашој земљи? Међусекторска сарадња између различитих министарстава у области омладинске политике је веома значајан аспект политике према младима ЕУ. Молимо вас поткрепите информацијама, на који начин је међусекторска сарадња обезбеђена.*

Питање 33. *Да ли сте заинтересовани за учешће у механизмима који су створени у оквиру омладинског Отвореног метода координације?*

Питање 34. *Образовање деце држављана ЕУ: молимо пружите информацију о процењеном броју држављана ЕУ који раде у вашој земљи и који имају децу која тамо бораве у узрасту када је по законима Србије обавезно похађање наставе. Молимо наведите да ли постоје посебне одредбе о образовању ове деце (као што су бесплатни курсеви српског језика) и из којих држава она углавном долазе.*

Питање 35. *Једнак приступ: опишите мере које гарантују једнак приступ образовању и обуци без обзира на пол, етничко порекло, религију или инвалидитет.*

Питање 36. *Школарине и остали услови приступа високошколским установама (државним и приватним): како су они уређени? Да ли се они различити за грађане Србије и за странце?*

Питање 37. *Каква је ваша процена, на ком нивоу је интерес и учешће младих људи, омладинских радника и омладинских организације у вашој земљи, у могућностима које су им понуђене кроз програм Млади у акцији и (његов програм) Прозор Западног Балкана?*

Питање 38. *Да ли постоје национални програми за подршку организацијама младих и њихових активности? Ако је тако, молимо Вас да наведете податке о њиховој структури и менаџмент модалитетима.*

Питање 40. *Које службе одговарајућих министарстава су задужене/планира се да буду задужене за надзор различитих програма Заједнице? Каква је структура њиховог кадра/какав је кадровски план? Да ли ова министарства имају ревизорске службе?*

Питање 41. *Да ли сте упознати са било каквим неформалним партнерством између образовних институција у вашој земљи и пројеката подржаних у оквиру програма целоживотног учења? Да ли постоје било какви планови за подршку таквим партнерствима?*

Питање 42. *Који су, уколико их има, системи подршке у следећим областима: уметничком стваралаштву, иновативним пројектима у области културе, унапређивању стручности уметника и културних радника и сарадња у области културе са другим земљама?*

Питање 43. *Који су, уколико постоје, програми подршке у подручју књижевног стваралаштва и превођења?*

Питање 44. *Који су, уколико их има, системи подршке програмима из области културног наслеђа?*

Питање 45. *Који се законски режим примењује у одређивању цена књига? Постоје ли утврђени прописи о ценама?*

Питање 46. *Који се правни режим примењује за продају и кретање културних добара?*

Питање 47. *Који се правни режим примењује у очувању културног наслеђа?*

Питање 48. *Који се законски режим примењује за уступање права (ексклузивних или осталих) како би се искористили аспекти културног наслеђа (на пример дигитализација уметничких збирки)?*

Питање 49. *Који системи постоје у погледу статистистичких података који се односе на сектор културе?*

Питање 50. *Које сте мере предузели у погледу имплементације УНЕСКО-ве Конвенције о заштити и унапређењу разноликости културних израза (2005)?*

Питање 51. *Да ли сте усвојили циљеве Европске агенде за културу?*

Питање 52. *Да ли бисте били заинтересовани за учешће структура које су успостављене на основу Отворене методе координације?*

Питање 53. *Молимо Вас објасните предузете или планиране мере за промовисање програма Културе и подстицање учешћа културних радника у земљи?*

Питање 54. *Да ли постоје планови за обезбеђивање додатних финансијских средстава за успешне учеснике у пројектима?*

Питање 55. *На основу Лисабонског споразума, који је ступио на снагу 1.12.2009. године, ЕУ је додала нову компетенцију за спорт (члан 165. ТFEU). Имајући ово у виду, додајте информације из спорта које се односе на младе, укључујући организацију спорта у Србији и улогу коју спорт има са друштвеног (здравље, образовање и социјална инклузија) и економског аспекта.*

Прилог Б: Остала питања Упитника (поглавље 25):

- Питање 4.** Ко је на нивоу владе одговоран за стратегију (које министарство или која агенција)? Молимо опишите улогу и надлежност одговорног министарства/агенције? Како се управља сарадњом са другим министарствима/агенцијама или владиним телима и другим политикама у вези са истраживачком?
- Питање 5.** Како је организовано финансирање истраживања: за који период се планира буџет (годишње или за више година)?
- Питање 6.** Да ли има консултација пре усвајања буџета?
- Питање 8.** Како се државни фондови додељују: молимо наведите методе и критеријуме који се користе приликом расподеле фондова? Молимо детаљно опишите.
- Питање 11.** Како се врши процена истраживања које финансира држава? Како се бирају процењивачи? Да ли се примењује међусобна ревизија? Да ли се међународни процењивачи користе за међусобну ревизију?
- Питање 12.** Да ли се надгледа коришћење јавних средстава: да ли имате статистичке податке?
- Питање 13.** Да ли се коришћење државних средстава и спровођење одобрења контролише и како?
- Питање 15.** Колико често се организују Информативни дани и на ком нивоу?
- Питање 16.** Да ли имате посебне мере да поспешите истраживачку сарадњу са ЕУ партнерима?
- Питање 17.** Каква је структура Националних контактних центара и њихова веза са Министарством?
- Питање 18.** Објасните ваше законске прописе који регулишу опорезивање и увозне дажбине када је реч о фондовима ЕУ за истраживачки и технолошки развој.
- Питање 19.** Да ли је Србија укључена или да ли планира да се укључи у нуклеарно истраживање и како је оно организовано на нивоу државе: које министарство је одговорно за нуклеарно истраживање?
- Питање 20.** Да ли Србија има посебне програме и/или истраживачке институте за нуклеарно истраживање?
- Питање 21.** Да ли је Србија већ учествовала у истраживачким пројектима унутар оквирног програма Еуроатом?
- Питање 22.** Молимо наведите квантитативне информације за период 2005-2010, барем у погледу следећег:
- а) бруто домаћу потрошњу за истраживачко-технолошки развој (ИТР) - проценат бруто домаћег производа (БДП);
 - б) бруто потрошњу владе за истраживачко-технолошки развој (ИТР) - проценат бруто домаћег производа (БДП);
 - с) бруто потрошњу високог образовања за истраживачко-технолошки развој (ИТР) - проценат бруто домаћег производа (БДП);
 - д) бруто потрошњу предузећа за истраживачко-технолошки развој (ИТР) проценат бруто домаћег производа (БДП), проценат владиних бруто трошкова;
 - е) бруто страна улагања у истраживачко-технолошки развој (ИТР)
- Питање 24.** Како ће план бити спровођен и контролисан?
- Питање 25.** Да ли истраживачке институције, универзитети и индустрија сарађују? Да ли имате јавно-приватна партнерства? Да ли имате научне паркове?
- Питање 26.** Који су финансијски или други подстицаји за улагање у истраживање на државном/јавном и индустријском/приватном нивоу?
- Питање 27.** Колико су ефикасни ови подстицаји?
- Питање 29.** Молимо наведите квантитативне информације за период 2005-2010. у погледу следећег:
- кадар (јавни/приватни истраживачко-технолошки развој (ИТР));
 - високо образовање везано за истраживачко-технолошки развој (ИТР): број дипломаца, области, студената додипломских студија/постдипломаца.
- Питање 30.** Како обезбеђујете капацитет људских ресурса? Које мере ваша земља предузима да обезбеди довољан број квалификованих истраживача?
- Питање 31.** Да ли постоје било какве посебне мере за жене у науци?
- Питање 33.** Које се мере спроводе како би се млади људи привукли студијама наука?
- Питање 34.** Да ли је Србија именовала чланове Координационе групе за покретљивост и људске ресурсе и да ли учествује на њеним састанцима?
- Питање 36.** Каквим политикама влада приступа овом проблему? Да ли је лоцирана српска дијаспора?
- Питање 37.** Да ли постоје посебне мере подршке или субвенције како би се научници из иностранства привукли да се врате у Србију?

- Питање 38.** *Како су организовани програми континуиране обуке (нпр. организације које их спроводе, циљне групе, постојећи програми)?*
- Питање 39.** *Каква је процедура добијања виза за стране научнике?*
- Питање 40.** *Да ли наука у друштвеној димензији истраживачке политике којом управља Влада постоји административно и да ли има средства, на пример тако што је стављена у надлежност посебног одељења неког министарства?*
- Питање 41.** *Како обезбеђујете да доношење одлука буде научно засновано?*
- Питање 42.** *Да ли се у вашој земљи разматрају посебне мере како би се подигла свест о науци и побољшало разумевање науке у друштву?*
- Питање 43.** *Да ли постоје закони и правила који се односе на етичке стране учествовања у истраживању и његовом јавном финансирању, посебно у осетљивим областима као што су науке о животу, истраживање о здрављу, нанотехнологија или информационе технологије?*
- Питање 44.** *Како се гарантује поштовање етичких стандарда:*
- Питање 45.** *Да ли имате акциони план за науку у друштву?*
- Питање 46.** *Да ли су лоциране водеће научне институције и инфраструктуре у земљи?*
- Питање 49.** *Постоји ли државни план да се оснажи истраживачки капацитет?*
- Питање 50.** *Да ли је Србија именовала своје делегате у Европском стратешком форуму за истраживачку иницијативу (ESFRI) и да ли учествује на његовим састанцима?*
- Питање 51.** *Да ли ваша земља има посебне истраживачке програме и фондове за угал и челик?*
- Питање 52.** *Да ли ваша земља има посебне мере које се тичу истраживања хране, пољопривреде и биотехнологија и мера које обезбеђују адекватну употребу биотехнологија? Да ли постоји акциони план за биотехнологију?*
- Питање 53.** *Какве су политике, програми и буџети у области конверзије војног истраживачко-технолошког развоја?*
- Питање 54.** *Да ли ваша земља има или да ли планира циљане активности или посебне програме за подстицај конкурентности кроз индустријски развој на посебне теме као што је нпр. чисто небо? Иновативни лекови? Енергетска ефикасност? Старење? Да ли постоје примери партнерства јавног и приватног сектора у области истраживања у вашој земљи?*
- Питање 55.** *Да ли ваша земља има било какав посебан интерес да учествује у иницијативама Члана 185 или иницијативама заједничких технологија које се тренутно примењују на нивоу ЕУ?*
- Питање 58.** *Какве мултилатералне делатности обављате (укључујући ту и чланство у релевантним међународним S&T институцијама)?*
- Питање 59.** *Да ли сте именовали делегата посматрача у Стратешком оквиру за међународну научно-технолошку сарадњу и да ли редовно присуствујете састанцима?*



V. D. Majstorović¹

OBRAZOVANJE PROIZVODNIH INŽENJERA – IZAZOVI SADAŠNOSTI

Rezime: Globalna ekonomska kriza je dovela do otpočinjanja procesa tranzicije proizvodnih organizacija i u najrazvijenijim zemljama Evrope, Dalekog Istoka i Severne Amerike. Osnovna težnja je da se smanje svi troškovi (proizvodni, neproizvodni), a cilj je da se razviju novi, inovativni proizvodi, kao i da se generišu nove usluge za kupce. Oni (inovativni proizvodi) zahtevaju složene tehnologije i procese, a posebno nova znanja i veštine, kao u oblasti inženjerstva, tako i u oblasti menadžmenta. Univerzitet ima ključnu ulogu u ovim procesima, zato što on u generisanju i prenošenju znanja mora da prati ove promene. Smatra se da će visoke tehnologije odigrati ključnu ulogu, ali će njihova difuzija zavisti isključivo od spremnosti (znanja) mladih inženjera da ih koriste. Rad daje analizu i sintezu strateških pravaca istraživanja i obrazovanja proizvodnih inženjera danas i u neposrednoj budućnosti.

Ključne reči: Proizvodno inženjerstvo, Obrazovanje, Istraživanje, Razvoj.

1. Uvodne napomene

Proizvodnja je od početka industrijske revolucije omogućila stvaranje potrošačkog društva, povećanjem bogastva i raznovrsnosti dobara, pre svega proizvoda a potom i usluga. Industrija je bila i ostala pokretač ovih aktivnosti, jer isključivo ona omogućuje povećanje životnog standarda i opšteg blagostanja, što je posebno vidljivo u razvijenim, kao i zemljama koje su u fazi intezivnog ekonomskog razvoja – tkz. BRIK zemlje. Međutim, u Srbiji su na sceni retrogradi procesi – industrija je uništena, a ništa se ne preduzima da se ona "oživi". Jedan od ključnih faktora, ako ne i najvažniji, za novo-industijski razvoj Srbije je obrazovanje inženjera, posebno proizvodnih inženjera. Zašto ? Zato što proizvodni inženjeri, projektuju, planiraju, proizvode, kontrolišu, montiraju i ispituju, mašine koje proizvode druge mašine – "mašine alatke", kao i planiraju tehnologiju, proizvode i kontrolišu proizvodnju drugih inženjerskih proizvoda (automobile, avione, motore, brodove, ...). Dakle, oni čine bazu celokupne industrije, a ne samo industrije prerade metala, kako se to kod nas često misli.

Podaci za EU, koji se odnose na 2008. godinu, pokazuju da proizvodna delatnost daje 23.5% GDP-a, obuhvata 21% radnih mesta od ukupnog broja zaposlenih, ili u brojkama: 29.7 miliona zaposlenih ljudi u ovoj oblasti radi u 305.000 preduzeća, sa 20 i više zaposlenih. Međutim, ako se posmatra proizvodnja u širem smislu te reči, prema činjenicama u prethodnom pasusu, onda su podaci još značajniji: proizvodnja obuhvata više od 76% BDP, a više od 71% zaposlenih. Detaljne analize pokazuju vrlo slične podatke za SAD i Japan. Međutim, u razvijenim zemljama uočava se jedan trend – smanjenje broja zaposlenih, što predstavlja posledicu automatizaciju na bazi ICT tehnologija, uz istovremeno povećanje obima proizvodnje. U ovim procesima se uočava još jedan trend – proizvodnja se seli u BRIK zemlje, zbog jeftinije radne snage, a posebno u Aziju (Indija i Kina). Tako danas, a posebno u Velikoj Britaniji imamo izražene ove procese. Međutim u ovim procesima ima nekoliko problema, a najvažniji je know-how i njegov transfer iz razvijenih u zemlje u razvoju. Ove procese treba da izvede inženjerski kadar. Tako da u ovom trenutku na svetskoj industrijskoj sceni imamo procese inženjersko-tehnološko-proizvodne transformacije, zasnovane na sledećim paradigmama: (i) u razvijenim zemljama, pre svega u Velikoj Britaniji i SAD, proizvodni pogoni imaju većinom zastarelu tehnološku opremu, posebno u baznim industrijama, (ii) industrijska strategija razvijenih zemalja se zasniva na tome da proizvodnja u baznim industrijama se izmešta u zemlje sa jeftinom radnom snagom, i (iii) smatra se da usluge mogu da zamene/nadomeste proizvodnju.

¹ Prof. dr Vidosav D. Majstorović, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd.

Svi sektori ekonomije se suočavaju sa izazovima tehnološke revolucije a posebno industrija, koje se zasnivaju na proizvodnim tehnologijama. Činjenica je da neki segmenti ove industije bazirani na primeni hightech, ostvaruju velike profite. Drugi ih ne primenjuju, što će se sigurno odraziti na ove organizacije i njihovo poslovanje u budućnosti. ICT tehnologije su osnovni nosioci današnje tehnološke revolucije. Međutim, pozitivna strana ovih procesa je da su ICT tehnologije najviše primenjene u proizvodnom inženjerstvu, u odnosu na bilo koju drugu oblast. Ovi trendovi dovode do toga da proizvodno inženjerstvo prednjači u zahtevima za nove sisteme (mašine alatke, robote, merne mašine), koji generišu inovacije na proizvodima, od projektovanja, proizvodnje, kontrole i logistike. Evropa, odnosno EU, a posebno Nemačka, Francuska i Španija, primenjujući ICT tehnologije najviše doprinose menjanju svakog aspekta proizvodnje u Evropi.

Radno intenzivna proizvodnja se zasniva na niskoj ceni radne snage, ali proizvodnju proizvoda dodatne vrednosti daju visoke tehnologije. Oni takođe zahtevaju visoko stručnu radnu snagu, koja se ipak nalazi u visoko razvijenim zemljama. Uzmimo na primer automobilsku industriju, gde se ipak automobili najvišeg kvaliteta proizvode u Japanu, SAD i Nemačkoj, kao proizvodi novih-dodatnih vrednosti, gde rade visoko-stručni inženjeri. High-tech proizvodnja zahteva više specifičnih znanja i veština, po pravilu međusobno integrisanih, naprednu radnu i poslovnu kulturu, visoko kvalitetnu i preciznu proizvodnju (primena koncepta šest sigma – proizvodnja bez škarta). Dakle, uspeh u ovoj proizvodnji dolazi iz kontinualnog unapređenja i usavršavanja, ulaganja u nove proizvode, novi dizajn, nove materijale i nove proizvodne tehnologije, kao i inovativna inženjerska znanja.

Industrijska proizvodnja povećava bogastvo društva i donosi nova radna mesta. Ovi trendovi doprinose i razvoju uslužne delatnosti, a posebno kroz lanac snabdevanja. Usluge i proizvodnja su neraskidivo povezane, tako da visoko-automatizovana proizvodnja, znači više potreba za dodatnim uslugama, posebno u oblasti ICT tehnologijama. Inovacije i razvoj proizvoda intenzivno doprinose razvoju ovih procesa, kod kojih treba razvijati znanja i potencijale za praktične primene i razvoj inovativnih proizvoda dodatnih vrednosti.

Sve napred navedene činjenice trebaju da budu osnova za razvoj današnjeg modela obrazovanja proizvodnih inženjera, gde su inovacije pokretačka snaga, za sadašnju industriju a ne samo za high-tech industriju. Tako na primer u oblasti materijala, 70 % današnjih materijala koji se ugrađuju u automobil, pre deset godina nije ni postojalo. Ili na primer, brodogradnja gde je pre deset godina proizvodnja tankera i velikih kruzera iz Evrope i Amerike izmeštena na Daleki Istok, sada ponovno doživljava procvat na starim mestima, ali sada kroz proizvodnju glisera i jahti (inovativni proizvodi dodatne vrednosti, na bazi novih materijala i dizajna). Slični primeri se mogu navesti i u drugim oblastima.

Vodeće naučne, obrazovne i stručne institucije i organizacije Severne Amerike, Evrope i Dalekog Istoka su sredinom prve decenije dvadeset prvog veka, definisale platforme za razvoj proizvodnog inženjerstva: *Manufuture* i Inteligentni tehnološki sistemi (ITS). Osnovni elementi *Manufuture* platforme su: proizvodi i usluge sa novom dodatnom vrednošću, novi poslovni modeli, napredno proizvodno inženjerstvo, proizvodne tehnologije i granične nauke, obrazovanje inženjera. IMS platforma, sadrži slične elemente: održiva proizvodnja, industrijska integracija na bazi ICT-a, proizvodnja, interoperabilnost i standardi, proizvodne tehnologije i obrazovanje inženjera. Možemo konstatovati da je obrazovanje inženjera jedan od ključnih elementa u obe platforme. Ovaj rad podržavaju reference [1-35].

2. Promena koncepta proizvodnje

Od početka globalne ekonomske krize, industrija se kreće ka postindustrijskoj proizvodnji. Duboke transformacije se vrše, kako u društvu tako i u industriji. Početak dvadesetog veka, Heri Ford je svojim sistemom montažne trake, doprineo da se potvrdi da su nove tehnologije, bile i ostale jedan od ključnih faktora za uspeh u proizvodnji. Posle drugog svetskog rata, NC mašine su potpuno izmenile koncept proizvodnje, povećavajući joj fleksibilnost i produktivnost. Početak sedamdesetih godina je doneo mikočip, što je omogućilo pravljenje mini računara, koji je izazvao revoluciju u proizvodnoj automatizaciji. Kao rezultat toga, pojavila se nova vrsta mašina u obliku robota. Tako je stvorena fabrika kao fleksibilni automatizovani dinamički sistem, koji je do danas evoluirao u ITS. Tokom osamdesetih godina, kao što su kompjuterski dizajn i kompjutersko planiranje i upravljanje proizvodnjom, pojavili su softveri koji su postali paradigme softvera za proizvodnju. Paralelno sa ovim i operativni aspekt proizvodnje je doživeo evolutivnu transformaciju. Tokom poslednjih godina dvadesetog veka, zahvaljujući razvoju globalne računarske mreže, došlo je razvoja poslovanja preko interneta – Business-to-Business (B2B) koncepta, koji je obuhvatio i

inženjersko projektovanje i mašinsku tehnologiju. Današnju industrijsku proizvodnju karakterišu sledeće činjenice: *globalizacija, proizvodni lanci i mreže proizvodnje, digitalno poslovanje i inovacije.*

Globalizacija tržišta postoji već decenijama. U početku ona se karakterisala u pronalaženju tržišta širom sveta za svoje proizvode. U drugoj fazi ona se ogledala u razvoju off-shore proizvodnje, američki automobil se proizvodi i prodaje u Evropi. Najnovija faza globalizacije je razvijena zahvaljujući ICT tehnologijama – lanci proizvodnje i nabavke širom sveta. Ova faza globalizacije je dovela do toga da se proizvodnja seli u ekonomije sa malim nadnicama, gde je proizvodnja jeftinija. Vrstu proizvodnje koja je pogodna za off-shore proizvodnju, određuju dva osnovna faktora: troškovi i dodatne usluge. Troškovi obuhvataju direktne i indirektno troškove, troškove energije, kao i porezi. Cena odeće, na primer isključivo je definisana prirodom ovih troškova., jer ova industrija ima visok off-shore potencijal. Dodatne usluge uključuju dodatne faktore, kao što su: kvalitet, vremenski gubici, nesigurnost isporuke, orijentisanost kupcu, nivo znanja zaposlenih, itd. Detaljna analiza on (proizvodnja kod "kuće")/off shore i to jakih i slabih strana je prikazana u tabeli 1, koji jasno pokazuju prednosti i nedostatke oba koncepta.

Tabela 1. Jake strane on-shore i slabe strane off-shore biznisa

<u><i>Jake strane</i></u>	<u><i>Slabe strane</i></u>
<i>Uspostavljena vladavina zakona</i>	<i>Nedostatak zakona</i>
<i>Zaštita intelektualne svojine</i>	<i>Promena kursa nacionalne valute</i>
<i>Liderstvo u nauci</i>	<i>Politička nestabilnost</i>
<i>Finansijski sistem</i>	<i>Institucionalna birokratija</i>
<i>Kultura zajedničkih ulaganja</i>	<i>Nedovoljna zaštita intelektualne svojine</i>
<i>Obrazovana i fleksibilna radna snaga</i>	<i>Rizik za životnu sredinu</i>
<i>Dobra ekonomska / tehnička infrastruktura</i>	
<i>Veliko, konkurentno i sofisticirano tržište</i>	

Današnja proizvodnja akcente sa tehničko-tehnološkog prilaza povećanja produktivnosti, pomera u pravcu povećanja efikasnosti poslovnih procesa. Fokus je usmeren na *lanac snadbevanja i distribucije*, gde se istražuju mogućnosti za stvaranje dodatnih vrednosti za kupca, ali i na proizvodnju., tako da se stvara mreža ekonomija koja obuhvata: lanac nabavke, proizvodnju, lanac distribucije, korišćenje i održavanje i povlačenje iz upotrebe i reciklažu. Lanci nabavke i distribucije čine uslužno intezivne aktivnosti, proizvodnja intezivno koristi resurse, a poslednje dve aktivnosti (korišćenje i održavanje i povlačenje iz upotrebe) čine uslužno intezivne aktivnosti. Važno je napomenuti da je u osnovi svaka oblast intezivno podržana korišćenjem ICT tehnologija.

Odgovor proizvodnih kompanija na današnje dramatične promene poslovnog okruženja je usmeravanje na kvalitet, troškove i proizvodne tehnologije, radi postizanja konkurentne prednosti. Takođe se posebna pažnja usmerava i na lance snadbevanja, gde se događaju velike promene, korišćenjem koncepta digitalnog poslovanja. Lanci snadbevanja obuhvataju i istraživanja i optimizaciju procesa veza između organizacija (proizvođači, isporučiooci i distributeri), stvarajući *mreže ekonomija*. U ovom konceptu se stvara i prošireni lanac dodatnih vrednosti proizvoda, u koji su uključene i dodatne usluge iz lanca snadbevanja. Tako na primer, u 2009. godini, ukupan prihod u automobilskoj industriji se sastoji od: 26% proizvodnja, 29% isporučiooci, 45% usluge posle prodaje.

Digitalno poslovanje je postalo efikasan alat u borbi za ostvarivanje konkurentne prednosti. Savremena proizvodnja se zasniva na digitalnom modeliranju i prenosu podataka o proizvodu, digitalnoj proizvodnji i digitalnom upravljanju logistikom, stvarajući na taj način digitalni model fabrike. Digitalno poslovanje u lancima snabdevanja i mrežama ekonomije (digitalni model mreže ekonomije) se bazira na primeni naprednih ICT tehnologija u svakoj karici ovog modela, uz istovremeno smanjenje troškova i optimizaciju procesa, što dovodi do povećanja profita. Digitalno poslovanje integrišući internet i digitalni model fabrike (mreže ekonomije) vrši fundamentalnu transformaciju poslovnih procesa, strategija i tehnika. Tako dolazimo do poslovnog modela za upravljanje znanjem, koji drastično menja statični procedurama orjentisani poslovni model, u novi – dinamički poslovni model virtualne mreže ekonomija zasnovanog na znanju.

Inovacija je proces izvođenja promena na nečemu, uvođenjem onoga što je novo – čini njenu osnovnu definiciju. U ovom radu aspekt inovacija razmatramo za proizvodnju, gde se inovacije odnose na proizvod, proces ili uslugu. Inovacija u proizvodnji je najčešće primenjeni model kontinualnih unapređenja, kao što je koncept šest sigma ili primena standarda kvaliteta (ISO 9001). Međutim inovacija može da bude i radikalna promena na proizvodu, procesu ili usluzi. Tada se radi o primeni novih tehnologija, a inovacioni proces menja i resurse u proizvodnji, što znači da dolazi do promena na mašinama, procesima i specifikacijama proizvoda, a posebno u znanjima i nivoima organizacionih promena. Između proizvodnje i inovacija se vrši simbioza, na način da se vrši transformacija "porudžbina kupaca i sirovina u proizvode i usluge, korišćenjem raspoloživih resursa i specifikacija proizvoda". Inovacioni procesi u proizvodnji (obrada, kontrola, montaža), i inovacioni procesi u lancima snabdevanja su fundamentalno različiti. Inovacioni procesi obuhvataju merenja performansi, ideja i kreativnosti, projekata i menadžment projektnim portfoliom i timovima za inovacije. Inovacije usmerene na korišćenje visokih tehnologija, lakše se i brže realizuju u matičnim kompanijama u odnosu na off-shore organizacije u koje treba da se osim inovacije treba da se izvrši transformacija znanja zaposlenih. Inovacije i njihova primena je suština ekonomije zasnovane na znanju.

3. Uloga obrazovanja u digitalnoj proizvodnji

Sve napred navedene činjenice o digitalnom poslovanju se zasnivaju na ekspertskim inženjerskim znanjima, koja predstavljaju ključ za primenu novih tehnologija i postizanje konkurentne prednosti organizacija. Drugi ključni element kompanijskog znanja je menadžersko znanje, koje zajedno sa inženjerskim znanjem čini jednu celinu. Zbog svega toga postoji izuzetno velika potreba da se izgrade čvrste veze između industrije i Univerziteta.

Univerziteti mogu da urade inovacije na svojim obrazovnim programima a u skladu sa zahtevima industrije i digitalnog poslovanja. Međutim Univerzitet, a posebno u Srbiji, ne istražuju potrebe i zahteve industrije za obrazovanjem inženjera, tako da se ono po pravilu ne odražava stvarne potrebe industrije. Nove vrste znanja i veština koje se zahtevaju za digitalnu proizvodnju, čine organizaciju agilnijom u domenu intelektualnog kapitala, a inženjere sposobne za stalnu adaptaciju svog znanja. Sve više će digitalna proizvodnja zahtevati male fleksibilne (projektno/problemski orjentisane) timove inženjera sa multidisciplinarnim znanjima i veštinama u inženjerstvu i menadžmentu. Ovo će od Univerziteta zahtevati da i sam izgradi fleksibilne modele obrazovanja inženjera koji će pratiti nove zahteve digitalne proizvodnje. Ovo znači da Univerzitet mora da promeni obrazovnu strategiju i da od "predviđanja" obrazovnih potreba industrije na bazi razvoja nauke i tehnike, pređe na "obostrano korisne odnose sa industrijom", kako to zahteva koncept digitalne proizvodnje u realizaciji obrazovanja inženjera. Dalje širenje globalne ekonomije, kako u ravni tražnje (zahteva za proizvodima novih dodatnih vrednosti), tako i u ravni ponude (mreže ekonomija), zahteva i nove inženjerske kvalifikacije u različitim segmentima proizvodnje. Tako danas inženjer nije specijalista za različite oblasti projektovanja/planiranja/proizvodnje već sistem integrator koji za pojedine oblasti ima odgovarajuću dubinu znanja, potrebnu za vođenje projekta, korišćenjem ICT tehnologija.

3.1. Program obrazovanja za digitalnu proizvodnju

Danas postoji veliki broj strategija i programa obrazovanja proizvodnih inženjera u EU, pa čak i zajednički program na nivou EU, proistekao iz CIRP Projekta – e Prode. Svi ovi programi su proistekli iz unapred definisanih ključnih znanja i veština koje treba da ima proizvodni inženjer. Zajedničko za sve ove modele da su im osnove za njihovo projektovanje bili modeli obrazovanja za proizvodne inženjere sa ETH Cirih,

program – Lideri u proizvodnji sa MIT-a i Proizvodni lideri – program iz Kembriža. Sedam oblasti znanja, ključnih za obrazovanje proizvodnih inženjera su prikazani u tabeli 2.

Tabela 2. Ključne oblasti znanja za školovanje proizvodnih inženjera

<i>Oblast znanja</i>	<i>Opis</i>	<i>Ciljevi učenja</i>	<i>Razvijene veštine</i>
Razvoj proizvoda dodatnih vrednosti	Razvoj uz kombinovanje fizičkih i uslužnih karakteristika proizvoda radi unapređenja njegove markentiške pozicije	Naučiti studenta da razume šta je to – koncept proizvoda dodatnih vrednosti. Obučiti ga za korišćenjem alata za razvoj proizvoda. Obučiti studenta o poslovnim i uslužnim aspektima proizvoda.	Tehnološko poslovne
Digitalno poslovanje u lancu nabavke	Poslovni informacioni sistem za e-poslovanje uz korišćenje podržavajućih tehnologija, proširen sa poslovnim aktivnostima od projektovanja, preko proizvodnje, isporuke i servisiranja proizvoda, obuhvatajući na ovaj način i isporučiocne i kupce.	Naučiti studenta šta je koncept menadžmenta lancem nabavke. Dati studentu produbljena znanja o elektronskom poslovanju i primeni koncepta menadžmenta lancem nabavke.	Tehnološke
Životni ciklus proizvoda i povlačenje iz upotrebe	Razvoj i primena tehnika, metodologija i alata za podršku donošenju odluka o proizvodu u životnom veku i povlačenju iz upotrebe (popravka, zamena, reciklaža proizvoda, komponente, materijala) zasnovana na ekonomskim, socijalnim i kriterijumima zaštite životne sredine.	Upoznavanje studenata sa modernim ekološkim i tehnologijama reciklaže. Obuka studenata za donošenje odluka za isključenje proizvoda iz upotrebe i njegovu reciklažu sa aspekta tehnoloških, ekonomskih, poslovnih i humanističkih karakteristika.	Tehnološke Poslovne Humanističke
Poslovne operacije i strategija konkurentnosti	Objašnjenje kako organizacija funkcioniše, njena interakcija sa konkurencijom i njenim tržištem, praćenje performansi u vremenu (benchmarking). Razvoj svih aspekata strategije konkurentnosti i izgradnja poverljivih modela puteva za razvoj organizacije u budućnosti.	Obučiti studenta da razmišlja o modernom konceptu produktivnosti i konkurentnosti. Naučiti studenta da donosi poslovne odluke, da upravlja projektima, da upravlja kvalitetom i ljudskim resursima.	Tehnološke Poslovne Humanističke
Inteligentni tehnološki procesi	Objašnjenje primene tehnika za rukovanje kompleksnim proizvodnim uslovima, u neodređenim i promenljivim uslovima uz korišćenje veštačke inteligencije i mašinskog učenja.	Dati studentu neophodna znanja za najvažnije zajedničke tehnologije i procese sa primenom u unteligentnoj proizvodnji. Obučiti studenta da procese bira prema zahtevima kvaliteta i troškova proizvodnje.	Tehnološke

Inteligentni tehnološki sistem (ITS)	Alati i modeli veština i znanja tehnoloških ekspertiza potrebnih za inteligentnu opremu i mašine koja proizvodi proizvode sa malo ili bez intervencije ljudi.	Upoznavanje studenata sa konceptom inteligentne proizvodnje i različiti aspekti integracije korišćenjem ICT tehnologija. Obuka studenata za projektovanje ITS sa tehnoloških, ekonomskih i humanističkih aspekata.	Tehnološko poslovne
Integrisano modeliranje proizvoda i simulacije	Informacije o karakteristikama proizvoda i kako ih razvijati i koristiti korišćenjem kompjuterske reprezentacije strukture, aktivnosti, procesa, informacija, resursa, ljudi, okruženja, ciljeva i okruženja, drugih organizacija, a takođe i proizvoda.	Obučiti studente u modeliranju i simulaciji i njihovoj primeni u ITS-u. Obučiti studente u razvoju modela i njihovom korišćenju za donošenje odluka.	Tehnološke

Iz "celina" znanja prikazanih u tabeli 2, jako je važno definisati one koje se odnose na inovacione procese, koja su specifična po tome što se mogu primenjivati u svim inženjerskim oblastima, a ne samo u proizvodnom inženjerstvu, koje je predmet ovog rada. To su teme koje se odnose na: strateško planiranje, merenje performansi, zakoni, standardi i propisi, ideja i kreativnost, razvoj proizvoda, upravljanje projektom, menadžemet projektnim portfoliom. Znanja koja se odnose na ITS, u ovaj domen spadaju: BSC, lean organizacija i šest sigma. Navedene celine znanja čine deo sadržaja koji se odnosi na usko stručni deo obrazovanja proizvodnih inženjera.

4. Zaključci

Obrazovanje ima ključnu ulogu u poslovnom uspehu proizvodnih organizacija, jer današnji i budući rast i razvoj proizvodne organizacije zavisi od nivoa znanja svojih inženjera i menadžera. Zato je izuzetno važno da Univerzitet prati brze promene tehnologije i tehnike, danas zasnovano na digitalnom inženjerstvu i ekonomiji znanja i prema tome usklađuje svoje nastavne programe. Međutim, kreiranje novih nastavnih programa i kurseva za obrazovanje inženjera je samo "trećina posla", dok je druga trećina "usvajanje tih znanja od strane mladih inženjera – studenata", a treća je "njihova primena u svakodnevnoj praksi". Dakle uloga Univerziteta i industrije u ovim procesima je kooperativna – zasnovana na obostranim koristima.

Reference

- [1]. Stice, J., et all, The Future of Engineering Education, *IJ Chem. Engr. Education*, 34(2), pp. 118–127 (2009).
- [2]. Civisica, G., et all, Engineering Education – New Approach and New Style, Institute for Quality Engineering, Riga Technical University, 2010.
- [3]. The Bologna Process 2020 – The European Higher Education Area in the new decade, Communiqué of the Conference of European Ministers Responsible for Higher Education, Leuven and Louvain-la-Neuve, 28-29 April 2009.
- [4]. Fekih, A., Future Trends in Control Engineering Education, Proceedings of the 2006 Annual Conference the American Society for Engineering Education, pp. 80 – 86.
- [5]. Pilat, D., et all, The Changing Nature of Manufacturing in OECD Economies, STI Working Paper, 2010/15, JT03216689, Organisation de Coopération et de Développement Economiques.
- [6]. Shunk, D., The Creation of a Competency-based, Anytime – Any Place Education System for Academia and Industry, Industrial Engineering, Arizona State University, 2009.

- [7]. Rosen, M., Engineering Education: Future Trends and Advances, Faculty of Engineering and Applied Science, University of Ontario Institute of Technology, 2009.
- [8]. N., N., Manufacturing: New Challenges, New Opportunities, September 2010, UK Government, London.
- [9]. Chryssolouris G., D. Mavrikios, Education for Next Generation Manufacturing, Laboratory for Manufacturing Systems & Automation, Department of Mechanical Engineering & Aeronautics, University of Patras, 2010.
- [10]. MANUFUTURE – A Vision for 2020, Report of the MANUFUTURE ETP High Level Group, December 2010.
- [11]. MANUFUTURE – Strategic Research Agenda, Report of the MANUFUTURE ETP High Level Group and Support Group, December 2010.
- [12]. Geyen A., et att, The Future of Manufacturing in Europe 2015-2020: The Challenge for Sustainability – Scenario Report, Joint Research Centre - EC, December, 2010.
- [13]. N., N., Manufacturing in the Future, US Priorities for Manufacturing, NSF Report, 2010.
- [14]. N., N., European Manufacturing of the Future – Role of Education for European Leadreship, Brussels, 2010.
- [15]. El Maraghy, H., Integrated Manufacturing Education and Research, *Journal of Manufacruring Systems*, Volume 61, No. 4, pp. 329 – 337.
- [16]. Rodriguez, C., et all, Industry and University Cooperation to Enhance Manufacturing Education, *Journal of Manu.[hcturing Systems*, Vol. 24, No. 3, pp. 277 – 287.
- [17]. Martinsen, K., The competitive challenge of manufacturing Some requirements for the future manufacturing strategy education, RTIM, Raufoss, Norway, 2010.
- [18]. Kurfess, T., State of the Art in Manufacturing Strategy and Education in the US, International Center for Automotive Research Clemson, South Carolina, 2010.
- [19]. Kunzmann, H., et all, Productive Metrology - Adding Value to Manufacture, Physikalisch -Technische Bundesanstalt (PTB) – Germany, 2010.
- [20]. Jovane, F., et all, The incoming global technological and industrial revolution towards competitive sustainable manufacturing, *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 57 (2010) 641–659.
- [21]. Westkämper, E., Strategic Development of Factories under the Influence of Emergent Technologies, Fraunhofer Institute of Manufacturing Engineering and Automation, Stuttgart, Germany, 2010.
- [22]. Jovane, F., et all, Future of Flexible Automation in Manufacturing: Towards New Paradigms, ITIA-CNR, Institute of Industrial Technologies and Automation - National Research Council of Italy, Milano, Italy, 2009.
- [23]. Zha, X., Collaborative Design of MEMS Devices, National Institute of Standards and Technology, USA, 2008.
- [24]. Pedrazzoli, P., Virtual Factory Framework: Key Enabler for Future Manufacturing, TTS srl, Italy, 2009.
- [25]. Nath, B., Education for Sustainable Development, European Centre for Research, London, 2009.
- [26]. Tryggvason, G., Apelian, D., Re-Engineering Engineering Education for the Challenges of the 21st Century, *JOM*, October 2009, pp.14 – 19.
- [27]. Wiendahl, H., Global Manufacturing – Challenges and Solutions, Institut für Fabrikanlagen und Logistik Leibniz Universität Hannover, Germany, 2011.
- [28]. Tolio, T., et all, SPECIES—Co-evolution of products, processes and production systems, *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 59 (2010) 672–693.
- [29]. ElMaraghy, H., Modelling evolution in manufacturing: A biological analogy, *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 57 (2008) 467–472.
- [30]. Lee, J., E-manufacturing - fundamental, tools, and transformation, *IJ Robotics and Computer Integrated Manufacturing* 19 (2008) 501–507.
- [31]. Majstorovic, V., Center of Excellence for Manufacturing Engineering and Management (CEMEM) , Facts – Objectives – Goals - Researches Framework, Mechanical Engineering Faculty, Belgrade, 2008.
- [32]. Majstorovic, V., Manufuture Serbia – Strategic Research Agenda 2008-2015, Mechanical Engineering Faculty, Belgrade, 2008.
- [33]. Jovane, F., Global experiences: sustainable manufacturing, Politecnico di Milano, 2009, Milano.
- [34]. Koren, Y., Competitive Sustainable Manufacturing - Personalized Production Paradigm, The University of Michigan, Ann Arbor, 2009.
- [35]. Mattucci, M., Factories of the Future, COMAU, EFFRA, Milano, 2009.

PRODUCTION ENGINEERING EDUCATION - PRESENT CHALLENGES

Abstract: *The global economic crisis has led to the start of the transition process of manufacturing organizations in most developed countries of Europe, the Far East and North America. The basic aim is to reduce all costs (manufacturing, non-production), and the aim is to develop new, innovative products, and to generate new services for customers. They (innovative products) require complex technologies and processes, especially new knowledge and skills, as well as in the field of engineering, and in the field of management. The University has a key role in these processes, because in the generation and transfer of knowledge must accompany these changes. It is believed that high technology will play a key role, but their diffusion depend exclusively on the willingness of (knowledge) of young engineers to use them. The work provides an analysis and synthesis of the strategic directions of research and education production engineers today and in the immediate future.*

Keywords: *Production Engineering, Education, Research, Development.*



Vladimir R. Milačić

GLOBALNI UNIVERZITET I VELIKA TRKA ZA LJUDSKIM KAPITALOM

1. PROLOG – Rektorska beseda Jovana Cvijića – početak XX veka

Kroz istoriju razvoja jednog univerziteta mogu da se otkriju njegove mogućnosti da se uključi u trku za visoko mesto u ligi vodećih univerziteta današnjice koju karakteriše globalizacija i velika trka za mozgovima tj. za ljudskim znanjem jednog naroda.

Naša namera je da počnemo sa Beogradskim univerzitetom koristeći se samo nekim primerima iz njegove prošlosti da bi u narednim naslovima dali neke karakteristike globalne trke za znanjem kao jednim od uslova za stvaranje bogatstva naroda.

Na početku XX veka rektor Beogradskog univerziteta bio je Jovan Cvijić. Tada je održao besedu koja može i danas da posluži kao putokaz gore spomenute namere kada se proučava razvoj jednog univerziteta¹.

Sam naslov besede otkriva duboko proučavanja ovog “naučnog putnika da kroz promatranje i rešavanje problema vrlo prostrane naučne oblasti... morao sam misliti o problemima i metodama rada i prirodnih i društvenih nauka. Odmah posle tih promatranja i studija nastao je školski rad, naročito živ seminarski rad sa učenicima, a ja sam pri tom bio prinuđen razmišljati o sposobnostima učenika i o načinu kako se od njih mogu najpouzdanije formirati naučni radnici”.

Prevedeno na današnji jezik, ove reči mogu se razumeti da je suštinski zadatak univerziteta naučno-istraživački rad čiji se rezultati pretaču u nastavni sadržaj za studiranje. A uspešnost ovog procesa je moguća kroz optimalnu spregu ukupnog potencijala u naučnom i nastavnom domenu, nastavnika i studenata. Beogradski univerzitet je zapravo minimizirao ovaj generator znanja i njegovog prevođenja u svakodnevnicu života ljudi u okruženju. Autor ovih redova je u jednom razgovoru za Politiku to stanje označio rečima da je: univerzitet “udovičko imanje”².

Na samom početku, J. Cvijić navodi da su mu “pale u oči neke naročite smetnje naučnom radu, koje potiču od osobine naše rase i naših specijalnih prilika. Možda, mislio sam, neće biti bez interesa, ili bez koristi, ako iskustva bar donekle sredim i uzmem za predmet rektorskog govora... Čovekom je duh izložen pogreškama, koje su vezane ne samo za lične osobine i za naročite prilike njegova života, već i za grupe ili naroda kome pripada”.

Sa ovakvim uvodom, koji po našem osećaju ima i aktuelnost sadašnjice, govor je podeljen na sledeće tematske celine:

- i. Balkanski problemi i naučne škole,
- ii. Metode i procesi naučnog rada,
- iii. Naše sposobnosti za naučni rad, i
- iv. Naučni i stručni rezultati našeg Univerziteta.

U prvoj celini polazi od generalne karakteristike da „naš Univerzitet ima osobito polje za raznovrstan naučni rad. Jer Balkansko poluostrvo je vrlo prostrana oblast, koja fizički i kulturno, zatim kontaktima i migracijama naroda vezuje i vezivalo je Evropu sa Azijom. Ono je raznovrsnog geološkog sastava i još raznovrsnijih geomorfoloških ili fiziogeografskih osobina.“

Ali Cvijić nudi model kompleksnosti za predmet naučnih istraživanja kada navodi da: „kao što Balkansko poluostrvo zbog svoje fizičke raznovrsnosti, skriva mnogobrojne prirodnjačke probleme, tako je isto bogato i problemima društvenih nauka i nauke o duhu. Na njemu ima oko sedam različitih naroda, više no i u kojoj oblasti Evrope.“

¹ Jovan Cvijić, O naučnom radu i o našem univerzitetu, Autobiografija i drugi spisi, K2 394, Beograd (1965)

² Vladimir R. Milačić, Univerzitet „kao udovičko imanje“, intervju dat novinaru Stanku Stoilkoviću, Politika, nedelja 14.1.2001.

Na kraju ovog poglavlja navodi da je „skoro formiran Etnografski muzej kao budući resurs riznica za etnografske i sociološke studije“. U vremenu na prelazu u novi dvadeseti vek ističe „da je u naučnom pogledu glavnih zadataka našeg Univerziteta da razvije Balkanske škole naučnog istraživanja, koje bi novim problemima oplodile opštu nauku.“ Ako se ovi prevodi prevede na jezik današnjice, onda može da se pretpostavi da se J. Cvijić zalaže za mesto univerziteta u globalnom svetu stvaranja nauke.

Kao pretpostavku za takav cilj ukratko otkriva neke elemente metoda i procesa naučnog rada. Srž tog rada su duboka opservacija u kojoj intelekt i „imaginacija stvara sliku procesa, akcije, zakona. Bez nje nema stvaralačkog naučnog rada i time i ozbiljnih naučnih škola“.

Pitanje formiranja „moralnih naučnih radnika“ kod J. Cvijića je od suštinskog značaja za program Univerziteta, jer takvi su ljudi najveći kapital svoje zemlje i moraju biti od najvećeg uticaja na sve poslove. Poznato je koliko su one od velike štete ako su neformirani ili rđavo formirani.

Ali to pretpostavlja „jaku volju, koja nije samo momentalna, impulsivna, nemirna, nestrpljiva, koja više i odmah traži sve ili ništa, već je sposobna da godinama ide za svojim zadacima i problemima“, dok „pravi profesor i pravi naučni radnik mora imati jake volje, takvi će nastavnici vaspitavati učenike koji takođe imaju jake volje i samostalno rade“.

U fusnoti za ovu aktivnost J. Cvijić ističe da: „treba da nastupi generaciju koja će i u političkom životu smatrati za blebetanje govor i govorništvo bez prave i smišljene akcije“, i kasnije ističući da: „ništa tako beskorisno ne utiče na naučni rad i naučnu ličnost kao kult sebe samog“.

Rad na univerzitetu je u suštini „borba sa lošijom sredinom“ zato što je na prvom mestu potrebno vaspitavati za mirnoću, prisebnost, takt, da bi ste vladali sobom, ostali na putu istine i čestitosti i znati šta treba raditi kad naiđu rđave pojave.

Sposobnost naša za naučni rad polazi od konstatacije da „naš narod nesumnjivo spada u darovite narode“ iz čega proističe i konstatacija da: „naš Univerzitet može imati i ima vrlo dobar učenički materijal.“

U poslednjem delu ovog izlaganja koji se odnosi na „stručne i naučne rezultate našeg Univerziteta izdvajamo stanje naučnog duha koju izazivaju političke prilike.“ Tako J. Cvijić iznosi konstataciju koja je tek u današnje vreme prepoznatljiva u domenu zaostajanja Srbije:

„Partizanska (danas čitaj Partijska-naša primedba) preokupacija razorno dakle utiče na spremu i formiranje učenika i na naučni rad na univerzitetu.“

Učenici (danas čitaj studenti-naša primedba) propuste najbolje doba u životu, univerzitetsko doba, da promatranjima, studijama, mirnim diskusijama stvore sebi čist i objektivan sud i pogled na položaj i prilike svoje zemlje i na opšte principe koji svet pokreću ... većina se učenika ne sprema dovoljno, ni stručno ni naučno ... Poznato je, naposljetku, da ona inteligencija koja nema prave spreme i koja nije se studijama i razmišljanjem etički formirala ne može podići javni moral svoje zemlje... Nikad se više nije osetilo kao poslednjih godina da nam treba ozbiljna, ne polutanska i površna sprema za sve grane državne uprave.“

Od vremena kada je ova beseda održavala Srbija je prošla kroz dva Velika rata zajedno sa zemljama istočnoevropskog kontinenta i jedan Balkanski sukob.

Cvijićevo zalaganje za formiranje poljoprivrednog fakulteta, imalo je i širi značaj na stvaranje, prvo znanja a onda i formalnu organizaciju za oblast tehničkih nauka.

U vreme kada je J. Cvijić bio profesor, Todor Toša Selesković (1858-1901)³ izabran je za profesora Velike škole tj. Beogradskog univerziteta za oblast tehnologije i mašina alatki.

Dramatičan razvoj inženjerskih studija na Beogradskom univerzitetu odigrava se posle Drugog velikog rata (1945) pa do 1980. godine što je bio preduslov za naš industrijski razvoj Srbije i cele tadašnje Jugoslavije.

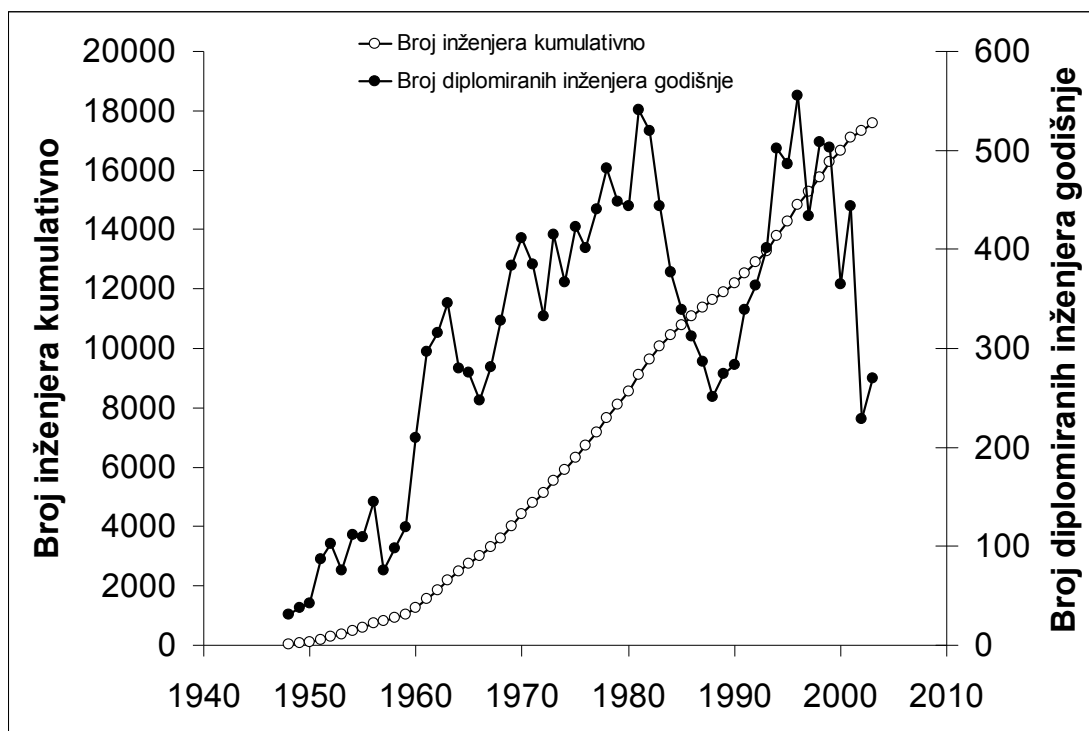
Školu proizvodnog mašinstva na Beogradskom univerzitetu formirali su i za vreme svog aktivnog rada razvili profesori Pavle Stanković (1909-1969)⁴ i Vladimir Šolaja (1920-1998)⁵.

Kao sumarni pokazatelj uzlazne linije razvoja tehničkih nauka i struke za oblast mašinstva može da posluži podatak o broju diplomiranih studenata, koji je dat na slici 1,

³ Vladimir Šolaja, Todor-Toša Selesković (1858-1901), Srpska akademija nauka i umetnosti, Biografija i bibliografija, knjiga I, Beograd (1996)

⁴ M. Jovičić, D. Mandić, D. Nikolić, V. Milačić, - Prof. dr Pavle Stanković pedagoški i naučni doprinos oblasti proizvodnog mašinstva (2009)

⁵ M. Jovičić, V. Milačić, Lj. Dimitrijević-Marković, - Prof. dr Vladimir Šolaja pedagoški i naučni doprinos (2010)



Slika 1.

U narednim naslovima činimo pokušaj da kroz globalizaciju univerziteta, koja je u naše vreme u punom zamahu, prokomentarišemo i našu nespремnost da stalno razvijamo platformu razvoja univerziteta koju je projektovao Jovan Cvijić kao rektor Beogradskog univerziteta.

2. TRKA IZMEĐU OBRAZOVANJA I TEHNOLOGIJE

Naslov za ovaj deo rada preuzet je iz knjige: Trka između obrazovanja i tehnologije⁶ koja je publikovana pre dve godine. Generalni zaključak koji se nameće čitajući ovu knjigu jeste da se analizira segment obrazovanja na bazi bogate statističke evidencije koja pokriva dva veka postojanja SAD.

Prva korelaciona analiza odnosi se na vezu između obrazovanja ljudi i bogatstva naroda. Bogatstvo naroda u dugom vremenskom periodu uslovljeno je razvojem ljudskog kapitala (human capital). Iz ove korelacione ravni prelazi se na narednu koja se odnosi na interakciju obrazovanja i tehnologije.

U prostoru jednog društva ova analiza može da se zasniva na odnosu potražnje i ponude za obrazovanje (ovde se misli na čoveka koji je prošao neki obrazovni proces) ljudi kao i dejstvo institucija na taj proces. U ovaj trojnoj relaciji za sistem obrazovanja kao „nevidljiva ruka“ je tehnologija kao praktična primena posedovanog naučnog i praktičnog znanja.

Zajednička aksiomska karakteristika obrazovanja i tehnologije je njihova priroda kontinuiteta sa poželjnim skokovima u pravcu povećanja bogatstva naroda. Priroda knontinuiteta procesa obrazovanja predpostavlja ovladavanje nivoima obrazovanja stanovnika jedne zemlje kroz vekove. Obrazovni sistem se posmatra od doba Stare Grčke, kroz Srednji vek do današnjih dana, kada je obrazovanje poprimilo masovnost.

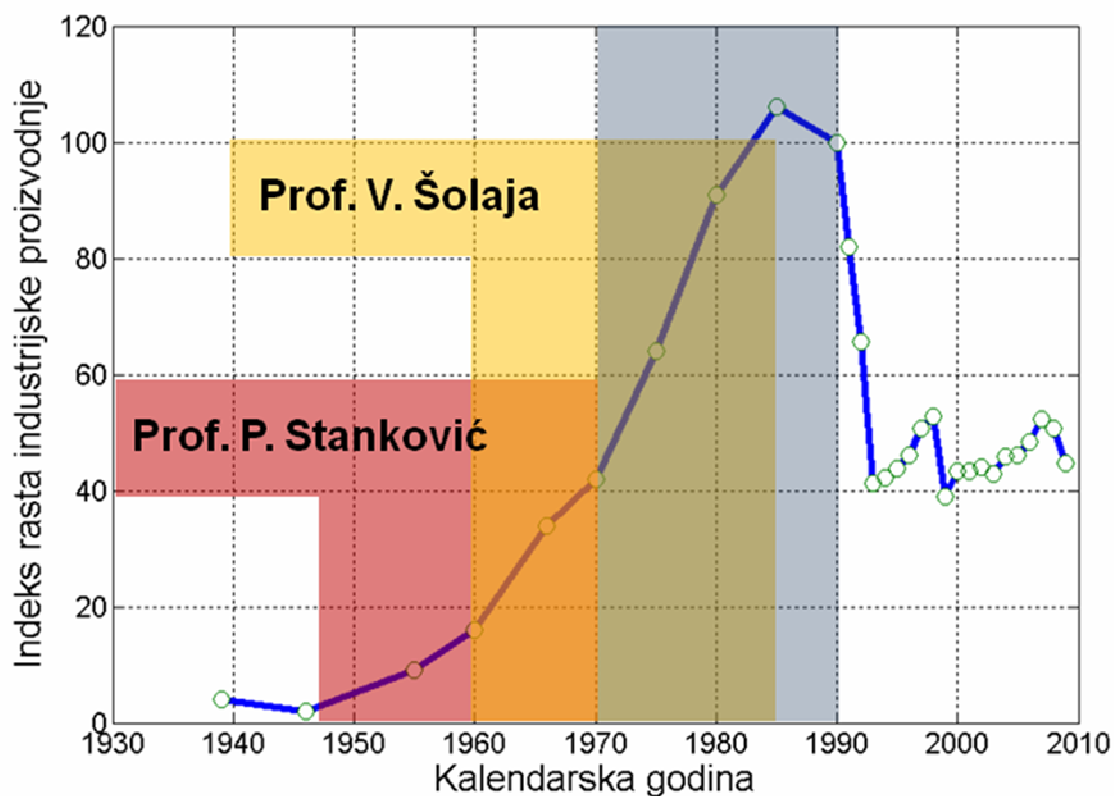
Današnje obrazovanje obuhvata tri stepena koji odgovaraju sukcesivno starosnom dobu od 5 do 25 godina starosti, sa mogućnošću da dopre i do 35 godina. Prvi stepen obrazovanja je osnovno (npr. u Srbiji osmogodišnje školovnje), drugi stepen obrazovanja (u Srbiji usmereno onbrazovanje – četiri godine) i treći stepen obrazovanja (osnovno više ili diplomiranje u određenoj struci). Američki sistem potpunog obrazovanja do koledža i diplome je K12 sa prvom godinom predškolskoj (znači ukupno trinaest godina škole).

⁶ Claudia Golding, Lawrence F. Katz, The Race Between Education and Technology, The Beckhar Press of Harward University Press, Cambridge (2008)

Navedimo ukratko istoriju školstva i SAD. Amerika je bila u osamnaestom veku: „najbogatija zemlja siromašnih ljudi“ da bi sedamdesetih godina prošlog veka „imala sve“. Za ovaj skok u bogatstvu zemlje i njenih ljudi nesumljivo ima veliki uticaj ostvarena tri koraka u obrazovanju. Već u devetnaestom veku veliki broj Amerikanaca ima završenu srednju školu, dok januara 1944. godine predsednik Ruzvelt u Ekonomskom zakonu prava – istakao je da je „pravo na dobro obrazovanje ekonomska istina“ koja je „sama evidentna“. To je omogućilo masovno studiranje na koledžima i univerzitetima širom Amerike.

Ako se prisetimo septembra 1953 kada je trebalo da konkurišem za upis na Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu celo leto sam spremao prijamni ispit iz matematike. Iznenada na predlog Predsednika parlamenta Moše Pijade donosi se zakon o slobodnom upisu na univerzitete u tadašnjoj Jugoslaviji. Te godine 1953/54 na Mašinski fakultet upisalo se oko 520 studenata, da bi naredne školske godine taj broj iznosio preko 900 studenata u prvu godinu. Ali režim studiranja je ostao isti, tj. da se za pet semestara (dve ipo godine) polože svi ispiti iz prve dve godine. U našoj generaciji nas je bilo samo 14 da taj uslov ispuni a svi drugi su ponovili godinu. U narednoj godini taj broj nije bio mnogo veći. Kada ovo danas navodimo treba imati na umu da je BDP Jugoslavije bio oko 300 dolara po stanovniku, slično kao i u tadašnjem Japanu. Slobodan upis je značio i besplatno studiranje za studenta i za njegove roditelje, ali ne i za državu. Država nije mogla da očekuje da će većina studenata završiti studije, već da će taj novac biti „bačen na ulicu“, ali, inženjeri su bili potrebni za program elektrifikacije i industrijalizacije siromašne i ratom razorene zemlje. To je bio prvi korak u stvaranju tehnoloških znanja kroz obrazovanje, a sve u cilju razvoja domaće industrije.

Za ilustraciju gornje tvrdnje, na primeru Jugoslavije navode se kao primer dva dijagrama koji se odnose na rast industrijske proizvodnje (1940-2010) sa indeksom 100 za 1990. godinu (slika 2.); kao i broj dipl. maš. inž. od 1948 do 2003 sa istim indeksom za 1990. godinu (slika 1). Upoređenjem ova dva stanja industrija-obrazovanje može se uočiti dobra korelacija sve do 1983. godine. Turbulencije na prostoru bivše Jugoslavije izazivaju raspad industrijskog sistema, dok imigracija u Beograd stasale studentske populacije sa područja sukoba uslovljava pojavu novog talasa diplomiranja (1990-2003). Za period 2003-2010 imamo samo podatak da je diplomiralo 2155 studenata, što je na nivou godišnjeg proseka oko 270 studenata. Uporedo je nanet kumulativ diplomiranih studenata za isti period; koji dostiže 19373 od 1948 do 2009 godine diplomiranih studenata. Ovi podaci su dati na slici 1; dok indeks rasta industrijske proizvodnje je dat na slici 2.



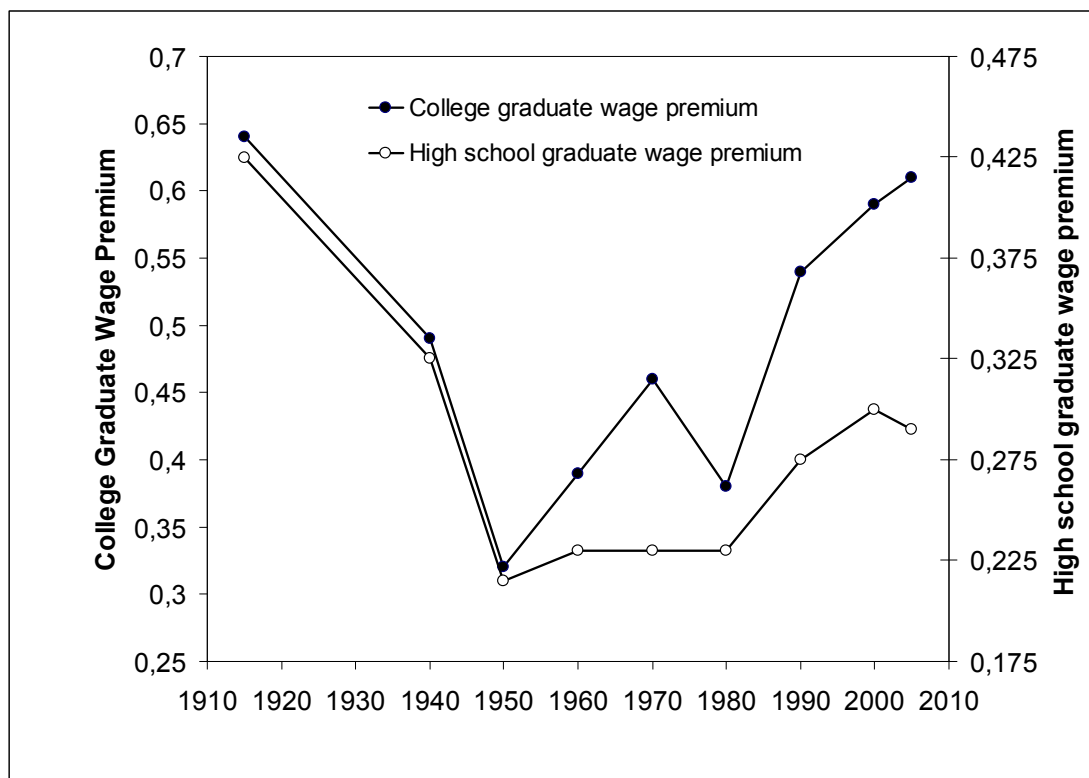
Slika 2.

Da navedemo primer Izraela kako je ušao u prostor izrade lovaca bombardera, koji je osvojio i licencirao u svetu. Za vreme CIRP Generalne skupštine u Jerusalimu 1986 godine, Izrealski general je izneo saopštenje o tehnološkom napredku Izraela. Kao jedan od tehnoloških dostignuća naveo je način razvoja, izrade i uvođenja u primenu modernog lovca – bombardera koji je i danas u samom vrhu svetske konkurencije. On je istakao da za taj projekat morali su da obezbede kritičnu klasu inženjera. Tako su školovali 1800 inženjera što u Izraelu što u SAD i stvorili obrazovano – istraživački – razvojnu podlogu za takav tehnološki program.

Navedeni primeri iz sopstvenog iskustva i saznanja može da posluži kao ilustracija komplementarnosti između obrazovanja i tehnologije.

Vratimo se primerima iz knjige: Trka između obrazovanja i tehnologije.

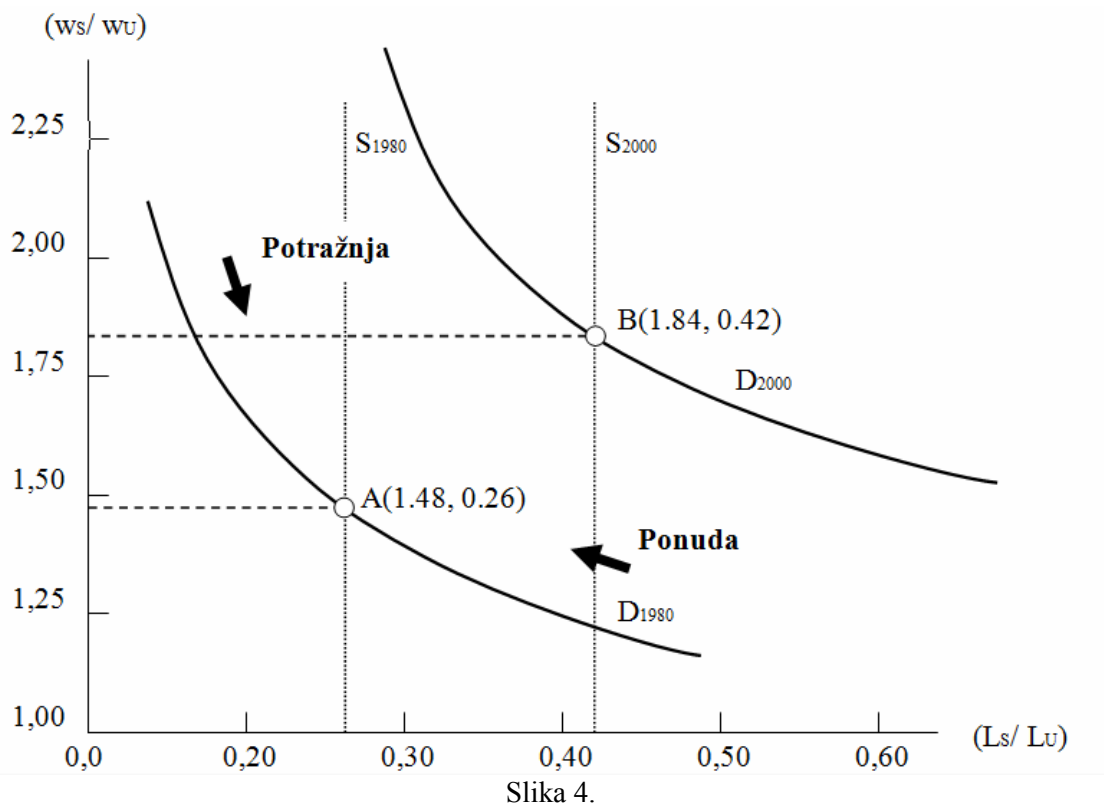
Dijagramski prikaz broja diplomiranih na koledžu i maturiranih [High School Graduate] kroz premiju (dodatni iznos u plati) za ostvaren nivo obrazovanja za period 1914-2010 pokazuje oblik krivih koje traže objašnjenje. Prvo, vertikalna sa dve različite razmere, za dve grupe obrazovanja. Tako za period od 1914-1950 godine imamo da je isti karakter opadanja za obe populacije i nagrada ne zavisi od njihovog stepena obrazovanja. Promena nastaje u toj trci do 1980. godine, kada nastaje nagla promena u odnosu nagrađivanja rada onih koji su diplomirali na koledžu i maturirali. Za analizu karaktera promene ovih krivih od značaja je otkriti kakav je odnos između tehnoloških promena i obrazovanja. Očigledno je da je u prvoj polovini dvadesetog veka obrazovanje raslo brzo, dok u poslednjih 30 godina dvadesetog veka je tehnologija bila ispred „hramljućeg“ obrazovanja. Ova utakmica je stvorila uslov za ekonomsku ekspanziju, određujući, koja će grupa imati koristi od ovog rasta (slika 3.)



Slika 3.

Opet se vraćamo na problem kakav je odnos između obezbeđenja obrazovanja obrazovanih radnika, kolika je potreba za njima i koji je institucionalni okvir za funkcionisanje procesa ekonomskog rasta.

Šematski prikaz relativnog snabdevanja i potreba za umećem (obučenoš) dat je kroz vezu relativnog odnosa nagrađivanja za obučenoš. Tako je na slici 4. dat prikaz tržišta za obučenu i nekvalifikovanu radnu snagu.



Obučeni ili visoko obrazovani (L_s) i nekvalifikovani sa manjim obrazovanjem (L_u) povezuju se sa njihovim relativnim nadnicama (w_s/w_u) što u prosečnoj tački A, krećući se odozgo na dole (relativan tražnja) dobija se potreba za obučenom radnom snagom. Za podatke za 1980 godinu dobijena prosečna tačka A odgovara funkciji snadbevanja $S_{1980}(1,48, 0,26)$ da bi za godinu 2000 ta funkcija bila $S_{2000}(1,84, 0,42)$. Ovo pomeranje krive na novo trajektoriju govori o značajnom uticaju tehnologije, npr. difuzije kompjuterske tehnologije, čime se znatno povećao broj radnika sa visokim obrazovanjem a sa tim i njihovo nagrađivanje je raslo. Evropa da bi uhvatila korak sa Programom Evropa 2020. godine insistira na povećanju od 30 procenata na 40 procenata visoko obrazovanih. Srbija ima oko 8 % visokostručnog stanovništva, dok se predviđa čitavih 30% u 2020. godini.

Okvir koji određuje odnos obučenih i nekvalifikovanih radnika može da se iskaže preko agregatirane proizvodne funkcije. Proizvodna funkcija može da bude predstavljena preko konstante iskaza elastičnosti zamenjivosti između ove dve vrste radnika označenog sa σ_{su} . Nekvalifikovani radnici su podagregat koji zavisi od broja maturanata (H) i onih bez diplome maturanata (O), koji kao „oni koji su odustali od daljeg školovanja“, sa elastičnošću σ_{Ho} .

Ovaj okvir je predstavljen sa dve jednačine:

- a) Agregatirana proizvodna funkcija:

$$Q_t = A_t [\lambda_t S_t^\rho + (1 - \lambda_t) v_t^\rho]^{1/\rho}$$

- b) Podagregatna funkcija za nekvalifikovane radnike

$$v_t = A_t [\theta_t H_t^\eta + (1 - \theta_t) O_t^\eta]^{1/\eta}$$

Gde su:

Q_t - output

A - totalni faktor produktivnosti

ρ - jedinica kvalifikovanja radnika (radnika koji su završili koledž)

H - jedinica radnika sa maturom

O - jedinica radnika koji su napustili usmereno obrazovanje

λ_t, θ_t - parametri učešća raznih tipova radnika i modelirani kao parametri tehnološkog pomeranja

ρ, η - su parametri koji se odnose na elastičnost zamene, tako da je $\sigma_{su} = 1/(1-\rho)$ i $\sigma_{wo} = 1/(1-\eta)$.

Navedeni izrazi služe samo kao primer kako se određuje kompetitivna ravnoteža između različitih nivoa obučanih radnika (S, H, O) kada su nadnice jednake višku proizvoda. Tako realizovana nadnica za one koji su završili koledž i onih koji imaju završeno usmereno obrazovanje u logaritamskom odnosu je dato:

$$\log(w_{st}/w_{ut}) = \lg(\lambda_t/(1-\lambda_t) - 1/\sigma_{sv}) \lg(s_t/s_u)$$

dok je odnos nadnica onih koji su završili srednju školu i onih koji su je napustili:

$$\log(w_{Ht}/w_{Ot}) = \lg(\theta_t/(1-\theta_t) - 1/\sigma_{H0}) \lg(H_t/O_t)$$

Znači imamo četiri profila stručnosti (S, U, H, O) koji moraju da se mere u jedinicama produktivnosti na sat.

Ranije prikazane krive snadbevanja i zahteva za obučenos (slika 4.) u logaritamskoj skali su prave koje povezuju cene (w_{st}/w_{ut}) sa odnosom kvalifikovanih i nekvalifikovanih radnika (L_{st}/L_{ut}). Ovi empiriski obrasci baziraju se na statističkim tablicama za period 1915-2005 godine. Posebno je značajan odnos raznih nivoa obrazovanja za navedeni vremenski period:

	1915	1940	1960	1980	2005
Srednje vrednosti godina učenja	7,63	9,01	10,53	12,46	13,54
0-8 godina učenja	0,756	0,522	0,303	0,087	0,034
9-11	0,129	0,174	0,218	0,154	0,07
12	0,064	0,185	0,262	0,346	0,309
13-15	0,028	0,061	0,121	0,228	0,290
16+	0,026	0,058	0,096	0,185	0,297

Navedena tablica pokazuje ogroman učinak u razvoju obrazovanja za radni deo naroda SAD. U 1915 preko dve trećine (0,756) bilo je bez ili sa minimalnim obrazovanjem, dok 2005 sa srednjim i visokim obrazovanjem taj broj bio je 0,846. Srednja vrednost godina učenja u tom istom periodu porasla je od 7,63 na 13,54 godine. Tu treba tražiti odgovor i na pitanje koji je to ljudski capital koji obezbeđuje gotovo 15 biliona (po američkom triliona) dolara BDP za godinu, što je više od četiri zemlje BRIK-a (Brazil, Rusija, Indija, Kina). Motor za razvoj ekonomije je obrazovanje a kroz njega i amplifikator koga ovde nazivamo tehnologija.

3. TRKA ZA TALENTIMA – NOVI GENERATOR STVARANJA BOGATSTVA NARODA

Osnovni resurs za održivi razvoj svake sredine, naroda i globalno naše planete je smešten patuljak između ušiju - čovekov mozak. Istovremeno, osnovni posed koji jedno društvo ima su obrazovani ljudi. Čovek, ili ljudi, koji se kreću prema univerzitetu i u njemu borave zapravo su taj osnovni kapital čijim razvojem (studiranjem) se obezbeđuje bogatstvo naroda.

Knjiga: Velika trka za mozgovima – kako će globalni univerzitet preoblikovati svet⁷ služi nam kao osnova za razmatranje u ovom i narednih naslova ovog rada.

Cirkulaciju ljudi, a sa njima i njihovog intelektualno - kognitivnog kapaciteta sa “tovarom” znanja u sadašnje vreme se opisuje različitim terminima kao što su: cirkulacija mozгова, razmena mozгова, odliv mozгова, dobijanje mozгова, vozovi mozгова itd. To je novi vid složenih transakcija koje se odnose na privlačenje i zadržavanje “radnika znanja”.

Statistika UNESKO (Organizacija za obrazovanje, nauku i kulturu Ujedinjenih nacija) pokazuje da skoro tri miliona studenata studira izvan svojih zemalja, koji se stalno povećava. Tako od 1999-2009 godine taj broj

⁷ Ben Wildavsky, The Great Brain Race – How Global Universities-Are Resharing the World, Princeton University Press, New Jersey (2010)

se povećavao za 57 procenata. Samo tržište obrazovanja i nauke SAD ima 2,9 miliona mobilnih studenata što iznosi 22 procenta; dok Engleska i Australija ima 12 odnosno 11 procenata tih studenata. Pa Doktorske studije pohađa u SAD dve trećine od svih studenata; dok u nekim područjima polovina studenata je iz inostranstva; tako 65 procenata u kompjuterskim naukama, 65 procenata u ekonomskim naukama, 65 procenata u inženjerstvu, 56 procenata u fizici i 55 procenata u matematici.

U 2004 godini u SAD je bilo 572.509 stranih studenata, u Francuskoj 2006 godine bilo je 265.000 ino-studenata; dok je u Nemačkoj 2008 godine bilo 190.000 ino-studenata.

Navedeni brojevi mogu da ponude predstavu veličine tržišta obrazovanja i znanja kroz mobilnost studentske populacije.

Ukratko, da istaknemo razvijenu veliku tradiciju u tečenju ideja i znanja kroz putovanje ljudi. Jedan od francuskih filozofa svoje jevanđelje započinje rečima: "u početku bio je PUT" koji je povezo katedrale i centre učenja. Tako su prvi Evropski univerziteti u dvanaestom veku locirani u Parizu i Bolonji. Postoji zapis iz 1220 godine formirana je "studentska nacija" po kojoj student iz raznih delova Evrope ujedinjuju se za "uzajamnu zaštitu i pomoć u odnosu na njihove zemlje ili provinciju odakle potiču". Sama Bolonja je okupljala studente iz devetnaest nacija, npr. iz Mađarske, Španije, Poljske i Nemačke.

Fridrih Barbarusa 1158. godine dao je privilegiju za studente koji putuju.

U šesnaestom veku imamo impuls na rast putovanja studenata što je personifikovano u holandskom renesansnom naučniku i katoličkom teologu Desiderius Erasmus. On je studirao na Univerzitetu u Parizu i Univerzitetu Kembridž. Proveo je neko vreme na Univerzitetima u Italiji, Nemačkoj, Belgiji i Švajcarskoj. Posle nekih 450 godina od njegove smrti Evropska unija je inicirala Erasmus program koji olakšava razmenu studenata i profesora u okviru evropskih univerziteta.

Ne ulazeći u kompletniju analizu studentske razmene navešćemo samo tri institucije koje imaju ograničenu vezu sa razmenom studenata i nastavnika u prostoru Evrope i Amerike.

Univerzitet u Berlinu (kasnije Humbolt Univerzitet) osnovan 1820. godine. Pruski reformator obrazovanja Viljem fon Humbolt zalagao se da univerzitet bude mesto koje će da ohrabruje nastavnike da rade u oblasti istraživanja bez uplitanja vlade. U 1900 godini 1750 stranih studenata je bilo upisano na nemačke univerzitete. Posle Velikog rata moje kolege su koristile Humboltove stipendije za usavršavanje na nemačkim univerzitetima.

Drugi primer je Britanski savet organizacija koji danas daje stipendije studentima i nastavnicima za boravak i usavršavanje na univerzitetima u Velikoj Britaniji. Tako sam i ja, autor ovog rada, bio stipendista Britanskog saveta davne 1965/66 godine kod profesora Stiven Tobiasa na Mašinskom fakultetu u Birmingemu.

Treći primer je američki Fulbrajtoev program ustanovljen 1946. godine. Senator Viliam Fulbtajt iz Arkanzasa je istakao da služi kao "mnogo potreban generator za promovisanje međusobnog razumevanja između ljudi SAD i ljudi drugih zemalja sveta". Posle pet dekada oko 279.500 studenata i nastavnika je učestvovalo u ovom programu. Koliko je meni poznato ne mali broj stipendija su dobili studenti i nastavnici bivše Jugoslavije. U 1963 godini bilo je rekordnih 74.814 ino-studenta koji su studirali u SAD koledže i univerzitete. Inženjerstvo je bilo vodeće studijsko područje, praćeno humanitarnim, kao i prirodnim i fizičkim naukama.

Krajem dvadesetog veka (1999-2005) upis inostranih studenata u SAD porastao je za 17 procenata, u Engleskoj za 29 procenata, Austriji 42 procenta, Nemačkoj 40 procenta i Francuskoj 81 procentat.

Ova međunarodna utakmica za studente iz ne-engleskog govornog područja bila je takođe velika. Singapur se nada da sa 2015 godinom privuče 150.000 studenata, Malezija traga za 100.000 studenata iz inostranstva. Jordan pokušava da privuče 100.000 ino-studenata sa 2020 godinom. Koreja i Japan imaju veliku ambiciju da sa sadašnjih 120.000 studenata upišu jedan milion 2020 godine. Kina već ima 196.000 ino-studenata.

U istraživačkoj inicijativi „bitka za znanje u budućnosti je regrutovanje studenata“. Ako smo u središtu „Ekonomije znanja“, centralno pitanje je ko proizvodi to znanje i odakle ono (znanje) dolazi? Jedan od najvećih kontributera je univerzitet – njegovi doktoranti - studenti. Evropska unija pokušava da nametne da je Evropa "najveći centar znanja u svetu". Srbija i pogotovo njena tzv. „politička elita“ pokušava trošeći i ono malo para koje svet donira da sebi grade „krajputaše“ znanja, tzv. Centre, zapostavljajući Beogradski univerzitet kao i druge univerzitete u Srbiji.

Novo akademsko globalno tržište, pored studenata, uključuje profesore i administraciju. Već su vodeći univerziteti, naročito iz Amerike, kao što su: Jal, Stanford, MIT, stvorili široku i gustu mrežu svojih ekspozitura dajući svojim profesorima internacionalnu dimenziju. Tako, predsednik Unije Univerziteta Richard Levin je istikao da „svako ko završi Jal ima privilegiju u svetu. Mi povezujemo svet danas...mi smo ponosni da kažemo da ne samo da obrazujemo 4 od 6 predsednika Amerike, već (takođe) bivšeg predcednika Nemačke, dva pedsednika Koreje i predsednika Meksika. Mi želimo da se to poveća“.

Univerziteti imaju „ogroman razvojni potencijal u produktivnom istraživanju“. Tako je Džon Hopkins Univerzitet uložio 21 milion dolara investicija u gradnji Nandžin Univerziteta u 2006 godini. Ovakva politika ima i logiku „mi ćemo da platimo, ali mi hoćemo i stvarni deo, ne virtuelnu ekspertizu“. Kakve su prognoze za globalizaciju znanja kroz studentski protok u svetu? Do 2025 osam miliona studenata.

Predviđanja za budućnost ukazuju na „novu regionalnu globalizaciju“ za koju može da posluži Bolonjska deklaracija u koju je uključeno šezdeset šest učesnica – nacija. Bolonjska deklaracija (Akt) kreira obrazovno-poslovnu slobodnu zonu trgovine.

Treba imati u vidu da će se „tržište međunarodnih studenata promeniti“ naročito imajući u vidu uspon i skok u razvoju Kine i Indije.

Slobodna trgovina mozgovima je novi vid stvaranja „mentalnih robova“ u globalnom svetu. „Visoko obrazovanje postaje oblik međunarodne trgovine.“ Ova intelektualna komercijala može da se nazove slobodna trgovina mozgovima.

Elitni stratum visokog obrazovanja sastoji od učenja, studiranja, istraživanja i publikovanja svih raspoloživih delova koji su vidljive. Studenti i profesori imaju sofisticirane mehanizme da deluju međusobno. Već je očigledno da globalni mentaliteta brend prevladaju u svetu.

Korporativna snaga elite nastaje „zato što škole kao Oksford, Kembriđž, francuska Politehnika, Indijski institut tehnologije i Tokijski univerzitet ukazuje da obavljaju slične funkcije, u saradnji sa Harvard Biznis Školom.“

Sve više lice koje se pojavljuje na obrazovnoj globalizaciji sve više je obeleženo sa fluidnošću, mobilnošću, i meriokriterstvom.

Za projekat studentske globalizacije od posebnog su značaja sledeće pretpostavke:

- globalizacija studenta-građanina kroz prihvatanje akreditacije bez granica,
- drugi uslov je meritorizacija, diplome da budu prihvaćene preko granice.

Ali uvode se protekcionizam i barijere od strane pojedinih zemalja. Razlog je što masovan odlazak studenata iz zemlje skupo košta zemlju. Tako Indija svake godine zbog odziva studenata gubi 4 milijarde dolara. Srbija, kao mala zemlja, zbog toga što nema uslova za zapošljavanje završenih studenata, i zbog stranog turbulentnog stanja, do sada je otišlo takvih završenih studenata oko 400000. Ali oni doprinose razvoju ino-sredine gde se zapošljavaju.

Amerika ima selektivnu imigracionu politiku kroz vizu H-1B. Između 1995-2005 godine 25 procenata američkih inženjerskih i tehnoloških kompanija osnovali su imigranti uključujući i Silikonsku Dolinu. Imigranti čine 12 procenata američke radne snage u 2000. godini, iz tog segmenta je 47 procenata naučnika i inženjera sa diplomom doktorata.

Kineski sistem akademskog obrazovanja ima važne kompetitivne pretnje za SAD. Kina ima 214000 naučnika i diplomiranih inženjera više od SAD. Kinesko učešće u svetu naučnika i inženjera sa doktoratom 1975 godine bilo je zanemarljivo malo da bi dostiglo 11 procenata. Za to vreme doktorati u SAD su pali sa 50 procenata na 22 procenata.

Ali ipak je činjenica da su citirane dve trećine radova iz oblasti nauke i tehnologije iz SAD i kao i da je 11 procenata iz SAD. Takođe je činjenica da SAD učestvuje sa 40 procenata globalnog ulaganja u visoko obrazovanje i 35 procenata u istraživanje i razvoj, takođe izdvaja 2,9 procenata sa BDP u 2005 godini na više obrazovanje, dok 1,3 procenta izdvajaju Kina, Indija, Evropska zajednica i Japan.

Studenti sve više vide sebe kao građane sveta. Slobodna trgovina mozgovima drži ključ održivom razvoju ekonomije na bazi znanja i automatski može da ponovo uspostavi globalni prosperitet.

4. GLOBALNI UNIVERZITET – NOVI MODEL STVARALAŠTVA

Možda nije dobra koristiti izraz globalni univerzitet. Ali kada se ima u vidu da se analizira kako doći do nivoa da se jedan univerzitet prihvati da pripada klubu univerziteta svetske klase onda i ovaj nezgrapno preveden pojam može da se prihvati. Znači, za nas je od značaja da razumemo kako neki univerzitet ulazi u klub svetske klase. I drugi deo problema je, kako se vrši rangiranje nekog univerziteta na mapi

univerzitetskog sveta. Ova mapa sveta [7] ima 17000 univerziteta od kojih je možda samo 3 procenta rangirano u svetsku klasu ili to je lista od oko 500 univerziteta.

Glavna mapa univerziteta je obuhvaćena kroz globalnu ekspanziju već postojećih vodećih univerziteta Amerike i Evrope. To su univerziteti sa dugom tradicijom i priznatim renomeom u svetu.

Iako u naslovu stoji da se pretenduje na nuđenje novog modela za stvaranje znanja mi ćemo u ovom delu biti skromniji tako da počinjemo sa tri modela a odnose se na prostore sa relativno ograničenom populacijom.

Prvi primer je Južna Koreja – jedna od azijskih tigrova . Godine 1963 Koreja i Kenija imali su isti dohodak po glavi stanovnika. Danas je Koreja u gornjem delu liste prosperitetnih zemalja, dok je Kenija, iako bogata prirodnim resursima na začelju liste, kao siromašna zemlja.

Ne tako davno Koreja angažuje 2.6 procenata od BDP za visoko obrazovanje, što je gotovo dva puta više od Zapadnih zemalja. I odmah je iza SAD, ali J. Koreja gubi 2007 godine oko 220.000 studenata koji studiraju u inostranstvu. Obrazovanje Koreja smatra kao uslužnim izvozom. Tako, Južna Koreja smatra da ima trgovinski deficit u obrazovanju od 300 milijardi dolara godišnje. Da bi ovaj trend zadržali, Južna Koreja je imala ambiciozan plan da stvori međunarodni prostor – lokaciju za istraživačko-naučnu izvrsnost kao slobodnu trgovinsku zonu – IHCHEON Free Economic Zone gde bi privukla nekoliko desetina istraživačkih institucija, počinjući sa Državnim Univerzitetom Njujork i Državnim Univerzitetom – Severna Karolina. Veruju na povoljnu geografsku lokaciju na sredokraći između Bejdžina i Tokija.

Engleski jezik je obavezan za sve dodiplomce na Korejskom Naprednom Institutu nauke i tehnologije – Korea Advanced Institute KAIST. Relativno skoro, na čelo ovog Instituta, došao je Num Pyo Suh sa MIT-SAD. Dubinskim organizacijom zahvatima u domenu izbora profesora i ocenjivanja sposobnosti studenata doveo je da KAIST bude na 132-om mestu u 2007. godini prema Tomsonovom rangiranju Visokog obrazovanja. Naredni cilj je da bude među prvih deset naučnih univerziteta u svetu. U januaru 2008. godine J. Koreja je lansirala program za univerzitet svetske klase sa 800 miliona dolara za petogodišnji period. Predviđen je uvoz stranih profesora kao monografije da predaju i vode istraživanja. Ovim programom je upravljala Koreanska fondacija za nauku i inženjerstvo za koji se javilo 1000 stranih profesora. Više od 40 procenata je iz SAD i to jedanaest nobelovaca i osamnaest članova Nacionalne akademije za inženjerstvo SAD. Cilj je programa da se fokusira na podršku nove tehnologije koje su uslov za generisanje podloge u cilju nacionalnog razvoja. Ti programi i departmani su za područja nanotehnologije, nano-nauke i inženjerstvo okeanskih sistema.

Na primeru Južne Koreje namena je bila da se ukaže da neki aktuelizovani programi u Srbiji su kolekcija nekreativno-zamišljenih aktivnosti, kao npr. prodaja tehničkih fakulteta kod Vukovog spomenika i gradnji tzv. Tehnološkog kompleksa na Novom Beogradu. To može da bude samo diletantskih operacija nevičnih ljudi za oblast programiranja-razvoja nauke i tehnologije za razvoj Srbije!

Drugi primer je Singapur, koji je oko 5000 kilometara od J. Koreje, koji je imao ambiciju da postane intelektualna centrala (Power house). U 2002. donosi odluku za prodor u visoko obrazovanje kao isturena škola za globalnu ekonomiju. Za to je bilo neophodno da privuku ino-institucije i studente. Postavile su cilj da do 2015 godine privuku 150.000 ino-studenata. Korist od tog programa je da će se otvoriti 22000 novih radnih mesta i da će obrazovani sektor dobiti od postojećih 1.9 procenata BDP (18 milijardi US dolara) porasti na 5 procenata.

Pet godina pre toga vlada je pokrenula inicijativu da se dovede 10 svetske klase univerziteta za deset godina. Tako je 2005 univerzitet je već imao prisutnost u Singapuru: Univerzitet Čikago, Džon Hopkins Univerzitet, Karnedži Melon Univerzitet i INSEAD-Međunarodna poslovna škola. Ono što je specifično za ovaj program Singapura je da je generisan sinergetski model akademske izvrsnosti tako što se radi sa elitnim ino-univerzitetom i istovremeno hrani svoje institucije. Oko 90000 stranih studenata predstavljaju više od 120 nacionalnosti. Tako je Nahyang Tehnički Univerzitet (NTU) angažuje akademika-profesora sa severnog

Kentaki Univerziteta da formira fond alumni populacije iz Singapura i šire. Treba istaći da Singapur ima brojne probleme u visokom školstvu.

Treći primer je razvoj istraživačkog visokog školstva u Saudijskoj Arabiji. Već smo u knjizi *Politička ekonomija industrije znanja*⁸ u odeljku Silikonska dolina i Globalizovane tehnološke platforme naveli mapu novih ekonomskih gradova Saudijske Arabije. Između četiri programa izdvaja se program kralja Abdulaha. Univerzitet nauke i tehnologije KAUST je otvorio svoja vrata 2009. godine. Sledeći duh islamskog zlatnog doba prilagodio je univerzitet kući mudrosti za istraživanje i učenja u Bagdadu od devetog do trinaestog veka. Danas bogata zemlja na nafti, sam kralj Abulah je ponudio 10 milijardi dolara sa dodatnih 25 milijardi dolara u bliskoj budućnosti. Kako bi odmah bio iza Harvarda.

Široka je lepeza aktivnosti koje omogućavaju ovakvi finansijski fondovi. Ovde samo navodimo neke od prvih partnera u saradnji sa Zapada, to su: mašinski fakultet-Univerzitet Kalifornija-Berkli, Računarske nauke o zemlji i Inženjerstvo – Univerzitet Teksas – Ostin, Stanford Univerzitet-Kompjuterske nauke primenjena matematika, bionauke i bioinženjerstva Kambridž Univerzitet, i fakultet Imerial Koledž-London kao što su hemijsko inženjerstvo, nauka o materijalima i inženjerstvo.

Brojne dileme i praktične probleme izaziva uspostavljanja ovako ambicioznih poduhvata kako u intelektualnoj promeni ljudi u samoj državi, njihovo religiozno, kulturološkoj i etničko sukobljavanje kroz cirkulaciju studenata i profesora, do problema na međunarodnom planu kao što je npr. blizina Izraela i ceo Balkanski sindrom u tom regionu.

Sva tri izdvojena primera ukazuju na novo nastajanje „eldorada“ znanja za formiranje mreže globalizovanih univerziteta.

Već je ranije navedeno da je Evropa zapravo postojbina prvih, svetske klase univerziteta. Ovde navodimo najnovije napore univerziteta u Nemačkoj i Francuskoj.

Nemački univerzitet su učinili napor utransformaciji od elitnih prema masovnim institucijama. Nemački univerziteti nisu bili prvobitno rangirani u globalnom prostoru. 2004 godine indentifikovano je šest kampusa koji imaju potencijal da budu svetske klase. Dve godine kasnije kroz Incijativu izvrsnosti lansirana je suma od 19 milijardi evra koja je raspoređena u odnosu 75:25 između federalne vlade i saveznih država. Programom je podeljen u tri celine: škole sa diplomiranjem, klasterizovanoj-interdisciplinarna istraživanja, i treći „koncepti za budućnost“ – promovisanje radikalne reorganizacije.

Na nemačkom univerzitetu 2002 godine upisano je 17.000 studenata iz Kine, da bi 2005 taj broj bio 27.000. Ali Nemačka ima veliki nedostatak inženjera i istraživača.

Francuska sa Sarkozijem prati nemački koncept, tako da određuje dopunska sredstva za Rad kampusa. Oko 5 milijardi evra dato je kao inicijalna sredstva za osposobljavanje univerziteta za standard svetske klase. Tako je izabrano za ovaj projekat šest univerziteta širom Francuske. Logika Francuske zatvorenosti prema svetu, verujući u svoju superiornost. Kao da nije čula poziv našeg doba da „doba globalizacije znači upoređivanje“. Mereći se u vremenu sam sa sobom dovodi da si i dalje dosta dobar. Taj sindrom je vrlo sadržan za naš univerzitet.

Međutim, put prema uspehu je neizvestan, UNESCO-Evropski centar za visoko školstvo u oktobru 2008 godine na konferenciji došlo je do nekih zaključaka koje navodimo:

„Visoko školstvo postaje vrlo važno da bi bilo prepušteno samo nastavnicima i ima vrlo važnu ulogu u inovacionom lancu.“

⁸ Vladimir R. Milačić, *Politička ekonomija industrije znanja*, FTN Izdavaštvo, Novi Sad (2010)

„Kompanije, univerziteti, istraživački centri, i cele zemlje su u trci u pokušaju da privuku najbolje umove (BRAINS).“

„Mnogo je teško stvoriti univerzitete svetske klase nego što ljudi misle.“

„Univerzitet ne može da se tretira kao grana javnog servisa i ako vi saradujete sa institucijom, budite sigurni da će te biti nagrađeni.“

Ali ono što je važno, a to je, da mora da se igra u ligi znanja dvadeset prvog veka. Ne mora da si u vrhu, ali mora da se učestvuje.

Za ovo ligu znanje između univerziteta razvijeni su različiti sistemi rangiranja. Ovde navodimo samo dva sistema rangiranja: Šangajski i THES – časopis TIMES visoko obrazovanje.

Šangajski sistem rangiranja u svetu obuhvata nastavno osoblje kroz sledeće pokazatelje: dobitnici Nobelove nagrade, dobitnici medalja iz područja koje se dobijaju svake četiri godine za matematiku a mlađi su od četrdeset godina, istraživači koji publikuju radove u časopisima Priroda ili Nauka, ali rad koji je često citiran od drugih. Takođe se uzima u obzir ukupan broj univerzitetskih radova koji su indeksirani SCIE – proširen indeks citiranih naučnih radova, SSCI – indeks citiranja za oblast društvenih nauka i ACHI – indeks citiranosti u umetnosti i humanitarnim naukama. Poeni se raspodeljuju po godišnjem navođenju. Tako da imamo poene u kategorijama 10 i 20 prosečno, što je raspodeljeno u sumi koja je 100 prosečno. Time su za 2008 godinu dobijeno da je deset vodećih univerziteta u svetu bili: Harvard, Stanford, Berkli, Kembridž, MIT, Calteh, Kolumbijski, Princeton, Čikago i Oksford.

Dakle, Šangajski sistem bio usmeren na istraživanje. Drugi naveden sistem je sistem THE ima širi opseg faktora kroz metodologiju „recenzije zaposlenih“. Ali ova dva sistema se značajno preklapaju pri sastavljanju liste vodećih univerziteta u svetu. Tako za 2008 godinu to su bili: Harvard, Jal, Kembridž, Oksford, Imperiski koledž – London, Univerzitet koledž – London, Čikago, MIT i Kolumbija.

Posle je ova lista skraćena ocenjivanjem univerziteta prema OECD sistemnu AHELO - Higher EDUCATIONAL LEARNING OUTCOME gde predmetno znanje nije samo u tome da razumeju činjenice već da se stave u okvir znanja koje za upotrebu i često pod inovativnim uslovima⁹.

Šangajski sitem rangiranja Beogradski univerzitet je u sredini između 500 i 1000, koliko se sećam, samo je ljubljanski univerzitetu prvih pet stotina!

5. UMEMTO EPILOGA ZA TRAKAT O GLOBALNOM UNIVERZITETU

Narod i zemlja Srbija je u velikim problemima. Sledeći metodologiju promatranju Balkana kao što je pre više od sto godina činio Jovan Cvijić danas, u mesto geološko etno – antropološko društvenog opisivanja Balkana, posle dva Velika rata i jednog rata unutar bivše Jugoslavije koji je trajao kao poslednji Veliki rat, karakteriše iscepanost sa dominantnom tekstonskom pločom koju možemo da nazovemo parto-kleptokratija koja pliva na razarajućoj magmi neznanja i zavisnosti ljudi, kao što ju je opisivao S. Tekelija krajem osamnaestog veka. Parto-klepto-kratsko tkivo društva je zahvatilo prostor Srbije od gornjih slojeva pa sve do „rezervacije hotelske sobe“. Kao da je vlasništvo u posedovanu i upravljanju nad ukupnim materijalnim i duhovnim bogatstvom Srbije podeljeno unutar preko uspostavljene upravljačke strukture i isparcelisana svest ljudi na takve ešalone.

Dvadeseti vek neki nazivaju „stoleće ljudskog kapitala“ u kome je dominantna Amerika. To smo pokušali da ilustrujemo kroz proces globalizacije visokog školstva koje treba da dovede do ponovnog otkrivanja univerzitetskog obrazovanja u postojećim strukturama kao i novo otvorenih centara nauke i obrazovanja.

Beogradski univerzitet, naročito u periodu od 1950 do 1985 godine, beležio je značajan rast kako po sadržajima tako i aktivnostima. Uspostavljene su nove, ali vrlo značajne naučno – obrazovne oblasti kao što su tehnički fakultetu i prirodno - matematički fakulteti. Izgrađene su nove zgrade i laboratorijski kapaciteti, što je bila osnova naučno – tehnološke industrijskog ubrzanog razvoja Srbije.

⁹ Čitaoca koga interesuju ovi sistemi rangiranja kao uvodno štivo može da posluži glava četiri: Globalna rangiranja koledža – knjiga [7]

Beogradski univerzitet kao univerzitet sa najdužom tradicijom, a dugo vremena i jedini u Srbiji i većem delu bivše Jugoslavije, bio je osnivač ili pak učestvovao sa svojim nastavnim kadrom u procesu nastajanja ovih univerziteta kao što su Univerzitet u Novom Sadu, Univerzitet u Kragujevcu – Kraljevu – Čačku, Univerzitet u Nišu kao i Univerzitet u Sarajevu, Podgorici i Skoplju.

To je bio obiman naučno – stručni poduhvat za širenje magistrale znanja i za rast nacionalnog bogatstva ovog regiona.

Beogradski univerzitet već dugo beleži stagnaciju i zatvorenost u sebe u svom razvoju u poslednje dve decenije. Veliki broj svršenih studenata napustilo je Srbiju, dok je srpska industrija i drugi vitalni segmenti privrede toliko unazađeni, tako da se predviđa da je potrebno i još jedna decenija da se dođe na nivo razvoja iz 1990 godine.

Zemlje se razlikuju prema indeksu prosperiteta koji da je materijalno bogatstvo i kvalitet života. Obuhvaćeno je 110 zemalja. Grupu prvih deset zemalja čine: Norveška, Danska, Finska, Australija, Novi Zeland, Švedska, Kanada, Švajcarska, Holandija i SAD.

Jedan od parametara prestižnog položaja neke zemlje je sposobnost izvoza. Tako je u periodu od 2000 do 2009 godine Nemačka povećala izvoz za 22 procenta, Kina za 15 procenata, a SAD samo za 1 procenat. Sa druge strane smanjenje izvoza beleži Italija za 11 procenata, Francuska za 19 procenata i Kanada za 37 procenata.

Važan parametar „stanja duha“ u jednoj zemlji je procenat stanovništva bez posla. Tako u SAD je porasla od 6 procenata u 2008 godini na projektovanih 9.6 procenta u 2010 godini. Zemlje OECD – a takođe beleže slični rast nezaposlenosti. SAD, samo što se predviđa u 2010 godini da od 8.68 procenata padne na 6.9 procenata. Srbija se guši u nezaposlenosti, krećući se oko 20 procenata nezaposlenih.

U naše vreme bitka za prestiž u domenu ljudskog kapitala kao „nevidljive reke“ stalno teče.

Setimo se prvog Sputnika i Gagarina kada je tadašnji vođa SSSR – a Hriškov pretio Amerikancima da je glavna „crvena armija SSSR – a obrazovni nivo. Tada je predsednik Dž. Kenedi proglasio projekat Mesec za svoj primat u nauci i tehnologiji, tj. u ljudskom kapitalu „Neki dvadeseti vek zovu Vek SAD“.

Ali šta je sa 21. vekom. Da li Kina može da zauzme mesto koje ima danas SAD tj. da bude prva i kada? Kina je sada druga ekonomska sila sa 5.88 biliona (triliona) dok je Japan na trecem mestu sa 5.47 biliona (triliona) dolara. Ali BDP po glavi stanovnika u Japanu je 33.828 dolara, dok u Kini 7.518 dolara. Neke procene su da Kina može da gotovo udvostruči BDP, u odnosu na SAD u 2030 godini. U toj 2030 – toj Kina bi imala BDP od 73.5 biliona, SAD – 38.2 biliona, dok Japan 8.4 biliona dolara¹⁰.

U prethodnom naslovu navodeći Šangajski sistem rangiranja univerziteta istaknuto je da jedan od pokazatelja za rangiranje je broj i kvalitet naučnih radova koji su publikovani tj. prema indeksu citiranosti.

Prema tom kriterijumu Kina može da preuzme primat oko 2013 godine. Navodimo uporedni pregled prema Time Magazinu¹¹.

	SAD	Kina
1996	292.513 – 30 %	25.474 – 2- 3 %
2008	316.313 – 20%	184.080 – 12 %
2013 projekcija	< 15 %	> 15% u odnosu na svet
2020 projekcija	10%	22%

U tabeli navedeni su apsolutni brojevi radova, dok procenti daju udeo u ukupnom uzorku univerziteta obuhvaćenih Šangajskim sistemom.

Ovo stalno oscilovanje u Epilogu između Srbije i sveta kao da nameće aktuelnost poziva Dositeja Obradovića, Srbiji upućenom pre više od dva veka; da Srbija treba da „vostane,, jer je „zaspala“. Mentalno buđenje naroda i njegovo usmerenje prema cilju društva koje svoju sreću može da ostvari samo tako što će postati društvo znanja.

Za kraj ovog traktata mislio sam da navedem spisak ino - univerziteta i naučnih instituta koje sam imao priliku da posetim, u nekim da držim seminare a u tri da radim kao nastavnik. Verujem da to može da

¹⁰ Now No R. Cowl China Became No 1? Time Magazin februar 28, 2011.

¹¹ Another Way CHINE MAY BEAT The US, Time Magazin April 11 (2011)

pomogne cenjenom čitaocu da razume ono što sam hteo da kažem, a možda sam i prećutao da bi ga ostavio da sam razmišlja.

Evo spiska, možda nije potpun, Univerzitetia koje sam posetio, u vremenu od 1960 – 2000 godine.

Univerzitet u Birmingemu - Engleska (jednu godinu), Univerzitet Džordž Vašington (dve godine), Univerzitet Portoriko (tri godine). Kentaki Univerzitet SAD, Sinsinati Univerzitet SAD, Viskonsin Univerzitet – SAD, Mičigan Univerzitet – Ann Aknoron SAD Mičigen-Tek Univerzitet – Itouton SAD, Konektikat Univerzitet – SAD, MIT, Harvard, Džon Hopkins Univerzitet, Pen – State Univerzitet – SAD, Krenfild Univerzitet – V. Britanija, Edinburg Univerzitet – V. Britanija, Institut za vibracije i buku Saushakton - V. Britanija, Mančester Univerzitet – V. Britanija, TEHNION - HAIFA , Tokio Univerzitet - Japan, Madarska akademija nauka – Budimpešta, Kievski politehnički institut – Ukrajina, Institut za tvrde materijale, Kiev – Ukrajina, Institut Bauman - Moskva, Institut ENIMS - Moskva, Univerzitet Tbilisi – Gruzija, Institut VUOSO – Prag, CERN – Ženeva, Norveški univerzitet za nauku i tehnologiju Tronthajm, Tehnički Univerzitet Minhen, Tehnički Univerzitet - Berlin, Univerzitet Delft – Holandija, Štutgard Univerzitet – Nemačka, Tojohaši Univerzitet – Japan, UCLA –SAD, Univerzitet Hanover, Tehnički Univerzitet Drezden, Nanci Univerzitet – Francuska, Univerzitet Vjihans - Kina, Univerzitet Palermo – Italija, Stanford Univerzitet – SAD, Metcut istraživači centar – SAD, Perđju Univerzitet – SAD, Urban Šampanja Univerzitet – SAD, Univerzitet Novi Meksiko – SAD, Institut za kompleksnost – Santa Fe Novi Meksiko, Institut za tehnologiju Krakov – Poljska, Univerzitate Nova Lisabon – Portugal, Institut Stankin - Moskva idr.



Milutinović D., Glavonjić M., Tanović Lj., Bojanić P., Puzović R., Živanović S., Kokotović B., Popović M., Slavković N., Mladenović G.¹⁾

REZULTATI ISTRAŽIVANJA I RAZVOJA NOVE GENERACIJE OBRADNIH SISTEMA²⁾

Rezime

U radu je prikazan deo rezultata istraživanja u oblasti nove generacije obradnih sistema. Prikazom su obuhvaćeni razvijeni prototipovi mašina alatki i robota sa paralelnom kinematikom, kao i rekonfigurabilni obradni sistem za višeosnu obradu na bazi robota. Prikazani rezultati predstavljaju osnovu za saradnju sa domaćom industrijom, učešće u međunarodnim projektima i dalja istraživanja. Razvijeni sistemi takođe čine i resurs za laboratorijski rad studenata proizvodnog mašinstva na svim nivoima studija.

Ključne reči: mašine alatke, roboti, upravljanje i programiranje, ispitivanje mašina alatki

1. UVOD

Obradni sistemi nove generacije čine osnovu razvoja proizvodnih tehnologija u svim granama industrije. Ključna istraživanja u ovim oblastima su danas fokusirana na multifunkcionalne i rekonfigurabilne mašine alatke i robote, upravljačke sisteme otvorene arhitekture, nove metode programiranja, razvoj novih procesa i alata kao i široku primenu CAD/CAM sistema.

Polazeći od ovih konstatacija Katedra je u prethodnom periodu pokretala istraživanja u oblasti razvoja nove generacije obradnih sistema kroz:

- četiri projekta tehnološkog razvoja, od kojih je jedan u toku,
- jedan inovacioni i
- jedan EUREKA! projekat.

Cilj ovih istraživanja je unapređenje saradnje sa domaćom industrijom, učešća na međunarodnim projektima i obezbeđenja resursa za obrazovanje studenata proizvodnog mašinstva na svim nivoima studija i kao materijalne baze za dalja istraživanja u ovim oblastima.

Deo ključnih rezultata koji će biti prikazan u ovom radu obuhvata:

- razvijene prototipove mašina alatki i robota sa paralelnom kinematikom,
- razvoj rekonfigurabilnog obradnog sistema za višeosnu obradu na bazi robota,
- razvoj upravljačkog sistema otvorene arhitekture, i
- ispitivanje ovih obradnih sistema.

Iz ovih istraživanja su proistekle doktorske disertacije [45,46] i magistarske teze [44], kao i danas potrebne reprezentativne reference kao što su radovi u međunarodnim časopisima sa SCI liste [1-7], veći broj priznatih domaćih i međunarodnih патената [50-56], radovi na međunarodnim [13-21] i domaćim [22-43] konferencijama, tehnička rešenja [47-49], kao i nagrade i priznanja od domaćih institucija i organizacija.

2. MAŠINE SA PARALELNOU KINEMATIKOM

Kada se govori o mašinama alatkama i industrijskim robotima nove generacije, uglavnom se misli na promene koncepcija i usavršavanje osnovnih podsistema. Mašine sa paralelnom kinematikom ili paralelne mašine, o kojima je ovde reč, su mašine alatke i industrijski roboti. Paralelene mašine alatke i paralelni roboti

¹⁾ Prof. dr Dragan Milutinović (dmilutinovic@mas.bg.ac.rs), prof. dr Miloš Glavonjić (mglavonjic@mas.bg.ac.rs), prof. dr Ljubodrag Tanović (ltanovic@mas.bg.ac.rs), prof. dr Pavao Bojanić (pbojanic@mas.bg.ac.rs), prof. dr Radovan Puzović (rpuzovic@mas.bg.ac.rs), doc. dr Saša Živanović (szivanovic@mas.bg.ac.rs), mr Branko Kokotović (bkokotovic@mas.bg.ac.rs), mr Mihajlo Popović (mpopovic@mas.bg.ac.rs), Nikola Slavković (nslavkovic@mas.bg.ac.rs), Goran Mladenović (gmladenovic@mas.bg.ac.rs), Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16, 11120 Beograd

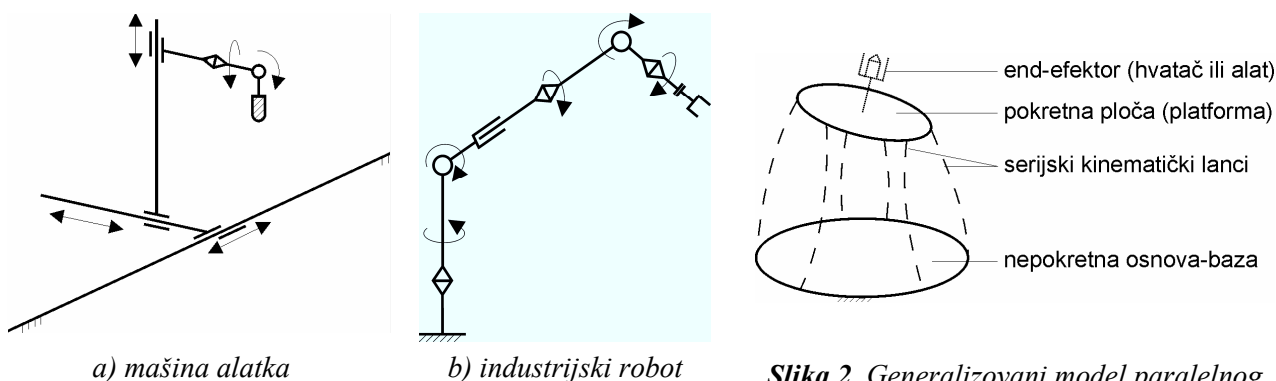
²⁾ Ovaj rad je nastao u okviru projekata, koji su podržani od strane Ministarstvo prosvete i nauke, Vlade Republike Srbije.

su bazirani na mehanizmima sa paralelnom kinematikom i danas se mogu eksplicitno prepoznati i smatrati mašinama nove generacije. Pojava mašina alatki i robota sa paralelnom kinematikom ranih devedesetih odnosno osamdesetih godina prošlog veka se smatra za najznačajniji pomak u ovim oblastima od pojave numeričkog upravljanja.

Zbog specifičnosti paralelnih mehanizama i mašina alatki i robota baziranih na njima istraživanja u ovoj oblasti su i dalje veoma intenzivna i bazirana su na visokom nivou kooperacije univerziteta, istraživačkih instituta i industrije. Ova istraživanja se odnose na sintezu novih mehanizama, modeliranje, upravljanje, projektovanje, izradu i korišćenje mašina alatki i robota baziranih na njima.

2.1 Mehanizmi sa paralelnom kinematikom

Manipulatori odnosno mehanizmi tradicionalnih industrijskih robota i mašina alatki su izvedeni kao serijski mehanizmi, slika 1. I pored impresivnih rezultata u razvoju pojedinih podsistema mašina alatki i robota opšta je konstatacija da su iscrpljene granice mogućnosti serijskih struktura. Napredak u prevazilaženju suštinskih nedostataka serijskih mehanizama odnosno manipulatora je ostvaren napuštanjem koncepta "ljudske ruke" odnosno ideje jednog, glavnog, kinematičkog lanca. Novi koncept je pošao od generalizacije koncepta zatvorenih petlji (od serijskih kinematičkih lanaca) i korišćenja više njih paralelno za vezu osnove i end-efektora, slika 2. Zbog ovakve prirode ovi mehanizmi se nazivaju mehanizmi sa paralelnom kinematikom ili paralelni mehanizmi.



Slika 1. Serijski mehanizmi mašina alatki i robota

Slika 2. Generalizovani model paralelnog mehanizma

Tip strukture paralelnog mehanizma je poznat već dugo vremena. Još je matematičar Koši proučavao krutost zglobovog oktaedra (1813). Za prvi paralelni mehanizam se smatra patentirano rešenje manipulatora iz 1942. godine, W. Polarda, zatim Gočov mehanizam iz 1947. i Stjuartov iz 1965. godine [57]. Zbog široke primene od simulatora leta do mašina alatki i robota, paralelni mehanizmi se danas pojavljuju u vrlo velikom broju varijeteta, kako po topologiji, tako i po broju stepeni slobode.

Značaj teorijskih i primenjenih istraživanja vezanih za razvoj mašina alatki i robota na bazi mehanizama sa paralelnom kinematikom se ogleda u čitavom nizu specifičnosti i suprotnosti ovih mehanizama u odnosu na serijske kao što su:

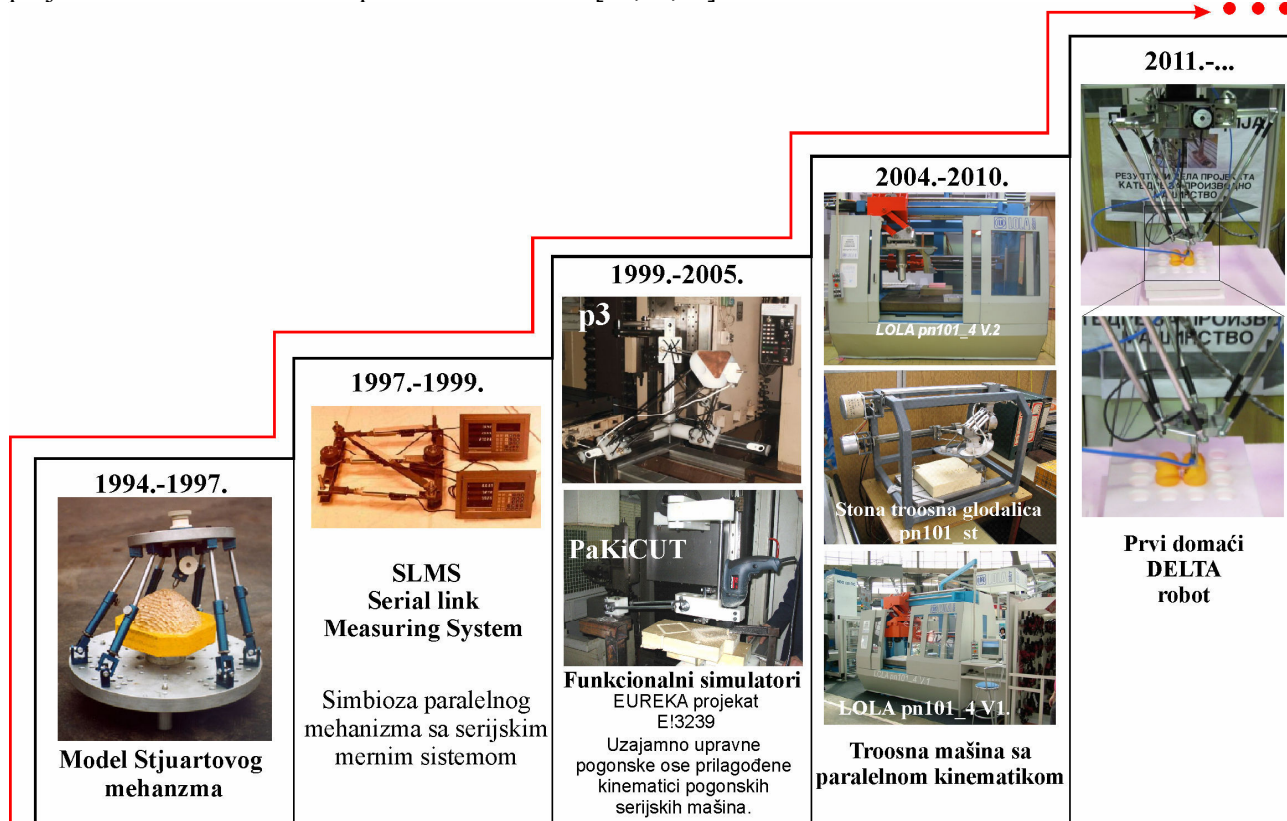
- relativno jednostavno rešavanje IKP,
- veoma komplikovano rešavanje DKP koji u opštem slučaju, ali i u mnogim posebnim nije rešiv u analitičkoj formi,
- složenost analize singulariteta i oblika i dimenzija radnog prostora,
- komplikovano dinamičko modeliranje,
- složeno upravljanje,
- neophodnost i kompleksnost kalibracije i kompenzacije.

Sa druge strane, mašine alatke i roboti sa paralelnom kinematikom odlikuju velike brzine zbog malih pokretnih masa, velika krutost, modularnost i rekonfigurabilnost itd.

2.2 Rezultati istraživanja

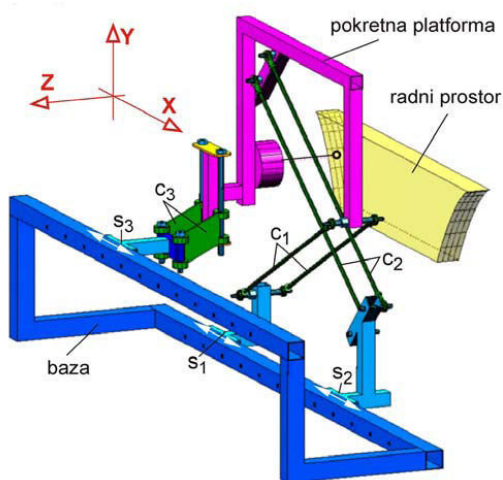
Istraživanja u oblasti mašina alatki i robota sa paralelnom kinematikom na Katedri za proizvodno mašinstvo su započela neposredno pre pojave prvih komercijalnih paralelnih mašina na IMTS, Čikago 1994. godine (Variax – Giddings& Lewis i Hexapod - Ingresol). Prvi radovi iz ove oblasti kod nas su se pojavili 1996. godine [22,23]. Ovo su bila prva istraživanja u ovoj oblasti u našoj zemlji i po obimnom i dugoročnom

programu su imala za cilj razvoj nove generacije domaćih mašina alatki i robota. U istraživanja su na samom startu uključene i domaće fabrike na izradi modela, simulatora i konačno, prvih industrijskih prototipova mašina alatki i robota [8, 13, 14, 25, 26, 44], slika 3. Takođe, ostvarena je i međunarodna saradnja u okviru projekta EUREKA! 3239 sa partnerom iz Grčke [15,33,34].



Slika 3. Etape istraživanja paralelnih mašina

Ovim programom istraživanja su obuhvaćena teorijska istraživanja u oblasti siteze novih mehanizama, kinematike, dinamike, metoda kalibracije i kompenzacije i upravljanja kao i primenjena istraživanja vezana za projektovanje, gradnju, ispitivanje primenu i programiranje paralelnih mašina alatki i robota. Takođe je značajno pomenuti da je ova problematika uključena i u proces nastave na svim nivoima studija kroz nekoliko predmeta iz oblasti mašina alatki, robota, CAD/CAM-a i alata što je rezultiralo većim brojem diplomskih, magistarskih i doktorskih radova od kojih su i neki u toku.



Slika 4. CAD model inicijalne verzije mehanizma[1]

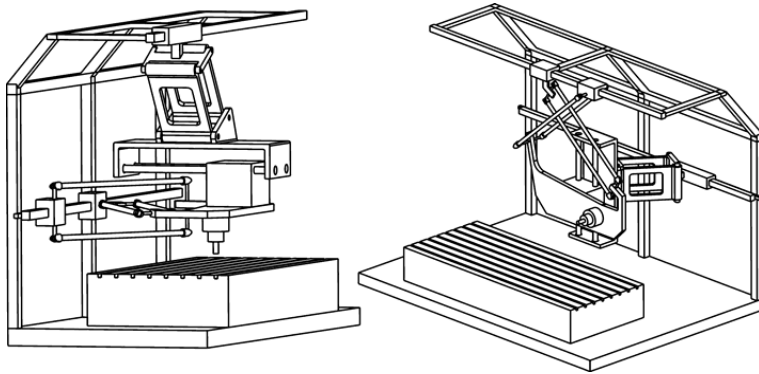
2.2.1 Kratak prikaz troosnih glodalica sa paralelnom kinematikom

U cilju razvoja troosne glodalice sa dugačkom X osom koja zadovoljava uslove savremene proizvodnje razvijen je i patentiran [56] novi troosni mehanizam sa paralelnom kinematikom.

Polazeći od činjenice da su oblik i dimenzije radnog prostora među najvećim nedostacima mašina sa paralelnom kinematikom razvijen je i patentiran domaći prostorni troosni paralelni mehanizam za horizontalne i vertikalne glodalice, slika 4.

U poređenju sa sličnim mehanizmima sa paralelnim vodicama i konstantnim dužinama spojki, ovaj mehanizam ima nekoliko prednosti: pravilan radni prostor, što je karakteristika serijskih mašina, veću krutost po prirodi koncepcije mehanizma sa ukrštenim spojkaama i vrlo dobar

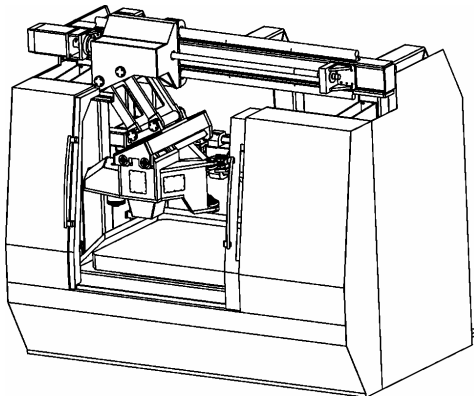
odnos sila i brzina u celom radnom prostoru. Varijantnost strukture mehanizma omogućava široku oblast primene za vertikalne i horizontalne troosne paralelne glodalice, slika 5, odnosno obradne centre, kao i za hibridne paralelno-serijske petoosne mašine zbog povoljnog oblika i dimenzija pokretne platforme.



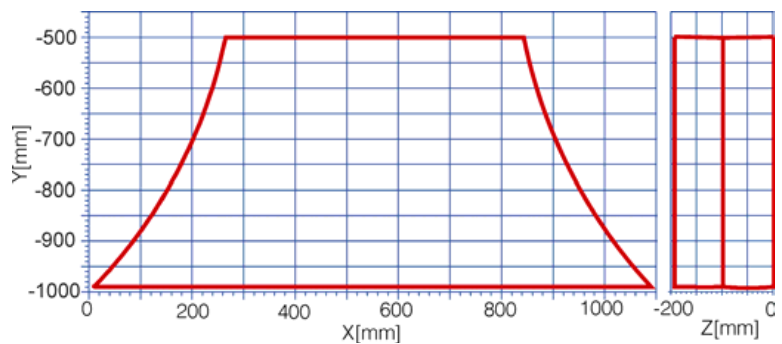
Slika 5. Koncepti vertikalne i horizontalne glodalice sa paralelnom kinematikom [1]

Polazeći od kinematičkog modeliranja koje je obuhvatalo analitičko rešavanje inverznog i direktnog kinematičkog problema, analizu singulariteta i oblika radnog prostora stvoreni su preduslovi za projektovanje mehaničke strukture i sistema upravljanja i programiranja. Polazeći od uobičajenih proporcija osa vertikalnih serijskih glodalica, pri koncipiranju prototipa vertikalne glodalice sa paralelnom kinematikom usvojen je odnos hodova glavnog vretena u pravcima X,Y i Z kao 5:2:1.

CAD model razvijenog prototipa troosne vertikalne glodalice pokazan je na slici 6a, oblik i mere radnog prostora na slici 6b.



a) CAD model industrijskog prototipa



b) radni prostor

Slika 6. CAD model prototipa sa oblikom i dimenzijama radnog prostora[1]

Na slici 7a prikazana je prva verzija razvijenog prototipa koji je izrađen u tadašnjem LOLA Sistemu AD Beograd 2004. godine. Saradnja na ovom programu traje i danas sa LOLA Institutom iz Beograda. Na slici 7b je pokazana nova verzija koja je instalisana na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Razvijeni prototip je naišao na izuzetan prijem u međunarodnoj naučnoj i stručnoj javnosti i osvojio je veći broj nagrada i priznanja. Razvijeni pristupi modeliranja pored efikasnih upravljačkih algoritama omogućavaju i razvoj novih algoritama za kalibraciju i kompenzaciju.



a) LOLA pn101_4 V.1



b) LOLA pn101_4 V.2

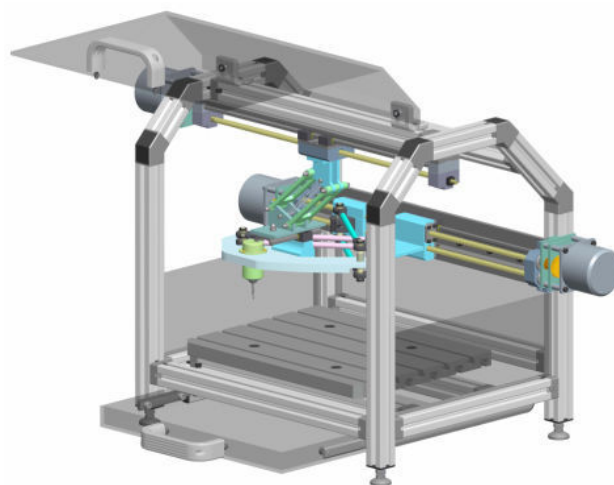
Slika 7. Verzije razvijenog industrijskog prototipa LOLA pn101_4

Polazeći od potencijalnih potreba za edukacijom u oblasti CNC programiranja na mašinskim fakultetima, visokim strukovnim i srednjim mašinskim školama u zemlji i okruženju razvijen je i prototip

edukacione stone troosne glodalice sa paralelnom kinematikom [5,12, 20, 35, 38, 46], slika 8a, čija je već projektovana komercijalna varijanta prikazana na slici 8b. Osnovna ideja ovog projekta koji je u toku je da to bude mašina veoma niske cene, jednostavna za rukovanje i održavanje, bezbedna i da omogući studentima i učenicima da pojedinačno uvežbavaju sve korake u programiranju, verifikaciji programa i rukovanju mašinom.



a) prvi prototip



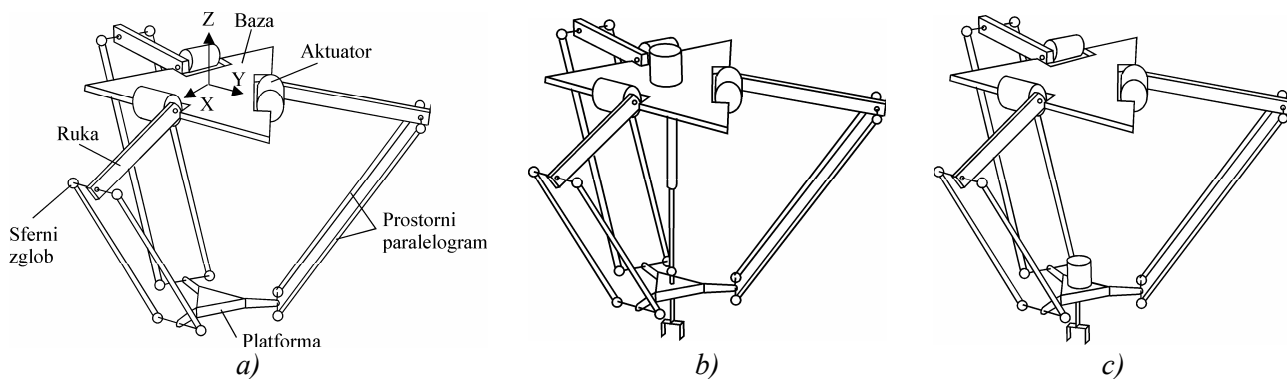
b) CAD model projektovanog komercijalnog prototipa

Slika 8. Edukaciona stona troosna glodalica sa paralelnom kinematikom [5]

2.2.2 Kratak prikaz razvijenog DELTA robota

DELTA robot je osnova savremenih linija i sistema za manipulaciju i pakovanje proizvoda prehrambene, konditorske i farmaceutske industrije. Takođe ima primenu i u montaži u mikroelektronici. Zahtevani standardi produktivnosti, pouzdanosti i higijene u ovim industrijama potiskuju postojeće serijske robote iz procesa proizvodnje.

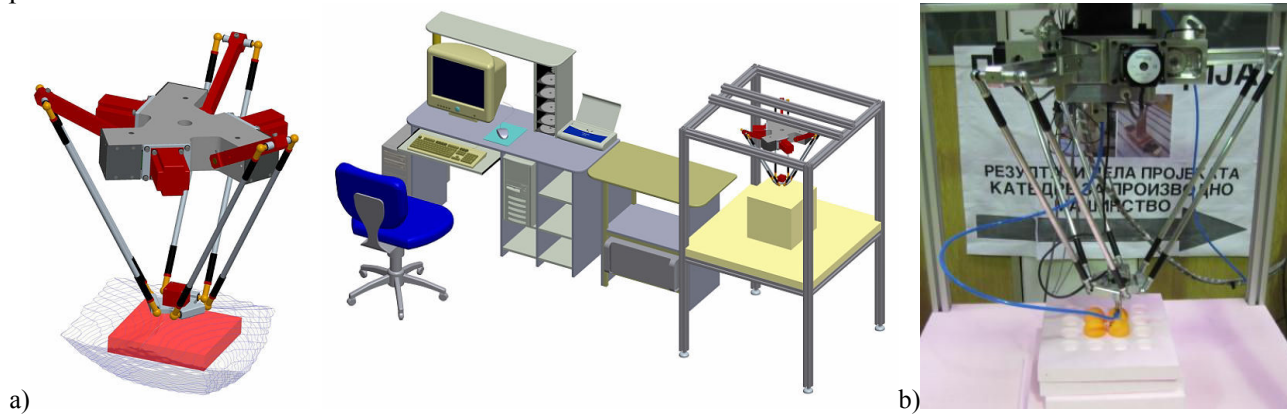
DELTA paralelni robot [58] razvijen je sa idejom da nema potrebe koristiti robote sa motorima od po nekoliko kilovata za manipulaciju delovima mase od nekoliko grama. Originalni shematski prikaz DELTA robota pokazan je na slici 9. Ovakva, na prvi pogled kompleksna struktura mehanizma sa većim brojem segmenata, slika 9a, omogućava da pokretna ploča ima samo 3 stepena slobode. Četvrti stepen slobode, odnosno orijentacija, obezbeđuje se aktuatorom na nepokretnoj ploči, čiji se moment prenosi pomoću dva kardanska zgloba i teleskopskog vratila, slika 9b, ili pomoću aktuatora na unutrašnjoj strani platforme, slika 9c. Sa aspekta kinematičkih mogućnosti DELTA robot može biti posmatran kao SCARA robot, s tim što mu je odnos nosivost/masa višestruko veći kao i brzine nego kod SCARA robota (brzine vrha preko 10 m/s uz ubrzanja i iznad 10g).



Slika 9. DELTA mehanizam sa obrtnim zglobovima

Na složenost modeliranja, projektovanja i izrade ukazuje činjenica da mali broj proizvođača robota uključuje DELTA robot u svoj proizvodni program. S obzirom na potrebe za ovakvim robotima i u domaćoj industriji kao i za potrebe nastave i istraživanja pokrenut je projekat razvoja domaćeg DELTA robota koji je u toku. Na slici 10a je pokazan CAD model DELTA robota sa radnim prostorom i okruženjem, dok je na

slici 10b pokazan prototip prvog domaćeg DELTA robota koji je kompletno razvijen i izrađen na Katedri za proizvodno mašinstvo.

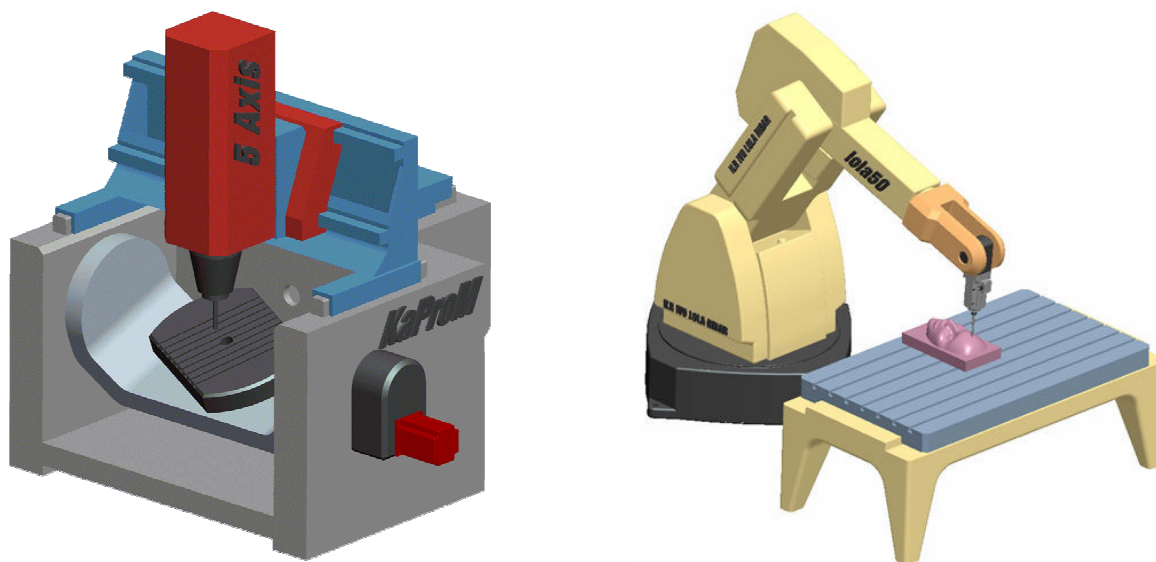


Slika 10. Domaći DELTA robot

Osnovu za projektovanje, upravljanje i izradu DELTA robota sa izuzetnim karakteristikama čini razvoj kinematičkih modela koji su veoma složeni. Naša dosadašnja istraživanja su rezultirala razvojem kinematičkog modela DELTA robota na bazi minimalnog broja parametara, što ga čini efikasnijim od postojećih pristupa ne samo u pogledu upravljanja već i u pogledu efikasnih algoritama za kalibraciju i kompenzaciju čiji je razvoj u toku.

3. MAŠINE SA SERIJSKOM KINEMATIKOM

U oblasti serijske kinematike istraživanja obuhvataju razvoj rekonfigurabilnih i multifunkcionalnih mašina alatki i robota za višeosnu obradu glodanjem, slika 11. Osvajanje tehnologije višeosne obrade glodanjem složenih estetskih i funkcionalnih površina je danas još uvek izazovan istraživački zadatak kako u pogledu razvoja novih mašina alatki i robota tako i u razvoju sistema za upravljanje i programiranje. Dalje će se pokazati samo rezultati istraživanja i razvoja rekonfigurabilnog obradnog sistema za višeosnu obradu na bazi robota.



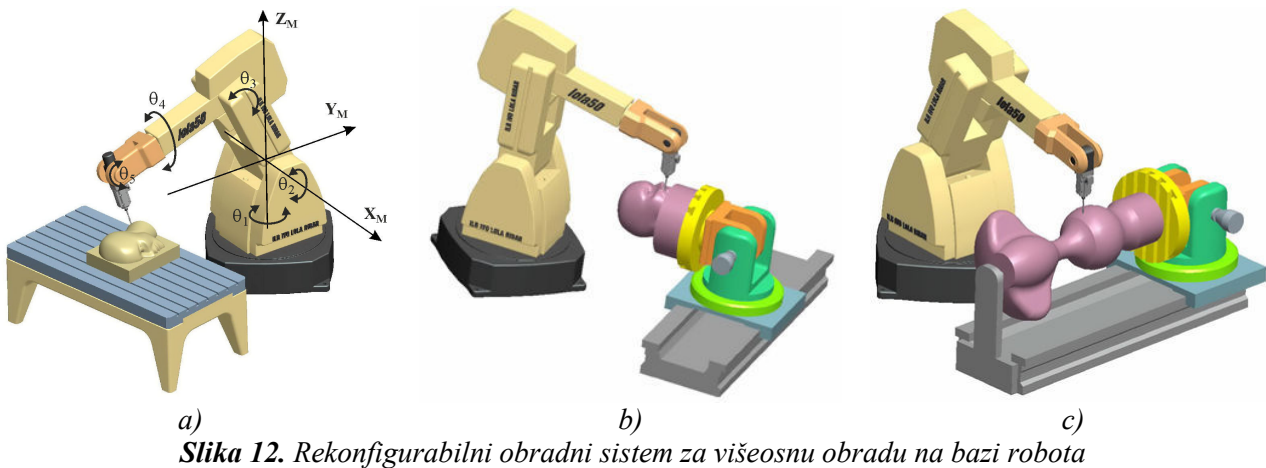
a) koncept petoosne mašine alatke

b) koncept petoosnog robota za obradu

Slika 11. Koncepti petoosnih serijskih mašina za obradu glodanjem

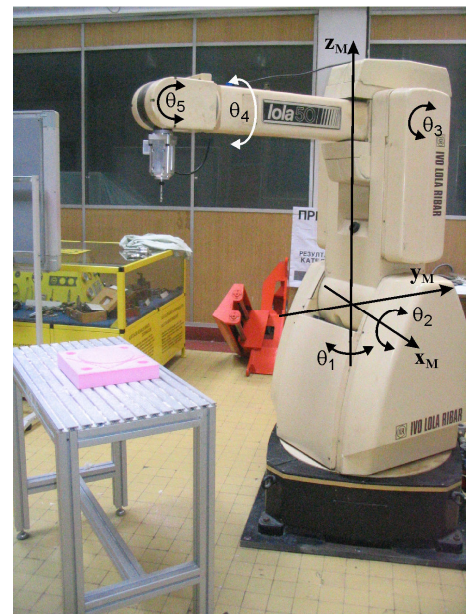
3.1 Rekonfigurabilni multifunkcionalni obradni sistem za višeosnu obradu na bazi robota

Polazeći od dugogodišnjeg iskustva u oblasti robota, mašina alatki, obrade i CAD/CAM-a na Katedri za proizvodno mašinstvo Mašinskog fakulteta u Beogradu, pokrenut je projekat razvoja rekonfigurabilnog obradnog sistema na bazi robota za višeosnu obradu glodanjem delova većih gabarita od mekših materijala, niže klase tačnosti i sa složenim estetskim i funkcionalnim površinama, slika 12. Osnovu ovog koncepta čine:



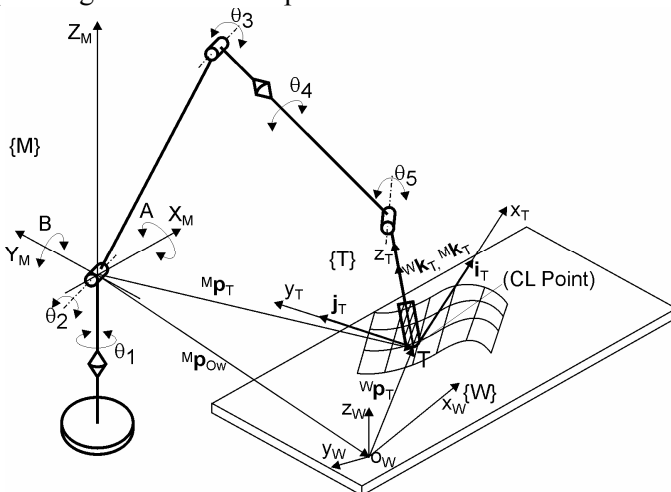
Slika 12. Rekonfigurabilni obradni sistem za višeosnu obradu na bazi robota

- specijalizovani 5-osni robot vertikalne zglobne konfiguracije velikog radnog prostora i krutosti sa integrisanom obradnom jedinicom, slika 12a. Zbog svojih prednosti u pogledu krutosti i singulariteta ovakav robot funkcioniše kao 5-osna vertikalna glodalica (X, Y, Z, A, B) sa naginjanjem alata,
- mogućnost rekonfigurisanja sistema preko dodatnih modularnih obrtnih i translatorskih osa, slike 12b i 12c,
- upravljački sistem otvorene arhitekture u ovoj fazi razvijen na PC real-time Linux platformi i EMC2 (Enhanced Machine Control) [59-61] softverskom sistemu,
- mogućnost programiranja robota kao 5-osne glodalice u G-kodu,
- mogućnost korišćenja svih postojećih CAD/CAM sistema sa implementiranom 3-osnom i 5-osnom obradom za vertikalne 5-osne glodalice tipa (X, Y, Z, A, B),
- virtuelni obradni sistem na bazi robota razvijen u objektno orijentisanom jeziku-Python koji je implementiran u upravljačkom sistemu za simulaciju i verifikaciju programa.



Slika 13. Petoosni obradni sistem na bazi robota

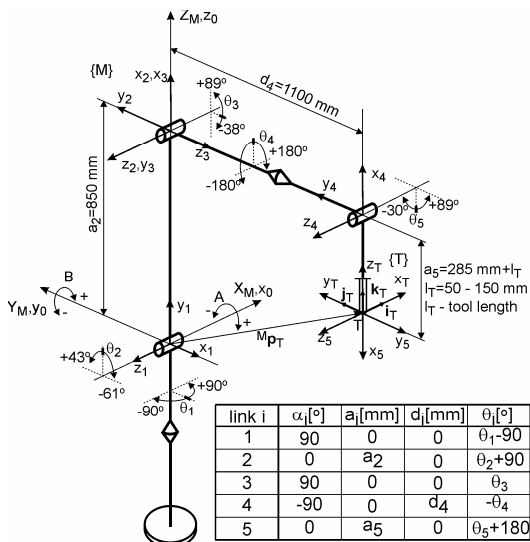
U ovoj fazi sistem je baziran na raspoloživom 6-osnom robotu domaće proizvodnje nosivosti 50kg, pri čemu je šesta osa blokirana, slika 13. Obradna jedinica snage 1,2 kW i 5000-25000 min⁻¹ kao i set ravnih i loptastih glodala različitih prečnika i dužina su izvedeni modifikovanjem postojećih komercijalnih rešenja.



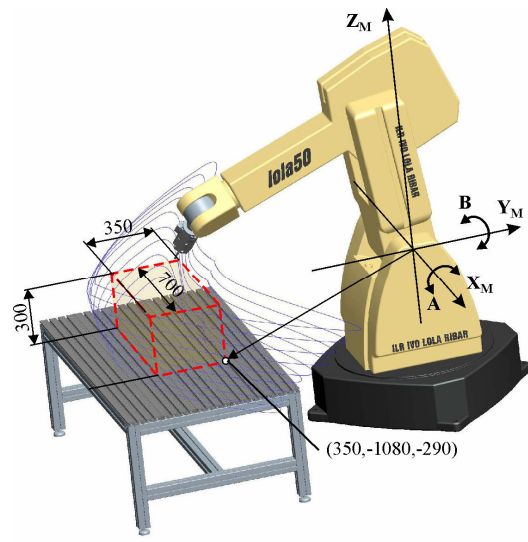
Slika 14. Pozicija i orijentacija alata u referentnom koordinatnom sistemu $\{M\}$ i koordinatnom sistemu obratka $\{W\}$

S obzirom da 5-osni robot sa slike 12a, odnosno slike 13, treba da funkcioniše kao 5-osna vertikalna glodalica (X, Y, Z, A, B) razvijen je specifičan pristup modeliranja koji omogućava realizaciju sistema upravljanja i programiranja. Činjenica da sistem treba da omogući korišćenje postojećih CAD/CAM sistema to je neophodno: uspostaviti koordinatne sisteme mašine $\{M\}$, alata $\{T\}$ i obratka $\{W\}$ po konvencijama za mašine alatke, slika 14, i definisati unutrašnje i spoljašnje koordinate. Koristeći Denavit-Hartenbergov pristup (D-H) [62-64] formiran je kinematički model robota, slika 15, za koji je rešen direktni i inverzni kinematički problem i definisan

radni prostor za slučajeve 3-osne i 5-osne obrade, slika 16.



Slika 15. Kinematički model robota i D-H kinematički parametri



Slika 16. Radni prostor za slučaj 5-osne obrade sa orijentacijom alata u opsezima $A[-30^\circ, 30^\circ]$ i $B[-30^\circ, 30^\circ]$

Robote za obradu glodanjem delova od mekih materijala i niže klase tačnosti u poređenju sa 5-oosnim mašinama alatkama, odlikuje veći radni prostor i cena koja je niža za red veličine. Programski jezici za robote su u kombinaciji sa obučavanjem pogodni za slučajeve gde se jednom napisan program koristi duže vremena. Međutim, za primenu robota u brzoi izradi prototipova ili u višeosnoj obradi programiranje robota programskim jezicima je veoma složeno i dugotrajno. U cilju savladavanja ove ozbiljne barijere za primenu robota u višeosnoj obradi, pokrenuto je nekoliko projekata od strane vodećih proizvođača robota i proizvođača CAD/CAM softvera na razvoju sistema upravljanja i programiranja. Razvijena se različita softverska rešenja kao što su specijalizovani postprocesori, translatore G koda u cilju da programiranje učine efikasnim kao što je to slučaj sa CNC mašinama alatkama.

Upravljački sistem razvijenog prototipa rekonfigurabilnog multifunkcionalnog obradnog sistema za višeosnu obradu na bazi robota, slika 13, je otvorene arhitekture na PC real-time Linux platformi i EMC2 softverskom sistemu. Programira se kao 5-osna glodalica u G-kodu i ima mogućnost korišćenja svih postojećih CAD/CAM sistema sa implementiranom 3-osnom i 5-osnom obradom za vertikalne 5-osne glodalice tipa (X, Y, Z, A, B). Razvijen je i virtuelni obradni sistem na bazi robota u objektno orijentisanom jeziku-Python koji je implementiran u upravljačkom sistemu za simulaciju i verifikaciju programa.

4. SISTEM UPRAVLJANJA OTVORENE ARHITEKTURE

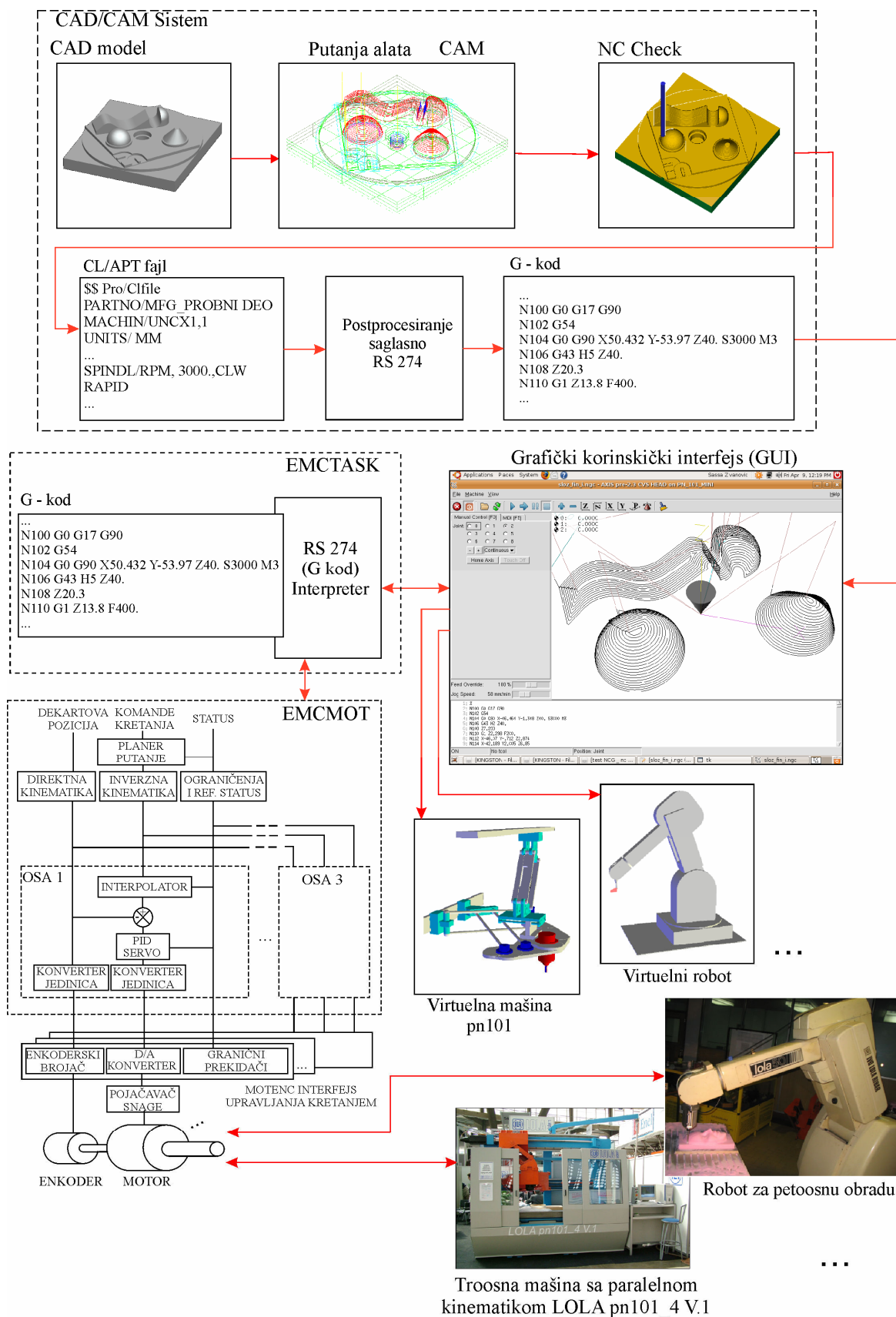
Upravljački sistemi razvijenih prototipova su bazirani na PC real-time Linux platformi i EMC2 softverskom sistemu za upravljanje i imaju strukturu koja je pokazana na slici 17.

Razvoj sistema se odvijao u više faza. U cilju testiranja funkcija inverzne i direktne kinematike, ponašanja upravljačkog sistema u realnom vremenu i razvoja sistema programiranja prvo se konfigurišu virtuelne mašine u EMC2 u Python grafičkom okruženju. Kinematički moduli, su bazirani na jednačinama direktne i inverzne kinematike koje se programiraju u C jeziku i integrišu u jezgro EMC2 sistemskog softwara. Ovako konfigurisani sistemi upravljanja omogućavaju testiranje funkcionalnosti novo konfigurisanih elemenata korisničkog interfejsa, interpolacionih parametara i programirane putanje alata u granicama radnog prostora.

Za kompletiranje sistema upravljanja razvijenih prototipova sa servosistemima korišćene su PC interfejs kartice za upravljanje kretanjem. PCI interfejs na matičnoj ploči je bio osnovni kriterijum za izbor po jedne MOTENC Lite kartice za svake 4 servo ose. Otuda se na ovaj način sa dve Motenc kartice može upravljati sa 5 osa robota i ostaviti mogućnost za kasnije upravljanje sa još 3 ose kao što je pokazano na slici 12b,c. Za kompletiranje sistema upravljanja razvijenih prototipova sa koračnim motorima korišćen je paralelni port PC-a za komunikaciju sistema upravljanja i pogona prototipova.

Kao što se vidi sa slike 17 programiranje je veoma konvencionalno pri čemu se koristi postprocesor za prevođenje CL-file u G-kod. U toku učitavanja G-koda EMC2 softver izvršava grafičku simulaciju putanje alata. Za inicijalizovanu mašinu i postavljen obradak program se može pokrenuti. Pri startovanju programa instrukcije G-koda se izvršavaju u realnom vremenu i generišu upravljački signali koji se mogu

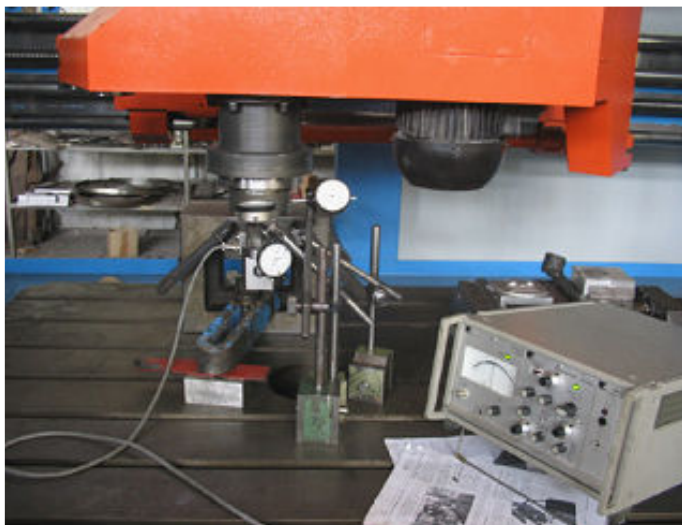
usmeriti na realnu ili virtuelnu mašinu. Virtuelna mašina omogućava završnu verifikaciju G-koda slično postojećim sistemima za off-line programiranje. Na virtuelnim mašinama je implementirana i provera ostvarivosti poza u granicama odgovarajućeg radnog prostora prototipa mašine. Na taj način se mogu uočiti i eventualne kolizije mašine i alata sa pripremkom i priborom. Nakon verifikacije program se može bezbedno izvršiti na realnoj mašini.



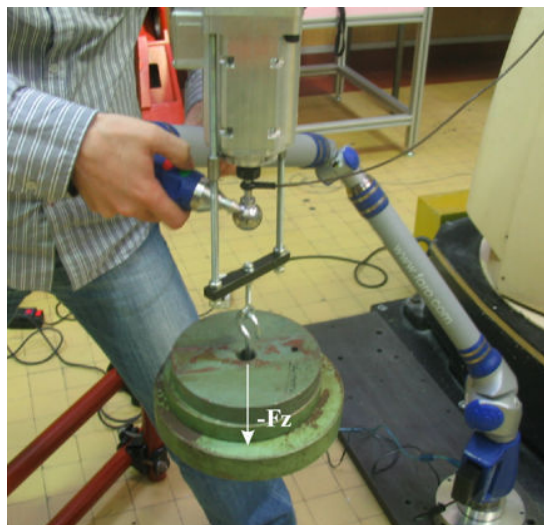
Slika 17. Struktura sistema upravljanja i programiranja

5. ISPITIVANJE RAZVIJENIH PROTOTIPOVA

Ispitivanje razvijenih prototipova obuhvatilo je i direktna i indirektna ispitivanja. Direktna ispitivanja su se odnosila na ispitivanja geometrijskih tačnosti, tačnosti pozicioniranja i statičkih krutosti, slika 18.



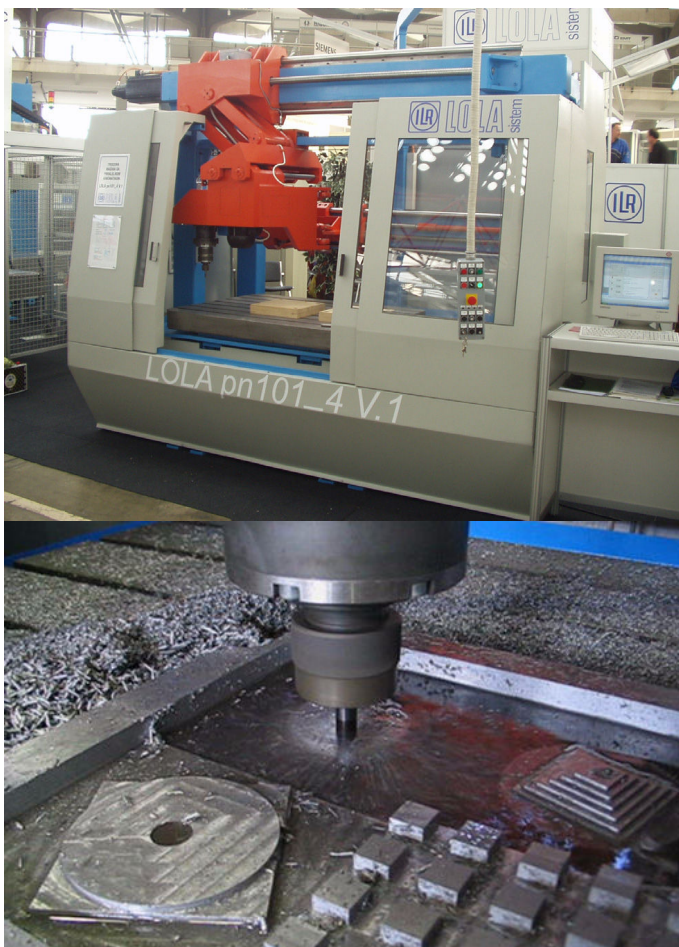
a) ispitivanje LOLA pn101_4 V.1 [1,2]



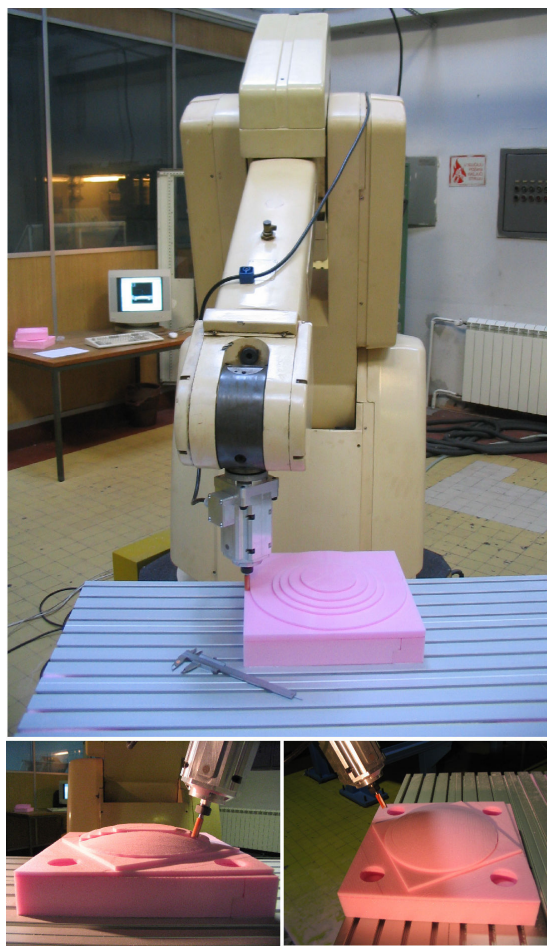
b) ispitivanje robota LOLA50

Slika 18. Primeri direktnih ispitivanja paralelnih i serijskih prototipova

Indirektna ispitivanja su se odnosila na ispitivanje radne tačnosti i na dinamičko-energetski bilans, slika 19. Radna tačnost je proveravana na probnim delovima koji su projektovani tačno za ova ispitivanja.



a) ispitivanje LOLA pn101_4 V.1 [1,2]



b) ispitivanje robota LOLA50 [6]

Slika 19. Primeri indirektnih ispitivanja paralelnih i serijskih prototipova

Ciljevi ovih ispitivanja su bili:

- provera korišćenih modela za analize statičke krutosti i očekivane tačnosti obrade,
- provera kinematičkih modela za verifikaciju sistema upravljanja mašina sa netrivialnim kinematikama,
- postavljanje modela za kalibracije i kompenzacije,
- eksploataciona ispitivanja napravljenih prototipova obradom odabranih probnih delova i svođenjem dinamičko-energetskog bilansa ispitivanih obradnih sistema.

6. ZAKLJUČAK

Obradni sistemi nove generacije čine osnovu razvoja proizvodnih tehnologija u svim granama industrije. Istraživanja u oblasti mašina alatki i robota nove generacije su se odnosila na razvoj prototipova mašina alatki i robota sa paralelnom i serijskom kinematikom, razvoj rekonfigurabilnog obradnog sistema za višeosnu obradu na bazi robota, razvoj i primenu upravljačkih sistema otvorene arhitekture i ispitivanje ovih obradnih sistema. U radu su prikazani ključni rezultati višegodišnjih istraživanja u oblasti razvoja nove generacije domaćih obradnih sistema kroz:

- afirmaciju mašina sa paralelnom kinematikom u domaćim uslovima,
- osvajanje tehnologije višeosne obrade,
- upravljanje otvorene arhitekture obradnih sistema nove generacije,
- specifičan metod programiranja industrijskih robota pomoću G koda,
- primena virtuelnih mašina u verifikaciji sistema za programiranje i simulaciju i verifikaciju programa,
- razvoj stonih mašina i metoda njihove implementacije u edukaciji,
- razvoj i primena procedura razvojnog ispitivanja mašina sa netrivialnom kinematikom i
- informisanje domaće i međunarodne naučne i stručne javnosti o ostvarenim rezultatima u cilju proširenja oblasti saradnje.

Svi rezultati su direktno primenjeni kroz instalisane prototipove koji su instalisani u Zavodu za mašine alatke, Mašinskog fakulteta, Univerziteta u Beogradu i koriste se za tekuća istraživanja i kao resursi za obrazovanje studenata proizvodnog mašinstva na svim nivoima studija.

7. LITERATURA

Radovi u međunarodnim časopisima sa SCI liste

- [1] Milutinovic D., Glavonjic M., Kvirgic V., Zivanovic S., (2005), A New 3-DOF Spatial Parallel Mechanism for Milling Machines with Long X Travel, CIRP Annals-Manufacturing Technology, Vol 54/1, pp 345-348, doi: 10.1016/S0007-8506(07)60119-X
- [2] Glavonjic, M., Milutinovic, D., (2008), Parallel structure milling machines with long X travel, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol 24, pp 310-320, doi: 10.1016/j.rcim.2006.12.001
- [3] Glavonjic, M., Milutinovic, D., Zivanovic, S., (2009), Functional simulator of 3-axis parallel kinematic milling machine, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol 42/7, pp 813-821, doi:10.1007/s00170-008-1643-x
- [4] Tanovic Lj., Bojanic P., Puzovic R., (2009), Experimental Investigation of Microcutting Mechanisms in Marble Grinding, Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol 131/6, 064507, 5 pages, doi:10.1115/1.4000619
- [5] Glavonjic M., Milutinovic D, Zivanovic S, Dimic Z, Kvirgic V., (2010), Desktop 3-axis parallel kinematic milling machine, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol 46/1-4, pp 51-60, doi:10.1007/s00170-009-2070-3
- [6] Milutinovic D., Glavonjic M., Slavkovic N., Dimic Z., Zivanovic S., Kokotovic B., Tanovic Lj., (2011), Reconfigurable robotic machining system controlled and programmed in a machine tool manner, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol 53, pp 1217-1229, doi:10.1007/s00170-010-2888-8
- [7] Tanovic Lj., Bojanic P., Puzovic R., Milutinovic M., (2011), Experimental Investigation of Microcutting Mechanisms in Granite Grinding, Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol 133/2, 024501, 5 pages, doi:10.1115/1.4003521

Radovi u domaćim časopisima

- [8] Živanović S., (2000), Parallel Kinematic Machines, International Journal of Production Engineering and Computers, Vol 3/3, pp.49-54
- [9] Glavonjić M., Milutinović, D., Živanović, S., (2005), Pokazni centar za mašine sa paralelnom kinematikom, Naučno - stručni časopis iipp – Istraživanja i projektovanja za privredu, Broj 9/III, str. 29-34

- [10] Živanović S., (2005), Primer ispitivanja radne tačnosti jedne troosne paralelne mašine, Naučno-stručni časopis Tehnička Dijagnostika, Broj 3/IV, str. 42-48
- [11] Živanović S., (2005), Ispitivanje i verifikacija geometrije i upravljanja mašina alatki sa paralelnom kinematikom, Naučno-stručni časopis Tehnička Dijagnostika, Broj 1/IV, str. 55-60
- [12] Zivanovic S., Glavonjic M., Dimic Z., (2009), Methodology for Configuring Desktop 3-axis Parallel Kinematic Machine, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, FME Transactions Vol 37/3, pp 107-115

Radovi na međunarodnim skupovima

- [13] Milutinović D., Glavonjić M., Serial Link Measuring System - based Approach for Testing and Control of Stewart Platform - based Machines; Proceedings of the Fourth ECPD International Conference on Advanced Robotics, Intelligent Automation and Active Systems, Moscow, pp.288-293, 1998.
- [14] Milutinović D., Glavonjić M., Pose measurement of Parallel Kinematics Machines with Serial Link Measuring System in Parallel Kinematic Machines-Theoretical Aspects and Industrial Requirements, Eds. Boer C.R., Molinari Tosatti L., and Smith K.S., Springer Verlag, pp.189-203, 1999.
- [15] Glavonjic M., Milutinovic D., Zivanovic S., Bouzakis K., Mitsi S., Misopolinos L., Development of a Parallel Kinematic device Integrated into a 3-axis Milling centre, Proceedings of 2nd Interanational Conference on Manufacturing Engineering ICMEN and EUREKA Brokerage Event, Kassandra-Chalkidiki, Greece, pp.351-361, 2005.
- [16] Živanović S., Ivanović R., Simulacija kinematike troosne paralelne mašine sa translatorno pokretnim aktuatorima duž X ose, 7.Međunarodni naučno-stručni skup o dostignućima elektro i mašinske industrije DEMI 2005, Zbornik radova, Univerzitet u Banja Luci, Mašinski fakultet, Banja Luka, str.77-82, 2005.
- [17] Mitsi S., Bouzakis K., Misopolinos L., Milutinovic D., Workspace and Manipulability Optimization with Genetic Algorithms of a 3 DOF Spatial Parallel Mechanism Used in Machining Processes, Proseedings 2nd International Conference on Manufacturing Engineering (ICMEN), Kassandra-Chalkidiki, Greece, pp 363-372, 2005.
- [18] Milutinović D., Glavonjić M., Živanović S., Mašine sa paralelnom kinematikom, VIII.Međunarodni naučno-stručni skup o dostignućima elektrotehnike, mašinstva informatike DEMI 2007, Zbornik radova, Univerzitet u Banja Luci, Mašinski fakultet, Banja Luka, str.3-14, 2007.
- [19] Živanović S., Konfiguracije mehanizama za gradnju prototipa petoosne paralelne mašine, VIII.Međunarodni naučno-stručni skup o dostignućima elektrotehnike, mašinstva informatike DEMI 2007, Zbornik radova, Univerzitet u Banja Luci, Mašinski fakultet, Banja Luka, str.321-326, 2007.
- [20] Milutinovic D., Glavonjic M., Zivanovic S., Dimic Z., Kvrđic V., Mini educational 3-axis parallel kinematic milling machine, Proceedings of 3rd Interanational Conference on Manufacturing Engineering ICMEN and EUREKA Brokerage Event, Kallithea of Chalkidiki, Greece, pp 463-474, 2008.
- [21] Milutinović D., Glavonjić M., Živanović S., Slavković N., Rekonfigurabilni obradni sistemi na bazi petoosnog robota, 9. Međunarodna konferencija o dostignućima elektrotehnike, mašinstva informatike DEMI 2009, Zbornik radova, Univerzitet u Banjaluci, Mašinski fakultet, Banja Luka, Bosna i Hercegovina, str.273-280, 2009.

Radovi na domaćim skupovima

- [22] Glavonjic M., Milutinović D., Stjuartov mehanizam u novoj generaciji obradnih centara i robota, 22. JUPITER konferencija, 18. simpozijum NU - Roboti - FTS, Zbornik radova, str 3.53 - 3.63, Mašinski fakultet, Beograd, 1996.
- [23] Glavonjić M., Milutinović D., Novi kinematički podsistem mašine alatke, 26. Međunarodno savjetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Zbornik radova, str.553-559, Podgorica-Budva, 1996.
- [24] Živanović S., Model mašine alatke i robota sa paralelnim mehanizmom, 23. JUPITER konferencija, 19. simpozijum NU-Roboti-FTS, Zbornik radova, str. 225 - 230, Mašinski fakultet, Beograd, 1997.
- [25] Milutinović D., Glavonjić M., Simbioza mašina sa paralelnom kinematikom i mernog sistema sa serijskim kinematičkim lancem, 25. JUPITER konferencija, 21. simpozijum NU - Roboti - FTS, Zbornik radova, str 3.43 - 3.50, Mašinski fakultet, Beograd, 1999.
- [26] Milutinović D., Glavonjić M., Stanje istraživanja i perspektive razvoja i primene mašina sa paralelnom kinematikom u Jugoslaviji, 26. JUPITER konferencija, 22. simpozijum NU - Roboti - FTS, Zbornik radova, str.3.1-3.6, Mašinski fakultet, Beograd, 2000.
- [27] Milutinović D., Čović N., Glavonjić M., Functional simulator of 3D Parallel Kinematics Milling Machine, Proceedings of 27th JUPITER Conference with foreign participants, pp. 3.1-3.10, 23th Simposium NU-Roboti-FTS, Beograd, 2001.
- [28] Živanović S., Varijantnost konfigurisanja mašina sa paralelnom kinematikom i pravolinijskim aktuatorima, 30. JUPITER konferencija, Plenarna sednica, 26. simpozijum NU - Roboti - FTS, Zbornik radova, str. 3.79-3.82, Mašinski fakultet, Beograd, 2004.
- [29] Glavonjić M., Milutinović D., Živanović S., Kvrđić V., Višnjić Z., O jednoj troosnoj paralelnoj mašini, 30. JUPITER konferencija, 26. simpozijum NU - Roboti - FTS, Zbornik radova, str. 3.49-3.54, Mašinski fakultet, Beograd, 2004.

- [30] Glavonjić M., Živanović S., Milutinović D., Troosna paralelna mašina pn101, 31. JUPITER konferencija, 27. simpozijum NU - Roboti - FTS, Zbornik radova, str.3.1-3.5, Mašinski fakultet, Beograd, Zlatibor, 2005.
- [31] Milutinović D., Glavonjić M., Kvirgić M., Živanović S., Novi paralelni mehanizam za glodalice sa dugačkom X osom, 31. JUPITER konferencija, 27. simpozijum NU - Roboti - FTS, Zbornik radova, str.3.6-3.11, Mašinski fakultet, Beograd, Zlatibor, 2005.
- [32] Živanović S., Konfigurisanje jedne troosne mašine sa paralelnom kinematikom, 30. Jubilarno savetovanje proizvodnog mašinstva SCG sa međunarodnim učešćem, Zbornik radova, str.119-124, Tehnički fakultet i Viša Tehnička škola Čačak, Vrnjačka banja, 2005.
- [33] Glavonjić M., Milutinović D., Živanović S., Troosni paralelni mehanizam sa specifičnim rešenjima pasivnog translatornog zgloba, 32. JUPITER konferencija, 28. simpozijum NU - Roboti - FTS, Zbornik radova, str.3.1-3.4, Mašinski fakultet, Beograd, Zlatibor, 2006.
- [34] Milutinović D., Glavonjić M., Živanović S., Funkcionalni simulator troosnih mašina sa paralelnom kinematikom, 31. Savetovanje proizvodnog mašinstva SCG sa međunarodnim učešćem, Zbornik radova, str.295-304, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 2006.
- [35] Živanović S., Dimić Z., Upravljanje modela troosne mašine sa paralelnom kinematikom pn 101 na bazi EMC sistemskog softvera, 33. JUPITER konferencija, 29. simpozijum NU-Roboti-FTS, Zbornik radova, str.3.19-3.24, Mašinski fakultet, Beograd-Zlatibor, 2007.
- [36] Glavonjić M., Milutinović D., Živanović S., Dimić Z., Konfiguracija jedne hibridne petoosne mašine, 33. JUPITER konferencija, 29. simpozijum NU-Roboti-FTS, str.3.1-3.6, Mašinski fakultet, Beograd-Zlatibor, 2007.
- [37] Dimić Z., Živanović S., Kvirgić V., Koncept razvoja CNC upravljanja za mašine alatke specifične konfiguracije na bazi EMC softvera, 34. JUPITER konferencija, 30. simpozijum NU-Roboti-FTS, Zbornik radova, str.3.19-3.26, Mašinski fakultet, Beograd, 2008.
- [38] Glavonjić M., Živanović S., Milutinović D., Dimić Z., Edukaciona troosna mašina sa paralelnom kinematikom, 34. JUPITER konferencija, 30. simpozijum NU-Roboti-FTS, Zbornik radova, str.3.27-3.34, Mašinski fakultet, Beograd, 2008.
- [39] Dimić Z., Živanović S., Kvirgić V., Konfigurisanje EMC2 za programiranje i simulaciju višeosnih mašina alatki u Python virtuelnom grafičkom okruženju, XXXII Savetovanje proizvodnog mašinstva sa međunarodnim učešćem, Zbornik radova, str.353-356, FTN Departman za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, 2008.
- [40] Milutinović D., Glavonjić M., Živanović S., Dimić Z., Multifunkcionalni rekonfigurabilni obradni sistem na bazi robota, XXXII Savetovanje proizvodnog mašinstva sa međunarodnim učešćem, Zbornik radova, str. 369-372, FTN Departman za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, 2008.
- [41] Milutinović D., Glavonjić M., Živanović S., Dimić Z., Slavković N., Razvoj rekonfigurabilnog obradnog sistema na bazi robota, XXXIII Savetovanje proizvodnog mašinstva SRBIJE 2009 sa međunarodnim učešćem, Zbornik radova, str. 151-155, Mašinski fakultet Beograd, Beograd, 2009.
- [42] Živanović S., Glavonjić M., Metodologija funkcionalnog konfigurisanja novih mašina alatki, 35. JUPITER konferencija, 31. simpozijum NU-Roboti-FTS, Zbornik radova, str.3.1-3.7, Mašinski fakultet, Beograd, 2009.
- [43] Milutinović D., Glavonjić M., Slavković N., Dimić Z., Živanović S., Kokotović B., Tanović Lj., Rekonfigurabilni obradni sistem na bazi robota za višeosnu obradu, 36. JUPITER konferencija, 32. simpozijum NU-Roboti-FTS, Zbornik radova, str.3.11-3.21, Mašinski fakultet, Beograd, 2010.

Magistarske teze i doktorske disertacije

- [44] Živanović S., Tehnološki modul sa paralelnim mehanizmom, Magistarska teza, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, 2000.
- [45] Puzović R., Razvoj sistema modeliranja tehnoloških procesa FTS-a primenom računara, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, 2000.
- [46] Živanović S., Konfigurisanje novih mašina alatki, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, 2010.

Tehnička rešenja

- [47] Glavonjić M., Milutinović D., Kvirgić V., Dimić Z., Živanović S., Troosna vertikalna glodalica sa paralelnom kinematikom, Tehničko rešenje, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, 2008.
- [48] Milutinović D., Glavonjić M., Slavković N., Dimić Z., Kokotović B., Živanović S., Rekonfigurabilni obradni sistem na bazi robota za višeosnu obradu delova većih gabarita sa složenim estetskim i funkcionalnim površinama od mekših materijala srednje i niže klase tačnosti, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, 2010.
- [49] Tanović Lj., Bojanić P., Puzović R., Popović M., Milutinović M., Mladenović G., Nova metoda projektovanja i tehnologije izrade profilnih prizmatičnih-tangencijalnih strugarskih noževa, Tehničko rešenje, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, 2010.

Patenti

- [50] Milutinovic D., Toothed belt of circular cross section, YU Patent, 48534 (1998), and Japanese Patent, JP 6257645, 1994.
- [51] Полонский Л. Г., Клименко С. А., Марченко А. И., Ковалев В. В., Новарчук В. П., Танович Л., и др. ВІДРІЗНИЙ РІЗЕЦЬ, Міністерство освіти і науки України, Державний департамент інтелектуальної власності, UA 40888 A, 15.08.2001.
- [52] Полонский Л. Г., Клименко С. А., Танович Л., и др. ИНСТРУМЕНТ УБРЮ-1 ДЛЯ УЩІЛЬНЕННЯ ТА ВИРІВНЮВАННЯ ТОВЩИНИ ГАЗОТЕРМІЧНИХ НАПИЛЕНИХ ПОКРИТТІВ І НАПЛАВЛЕНЬ, Міністерство освіти і науки України, Державний департамент інтелектуальної власності, UA 49435 A, 16.09.2002.
- [53] Полонский Л. Г., Ковалев В. В., Клименко С. А., Танович Л., и др. ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ВИКІНЧУВАЛЬНО-ЗМІЦНЮВАЛЬНОЇ ОБРОБКИ, Міністерство освіти і науки України, Державний департамент інтелектуальної власності, UA 46439 A, 15.05.2002.
- [54] Полонский Л. Г., Клименко С. А., Марченко А. И., Ковалев В. В., Новарчук В. П., Танович Л., и др. Отрезной резец, Национальный центр интеллектуальной собственности, BY7212 C1 2005.09.30.
- [55] Glavonjić M., Milutinović D., Kvrgić V., Troosni prostorni paralelni mehanizam, mašina alatka i industrijski robot sa tim mehanizmom, isprava o patentu broj RS 50375 B, Republika Srbija, Zavod za intelektualnu svojinu, upisan u registar patenata 22.07.2009. godine, objavljen u Glasniku intelektualne svojine 10.11.2009. godine. Isprava o patentu izdata 11.11.2009. godine.
- [56] Milutinović, D., Hiroshi, M., Eiffel mechanism, Japanese Patent, JP 2004025380, 2010.

Ostale reference

- [57] Stewart D., A Platform With Six Degrees of Freedom, The Institution of Mechanical Engineers, Proceedings 1965-66, Part 1, No 15, pp 371-386
- [58] L. Rey, R. Clavel, The Delta Parallel Robot, Parallel Kinematic Machines, Eds. C.R. Boer, L. Molinari-Tosatti and K.S. Smith, Springer, 1999, pp 401-417
- [59] EMC - Enhanced Machine controller, web site: www.linuxcnc.org
- [60] NIST - National Institute of Standards and Technology, web site: <http://www.nist.gov/index.html>
- [61] Real-Time Control Systems Library, Software and Documentation, web site: <http://www.isd.mel.nist.gov/projects/rcslib/>
- [62] Paul RP (1981) Robot Manipulators: mathematics, programming and control. The MIT Press ISBN 0-262-16082-X.
- [63] Fu KS, Gonzalez RC, Lee CSG (1987) Robotics: control, sensing, vision, and intelligence. McGraw-Hill ISBN 0-07-022625-3.
- [64] Craig JJ (1989) Introduction to robotics: mechanics and control, 2nd ed. Addison- Wesley ISBN 0-201-09528-9.

Milutinovic D., Glavonjic M., Tanović Lj., Bojanic P., Puzovic R., Zivanovic S., Kokotovic B., Popovic M., Slavkovic N., Mladenovic G

RESULTS OF RESEARCH AND DEVELOPMENT OF A NEW GENERATION OF DOMESTIC MACHINING SYSTEMS

Abstract

The paper displays a part of research results achieved in the area of a new generation of machining systems. The presented results involve the developed prototypes of parallel kinematic machine tools and robots as well as the development of reconfigurable robotic multi-axis machining system. The results represent a basis for cooperation with domestic industry, participation in international projects and further research. Also, the developed systems make a resource for laboratory work of production engineering students at all study levels.

Key words: machine tools, robots, control and programming, testing machine tools



Мр Љиљана Димитријевић Марковић, дипл.маш.инг.

**Прилог за прикупљање грађе за ПРОУЧАВАЊЕ ДЕЛА
ЖЕНА ДИПЛОМИРАНИХ МАШИНСКИХ ИНЖЕЊЕРА
са Београдског универзитета генерације од 1924 – 2000 год
(између два рата)**

„Чудан је био радни пут једне жене машинског инжењера“

1. Увод

У жељи да се отргну од заборава дела и успомене на жене дипломиране машинске инжењере, а да при том подсетим на једну од идеја из програма “ПИНУС записа” приказаћу доступне податке из биографија првих шест жена које су дипломирале на електромашинском факултету Универзитета у Београду.

Подсетимо се на хронологију догађаја који су утицали на стварање услова за образовање Срба.

Само четири године пошто је Карађорђе дигао устанак, у јесен 1808 године по савету ученог Ивана Југовића и умног Доситеја Обрадовића, оснива у Београду Високу Школу.

Од 1830 до 1853 године формирана су три факултета: филозофски, правни и технички.

Доситеј Обрадовић скреће пажњу на потребу образовања „женске младежи“*, тако да је држава 1863 године основала у Београду Вишу Женску Школу. Прва уписана студенткиња на београдску Велику Школу 1887 године била је Лепосава Бошковић, а после ње и Круна Драгојловић-Аћимовић, обе су успешно завршиле студије 1891 године. Прва жена која се усудила да студира Технички факултет била је Јелисавета Начић, архитекта која је дипломирала 1900 године.

Да би се уочио бројни однос мушко-женских слушалаца на Београдском универзитету даћу пример за школску 1926/1927 када је било уписано 4688 мушких и 1235 женских слушалаца.

Технички факултет од свог оснивања врло успешно се развија до 1912 године (Балкански рат) када престаје са радом све до 1919 године, по завршетку Првог светског рата.

Интересантно је показати да је од 1919 – 1939 године дипломирало 844 машинских инжењера од којих је само 6 жена.**

На располагању су ми била документа Архива Србије, лична документа и подаци добијени од најближих рођака.

Овом приликом захваљујем се за пружене информације госпођи Драгани Прелевић и госпођи Ђоковић Милијани.

У жељи да не повредим истиниту представу о женама дипломираним машинским инжењерима о којима ћу дати овај Прилог одлучила сам се да сви подаци буду представљени у изворном облику.

У Прилогу ће бити представљени доступни подаци о следећим женама дипломираним машинским инжењерима:

Перишић В. Десанки
Гајић Т. Велинки
Јанићијевић Д. Олги
Палма-Мелка М. Јулији
Ђоковић Д. Надежди и
Грчар И. Даници

* Паулина Лебл-Албала Развој универзитетског образовања наших жена Београд 1930

** Војислав С. Марјановић Именик дипломираних инжењера и архитеката на Техничком факултету универзитета у Београду Београд 1939

2. Приказ података или кратке биографије

Десанка В. Перишић удата Јовановић

ПРВА ЖЕНА ДИПЛОМИРАНИ МАШИНСКИ ИНЖЕЊЕР

Рођена је 20. 11. 1904 године у Пожеги, у учитељској породици.



Отац Владимир је био учитељ, а мајка Даринка домаћица, имали су троје деце.

1924 године породица прелази у Београд. Завршила је државну гимназију у Београду, а 25.04.1924 године и уписује Технички факултет машински одсек. Дипломирала је 19.02. 1931 год. и добила диплому електромашинског инжењера под бројем 1543.

Радила је на железници 17 година. Посао је напустила из породичних разлога.

Добила је Златну диплому Машинског факултета 1990 године.

Била је удата за свог колегу. Имала је двоје деце. Гђа Драгана Прелевић унука, наглашава да је Десанка Перишић била необична и интресантна особа, која је помагала свима, од учења математике до разних домаћих послова.

Била је разведена.

Умрла је 02.03.1995 године у Београду.

Велинка Т. Гајић удата Клокић

ПРВА ЖЕНА МАШИНСКИ ИНЖЕЊЕР ИЗ „БОСНЕ“

Рођена је 23.01.1911 године у Склану Босна и Херцеговина.

Уписала је Технички факултет електромашински одсек 28.09.1928

Дипломирала је 23.03.1935 године и добила диплому под бројем 4905.

Пошто није могла да се запосли као машински инжењер накнадно полаже педагогију, психологију и један страни језик и стиче диплому профсора средњетехничке школе. Истовремено полаже испите за овлашћеног инжењера, јер је желела да отвори самосталну радњу али у томе није успела. Запослила се као професор средњетехничке школе у Београду. Предаје термо-динамику, котлове и топлотне моторе, хидраулику и хидрауличне машине.

Била је прва жена која је предавала стручне предмете у средњетехничкој школи.

Као професор ради до 24. јуна 1941 године када прелази у илегалност (била је активан члан комунистичке партије) под именом Вела Мрђа избаглица из Бихаћа. Као илегалца бори се у Нишу, а затим прелази у Главни штаб Србије – Техничко одељење, где остаје до његовог расформирања.

У међувремену удаје се за свог колегу Милана Клокића.

По завршетку рата ради у Повереништву за привреду Србије, као помоћник начелника за стучно школство и збрињавање деце избеглица. Затим прелази у „тешку индустрију код Кидрича, за начелника за уздизање стручних кадрова и истовремено је помоћник инг. Стјепану Хану за изградњу првог петогодишњег плана“. У Дирекцији за стучно уздизање кадрова савезног значаја као начелник ради до њеног расформирања 1950 године, када се пензионише као 100% ратни војни инвалид. Смрћу супруга инг. Милана Клокића (1973 године) који је био начелник пројектног бироа војне индустрије, престаје њен контакт са струком.

Велинка Гајић Клокић живела је у кући Шпире Марића аутопревозника у Зеленики, Црна Гора.

Подаци су узети из писма Велинке Клокић упућеног Одбору Машинског факултета за прославу педесет година од дипломирања „златна диплома“ 1985 године.

Олга Јанићијевић удата Предавец

Рођена је 23.12.1910 године у Крагујевцу, у трговачкој породици.



Породица се пресељава у Београд, где уписује Трећу женску гимназију коју завршава 1928 године.

Технички факултет уписује 25.09.1928 године. Током студија врло је активна у студентским удружењима, а 1934 године је члан управе Обилића.

Остале њене активности за време студирања нису познате али је необично да су њени подаци о пребивалиштима током студија непоуздани „Дипломирала је октобра 1936 године из Авионских мотора“ број дипломе 8471.

Подаци добијени из Архива Србије Београд.

Палма Мелка Јулија

Рођена 21.02.1913 године у Београду.



Отац инжењер. Завршила је Прву женску гимназију 1931 године у Београду. Уписала је Технички факултет машински одсек 25.09.1931 год.

Положила је пријемни испит из Енциклопедије машинства 24.02.1933 године. Феријалну праксу 1934 године обавила је у Чешкој. Дипломирала је октобра 1936 године.

Са породицом је живела у Београду.

Подаци добијени из Архива Србије Београд.

Надежда Д. Ђоковић

Рођена 21.04.1913 године у Београду, мајка Вукосава и отац Димитрије пензионер.

Породица је пореклом из црногорског племена Васојевића. Доселили су се у Београд из Топлице.

Живела је са породицом у породичној кући у улици Дубљанској број 30.

Имала је сестру др Јелену Ђоковић неурохирурга.

Завршила је Прву женску гимназију 1931 године у Београду. Уписала се на Технички факултет машински одсек 29.09.1931године.

Дипломирала је 1937 године из локомотива. Диплома број 5129 од 07.04.1938 године.

Надежда Ђоковић, била је врло крхка, самостална девојка. Свирала је виолину.

По дипломирању дуго није могла да се запосли, па је радила и као возач трамваја.

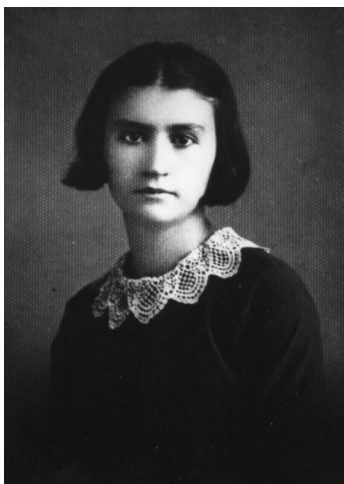
Разболела се од туберкулозе.

Умрла је 1938 године.

Податке о Надежди Ђоковић дала је гђа Милијана Ђоковић.

Грчар И. Даница

Рођена је 18.06.1912 године у Ријеци.



Дипломирала је јуна 1938 године. Диплома број 1629 од 26.06.1938 године.

Подаци из Архива Србије Београд.

3. Као закључне напомене

Данас у двадесет првом веку, веку духовног и културног напредка и препорода, морам да нагласим да жене у науци, у својим струкама, књижевности, музици, сликарству, медицини и др. постижу запажене резултате, али на жалост, у свету је све више младих који прихватају изопачене критеријуме вредности.

Још Доситеј Обрадовић је напоменуо „да само просвећене мајке умеће оплемени и развијати душу своје деце“ тако да је и данас неопходно да мајке буду ослонац „будућим поколењима“, односно све више пажње и љубави дају својој деци.

Приказом биографских података првих жена дипломираних машинских инжењера, желела сам да све вас подсетим на необичну храброст и истрајност ових жена, а такође покушамо да наставимо даљи рад на истраживањима за „Пинус записе“, односно свеску „Жене машински инжењери“.



Пријавни лист

Деканату механиког факултета

Пријављујем се за редовног слушаоца механиког
факултета механиког одсека, у Трети семестар.

Потребне податке исписујем:

Дан, месец и година рођења 12 маја 1905-го
Место (срез, округ, покрајина) рођења Гомоља округ улички
Поданство Срба Хрватска и Словенска
Народност српска
Вероисповед католичко-православна
Име и презиме очево Војмир Першић
Очево занимање учитељ
Очева или стараочева адреса Војмиру Першићу маџарска 24
Место и врста школе у којој је положио испит зрелости Београд
државна гимназија
Има ли државну или другу помоћ и колику _____
Стан слушаочев маџарска 24

25-11 1924

у Београду.

Својеручни попис:

Лесовка Першић

Прилог 2. Позив женама машинским инжењерима да доставе одговоре на питања којим ће помоћи у прикупљању података

Поштоване Колегинице,

У жељи да се у оквиру истраживања „Путевима инжењерства у Србији – ПИНУС записи“, да објективан приказ учешћа жена дипломираних машинских инжењера у техничком развоју Србије, молим Вас да одговорима на постављена питања помогнете у прикупљању података односно грађе за књигу: **Жене дипломирани машински инжењери у Србији од почетка 20. века до данас.**

У нади да ћете нам помоћи и овом приликом срдечно Вас поздрављам и захваљујем

MSc. Љиљана Димитријевић Марковић, дипл. маш. инг.

PS Молим Вас да одговоре шаљете на draganamarkovic@open.telekom.rs или адресу

Љиљана Димитријевић Марковић

11000 Београд, ул. Косте Јовановића бр. 67

контакт телефони: 011/2473205 или 064/3000185

Кључна питања

1. Име, име оца, презиме удато и девојачко
 2. Дан, месец, година рођења
 3. Место рођења, крштења, адреса
 4. Име мајке
 5. Школовање
 - основна школа која и где
 - средња школа, име школе, место, година завршења
 - година уписа на факултет, генерација, број индекса. Да ли сте по слободном избору уписали факултет.
 - година дипломирања, смер, тема дипломског рада
 - последипломске студије, година одбране магистарског рада, тема
 - докторска теза, тема, година одбране
 - специјалистичке студије, специјалност
 6. Запослење
 - први посао: назив преузећа, установе, област рада
 - да ли је први посао имао везе усмерењем током студија или темом дипломског рада
 - други и следећи послови
 - каријера и крај стручне активности
 7. Чланство у организацијама у вези са струком
- Молим Вас, ако сте у могућности да за исте временске интервале као у тачки 6. дате приказ свог породичног живота и уопште.
8. Породични живот;
 - удаја
 - деца
 - унуци
 9. Интересовање ван струке
 10. Хоби
 11. Спорт
 12. Порука, мишљење, остварење жеља у струци и породици

OKRUGLI STO

Centar za Nove Tehnologije – dekada 2010-2020.

37. JUPITER KONFERENCIJA
sa međunarodnim učešćem

37th JUPITER CONFERENCE
with foreign participants

ZBORNİK RADOVA
PROCEEDINGS



30. simpozijum

CIM U STRATEGIJI TEHNOLOŠKOG
RAZVOJA INDUSTRIJE PRERADE METALA

Beograd, maj 2011.

**CIM U STRATEGIJI TEHNOLOŠKOG RAZVOJA
INDUSTRIJE PRERADE METALA
CIM IN THE STRATEGY OF TECHNOLOGICAL
DEVELOPMENT OF METALWORKING INDUSTRY**

Slavković, G., Spasić, Ž. PROJEKTOVANJE SISTEMA UPRAVLJANJA UNIVERZITETOM PRIMENOM TEORIJE KOMPLEKSNIH SISTEMA	1.1
Radojević, Z., Radojević, M., Radojević, D. CIM SISTEM - INOVATIVNOST KA POVEĆANJU PRODUKTIVNOSTI RADA	1.7
Ružičić, D. KONTROLING U FUNKCIJI POSLOVNE IZVRSNOSTI PREDUZEĆA	1.11
Petrović, P., Milanov, M., Vićentić, A., Stojović, M., Spasić, Ž. PRIMENA INELIGENTNIH SENZORSKIH SISTEMA U RAZVOJU INTEGRISANE AUTOMATIZACIJE REALNIH I VIRTUELNIH PROCESA PROIZVODNOG PREDUZEĆA – REKAPITULACIJA REZULTATA NA PROJEKTU MA14035	1.17
Marković, D. PRIMENA INFORMACIONO KOMUNIKACIONIH TEHNOLOGIJA U REALIZACIJI VIRTUELNOG PROJEKTA	1.33
Vujačić, G., Marjanović, Ž. NADZOR CIM PROCESA PUTEM BLUETOOTH TEHNOLOGIJA	1.39

← NAZAD



G. Slavković¹, Ž. Spasić²

**PROJEKTOVANJE SISTEMA UPRAVLJANJA UNIVERZITETOM
PRIMENOM TEORIJE KOMPLEKSNIH SISTEMA**

Rezime

Univerzitet je obrazovno-istraživačko-poslovna institucija visokog obrazovanja sa mnogim karakteristikama koje se odnose na sisteme upravljanja. Da bi se definisali modeli integrisanog sistema univerziteta u sinergiji sa obrazovno-poslovnim okruženjem potrebno je da se definišu osnove teorije upravljanja sistemima. Pri tome se uzimaju u obzir definicije kompleksnih sistema da bi se razmatrale karakteristike otvorenih i zatvorenih sistema upravljanja, kao i nelinearnost sistema upravljanja sa definicijama nestabilnosti i prigušenja poremećaja u procesima i sistemima kojima se upravlja.

1. UVODNA RAZMATRANJA

U teorijskom smislu zajednički obrazovno-istraživački prostor Evrope nije ništa drugo nego N -dimenzioni prostor stanja u kome se svi univerziteti Evrope kreću po nekim svojim trajektorijama koje određuju vrednosti njihovih poslovnih performansi. Ukupan broj dimenzija čine parametri (ili kriterijumi) rangiranja univerziteta na budućoj evropskoj rang listi. Zato je bolje da se teorijske osnove iskoriste za projektovanje i primenu integrisanog sistema kvaliteta kako bi mesto univerziteta Srbije (a time i vrednost diploma studenata) bilo zadovoljavajuće.

2. KOMPLEKSNI SISTEMI

Kompleksni sistemi (engl: *Complex Systems*) se verbalno relativno jednostavno definišu, ali je stroga matematička ili formalna definicija svih relacija u njemu skoro nemoguća [1, 2, 3]. Uprkos teškom razumevanju problematike kompleksnih sistema, povećanjem mogućnosti računara, nastala je veća zainteresovanost za proučavanje kompleksnih sistema.

Ne postoji jedna određena naučna oblast koja matematički opisuje sve aspekte funkcionisanja kompleksnih sistema, već se koristi veći broj matematičkih disciplina za pojedine karakteristike kompleksnih sistema, kao što su teorija informacija, mrežno modeliranje, teorija ćelijskih automata, hijerarhijski procesi odlučivanja, *fuzzy* logika, genetski algoritmi i ekspertska ljuska ekspertskih sistema.

Teorija kompleksnih sistema [4] doprinosi razumevanju fizičkog, biološkog, ekološkog sveta i sveta tehnike i oblasti socio ili društvenih sistema. Pošto često uključuje različite teorijske naučne discipline i nauke, teorija kompleksnih sistema se uvek posmatra kao interdisciplinarna nauka [3, 5]. U poređenju sa prirodnim naukama, društveni ili socio kompleksni sistemi su manje proučavani [3, 6]. Jedan od načina posmatranja društvenih kompleksnih sistema je sagledavanje da li su generalne karakteristike prirodnih kompleksnih sistema relevantne za društvene sisteme. Ovakav pristup ima u sebi i nekoliko nedoslednosti. Karakteristike i ponašanje sistema iz jednog domena je nemoguće direktno preslikati na karakteristike i ponašanje sistema u sasvim drugom domenu. Na primer, sposobnosti ljudi da razmišljaju prilikom izbora između alternativa daleko nadmašuju sposobnosti drugih bioloških organizama. Istraživači i projektanti društvenih sistema posmatraju principe kompleksnih sistema iz prirodnih nauka samo kao analogije i metafore prilikom proučavanja društvenih sistema.

Kompleksno ponašanje se javlja usled interakcije elemenata u sistemu, kao i samog sistema sa okruženjem. U društvenim sistemima, povezanost i interakcije znače da odluke ili akcije (pojedince, grupe ljudi,

¹ Dr Goran Slavković, dipl. inž. maš. i elektro., gslavkovic@mas.bg.ac.rs

² Prof. Dr Žarko Spasić, dipl. inž. maš., zspasic@mas.bg.ac.rs

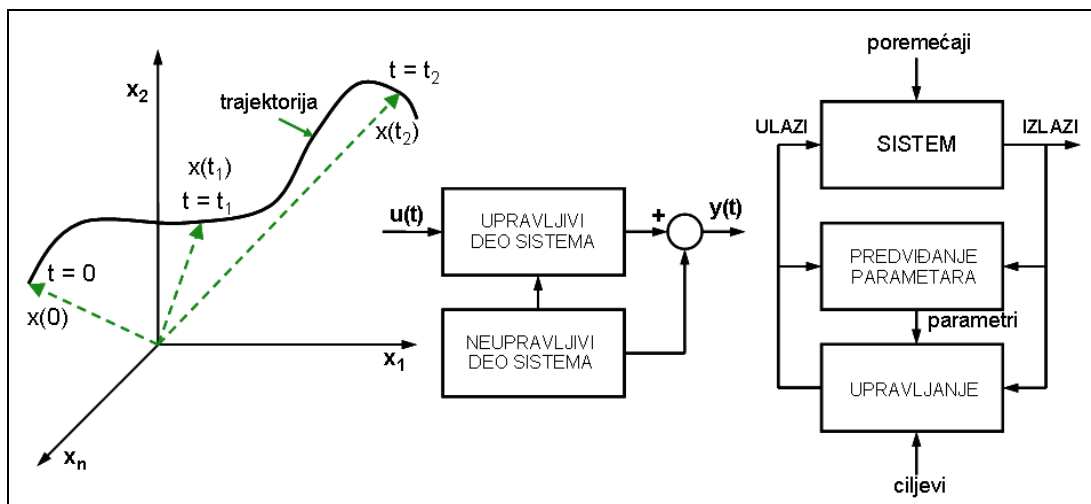
Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Kraljice Marije 16, 11120 Beograd

organizacije, institucije) mogu da utiču na posmatrani sistem. U zavisnosti u kom statusu se nalazi sistem, uticaj ima različitu težinu. Karakteristika društvenih sistema je i više dimenzionalnost (na primer socijalna, kulturna, ekonomska i obrazovna dimenzija), gde svaka dimenzija utiče jedna na drugu.

Otvoreni sistemi podrazumevaju razmenu energije, materijala i informacija sa okruženjem. Za takve sisteme je karakteristično da kada se izvedu iz ravnotežnog stanja, kreiraju se nove strukture i sistem prelazi u novo stanje. Kada se jedan socio entitet (pojedinaac, grupa, organizacija, industrija, ekonomija, zemlja) suoči sa ograničenjima, uvek se pronade novi način funkcionisanja, jer je sistem prinuđen da se adaptira, koristeći sve mogućnosti savladavanja prepreka. Istraživanjem alternativa uspostavljaju se novi odnosi komponenti i nove organizacione strukture u sistemu.

Usled poremećaja nastaju promene i može da nastane eventualna nestabilnost sistema na koje sistem upravljanja reaguje dejstvom određenog tipa sa ciljem da se priguši efekat poremećaja sistema tokom vremena. Tip dejstva sistema radi smanjenja efekta poremećaja zavisi od potreba upravljanja procesom ili sistemom i podrazumeva definisanje signala koji deluje na upravljano promenljivu. Osnovni koncept upravljanja kompleksnim sistemima se postiže povratnom spregom (engl: *feedback loop*) radi korektivnih akcija, čime sistem upravljanja postaje zatvoren (engl: *closed-loop control*) sistem [3, 7, 8].

Kompleksni sistemi se upravljaju na osnovu vrednosti većeg broja karakteristika čiji broj određuje dimenziju prostora stanja (engl: *state space*). Kretanje upravljanih procesa i sistema kroz N -dimenzioni prostor stanja je mogućnost da se procesi i sistemi optimalno upravljaju tokom vremena. Koordinate N -dimenzionog prostora stanja su promenljive stanja koje određuju trajektoriju sistema duž koje se nezavisno promenljiva t pojavljuje kao parametar [7, 9, 10] (slika 1).



Slika 1. Trajektorija sistema i prostor stanja

3. UNIVERZITET KAO PRIMER KOMPLEKSNOG SISTEMA

Jedne od karakteristika društvenih sistema je i da su fleksibilni i uređeni [3]. Sistem u kojem postoji neuređenost nikada ne može da bude tako efikasan kao uređeni sistem. Takav sistem može da uspostavi i nove relacije, koje menjaju način rada.

Povratne sprege u društvenim sistemima trebaju da postoje kako bi se analizirali efekti izlaza sistema. Ukoliko ne bi postojala povratna sprega, sistem bi mogao da brzo izađe iz ravnotežnog stanja, u prostoru stanja daleko od svojih uspostavljenih normi ponašanja, odnosno daleko od svog uobičajenog načina rada. Ukoliko se dostigne kritična tačka prostora stanja, mogao bi i da degradira u neuređen sistem (gubitak produktivnosti, smanjen poslovni moral zaposlenih). Uspostavljanjem negativne povratne sprege smanjuju se negativni uticaji na funkcionisanje sistema.

Ljudi u okviru posmatranog sistema ujedno pripadaju različitim socijalnim grupama, u kojima daju svoj doprinos i dalje se usavršavaju, razmenjujući iskustva i znanje, utičući jedni na druge. Veze između njih nisu konstantne, menjaju se tokom vremena, različitog su intenziteta i često se uspostavljaju nove.

Univerzitet je kompleksan obrazovno-istraživačko-poslovni sistem sa velikim brojem komponenti koje treba da se integrišu u upravljivi sistem koji posluje efikasno u precizno definisanoj misiji u razvoju društva. Da bi se definisali modeli integrisanog sistema univerziteta u sinergiji sa obrazovno-poslovnim okruženjem potrebno je da se definišu osnove teorije upravljanja sistemima. Pri tome se uzimaju u obzir definicije kompleksnih sistema da bi se razmatrale karakteristike otvorenih i zatvorenih sistema upravljanja, kao i nelinearnost sistema upravljanja sa definicijama nestabilnosti i prigušenja poremećaja u procesima i sistemima kojima se upravlja.

Mnogobrojne univerzitetske funkcije tokom poslovanja su dinamički promenljive u vremenu što ukazuje da je univerzitet dinamički sistem sa promenama. Podaci i informacije koje se javljaju u visokom obrazovanju nisu unapred poznati signali sa vremenskim funkcijama i zakonitostima. To su različiti dinamički diskretni podaci generisani tokom redovnih akademskih i upravljačkih aktivnosti univerziteta. Za razliku od statičkih sistema čije se stanje ne menja tokom vremena, univerzitet je dinamički sistem koji tokom vremena teži rastu i razvoju i ima potrebe za stalnim promenama. Jedna od značajnih karakteristika univerziteta je da je to sistem sa vremenskim kašnjenjem. U savremenim sistemima upravljanja javlja se informaciono kašnjenje kada se merenje neke veličine i njena dalja obrada ne odvijaju na istom mestu [11]. Postojanje sistema sa vremenskim kašnjenjem je posledica ili inherentnog prisustva kašnjenja u samom objektu i/ili u pojedinim komponentama upravljačkog sistema, ili svesnog uvođenja kašnjenja u sistem, objekat ili proces (na primer korišćenjem povratne sprege sa ciljem da se ostvari kvalitetnije upravljanje ili neka druga poboljšanja). Upravo funkcionisanje univerziteta se zasniva na više povratnih sprega koje uvode kašnjenje u sistem [3]. Univerzitet je deterministički sistem jer u toku rada tačno određuje šta je zahtevani izlaz iz sistema obrazovanja (na primer, kvalifikacije, diplome, profili ekspertnosti). Ujedno je i stohastički sistem jer različiti odzivi u sistemu sadrže slučajne promenljive, kao komponente definisane verovatnoćom (na primer, nepredvidivi rezultati istraživanja koja ne daju uvek nove proizvode ili nove tehnologije).

Univerzitet je nelinearan sistem sa višedimenzionalnim prostorom stanja u kojem se veliki broj ulaza, tokom regularnih aktivnosti univerziteta, transformiše u veliki broj izlaza pomoću algoritama za upravljanje, praćenje i predikciju ponašanja sistema [3, 8]. Većina signala sa izlaza se putem povratne sprege koriste za analizu i unapređenje upravljanja na osnovu programiranih algoritama kontrolera. Adaptivni sistemi sa funkcijama filtriranja, predikcije i upravljanja takođe odgovaraju potrebama upravljivog digitalnog univerziteta, jer imaju sposobnost da kompenzuju nepredviđene promene u dinamici procesa ili poremećaje koji deluju na sistem. Poslovanje univerziteta se prati definisanjem performansi poslovanja i indikatora kvaliteta koji se radije predstavljaju diskretnim funkcijama nego vremenski kontinualnim funkcijama. Univerzitet je kompleksan sistem jer se u okviru poslovanja univerziteta odvijaju veliki broj procesa (društveni, tehnički, ekonomski, hemijski, biološki) koji se karakterišu da su vremenski neprekidni, vremenski diskretni, deterministički, stohastički, autonomni, neautonomni. Godišnji izveštaji o poslovanju univerziteta i evaluacioni izveštaji u postupcima akreditacije sadrže uglavnom tabelarne i dijagramske prikaze koje treba projektovati na jedinstven način radi uporedivosti na nivou univerziteta.

Podaci i znanje univerziteta su uglavnom determinističke prirode, ali je u mnogim aktivnostima sa procenom vrednosti ugrađena *fuzzy* logika. Baza podataka/znanja kao jedinstveni informacioni resurs univerziteta, repozitorijum informacija kao arhivski informacioni resurs, kao i algoritmi upravljanja kontrolera treba da budu projektovani za determinističke i *fuzzy* promenljive sistema. Smisao postojanja više nivoa i hijerarhijskog odnosa među njima objašnjava se principom prioriteta upravljačkih akcija. Upravljačke akcije podsistema na višem nivou imaju prvenstvo izvršenja nad upravljačkim akcijama na nižem nivou. Na višem nivou (fakultet) donose se odluke strateškog karaktera (za čije sprovođenje je potrebno određeno vreme), dok se na nižem nivou (katedre) donose predlozi odluka uglavnom operativnog karaktera.

Karakteristika socio ili društvenih kompleksnih sistema je da se neka pravila organizovanja mogu da ponavljaju na različitim nivoima u sistemu ili između sistema i okruženja. Uobičajeni naziv u kompleksnim sistemima za tu pojavu u organizovanju je fraktal (engl: *fractal*). Skaliranje (samosličnost) se odnosi na pojavu da se u sistemu pojavljuje kopija originala. Na primer, profesori na fakultetima prenose svoje znanje studentima, dok se u korporacijama zaposleni obučavaju za različite poslove tako da u različitim smenama rade iste poslove.

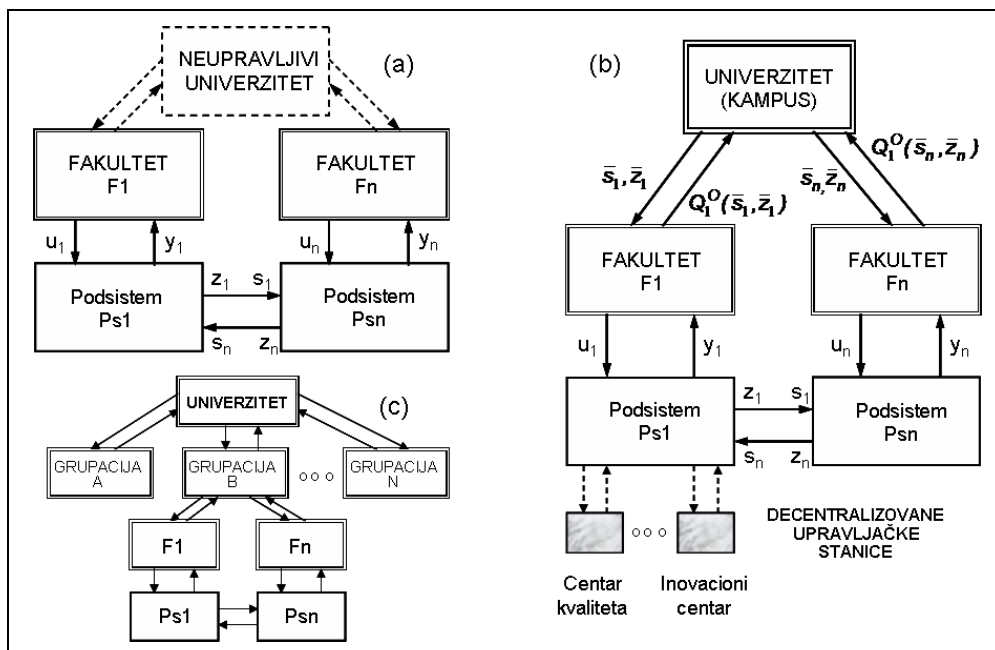
Od posebnog značaja je da se razmotri mogućnost određivanja stanja sistema u nekom trenutku na osnovu poznavanja njegove ulazne i izlazne veličine na ograničenom vremenskom intervalu [12]. Ovaj problem predstavlja zadatak analize osmotrivosti početnog stanja. Stanje sistema je osmotrivo ako i samo ako je ono jednoznačno određeno izlazom i upravljanjem na nekom ograničenom intervalu. Ako se posmatra osmotrivost svakog početnog stanja onda se radi o problemu osmotrivosti sistema. Sistem je osmotriv ako i samo ako je svako njegovo stanje osmotrivo. Na primer, univerzitet je i osmotriv, jer se na osnovu ocena svršenih eksperata nakon završetka fakulteta može sagledati njihov uspeh po semestrima tokom studija.

Osetljivost sistema je osobina sistema da mu ponašanje zavisi od infinitezimalnih promena parametara [12]. Robustnost sistema u smislu određenog svojstva u odnosu na ceo skup je njegova sposobnost da održi to svojstvo na tom skupu. Teorija robustnosti se može primeniti na razne osobine sistema, bitne za njegovo ispravno funkcionisanje i kvalitetno dinamičko ponašanje, kao što su stabilnost, upavljivost, osmotrivost, adaptibilnost i drugo. Univerzitet spada u klasu robustnih sistema: i pored promene društvenog sistema u poslovno-obrazovnom okruženju, univerzitet i dalje daje dobre eksperte koji se potvrđuju na zahtevnom tržištu rada. Tokom reformi u Srbiji, u kojima se našlo i visoko obrazovanje, univerziteti su radili punim kapacitetima i pored obaveze da se istovremeno obavi akreditacija studijskih programa.

4. UPRAVLJANJE UNIVERZITETOM

Na osnovu navedenog postavljaju se zahtevi da se univerzitet posmatra kao kompleksan upravljivi sistem određenih definisanih karakteristika. To je hijerarhijski sistem sa centralizovanim donošenjem odluka, pri čemu odlučivanje na nižim nivoima fakulteta i departmana treba da zadrži određene principe autonomije.

Na slici 2 prikazana je [3, 8] decentralizovana i pretežno nezavisna struktura upravljanja (a) na skoro samostalnim fakultetima (posebni informacioni sistemi, samostalno odlučivanje) i centralizovana višenivovska struktura upravljanja na univerzitetu (b) sa posebnom varijantom koja predviđa poseban nivo sa grupacijama fakulteta (c). Mesta donošenja samostalnih odluka označena su blokovima sa duplim okvirom. Samostalni i skoro nezavisni fakulteti imaju formalne i klasične razmene informacija sa univerzitetom koji ne koristi integrisani informacioni sistem sa jedinstvenim informacionim resursom. Funkcije fakulteta se odvijaju po podsistemima sa upravljačkim ulazima $u(t)$ i izlazima $y(t)$. Veličine s_i i z_i se odnose na međusobne interakcije podsistema. Koordinirajuće veličine \bar{s}_i^p i \bar{z}_i proističu iz prava na intervenciju i upravljanje nižim nivoima (fakulteti, departmani, škole) na osnovu kojih se sračunavaju optimalne vrednosti za sve univerzitetske aktivnosti (ciljevi i podciljevi poslovanja).



Slika 2. Decentralizovano i centralizovano upravljanje univerzitetom

Svi nivoi integrisanog univerziteta su povezani komunikacionim mrežama i razmenjuju *a priori* i *a posteriori* informacije posredstvom integrisanog informacionog sistema sa jedinstvenim informacionim

resursom. Protok studenata kroz semestre se prati istim algoritmom koristeći zajedničke resurse u nastavi (kampus sistem). Istraživačke aktivnosti takođe treba da koriste zajedničke resurse u multidisciplinarnim programima istraživanja. Administrativne i menadžment aktivnosti su centralizovane na nivou univerziteta sa zadržavanjem specifičnosti na nižim nivoima upravljanja. Centralizovani i decentralizovani kontroleri i upravljačke stanice (centri kvaliteta fakulteta i univerziteta) koriste zakone upravljanja na osnovu principa integrisanog sistema kvaliteta radi kontinualnog unapređenja kvaliteta [3, 14, 15]. Time se postiže kraći odziv komplikovanih procedura kvaliteta, veća fleksibilnost i odgovarajuća pouzdanost informacija sa kompetentnim i relevantnim odlučivanjem. U posmatranom rešenju univerzitet je hijerarhijski strukturisani sistem upravljanja nastavnim procesima, istraživačkim aktivnostima i menadžment funkcijama. Dekompozicija zadataka upravljanja nivoa univerziteta na posebne, ali međusobno komplementarne zadatke upravljanja ostalih nivoa treba da respektuje nivo autonomije koju treba da imaju fakulteti i departmani. Stabilnost sistema upravljanja povezanih akademskih organizacionih jedinica univerziteta obezbeđuje optimalna rešenja kao rezultat sistemskog projektovanja informaciono-komunikacionog sistema univerziteta. Pri tome, upravljački zakoni i programirani algoritmi uzimaju u obzir postojeća ograničenja i poremećajne faktore u poslovanju univerziteta čiji sistem treba da bude dovoljno robustan da bi se rešili svi problemi u poslovanju.

5. ZAKLJUČAK

Potrebno je da se u daljem istraživanju pronađu analogije u sistemu obezbeđivanje kvaliteta u aktivnostima digitalnog univerziteta. Na primer, metode i kriterijumi ocenjivanja studenata (analogija sa filter komponentom sistema upravljanja), statističke analize i izveštaji, prohodnost studenata kroz semestre, školske godine i ukupne studije, povratne informacije korisnika obrazovanja i druge analogije. Svakako da vremensko i prostorno kretanje univerziteta Srbije kroz zajednički obrazovni prostor Evrope određuje njihovu poziciju na rang listi na osnovu parametara rangiranja koji onda formiraju N -dimenzioni prostor stanja.

6. REFERENCE

- [1] August, I. D., Malik, S., Peh, L., Pai, V., Vachharajani, M., Willmann, P., Achieving Structural and Composable Modeling of Complex Systems, International Journal of Parallel Programming, Vol. 33, No. 2/3, 2005.
- [2] Mitchell, M., Complex systems: Network thinking, Artificial Intelligence, Vol. 170, pp. 1194-1212, 2006.
- [3] Slavković, G., Primena teorije upravljanja kompleksnim sistemima na integrisani sistem kvaliteta u sinergiji univerziteta sa obrazovno-poslovnim okruženjem, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 2011.
- [4] Bourguine, P., Johnson, J., Living Roadmap for Complex Systems Science, Paris, France, Open Network of Centres of Excellence in Complex Systems, 2006.
- [5] Blanchard, S. B., Fabrycky, J. W., Systems Engineering and Analysis, Prentice Hall, New Jersey, 2006.
- [6] Mitleton-Kelly, E., Complex Systems and Evolutionary Perspectives on Organizations: The application of complexity theory to organizations, ELSEVIER, ISBN: 0-08-043957-8, 2003.
- [7] Bateson, R.N., Introduction to Control System Theory, Seventh edition, Prentice Hall, New Jersey, 1993.
- [8] Spasić, Ž., Integrisani sistem kvaliteta digitalnog univerziteta, Mašinski fakultet, Beograd, 2007.
- [9] Goodwin, G.C., Sin, K.S., Adaptive Filtering Prediction and Control, Information and system science series, Prentice Hall, New Jersey, 1984.
- [10] Stojić, M., Kontinualni sistemi automatskog upravljanja, Naučna knjiga, Beograd, 1985.
- [11] Debeljković, Lj. D., Linearni singularni sistemi sa čistim vremenskim kašnjenjem, Mašinski fakultet, Beograd, 2010.
- [12] Milojković, R. B., Grujić, T. Lj., Automatsko upravljanje, Mašinski fakultet, Beograd, 1990.
- [13] Debeljković, Lj. D., Jovanović, B. M., Milinković, A. S., Jacić, A. Lj., Diskretni deskriptivni sistemi, Mašinski fakultet, Beograd, 2005.
- [14] Spasić, Ž., Modelling of Quality Assurance System in the Relation „University-Industry”, IFNA-ANS International Journal, Problems of Nonlinear Analysis in Engineering Systems, No. 2 (26), Vol. 12, pp. 117-127, 2006.

- [15] Slavković, G., Spasić, Ž., Hibridni kontroler za kompleksne sisteme na primeru univerziteta, 36. JUPITER konferencija, 29. simpozijum CIM u strategiji tehnološkog razvoja industrije prerade metala, Zbornik radova na CD-u, str. 1.68-1.72, Beograd, 2010.

G. Slavković, Ž. Spasić

**DESIGN OF MANAGEMENT UNIVERSITY SYSTEM
USING THE THEORY OF COMPLEX SYSTEMS**

Summary

University is educational, research and business institution of higher education with many features that are related to the systems management. In order to define models of integrated universities in synergy with educational and business environment it is necessary to define the basics of theory of control systems. At the same time, it is taken into account the definitions of complex systems to consider the characteristics of open and closed systems of governance, as well as nonlinearity of systems management with definitions of instability and damping disturbances in the processes and systems that are managed.



Z. Radojević, M. Radojević, D. Radojević¹

CIM SISTEM - INOVATIVNOST KA POVEĆANJU PRODUKTIVNOSTI RADA

Inovativnost se može iskazati kroz praktičnu primenu, gde se iskazuje kroz uspešnu primenu novih ideja. Današnja privreda vrši unapređenje kroz inovacije i tehnička unapređenja. Svaka inovacija i tehničko unapređenje se proverava uz pomoć tehno-ekonomske analize, da bi ocenjivači mogli lakše da donesu odluku.

CIM sistem omogućava kvalitetnu dostavu svih informacija kompletnog tehnološkog procesa.

Današnji inovacioni sistemi omogućavaju brzi razvoj svih proizvodno/ uslužnih sistema, a čine društvo bogatijim.

Ključne reči: inovacija, tehničko unapređenje, sistem, proizvodnja, usluga.

1. Uvod

Da bi današnji proizvod osvojio kupca, neophodno je da ga u potpunosti zadovolji sa aspekta funkcionalnosti, dizajna, odgovarajućeg kvaliteta, a da pri tom cena bude što niža. To nas nagoni da postojeći proizvod moramo da usavršavamo ili da ga zamenjujemo novim proizvodom. Sem razvoja proizvoda mora se paralelno raditi i na razvoju tehnologije proizvodnje, kako osnovnih sredstava (mašina, uređaja i dr.), alata, pomoćnog pribora, tako i na unapređenju kroz različite edukacije svih radnih ljudi i svih nivoa menadžera, jednom rečju svih ljudskih resursa u realizaciji kompletnog tehnološkog procesa proizvodnje. Kroz razvoj unapređenja kompletnog tehnološkog procesa proizvodnje, smanjuje se vreme trajanja proizvodnje, odnosno povećava se produktivnost rada. To nam govori da proizvodimo veći broj proizvoda u jedinici vremena. Većom produktivnošću omogućava se smanjenje cene prodaje na tržištu, što kupcu donosi veću kupovnu moć a samim tim i povećanje stepena zadovoljstva.

Svuda u siromašnom svetu razvoj privrede, koja se oslanja na mala i srednja preduzeća (proizvodno/uslužni sistemi) realizuje se kroz inovacije i tehnička unapređenja. Da bi detaljnije objasnili neophodno je definisati pojam inovacije i tehničkog unapređenja:

„Inovacija je proces pretvaranja mogućnosti u nove ideje i njihovo stavljanje u široku praktičnu upotrebu-uspešna primena novih ideja. Specifični oblik promene, novine, alat preduzetnika za sticanje kompetitivne prednosti i povećanje efikasnosti obavljanja poslovnih aktivnosti i procesa. Naučna disciplina – menadžment inovacija koji se može praktično primenjivati.

Tehnološka inovacija je inovacija proizvoda i inovacija procesa. Tehnološke inovacije uključuju nove proizvode i procese. Inovacija je implementirana ako je uvedena na tržište (inovacija proizvoda) ili korišćena u procesu proizvodnje (inovacija procesa). Inovacije, zato, uključuju seriju naučnih, tehnoloških, organizacionih, finansijskih i komercijalnih aktivnosti. Tehnološka inovacija je bilo koji proizvod koji je lansirala organizacija ili bilo koji proces uveden u proizvodnju, zbog čega je inovativna jedinica morala da se upozna sa jednom ili više novih tehnologija, ili sa novom kombinacijom postojećih.“ (1)

Tehničko unapređenje je aktivnost nižeg nivoa od inovacija, a najčešće se javlja u tehnološkom procesu proizvodnje (unapređenje) ili kod funkcije mehanizma proizvoda gde se suština ne menja. Da bi se napred iskazano ostvarilo, neophodan je kvalitetan informacioni sistem koji se ostvaruje u današnjoj proizvodnji.

¹ Dr Zoran Radojević, Fakultet organizacionih nauka - Beograd, Jove Ilića 154, 062/ 294-037, zovime1@gmail.com
Dr Miroslav Radojević, „Tehnikum Taurunum“-Visoka inženjerska škola strukovnih studija- Zemun, Nade Dimić 4, 064/ 86 75 910, zovime1@gmail.com
Ms Darko Radojević, Kompanija „Dunav osiguranje“ a.d.o. - Beograd, Makedonska 4, 064/ 13 13 833, zovime1@gmail.com

2. Informacije tehnološkog procesa

Svaki tehnološki proces poseduje svoj informacioni sistem. Najčešći nosioci ovog sistema su dokumenti. Informacioni sistem svakog tehnološkog rešenja je podsistem čiji je zadatak da noseći najznačajnije informacije, omogućiti da se proizvod formira na bazi tehničko-tehnološke dokumentacije. Ovaj sistem poseduje dokumenta za svaku tehnološku operaciju. Savremena proizvodnja poseduje umrežen kompjuterski sistem (CIM-sistem), koji je povezan kako sa tehnologijom u pripremi proizvodnje, tako i sa savremenim proizvodnim mašinama (CNC). Priprema proizvodnje ima u svom sastavu tehnološku pripremu kao deo CAD-CAM podsistema, koji je u sastavu CIM sistema. U tehnološkoj pripremi se formiraju dokumenta koja su specifična u zavisnosti od obima strukture proizvodnje. Nabrojaćemo najznačajnija dokumenta:

- operacijski list,
- instruktorski list,
- specifikacija reproduktionog materijala,
- tehnološka karta,
- krojne liste elemenata koji čine proizvod,
- zahtev za izmenu tehnološkog procesa i proizvoda kroz inovacije i tehnološka unapređenja,
- prijemnica o završetku tehnološkog procesa i proizvoda,
- zahtev za konstrukciju specijalnog alata ili pribora,
- zahtev za nabavku mašina, uređaja, opreme, alata, pomoćnog pribora i dr.
- zapisnik o realizaciji novog tehnološkog procesa kroz inovacije i tehnička unapređenja – uštede,
- tehnološka kooperacija i dr.

Svi nabrojani dokumenti su nosioci određenih informacija i zato je najvažnije definisati njihov hodogram (put kretanja dokumentacije), jer tada efektivno deluju na tehnološki proces proizvodnje. Ovde nismo nabrojali sve dokumente, jer je svaka proizvodnja specifična i ima neke specifične dokumente.

“Tehnološka dokumentacija je ulazni element tehnološkog sistema i ima osnovni zadatak da definiše zakonitosti redosleda i načina izvođenja tehnoloških operacija, da definiše vrste alata, sredstava za rad i načine rada sa njima, vrste materijala i ponašanje ljudi kao nosilaca radne aktivnosti, izvršne funkcije. Vrste i oblici tehnološke dokumentacije variraju u različitim konkretnim slučajevima u praksi i veoma su raznovrsni, a najčešći i osnovni oblici su tehnološka karta, tehnološki postupak, operacijski list. Polazna osnova tehnološke dokumentacije je crtež gotovog proizvoda koji je dovoljno precizno definisan kako bi se po njemu uradili konkretni tehnološki postupak i operacijski listovi. Podrazumeva se da je izvršen izvor tehnološkog procesa, načina obrade materijala prema zahtevima optimizacije i efikasnosti. Odabrani tehnološki proces se dalje definiše kroz tehnološku dokumentaciju“. (1)

Najznačajniji faktori pri izradi tehnološke dokumentacije su:

- izraditi kvalitetnu specifikaciju reproduktionog materijala sa krojnim listama, gde je težnja da otpadni materijal bude što bliže nuli (najbolje je da nema otpadnog materijala),
- sačiniti tehnološki postupak izrade elemenata, podsklopova i sklopova proizvoda, čiji su troškovi minimalni, a to znači da sve komponente tehnološkog procesa moraju biti optimalne (vreme rada radnika, stepen korišćenja kapaciteta (mašine, uređaja i opreme), brza isplativost specijalnih alata, pomoćnih pribora, alata i dr, pri čemu sve što učestvuje u formiranju proizvoda bude minimalno ili optimalno.

ZAHTEV ZA IZMENU TEHNOLOŠKOG PROCESA I PROIZVODA KROZ INOVACIJE I TEHNIČKA UNAPREĐENJA je dokument u kome se detaljno opisuje izmena koja se detaljnim crtežom (ako je potrebno) prikazuje, da bi komisija koja obrađuje zahtev donela kvalitetno rešenje. Sem iskazanog, prikazuje se tehnno-ekonomska analiza, koja pokazuje isplativost predloženog rešenja.

Ukoliko je predloženo rešenje prihvatljivo, radi se predloženo kompletno tehnološko rešenje, bilo opreme ili proizvoda. Svi se obaveštavaju o izmeni kompletnog tehnološkog procesa i ekonomičnosti istog. Što se odnosi na tehnološki proces isto se odnosi i na proizvod. Značajan naučni prodor u tehnologiji obrade i montaže učinjen je razvojem koncepta grupne i tipske tehnologije, što posebno imponuje serijskoj i masovnoj proizvodnji.

„Tipska tehnologija je definisana tehnološkim procesom, a zasniva se na zajedničkom redosledu većine tehnoloških operacija za grupu radnih predmeta sa zajedničkim konstruktivnim osobinama. Grupna tehnologija se definiše kroz opremu (mašine, alatke, alate i pribore, kao i kroz pomoćne pribore, merne pribore i alate). Iz ovoga proizilazi da je potrebno istražiti tehnološku sličnost radnih predmeta i izvršiti njihovo grupisanje. Grupisanje se vrši na klase, podklase, grupe i tipove“. (3)

Tehnološki proces je najčešće linijski kod masovne i visokoserijske proizvodnje. Ovde su mašine, uređaji i oprema poređani po tehnološkom redu i radni predmet prelazi minimalni put od mašine do mašine ili nekog uređaja. Postoje tehnološki procesi, gde su mašine, uređaji i oprema poređani po vrsti obrade (strugovi, glodalice, bušilice i dr.). Ovde svaki tehnološki proces ima svoj tehnološki put radnog predmeta.

Sem prikazanih tehnoloških procesa, postoje procesi po kojima se deo procesa obavlja u sopstvenom pogonu, a deo tehnološkog procesa se obavlja u kooperaciji. Po završetku kooperativnog posla, isti se radni predmet (elementi, podsklopovi, sklopovi) vraćaju, gde se vrši nastavak tehnološkog procesa i montira gotov proizvod. Postoje tehnološki procesi koji se snabdevaju elementima, podsklopovima i sklopovima koji se kupuju kao roba široke potrošnje, a on se bavi samo tehnologijom montaže i formira gotov proizvod. Razlike između stvarnog vremena trajanja proizvodnog ciklusa i planiranog nalažu potrebu za analiziranjem faktora koji utiču na dužinu trajanja proizvodnog ciklusa.

Inovacije i tehnička unapređenja su bitna za razvoj proizvodnog sistema. Da bi se koristile, neophodno je imati pravilnik, koji reguliše finansijsku vrednost svake uštede u proizvodnji. Takvim načinom nagrađivanja svi su zainteresovani da unapređuju postojeći tehnološki proces i proizvod.

Nacionalni i investicioni sistemi, u kome je proizvodni/uslužni sistem (preduzeće) inkorporiran i u kome deluje, nalazi se u našem okruženju. Elementi investicionog sistema mogu se posmatrati na nivou podrške preduzeća za razvoj novih proizvoda/usluga i procesa, kao i u oblasti inovacione strukture-mreže institucija za kretanje i podršku inovacionim projektima.

3. Inovacioni sistemi

Sve inovacione aktivnosti proizvodno/uslužnog sistema se nalaze u nacionalnom okruženju. Snaga proizvodno/uslužnog sistema je u posebnim inovacionim delatnostima koje uvećavaju nacionalnu ekonomiju. Inovaciona delatnost se međusobno povezuje unutar jedne nacije kroz mrežu podataka i na taj način se formiraju nove tehnologije.

„Inovativno preduzeće se identifikuje kao komponenta kompleksne mreže kooperacije i konkurencije, zasnovane na bliskim vezama između snabdevača i kupca. Tri osnovna faktora koji se vezuju za znanje, inovacije i nacionalne inovacione sisteme su:

- ekonomski značaj znanja,
- sistemski pristup,
- ljudski resursi

OECD se nacionalnim inovacionim sistemom bavi u odnosu na sledeće oblasti:

- interakcija između preduzeća;
- interakcija između preduzeća i istraživačkih institucija;
- difuzija znanje inovacija i tehnologija u preduzećima;
- ljudski resursi

Kompletnim znanjem iskazanim kroz inovacije, odnosno inovacione procese povećavaju se performanse“
(4) Performanse proizvoda su osnovne karakteristike proizvoda koje mu daju upotrebnost, estetsku i funkcionalnu vrednost.

Naša zemlja Srbija nema razvijene regionalne inovacione sisteme. Postoje dva glavna problema koja se ogledaju u nedovoljnoj iskorišćenosti rezultata istraživanja i razvoja, i dug period ostvarenja od ideje do tržišta. Neophodno je definisati organizacije koje pružaju podršku inovacione delatnosti kroz:

- poslovno-tehnološki inkubator,
- naučno-tehnološki park

Poslovna inkubacija predstavlja dinamičan proces razvoja preduzetništva. Inkubatori obezbeđuju menadžersku podršku, pristup finansijama i pružanju kritične poslovne i tehničke usluge.

„Naučno-tehnološki park je privredno društvo koje u okviru definisanog prostora pruža infrastrukturne i stručne usluge visokoškolskim ustanovama, naučnoistraživačkim i inovacijama organizacijama, kao i visokotehnološkim i srednjetehnološkim društvima u određenoj, istraživačko-razvojnoj ili proizvodnoj grupaciji, s ciljem njihovog povezivanja i što brže primene novih tehnologija, stvaranja i plasmana novih proizvoda i usluga na tržištu“ (4)

4. Zaključak

Inovacije i tehnička unapređenja su aktivnosti razvoja današnjim proizvodno/uslužnih sistema. Današnja privreda ne bi mogla da napreduje bez prisutnosti inovacija i tehničkih unapređenja. Mnoge male zemlje na ovome zasnivaju svoj kompletan razvoj. Svaka inovacija i tehničko unapređenje se iskazuje tehničkom dokumentacijom i tehno-ekonomskom analizom da bi se sagledali ekonomski efekti. Inovacije i tehnička unapređenja obogaćuju državu kroz ekonomske pokazatelje. Informacioni sistem današnje proizvodnje/usluge CIM omogućava prikladno prihvatanje tehnološkog sistema i proizvoda kroz ekonomske analize. Produktivnost se povećava, jer se proizvodi veća količina proizvoda u jedinici vremena.

Literatura

1. JOVANOVIĆ PETAR i drugi, „Leksikon menadžmenta“, FON, Beograd, 2003.
2. MULEBEKE J., A., W, ZENG, L., „The analitic Network Process: The Evolution and Selection of PDP Software, Isaph, Honolulu, 2005.
3. RADOJEVIĆ ZORAN, „Operacioni menadžment“, AGM knjiga Beograd, Zemun, 2010.
4. STOŠIĆ BILJANA, Menadžment inovacija“, FON, Beograd, 2007.
5. TROTT, P., „Inovation management and New Product Development“, Prentice Hall, London, 2005.

Innovation can be expressed through practical application, where it is expressed through the successful application of new ideas. Today's economy is improving through innovation and technical improvements. Every innovation and technical development is checked with the help of techno-economic analysis, that the auditors could easily make a decision.

CIM system provides high-quality delivery of all information of complete technological process.

Today's innovation systems enable rapid development of production / service systems, and make society richer.

Key words: innovation, technical improvement, system, manufacturing, services.



D. Ružičić

KONTROLING U FUNKCIJI POSLOVNE IZVRSNOSTI PREDUZEĆA¹

Rezime: *Koncept kontrolinga u Srbiji predstavlja relativno novi pojam kako u stručnoj literaturi tako i u domaćoj praksi menadžmenta privrednih subjekata. U uslovima globalne konkurencije i težnje da se dostigne poslovna izvrsnost kao pretpostavka opstanka, razvoja i postizanja konkurentne prednosti preduzeća suočavamo se sa sve većom potrebom primene kontrolinga, njegovih sistema i instrumenata u savremenom poslovanju. Osnovni cilj ovog rada jeste ukazati na potrebu i značaj primene uspešnog kontrolinga i njegovih sistema u postizanju poslovne izvrsnosti preduzeća.*

Ključne reči: kontroling, poslovna izvrsnost, planiranje, analiza, merenje performansi, izveštavanje

1. UVOD

Proces odlučivanja i donošenja poslovnih odluka od strane menadžmenta preduzeća na neki način predstavlja veliki izazov, ali i određeni izvor problema. Možemo reći da je za sve donosiocce poslovnih odluka karakteristično prisustvo zahteva optimalnosti. Naime, većina donosioca poslovnih odluka, kao i većina modela poslovnih odlučivanja usmerena je na pronalaženje optimalnog rešenja poslovnih problema, umesto usmerenosti na pronalaženje zadovoljavajućeg rešenja problema. Dinamično okruženje koje karakteriše današnju poslovnu praksu dovodi do toga da je u savremenim uslovima neophodno primenjivati nove koncepte upravljanja preduzećem koji dovode do stalnog unapređenja poslovanja i postizanja poslovne izvrsnosti preduzeća. Da bi menadžment preduzeća bio u mogućnosti da donosi kvalitetne poslovne odluke, neophodno je najpre izvršiti identifikaciju svih postojećih problema, za šta je sa druge strane potrebno analizirati simptome postojećih poslovnih problema. Poznavanje simptoma problema sa kojima se preduzeće susreće nije dovoljno za kvalitetno strukturiranje problemske situacije odnosno za potpuno razumevanje konkretnog problema. Drugim rečima, za menadžment preduzeća je neophodno saznanje o uzrocima problema u poslovanju i njihovim specifičnostima, zatim sposobnost brze reakcije u primeni korektivnih akcija i sprečavanje nastanka novih problema. Iz tih razloga, javlja se neophodnost razvijanja adekvatnog sistema prikupljanja podataka i informacija kao i sistema njihovog upravljanja, definisanje i stalno unapređenje poslovnih procesa i sistema za merenje performansi preduzeća. Sve ovo predstavlja pretpostavku uspešnog odlučivanja i uspešnog poslovanja preduzeća.

Iz svega navedenog možemo reći da opstanak i razvoj kao dva osnovna cilja preduzeća u savremenim uslovima poslovanja nameću potrebu za primenom kontrolinga u upravljanju preduzećem. Kontroling predstavlja praktičan koncept upravljanja koji je usmeren na stručnu podršku menadžmentu u procesu odlučivanja i donošenja efikasnih poslovnih odluka u cilju postizanja poslovne izvrsnosti preduzeća. U praksi razvijenih privreda sveta dokazano je da je bitan preduslov uspešnog upravljanja preduzećem i postizanja poslovne izvrsnosti upravo primena kontrolinga i njegovih sistema i instrumenata.

Kontroling ima za cilj da obezbedi da se ostvari poslovna izvrsnost preduzeća odnosno stanje preduzeća koje se karakteriše visokim nivoom kvaliteta i stalnim unapređenjem i poboljšanjem svih poslovnih procesa, koje se potvrđuje ostvarenim finansijskim rezultatima i zadovoljstvom svih zainteresovanih strana.

U narednom izlaganju u ovom radu biće objašnjeni osnovni pojmovi vezani za kontroling, koncept i proces kontrolinga, njegovi sistemi, kao i povezanost sa ostalim poslovnim područjima u poslovanju preduzeća.

¹ Danijela Ružičić, Fakultet za poslovne studije Beograd, master studije (smer menadžment i biznis), 0603040570, danijela.ruzicic@yahoo.com

2. DEFINISANJE I KONCEPT KONTROLINGA

Ključna pretpostavka za donošenje poslovnih odluka jeste obezbeđenje kvalitetne informacione osnove. Kvalitetna informaciona osnova za potrebe menadžmenta obezbeđuje se upravo kroz proces uspešnog kontrolinga. Kontroling predstavlja relativno novu disciplinu koja zahteva posebnu pažnju u našoj teoriji i praksi, ali ne samo iz razloga što je nova, već iz razloga što u pravom smislu te reči pruža stručnu podršku menadžmentu u upravljanju, pružajući potpuni uvid u poslovanje preduzeća sa različitih aspekata, doprinosi ostvarenju determinisanih ciljeva i uspostavlja efikasan sistem za merenje performansi preduzeća. Primenom kontrolinga omogućava se adekvatan okvir za efikasno upravljanje i generisanje poslovnih odluka na svim nivoima, što sa druge strane omogućava stalno unapređenje svih segmenata poslovanja i dovodi do postizanja poslovne izvrsnosti preduzeća.

Uspešan menadžment orijentisan je na sve poslovne procese, a u savremenim uslovima težište je sa proizvodnje pomeren na pripremu proizvodnje, na glavne konkurente, kupce, kvalitet, ljudske resurse i na poslovni rezultat. Filozofija kontrolinga je dovela do promena u stilu upravljanja i strukturi nivoa odlučivanja. Zajednički ciljevi, koje postavlja generalni menadžment, delegiraju se na niže nivoe upravljanja, a organizacione jedinice preuzimaju zaokruženi deo zadataka, a sa tim i pripadajuće poslovne ciljeve. [4]

Kontroling ima za cilj stalno unapređenje performansi preduzeća. Osnovni zadaci kontrolinga su prikupljanje i analiza podataka vezanih za rezultate poslovanja. Podaci se zatim u obliku izveštaja dostavljaju menadžmentu koji na osnovu njih donosi poslovne odluke. Kontroling je samim tim funkcija menadžmenta kojom se povećavaju efikasnost i efektivnost menadžmenta, a time i sposobnost prilagođavanja promenama unutar i izvan preduzeća. [6]

Značaj kontrolinga se posebno ogleda u postizanju efikasnosti i efektivnosti poslovanja preduzeća. To na jednostavan način možemo objasniti preko osnovnih ekonomskih načela u procesu opstanka, rasta i razvoja preduzeća i donošenju svih vrsta upravljačkih odluka i to:

1. Načelo trajnosti poslovanja – predstavlja načelo koje ukazuje da je poslovanje preduzeća aktivnost trajnog karaktera, odnosno da se preduzeće osniva sa ciljem da kontinuirano posluje u svom okruženju.
2. Načelo stabilnosti – predstavlja načelo koje se odnosi na orijentaciju preduzeća prema jasno definisanoj viziji, misiji, strategiji i ciljevima poslovanja.
3. Načelo racionalnosti – predstavlja načelo koje se odnosi na težnju da se određenim ulaganjima donesu što veći poslovni rezultati.
4. Načelo likvidnosti – predstavlja načelo koje se odnosi na sposobnost preduzeća da u svakom trenutku može da izmiri sve svoje dospеле obaveze.
5. Načelo rentabilnosti – predstavlja zarađivačku sposobnost preduzeća, jedan od najboljih pokazatelja efikasnosti poslovanja.

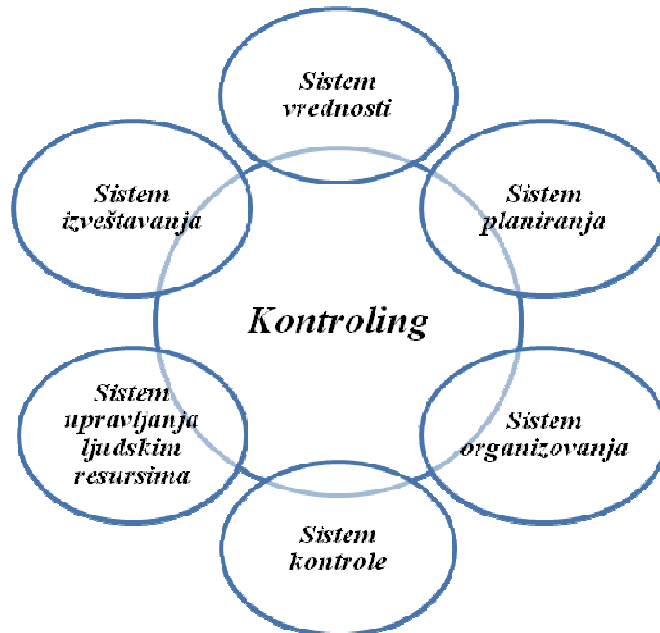
Navedena osnovna ekonomska načela zahtevaju od menadžmenta preduzeća da donose takve poslovne odluke koje će da omoguće i osiguraju dugoročno i uspešno poslovanje preduzeće.

Ako izdvojimo najvažnije determinante uspeha preduzeća, tada se mogu razlikovati naredne orijentacije kontrolinga prema najvišem cilju: [5]

1. Orijehtacija na rentabilnost poslovanja podrazumeva usmerenost:
 - Na troškove,
 - Na prihode,
 - Na dobitak/doprinos pokriću.
2. Orijehtaciju na likvidnost i finansijsku stabilnost stavlja težište:
 - Na poreklo i nabavku sredstava,
 - Na efikasno korišćenje sredstava.
3. Orijehtaciju na procese/projekte predstavlja usmerenje:
 - Na procese i faze,
 - Na rezultate poslovanja.

3. OSNOVNI SISTEMI KONTROLINGA

Za uspešno upravljanje preduzećem i postizanje poslovne izvrsnosti ključnu ulogu ima kontroling i njegovi sistemi. Kontroling, u opštem smislu, ima za cilj da uvede red u poslovanje i kao takav je nezaobilazan činilac u stvaranju i povećanju vrednosti preduzeća na dugi rok, posebno u pogledu povećanja uspešnosti poslovanja preduzeća. Na slici broj 1 možemo videti osnovne sisteme kontrolinga.



Slika broj 1: Kontroling i njegovi osnovni sistemi

Iz slike broj 1 možemo videti da se kontroling sastoji od nekoliko međusobno povezanih sistema koji se izvršavaju u određenom logičkom redosledu i u različitim vremenskim terminima. Suština kontrolinga jeste da se obezbedi i osigura ispunjenje dva osnovna načela, a to su koordinacija i intergracija svih poslovnih procesa i aktivnosti u sistemu upravljanja odnosno potpuna konzistentnost poslovne politike preduzeće, strategije i svih poslovnih procesa.

Kontroling se razvija i primenjuje u preduzećima razvijenih zemalja kao moderan koncept za podršku procesima upravljanja. Ključna uloga kontrolinga je da doprinese povećanju nivoa kordinacije, integracije i adaptacije preduzeća unutar organizacionih funkcija i promena okruženja.[3]

Iz tog razloga, kontroling je važno posmatrati kao podsistem menadžmenta koji obezbeđuje integrisani sistem upravljanja u čijoj osnovi se nalaze sledeći sistemi: [5]

1. Sistem vrednosti,
2. Sistem planiranja,
3. Sistem organizovanja,
4. Sistem kontrole,
5. Sistem upravljanja ljudskim resursima i
6. Sistem izveštavanja.

1. Sistem vrednosti je osnova uspešnosti poslovanja preduzeća i ona podrazumeva definisanje vizije, misije i ciljeva. Sistem vrednosti podrazumeva da se uspostavi okvir ponašanja i odnos preduzeća prema svim zainteresovanim stranama u poslovanju preduzeća koje možemo posmatrati sa posebnog aspekta poslovne izvrsnosti (kupci, dobavljači, zaposleni, kreditori, društvena zajednica, država, akcionari, menadžment). Osnovne aktivnosti i cilj kontrolinga u definisanju vizije, misije i ciljeva jeste da podstiče menadžment preduzeća da stalno prate, analiziraju, mere i izveštavaju o neophodnim promena vizije, misije i ciljeva, kao i unapređenjima sistema vrednosti u cilju zadovoljenja interesa svih zainteresovanih strana.
2. Sistem planiranja podrazumeva definisanje ciljeva i njihovo kvantifikovanje odnosno prevodenje na merne varijable. Cilj planiranja jeste da se utvrdii niz specifičnih planova i budžeta koji će pomoći da se preduzeće pripremi za buduće događaje. Uloga kontrolinga u planiranju jeste predviđanje budućih događaja, sprečavanje pojave kriznih situacija, kao i definisanje sistema indikatora i mera za rano

upozorenje na krizu. Na primer, operativno planiranje koje je usmereno na ostvarenje krakoročnog poslovnog rezultata podrazumeva definisanje planova na nivou pojedinih poslovnih segmenata (plan prodaje, plan nabavke, plan proizvodnje, plan troškova, plan kapitalnih ulaganja).

3. Sistem organizovanja je jedan od važnih podsistema menadžmenta. Organizovanjem se uspostavlja koordinacija, tj. usklađivanje u procesu izvršenja svih aktivnosti. Zadatak kontrolinga je uočavanje promena i sprečavanje većih odstupanja u svim aktivnostima poslovanja.
4. Sistem kontrole je direktno povezan sa sistemom planiranja. Postoje brojni pogledi na proces kontrole, odnosno na elemente koji ga čine. Na primer, prema W.Newmanu [2], elementi procesa kontrole su: definisanje željenih rezultata, izvođenje projekcije rezultata, utvrđivanje standarda, izgradnja mreže informacija i ocena podataka i preduzimanje korektivnih akcija.
5. Sistem upravljanja ljudskim resursima podrazumeva da u poslovanju preduzeća postoji strategija razvoja stručnog kadra koji će sa svojim znanjima i sposobnosti uspešno povezivati i koordinirati sve poslovne aktivnosti sa radom ostalih organizacionih jedinica u preduzeću i u skladu sa svojim učincima biti adekvatno nagrađeni.
6. Sistem izveštavanja ukazuje da okruženje u kojoj preduzeća egzistiraju i kojoj se stalno moraju prilagođavati možda jeste i najbitniji faktor koji utiče na njegovo poslovanje, jer opstanak i razvoj preduzeća zavisi upravo od nivoa prilagođavanja i informisanosti preduzeća o njegovoj okolini i internim mogućnostima. Dakle, osnovna svrha menadžerskog izveštavanja jeste davanje pouzdanih informacija za donošenje pravih poslovnih odluka. Menadžment mora raspolagati sa tačnim pokazateljima, ažurnim informacijama i preglednim izveštajima. U efikasnom sistemu izveštavanja neophodno je prikazati pokazatelje koji ukazuju na izvrsnost poslovnih funkcija preduzeća (uprava, nabavka, proizvodnja, marketing, prodaja, istraživanje i razvoj, ljudski resursi, kvalitet, itd.)

4. PROCES KONTROLINGA I OSTALA POSLOVNA PODRUČJA

U prethodnom delu radu ukazano je na osnovne sisteme kontrolinga koji su i isto vreme i podsistemi menadžmenta, međutim neophodno je pažnju usmeriti na sam proces kontrolinga, njegove instrumente i funkcionisanje sa ostalim poslovnim područjima.

Svrhu kontrolinga u poslovanju možemo prikazati i u kontekstu stručne i savetodavne pomoći menadžmentu prilikom:

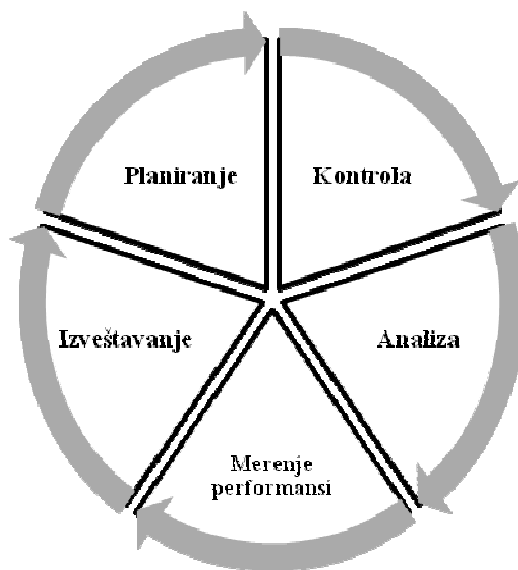
1. Analize postojećeg stanja,
2. Identifikacije prisutnih poslovnih problema,
3. Analize raspoloživih podataka,
4. Predloga korektivnih mera i akcija,
5. Izveštavanja menadžmenta i
6. Predviđanja budućih događaja.

Zadatak kontrolinga je efikasno upravljanje informacijama iz svih segmenata poslovanja. Međutim, kako su informacioni zahtevi menadžmenta u upravljanju poslovnom izvrsnošću veoma složeni u vezi sa tim možemo govoriti i o kontrolingu na nižim nivoima upravljanja i organizacionim jedinicama i to:

- Kontroling u nabavci,
- Kontroling u proizvodnji,
- Kontroling u prodaji,
- Kontroling u marketingu,
- Kontroling u finansijama,
- Kontroling u istraživanju i razvoju,
- Kontroling u upravljanju kvalitetom,
- Kontroling u logistici, itd.

Svaka od navedenih organizacionih jedinica u preduzeću treba da pruži stručnu pomoć menadžmentu pri planiranju ukupnog poslovanja, proučavanju postignutih poslovnih rezultata i odstupanja od plana ili standarda, analizama odstupanja i identifikovanju uzroka odstupanja, obračunu troškova i učinaka, planiranju investiranja i posebnih istraživanja, kao i izveštavanju za obezbeđenje donošenja efikasnih odluka i postizanju poslovne izvrsnosti poslovanja. [1]

Sa druge strane gledano, uspešan kontroling je moguće posmatrati i kao proces. U tom smislu kontroling je proces koji se sastoji od nekoliko koraka ili faza koje se uvek ponavljaju i sam proces nikada ne prestaje. Na narednoj slici broj 2 prikazan je proces kontrolinga.



Slika broj 2: Proces kontrolinga

U cilju donošenja efikasnih operativnih i strategijskih odluka kojima se obezbeđuje postizanje poslovne izvrsnosti preduzeća svodi se u konceptu kontrolinga na aktivnosti planiranja, kontrole, analize, merenje ostvarenih efekata odnosno performansi i izveštavanje o uspešnosti poslovanja.

Aktivnosti planiranja i kontrole su objašnjeni u prethodnom delu rada i to u okviru sistema kontrolinga. Međutim, sa aspekta poslovne izvrsnosti preduzeća centralno pitanje se odnosi na analizu, merenje i izveštavanje. Prilikom analize i merenja ostvarenih efekata mogu se koristiti finansijski izveštaji, kratkoročni finansijski obračuni, strategijski planovi podeljeni na operativne planove i to obično na godišnje finansijske planove (budžete) i razrađene po mesecima, sedmicama i danima u sedmici, kao i ostvareni poslovni rezultati. Svako negativno odstupanje od plana jasan je signal da treba odmah utvrditi uzroke i posledice odstupanja i doneti odgovarajuće odluke. To jeste i zadatak kontrolinga. Ako se tako ne radi, znači da je donošenje odluka neefikasno.

Kvalitet poslovne izvrsnosti, uopšte, najbolje se ocenjuje na osnovu ostvarenih poslovnih rezultata i uspešnosti poslovanja. Poslovna izvrsnost preduzeća dostiže se samo onda ako se zadovolje interesi svih zainteresovanih strana u poslovanju preduzeća. To znači da se u svim poslovnim segmentima poslovanja i poslovnim odnosima sa svim zainteresovanim stranama mora primeniti proces kontrolinga, jer se jedino na takav način i u svakom trenutku analizama i merenjem ostvarenih efekata može dokazati da li je poslovna strategija preduzeća uspešna, da li je proizvod i/ili usluga tržišno prihvaćen, da li se racionalno upravlja raspoloživim resursima i da li su prisutna stalna poboljšanja poslovanja, itd., što sa druge jeste relevantan dokaz da li se preduzeće kreće ka dostizanju poslovne izvrsnosti preduzeća. Sve to nam ukazuje na neophodnost definisanja metoda, instrumenata za analizu i merenje i određivanja statičkih i dinamičnih pokazatelja uspešnosti.

U tom cilju, osnovni instrumenti i metode kontrolinga u planiranju, merenju i analizi uspešnosti mogu biti: ABC analiza, Life Time Custom Value, EOQ model, analiza i obračun troškova (Direct Costing, Cost Waterfalls, Activity Based Costing), prelomna tačka rentabiliteta, kratkoročni obračun rezultata, finansijska analiza (analiza likvidnosti, zaduženosti, aktivnosti, ekonomičnosti, produktivnosti, itd.) SWOT matrica, TOWS matrica, Pareto analiza, 5 porterovih sila, Rolling Forcast, kriva iskustva, benčmarking, BCG matrica, du pont sistem pokazatelja, EVA (dodata ekonomska vrednost), razni Scoring modeli, trend analize, XYZ analiza itd.

Na osnovu navedenih metoda određuju se kvalitativni i kvantitativni pokazatelji uspešnosti poslovanja, posmatrano sa različitih aspekata svih korisnika (operativne performanse, finansijske performanse, performanse kvaliteta, performanse u prostoru i vremenu, performanse svih organizacionih jedinica). Ne postoji jedinstven sistem pokazatelja i instrumenata za merenje dostizanje poslovne izvrsnosti, već stalno treba unapređivati postojeći sistem pokazatelja u cilju unapređenja uspešnosti poslovanja.

5. KONTROLING I POSLOVNA IZVRSNOST PREDUZEĆA

Nije slučajna odabir teme kontroling u funkciji poslovne izvrsnosti preduzeća. Podrška kontrolinga menadžmentu preduzeća u cilju dostizanja poslovne izvrsnosti preduzeća izražava se kroz njegovo efikasno delovanje i ulogom u svim segmentima poslovanja, putem prikupljanja i upravljanja raspoloživim informacijama. Stručna podrška kontrolinga se odnosi na adekvatnu pripremu informacija, analizu, merenje i izveštavanje o svim segmentima poslovanja. Takve informacije menadžmentu preduzeća omogućavaju osnovu u odlučivanju i merenju ostvarenja poslovne izvrsnosti. Sa druge strane, efikasno upravljanje izvrsnošću poslovanja karakteriše se poslovnim odlukama menadžmenta preduzeća u svim područjima poslovanja i to: upravljanje kvalitetom, proizvodnja, marketing, prodaja, ljudski resursi, finansije, računovodstvo, istraživanje i razvoj itd. Dalje, to su sve odluke koje u svom konačnom ishodu imaju isti cilj, a to je zadovoljenje potreba kupaca, investiranje u rast i razvoj čime se postiže poslovna izvrsnost. Posebno je s tog aspekta bitno naglasiti da je u procesu upravljanja preduzećem vrednovanje performansi preduzeća ključno i da je u skladu sa tim neophodno jasno definisati pokazatelje uspešnosti poslovanja, kao ključnom činiocu otkrivanja i utvrđivanja poslovne izvrsnosti preduzeća. Da bi se postigla poslovna izvrsnost preduzeća potrebno je da se teži kontinuiranom poboljšanju svih segmenata poslovanja. Naravno, moguće je poboljšavati gotovo sve segmente poslovanja, ali mnogo je važnije u životnom ciklusu preduzeća nikada ne stagnirati, odnosno poboljšavati poslovanje u kontinuitetu.

6. ZAKLJUČAK

Primena uspešnog kontrolinga treba da se ostvari na takav način da se on shvati kao koncept upravljanja odnosno način razmišljanja, a ne samo kao skup sistema, zadataka i aktivnosti. U tom smislu, treba imati u vidu da kontroling prožima sve aspekte poslovanja preduzeća odnosno sve poslovne aktivnosti i da je u skladu sa tim u direktnoj korelaciji sa poslovnom izvrsnošću preduzeća. Koncept kontrolinga u poslovanju zahteva od preduzeća stalno unapređenje svih segmenata poslovanja putem identifikacije, merenja, analize i izveštavanja o poslovanju i svim poslovnim procesima i segmentima. Pretpostavka uspešnosti poslovanja i poslovne izvrsnosti preduzeća odnosi se na uspostavljanje adekvatnog sistema generisanja informacija i sistema za merenje performansi preduzeća, što podrazumeva uspostavljanje koncepta kontrolinga. Uspešno poslovanje preduzeća dokaz je da kontroling uspešno saraduje sa svim organizacionim jedinicama i to na dobrobit svih zaposlenih, vlasnika, investitora i šire društvene zajednice. Na taj način, poslovna izvrsnost preduzeća i kontroling su uvek usmereni ka zajedničkom cilju – poslovati što efikasnije, efektivnije, kvalitetnije, racionalnije i profitabilnije.

CONTROLLING IN THE FUNCTION OF BUSINESS EXCELLENCE OF COMPANIES

Abstract: *The concept of controlling in Serbia is a relatively new concept in the professional literature as well as in the management of companies. In terms of global competition and striving to achieve business excellence as a prerequisite for survival, development and achieving the competitive advantage, companies are facing the growing need of implementation of controlling, its systems and its instruments in modern business. The main objective of this paper is to emphasize the need and importance of using the successful controlling and its systems in achieving business excellence of the company.*

Keywords: *controlling, business excellence, planning, analysis, performance measurement, reporting*

LITERATURA

- [1] Avelini Holjevac, I: Quality management in tourism and hospitality industry, 16th Biennial International Congress, Hotel & Tourism 2002, Faculty of Tourism and Hospitality Management, Opatija
- [2] Đuričin, D., MENADŽMENT I STRATEGIJA, Ekonomski fakultet, Beograd, 2006.
- [3] Malešević, Đ., Kontroling u funkciji izazova promena upravljanja preduzećem, časopis "Ekonomске teme" br. 5, Ekonomski fakultet, Niš, 2003.
- [4] Mele, C., Colurcio, M., The evolving path of TQM: towards business excellence and stakeholder value, International Journal of Quality & Reliability Management, volume 23, May 2006.
- [5] Osmanagić Bedenik, N., Kontroling – abeceda poslovnoj uspeha, Školska knjiga Zagreb, Zagreb, 1998.
- [6] Weber, J., Einführung in das Controlling, Sefäffer-Poseschel, Stuttgart, 1995.



P.B. Petrović¹, M. Milanov², A. Vićentić³, M. Stojović⁴, Ž. Spasić¹, M. Pilipović¹,
Ž. Jakovljević¹, P. Baltić⁵

PRIMENA INELIGENTNIH SENZORSKIH SISTEMA U RAZVOJU INTEGRISANE AUTOMATIZACIJE REALNIH I VIRTUELNIH PROCESA PROIZVODNOG PREDUZEĆA – REKAPITULACIJA REZULTATA NA PROJEKTU MA14035

Rezime

U okviru ovog rada daje se rekapitulacija rezultata istraživanja sprovedenih na projektu MA14035 koji zajednički realizuju Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu i kompanije Mikrokontrol iz Beograda, Ikarbus iz Beograda i FAP iz Priboja. Pored pregleda teoretskih i metodoloških sadržaja, posebna pažnja se posvećuje praktičnim izlazima ostvarenim u okviru ovog projekta u formi laboratorijskih demonstracionih instalacija na kojima su praktično verifikovani ključni inovativni sadržaji sprovedenih istraživanja, kao i konceptualnih rešenja za izabrane tehnološke zadatke u proizvodnom pogonu kompanije Ikarbus kao jednog od participanata projekta. Na kraju saopštenja, navode se perspektive primene ostvarenih rezultata u industrijskim uslovima, na proizvodnim linijama participanata ili u kontekstu projekata sa kompanijama koje nisu članice konzorcijuma projekta.

1. UVOD

Projekat MA 14035⁶, akronim INTOSA, je trogodišnji projekat koji je finansijski podržan od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije za period 2008-2010. godina [1]. Na ovom projektu učestvuje Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Katedra za proizvodno mašinstvo, u svojstvu nosioca istraživačko-razvojnih aktivnosti i koordinatora projekta, kompanija Mikrokontrol iz Beograda, u svojstvu korisnika istraživanja i tehnološke podrške u delu industrijske automatizacije, informacionih tehnologija i tehnologija optoelektronskih sistema za dimenzionu metrologiju, i kompanije IKARBUS iz Beograda, FAP iz Priboja kao korisnici istraživanja koji dolaze iz domena industrije prerade metala. Projekat je tako komponovan da u minimalnom obimu sadrži sve ključne elemente modela jednog savremenog istraživačkog projekta, kakav se primenjuje u Evropskoj uniji, a posebno u okviru FP7 okvirnog programa. Konzorcijum sadrži jednu istraživačko-razvojnu instituciju koja je locirana u edukacionom segmentu, dve velike korporacije koje poseduju potrebne kvantitativne resurse za značajna tehnološka istraživanja i implementaciju rezultata istraživanja, i jednu kompaniju iz domena malih i srednjih preduzeća, koja je po pravilu pokretač inovacionih aktivnosti iz oblasti novih tehnologija.

Projekat pored konzorcijuma, poseduje i Poslovnu interesnu grupu, koju čini klaster kompanija iz oblasti koje direktno ili indirektno gravitiraju tematskim ciljevima projekta i koje su u poslovnom smislu zainteresovane za rezultate projekta kao budući korisnici, ili kao tehnološka baza za praktičnu realizaciju istraživačkih i demonstracionih aktivnosti.

¹ Prof. dr Petar B. Petrović, Prof. dr Žarko Spasić, Prof. dr Miroslav Pilipović, dr Živana Jakovljević, Katedra za proizvodno mašinstvo, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Kraljice Marije 16, 11120 Beograd, Srbija; e-mail: pbpetrovic@mas.bg.ac.rs

² Mile Milanov, dipl. ing., Direktor, Mikrokontrol d.o.o., Vase Pelagića 30, 11000 Beograd

³ Aleksandar Vićentić, dipl. ing., Generalni direktor, IKARBUS a.d., Autoput 24, 11080 Beograd

⁴ Mirko Stojović, dipl. ing., Generalni direktor, FAP korporacija, Priboj, Radnička bb, 31330 Priboj

⁵ Petar Baltić, dipl. ing., Direktor proizvodnje, IKARBUS a.d., Autoput 24, 11080 Beograd

⁶ Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije kroz projekat TR35007 Inteligentni robotski sistemi za ekstremno diverzifikovanu proizvodnju.

2. SADRŽAJ ISTRAŽIVANJA I CILJEVI

Predmet istraživanja projekta INTOSA su aplikativni aspekti jedne posebne klase senzorskih sistema koji su bazirani na simbiozi optičke tehnologije, digitalne elektronike i savremene tehnologije inteligentnih informacionih sistema. Ovakvi sistemi pokrivaju jedan vrlo širok spektar primena u domenu proizvodnih tehnologija, koje se prostiru od dimenzione metrologije, pa do sistema veštačkog gledanja i prepoznavanja oblika kao jedne od ključnih generičkih tehnologija na kojoj se gradi koncept inteligentnih tehnoloških sistema.

Ideja o pokretanju ovog projekta proistekla je iz uočenih potreba sistemskog rešavanja problema koji su pratili desetogodišnji program razvoja i proizvodnje mernih mašina baziranih na laserskim triangulacionim senzorima za merenje geometrijskih veličina na proizvodnim linijama u oblasti industrije prerade elastomera. Paralelno sa ovim dugoročnim programom, u skorije vreme pojavljuju se i zahtevi za realizaciju projekata visoke tehnologije, poput projekata izgradnje robotizovanog sistema za montažu vetrobranskog stakla na liniji za proizvodnju novog modela putničkog automobila Zastava 10, ili različitih projekata povezanih sa tehnologijom robotskog zavarivanja, gde ključnu ulogu imaju optički senzori i sistem veštačkog gledanja koji se koriste za uspostavljanje interakcije robotskog sistema sa njegovim okruženjem tokom izvršavanja postavljenog zadaka, uključujući i situacije koje imaju attribute rada u realnom vremenu.

Navedeni praktični inženjerski projekti pokazali su dve vrlo bitne činjenice: 1) izuzetan napredak tehnologije optičkih senzorskih sistema u protekloj dekadi i njihov veliki aplikativni potencijal i 2) potrebu za raspolaganjem vrlo kompleksnom bazom znanja i veština da bi se tehnologija optičkih senzorskih sistema mogla uspešno primenjivati u rešavanju konkretnih inženjerskih problema.

Motivisan ovakvim iskustvom Mašinski fakultet je formirao konzorcijum koji čine tri kompanije iz domena proizvodnog sektora koje su zainteresovane za širu primenu inteligentnih optičkih senzorskih sistema u okviru svog poslovnog sistema (proizvodnja u domenu automobilske industrije i inženjering u domenu automatizacije proizvodnih procesa).

Primarni naučno-istraživački i razvojno-aplikativni cilj projekta je uspostavljanje jedne istraživačko-razvojne jedinice u okviru Centra za nove tehnologije, Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, koja će sistematskim istraživačkim aktivnostima i njihovom praktičnom verifikacijom kroz izgradnju odgovarajućih demonstracionih instalacija, ovladati generičkim znanjima iz domena digitalne optičke tehnologije i omogućiti transfer tih znanja u domaću industriju sa široke masovne primene ove tehnologije u oblasti automatizacije proizvodnih procesa.

Posebni naučno-istraživački ciljevi projekta su sledeći: 1) Sistematska identifikacija stanja i prepoznavanje osnovnih trendova razvoja tehnologije optičkih senzorskih sistema i primene tih sistema u domenu automatizacije proizvodnih procesa; 2) Istraživanje i sistematizacija specifičnih tehnologija vezanih za hardverske aspekte primene optičkih senzorskih sistema u realnim industrijskim uslovima – identifikacija specifičnih zahteva i sa tim povezanim odgovarajućim procedurama za kontrolu osvetljenosti scene, refleksija, kontaminacije optičkog puta i drugih poremećaja ambijenta u kome se primenjuju optički senzori; 3) Razvoj specifičnih procedura i algoritama primarne obrade senzorskih signala primenom diskretne vejtlet transformacije, kao i istraživanje uslova efikasne primene vejtlet transformacije u realnom vremenu; 4) Razvoj novih algoritama za statističku obradu nekompletnih vremenskih serija primenom pristupa robusne statističke karakterizacije površi; 5) Razvoj novih algoritama za prepoznavanje oblika u realnom vremenu primenom neiterativnih algoritama fazi i neuro-fazi klasterovanja; 6) Istraživanje metroloških aspekata primene optičkih senzorskih sistema u dimenzionoj metrologiji na proizvodnim linijama; 7) Istraživanje specifičnih aspekata primene tehnologije virtuelnih proizvodnih sistema na domen gradnje metroloških sistema baziranih na optičkim senzorima – sinteza i simulacija automatskih mernih stanica i robotizovanih sistema sposobnih da komuniciraju sa okruženjem korišćenjem optičke povratne sprege; 8) Razvoj modela interakcije Univerzitet – Industrija u delu treninga i edukacije inženjera i osavremenjivanje njihovih znanja primenom multimedijjskih Internet tehnologija obrazovanja na daljinu; 9) Izgradnja demonstracionih instalacija i test stolova za praktičnu eksperimentalnu verifikaciju istraživačkih rezultata projekta; 10) Saopštavanje rezultata istraživanja stručnoj i naučnoj javnosti u formi stručnih i naučnih radova izloženih na domaćim ili međunarodnim konferencijama, ili publikovanim u odgovarajućim časopisima.

3. PREGLED OSNOVNIH REZULTATA SPROVEDENIH ISTRAŽIVANJA

Pregled rezultata koji su ostvareni kroz istraživačke aktivnosti na projektu mogu se svrstati u šest osnovnih grupa: 1) Identifikacija stanja i sistematizacija, 2) Nove procedure primarne obrade senzorskih signala, 3) Optički metrološki sistemi, 4) Projektovanje i realizacija demonstracione instalacije, 5) Razvoj modela

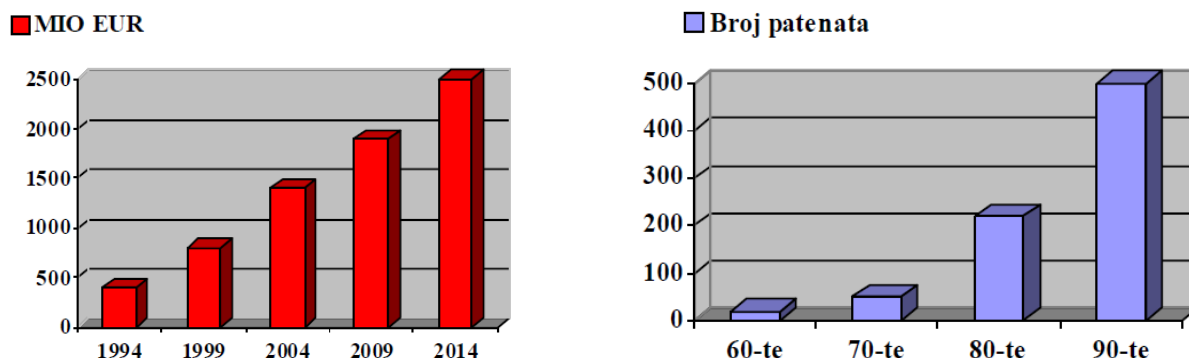
interakcije Univerzitet – Industrija i 6) Izgradnja WEB portala projekta. Materijal koji se ovde navodi preuzet je delovima iz godišnjih izveštaja koje je rukovodilac projekta podneo

Dalje se za svaku od navedenih grupa daje precizan pregled planiranih i ostvarenih rezultata sa navođenjem kraće deskripcije ključnih rezultata.

3.1. Identifikacija stanja i sistematizacija

Ovo je inicijalna istraživačka aktivnost u okviru projekta MA14035 INTOSA koja je imala za cilj da sagleda postojeće stanje stvari u oblasti tehnologije optičkih senzorskih sistema sa aplikativnog aspekta, odnosno primene ove tehnologije u domenu automatizacije proizvodnih procesa sa dva osnovna zadatka: 1) postojeće stanje tehnologije i trendovi razvoja i 2) sistematizacija hardverskih aspekata.

U okviru prvog zadatka razmatrana su dva osnovna konteksta: 1) stanje i trendovi razvoja na globalnom nivou i 2) stanje u domaćoj privredi. Globalni trendovi se u sažetom obliku prikazuju na slici 1.



Slika 1: Globalni trendovi razvoja senzorskih sistema baziranih na digitalnim optičkim tehnologijama.

Optički senzorski sistemi i njihova primena u industriji na zadacima automatizacije proizvodnih procesa imaju duboke korene u domaćoj privredi. Osamdesetih i početkom devedesetih godina prošlog veka u Srbiji su postojale akademske institucije koje su se intenzivno bavile istraživanjima u domenu dimenzione metrologije i robotike: Centar za nove tehnologije Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, Institut Mihajlo Pupin, Laboratorija za robotiku, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, Institut za fiziku, a takođe i na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Domaća industrija je pratila razvoj u delu istraživanja, pa su osamdesetih godina u okviru LOLA Korporacije, a kasnije i u okviru LOLA instituta, realizovani prvi industrijski roboti, a zatim i prvi industrijski sistemi za analizu slike, koji su uspešno implementirani na konkretnim zadacima automatizacije proizvodnih procesa u domaćoj industriji. Početak oporavka domaće ekonomije nametnuo je potrebu šire primene novih tehnologija u automatizaciji proizvodnih procesa i u tom kontekstu revitalizuje se sektor robotike, ali sada sa novim učesnicima i u novom ambijentu. U okviru sprovedenih istraživanja sistematski su analizirane aktivnosti domaće industrije u oblasti automatizacije proizvodnih procesa i identifikovane su 3 privatne kompanije iz domena srednjih i malih preduzeća koje deluju u oblasti robotike, pre svega kao sistema integratori: ROBOTAKT iz Valjeva, VESIMPEKS iz Beograda i ICM iz Novog Sada. Značajno veći broj kompanija, koje su sve bez izuzetka iz domena malih i srednjih preduzeća, deluje u oblasti industrijske automatizacije ali van oblasti robotike. Najmanje 10 kompanija u svojim poslovnim aktivnostima intenzivno primenjuje optičke senzorske sisteme za domen dimenzione metrologije. Centralni problem u primeni optičkih senzora u segmentu dimenzione metrologije ili veštačkog gledanja su obrada i interpretacija signala koje generiše senzor, odnosno optičko električni pretvarač.

3.2 Nove procedure primarne obrade senzorskih signala

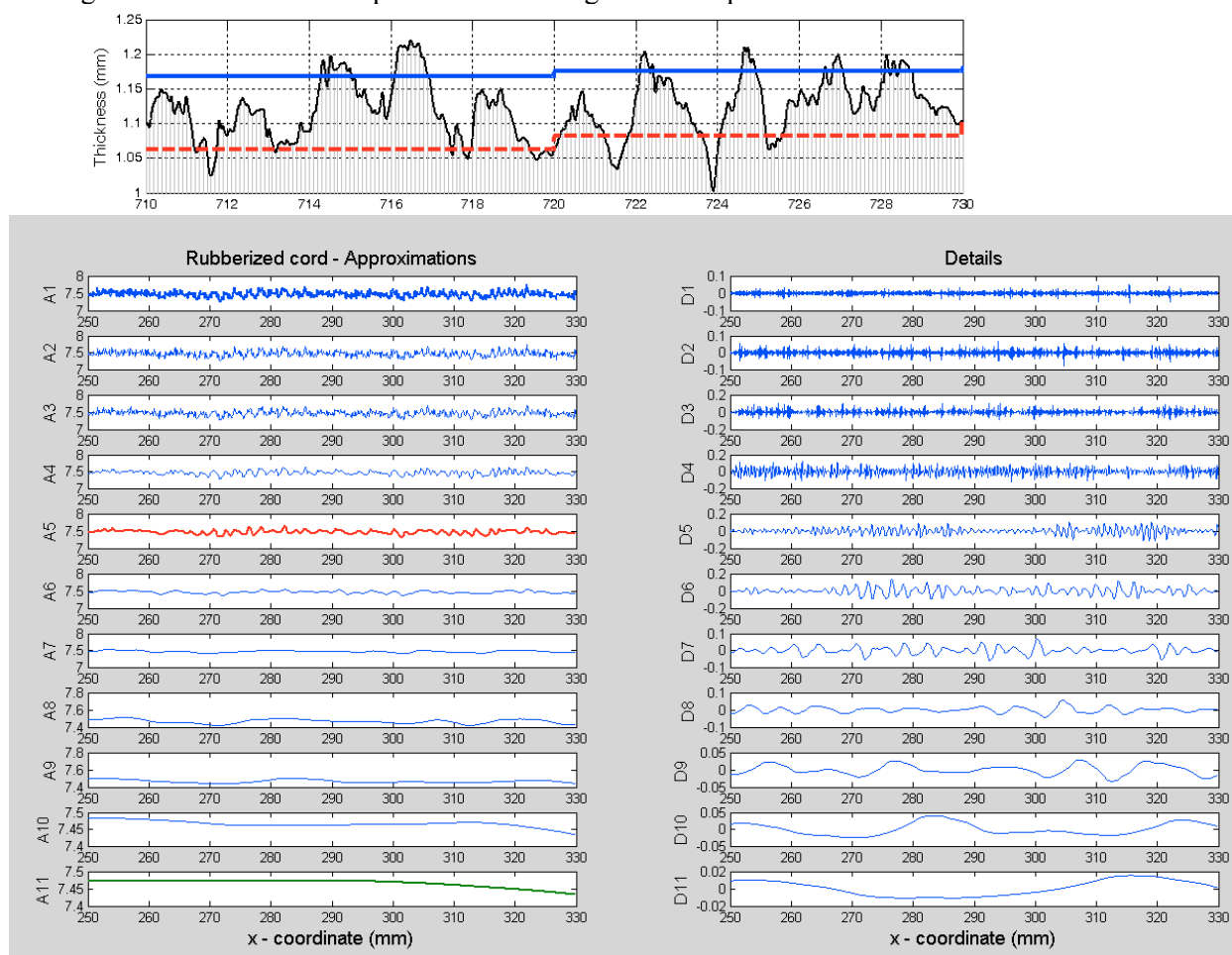
Ovo je jedna od ključnih istraživačkih celina koje su obrađivane u okviru projekta MA14035 INTOSA. Centralni problem u primeni optičkih senzora u segmentu dimenzione metrologije ili veštačkog gledanja su obrada i interpretacija signala koje generiše senzor, odnosno optičko električni pretvarač.

U okviru ovog projekta istraživački napor [2-6] su bili fokusirani u pravcu primene jedne nove tehnike obrade signala koja je bazirana na vejevlet transformaciji (WT). Naime, FT kao klasična metoda digitalne obrade signala, ima samo frekventnu, ali ne i vremensku rezoluciju. Međutim, u realnosti signali su najčešće nestacionarni – njihove spektralne komponente se menjaju u vremenu ili prostoru. Za analizu ovakvih signala pogodna je vejevlet transformacija koja signal opisuje superpozicijom elementarnih gradivnih blokova – vejevleta. Multirezolucijska analiza (MRA) daje brz hijerarhijski algoritam za izvođenje DWT i čini je izrazito pogodnom za rad u realnom vremenu. Za potrebe analize slike (dvodimenzionog signala)

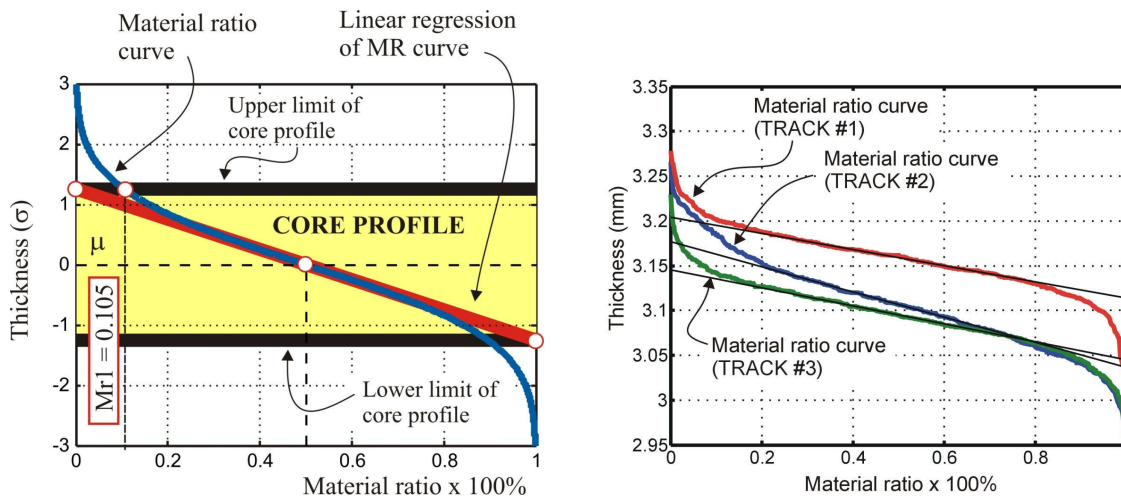
razvijena je dvodimenziona DWT koja se zasniva na sukcesivnoj jednodimenzionoj DWT vrsta i kolona matrica slike. DWT je izuzetno pogodna za detekciju ivica na slici koje predstavljaju naglu promenu u prostoru. Detektovane ivice dalje omogućuju formiranje kontura i segmentiranje slike na konačan broj objekata, što je polazna osnova za prepoznavanje oblika.

Druga grupa istraživačkih napora bila je fokusirana na slučaj rekonstrukcije nekompletnih vremenskih serija. Laserski senzori imaju prirodnu tendenciju generisanja nevalidnih rezultata merenja u slučajevima neadekvatnih optičkih svojstava površine objekta koji se skenira. Nekompletnost vektora generisanih senzorskih signala onemogućava primenu gotovo svih tradicionalnih tehnika obrade signala, uključujući DFT, STFT, DWT, ... kao i sve tehnike digitalnog filtriranja. Prethodna istraživanja koja su realizovana u teoretskom domenu i praktično implementirana na projektima laserskih mernih sistema za potrebe industrije prerade elastomera, rezultovala su postavlkom jedne sasvim nove i originalne metode bazirane na statističkoj karakterizaciji površi skeniranog objekta. Ova metoda je finalizirana u okviru ovog projekta u teorijskom smislu i detaljno eksperimentalno verifikovana (slika 3).

U delu interpretacije primarno obrađenih senzorskih signala započeta su i delimično realizovana istraživanja koja su usmerena u dva osnovna pravca. Prvi se odnosi na razvoj odgovarajućih tehnika aproksimacije prostornog ili linijskog oblaka tačaka nekim ravanskim ili prostornim geometrijskim primitivom i sintezu ukupnog geometrijskog modela skeniranog objekta u nekom od standardnih grafičkih editora (SolidWorks, CATIA, PROEngineer...). Ova istraživanja imaju direktnu primenljivost na demonstracionoj instalaciji za robotsko lasersko skeniranje kompleksnih geometrijskih prostornih formi. Drugi istraživački pravac se odnosi na istraživanja u domenu sistema veštačkog gledanja, gde je posebna pažnja usmerena na problem prepoznavanja oblika, odnosno razvoj inteligentnih algoritama za analizu slike, kao digitalizovane ravanske ili prostorne scene registrovane optičkim senzorom.



Slika 2: Primer skenirane površine gumiranog tekstilnog korda i dekompozicije senzorskog signala u vremenskom domenu na 11 fazno korektnih nivoa primenom DWT transformacije.



Slika 3: Statistička karakterizacija laserski skenirane teksture površi primenom razvijene metode za izvođenje informacije o ekvivalentnoj debljini gumiranog korda za proizvodnju visokoperformansnih pneumatika (levo: teoretski model, desno: realna merenja).

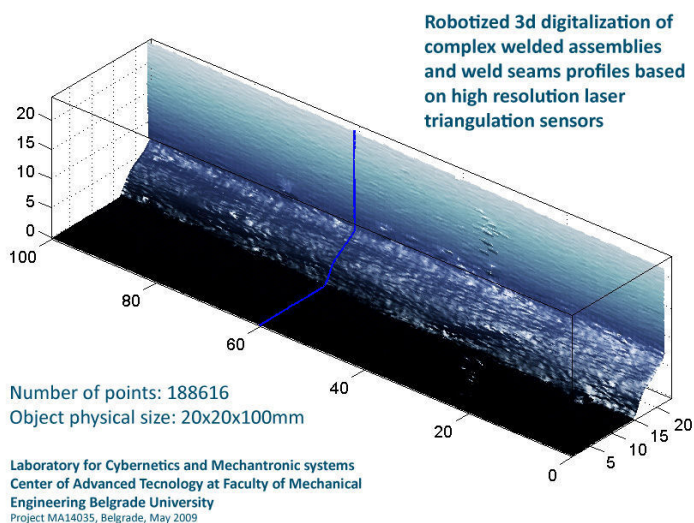
3.3. Optički metrološki sistemi

Istraživanja u oblasti optičkih metroloških sistema su grupisana u dve osnovne celine: 1) metrološki aspekti primene optičkih senzorskih sistema [7-8] i 2) virtuelna proizvodnja i virtuelni metrološki sistemi.

Prateći potrebe članica konzorcijuma i tekućih projekata sa industrijom, istraživanja metroloških aspekata primene optičkih senzorskih sistema bila su usmerena na aplikativne aspekte pretvaranja generisanih senzorskih signala u metrološki validne informacije na osnovu kojih će biti omogućeno donošenje odluka o toku procesa unutar jednog proizvodnog sistema. Konkretno, istraživački napori su bili fokusirani u tri pravca:

1. Istraživanje graničnih performansi laserskog triangulacionog sistema u okviru tehnologije elektrolučnog zavarivanja;
2. Istraživanje mogućnosti primene laserskih triangulacionih sistema u okviru tehnologije sekundarne prerade drveta i proizvodnje nameštaja;
3. Razvoj novog optičkog metrološkog sistema ekstremne brzine skeniranja koji nije baziran na laserskoj triangulaciji.

U kontekstu navedenog, izdvajaju se tri rezultata. Prvi rezultat je prikazan na slici 4, gde je naveden primer skenirane geometrije zavarenog šava dobijene u okviru projekta INTOSA na razvijenoj eksperimentalnoj instalaciji robotskog sistema antropomorfne konfiguracije opremljenog laserskim trinagulacionim senzorom visoke prostorne i vremenske rezolucije. Ključno je to da je kompletan sistem, uključujući softverske rutine za akviziciju, postprocesiranje i generisanje digitalnog modela objekta,

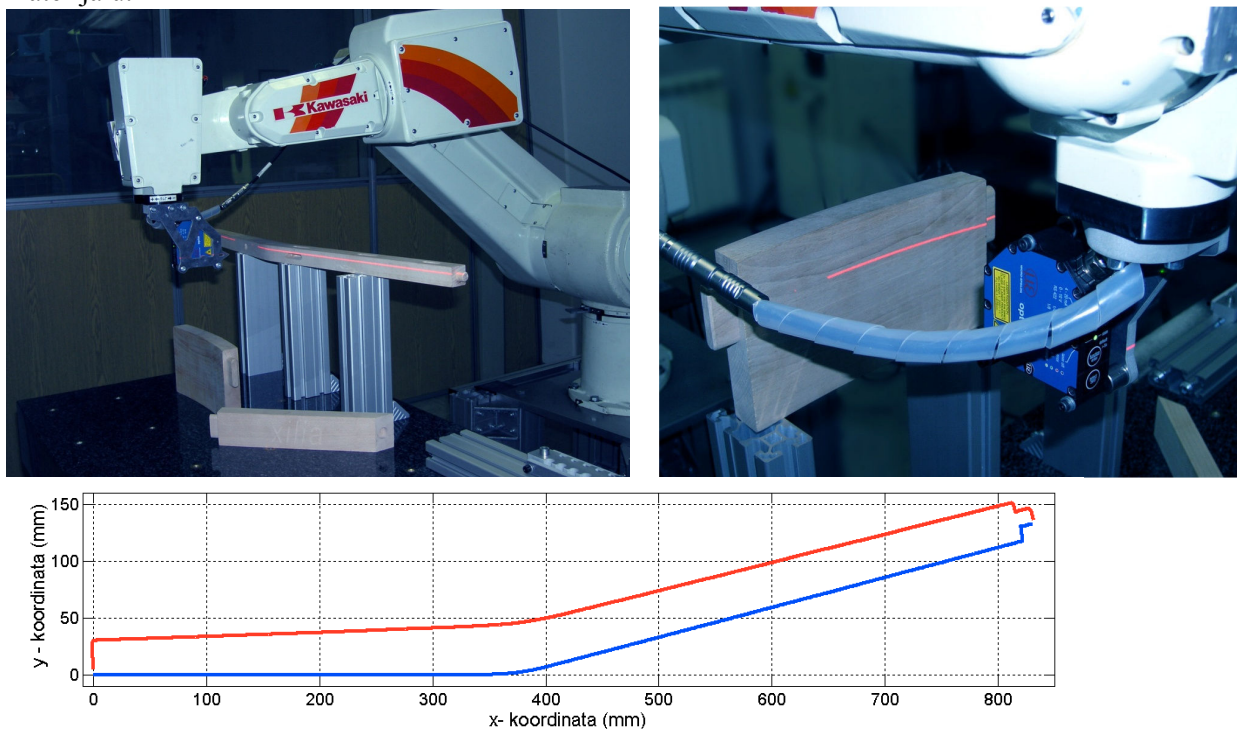


Slika 4: Primer 3d modela izvedenog visokorezolutnim laserskim skeniranjem šava formiranog elektrolučnim zavarivanjem

realizovan u okviru ovog projekta, korišćenjem baznih komponenti koje su komercijalno raspoložive na tržištu, tako da se može tvrditi da je rezultat ovih istraživanja zapravo novi visokotehnoški proizvod, specijalizovan za tehnologiju elektrolučnog zavarivanja, koji bi uspešno mogao da se komercijalizuje i primeni kao domaće rešenje u industriji Srbije.

Drugi primer se odnosi na oblast savremene industrije nameštaja koja je bazirana na numeričkoj tehnologiji, koja omogućava dizajnerima veliku slobodu u kreiranju modernog nameštaja sastavljenog iz delova slobodne forme. Provera geometrije u ovom slučaju nije moguća korišćenjem tradicionalnih pristupa - slobodne prostorne forme gotovo je nemoguće meriti ručnim mehaničkim merilima. Tehnologija optičkih tiangulacionih sistema pruža mogućnost efikasnog rešenja ovog problema.

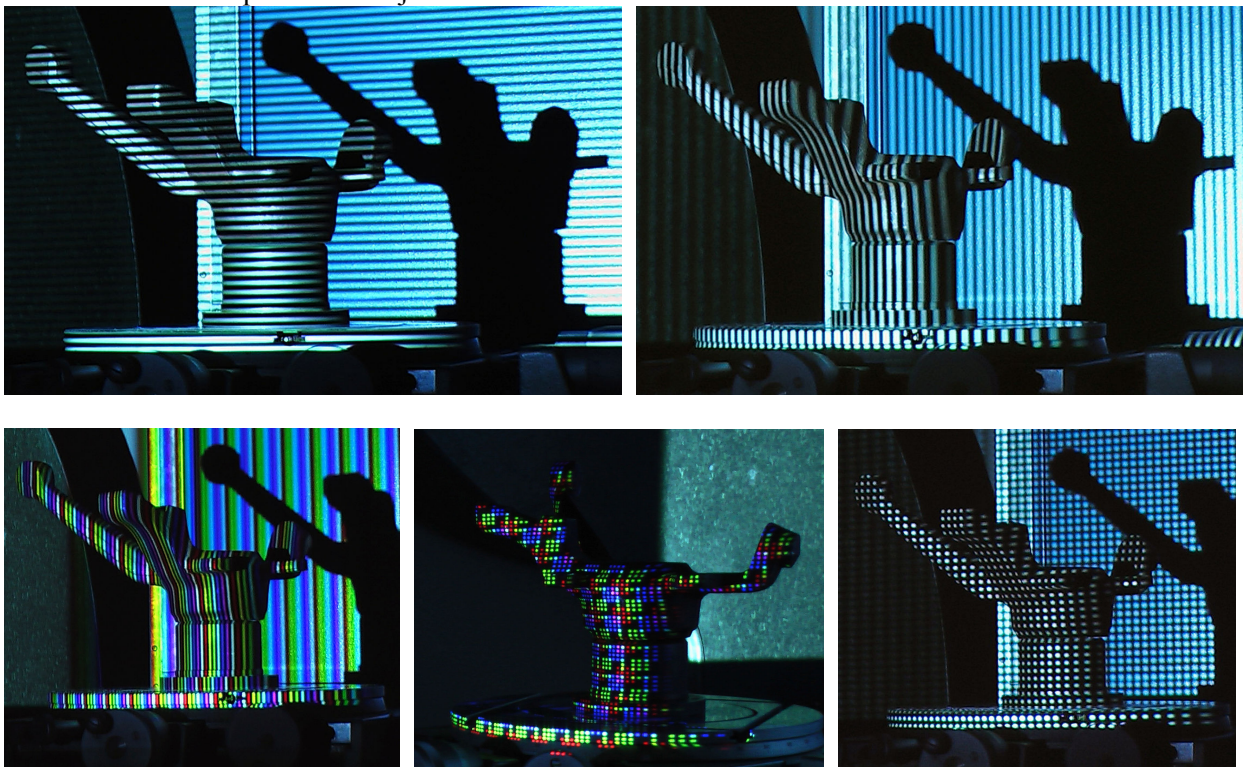
Istraživanja po ovom zadatku su prvo bila usmerena na istraživanje optičke interakcije drveta kao materijala i laserskog triangulacionog senzora. Praktična merenja su pokazala da su ta svojstva vrlo pogodna i da lokalna penetracija u poroznu strukturu drveta ima efekat niskofrekventne filtracije senzorslog signala, što dodatno pojednostavljuje zadatak merenja. U drugoj fazi vršene su probe na tipičnim reprezentima delova koji se sreću u proizvodnji nameštaja sa ciljem generisanja poprečnih preseka u tehnološki bitnim ravnima za proizvodni proces. Razvijene su odgovarajuće softverske rutine za postprocesiranje senzorskih signala, rutine za formiranje ravanskog oblaka tačaka i rutine za generisanje ravanske konture. Na slici 5 prikazan je primer ovih merenja sprovedenih na sastavnim delovima stolice koja se izrađuje u Srbiji po zahtevu partnera iz Italije. Robotizovanim skeniranjem obezbeđena je tačnost na nivou $100\mu\text{m}$ što je za potrebe prerade drveta vrlo visoka tačnost. Pored identifikacije globalne geometrije skeniranog dela, sistem je pokazao potencijal da identifikuje nepravilnosti skenirane površine izazvanih defektima u samom procesu rezanja ili defektima na materijalu.



Slika 5: Istraživanje primenljivosti optičke triangulacije i razvijenog robotizovanog sistema za 3d skeniranje u okviru sekundarne prerade drveta i proizvodnje nameštaja

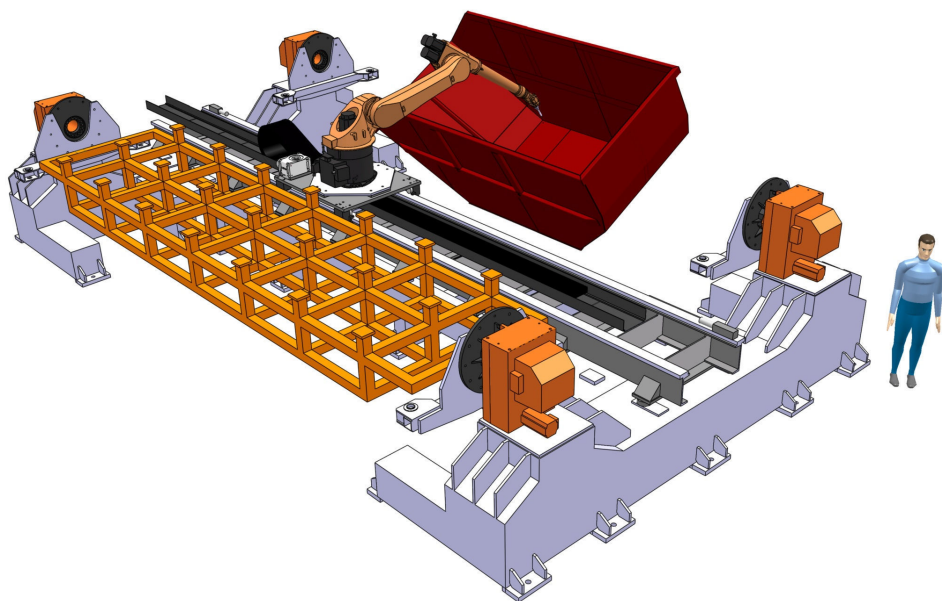
Treći primer se odnosi na razvoj novog optičkog metrološkog sistema ekstremne brzine skeniranja koji nije baziran na laserskoj triangulaciji. Ovakav sistem se nametnuo kao logična potreba kada su sagledani svi aspekti laserske triangulacije. Ekstremno visoku tačnost i ekstremnu rezolutnost laserskih triangulacionih sistema baziranih na tačkastim izvorima svetlosti prati problem brzine skeniranja. Čak i kada je brzina uzorkovanja reda veličine 10kHz i više (eksperimentalna istraživanja u okviru ovog projekta sprovedena su sa laserskim triangulacionim senzorom brzine uzorkovanja 2.5 kHz) proces digitalizacije je spor i nije pogodan kada se gradi kompletan digitalni model objekta. Alternativna tehnologija je tehnologija bazirana na strukturanoj svetlosti, koja u svojoj osnovi takođe ima tirangulaciju, ali se umesto tačkastog izvora svetlosti koristi ravanski izvor koji osvetljava kompletnu vidljivu površinu objekta u odnosu na neki ugao gledanja (slika 6). Dovoljno je da se objekat osvetli sa tri strane i da se odgovarajućim 2d optičkim senzorom prikupe milioni tačaka iz kojih se dalje može generisati oblak tačaka iz koga se umrežavanjem formira prostorna

površ koja predstavlja digitalni model skeniranog objekta. Proces je vrlo brz i završava se u vremenskom intervalu reda veličine jedne sekunde. Ovakve performanse su izuzetno pogodne za primene u relanom vremenu i u radu sa pokretnim objektima.



Slika 6: Eksperimenti u domenu ultrabrze prostorne digitalizacije optičkom triangulacijom strukturane svetlosti - probe generatora strukturiranog svetla

Virtuelna proizvodnja, koncept primene kompjuterskih tehnologija u projektovanju i proizvodnji je prihvaćen od niza industrija u toku 1990.-ih godina i posebno razvijan za automobilsku industriju. U prethodnim istraživanjima u okviru Centra za nove tehnologije Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu definisan je model virtuelne proizvodnje sa nizom podsistema razvijanih za potrebe domaće industrije. U okviru ovog projekta, sprovedena istraživanja su fokusirana na dalji razvoj koncepta



Slika 7: Virtuelni model sistema za robotsko zavarivanje i optičko skeniranje velikogabaritnih sklopova kompleksne geometrije (rađeno za potrebe kompanije VELPAN iz Kikinde).

virtuelne proizvodnje sa integracijom novog podsistema – virtuelnim metrološkim sistemom. Na slici 7 je naveden primer razvijenog dinamičkog virtuelnog modela sistema za robotsko zavarivanje sa integrisanom funkcijom skeniranja geometrije šava.

3.4. Projektovanje i realizacija demonstracione instalacije

Jedan od ključnih istraživačkih aspekata projekta MA14035 INTOSA odnosi se na izradu odgovarajućih test stolova i demonstracionih instalacija. Njihov cilj je da se izvrše praktične provere kritičnih teorijski razvijenih procedura (deo sistema menadžmenta rizika projekta koji treba da na vreme prepozna potencijalne probleme i obezbedi mehanizam njihovog korigovanja u hodu) i da se dokaže praktična upotrebljivost razvijenih rešenja u laboratorijskim i/ili industrijskim uslovima. Razvijene su i fizički realizovane četiri laboratorijske eksperimentalne instalacije: Eksperimentalna instalacija 1 - Laboratorijska instalacija za robotizovano lasersko skeniranje velikogabaritnih delova kompleksne geometrije, Eksperimentalna instalacija 2 - Laboratorijska instalacija za lasersko skeniranje malih delova kompleksne geometrije, Eksperimentalna instalacija 3 - Laboratorijska instalacija za ultrabrze sisteme kontrole geometrijskih karakteristika proizvoda primenom visokorezolutnih industrijskih sistema veštačkog gledanja, i Eksperimentalna instalacija 4 - Laboratorijska instalacija za digitalizaciju struktuiranom svetlošću.

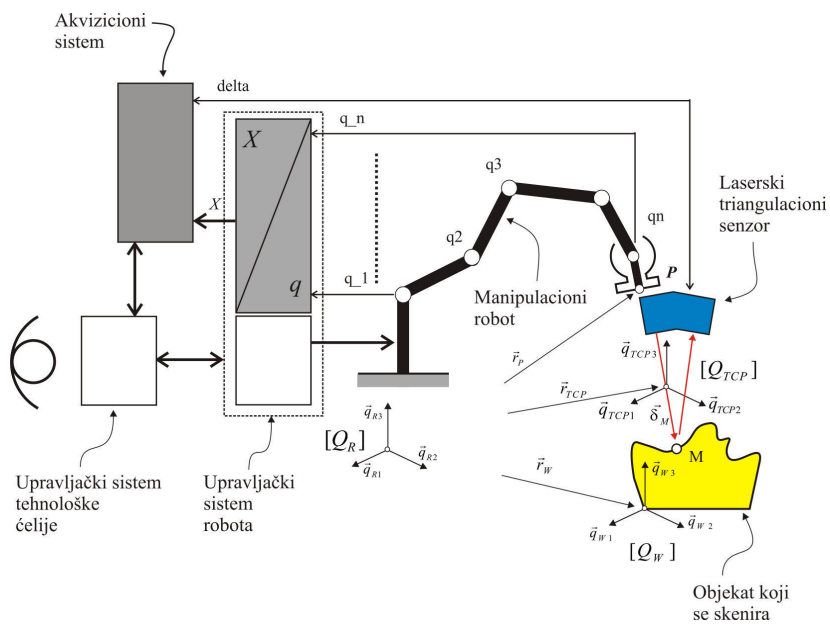
Navedene laboratorijske instalacije realizovane su: 1)rekonfiguracijom postojeće opreme, 2)nabavkom nove opreme, 3)participacijom u opremi, radu i materijalu članica konzorcijuma i 4)pozajmicama od kompanija iz industrije. Dalje se navodi sažet opis ovih instalacija.

EKSPERIMENTALNA INSTALACIJA 1: Laboratorijska instalacija za robotizovano lasersko skeniranje delova kompleksne geometrije (slika 8).

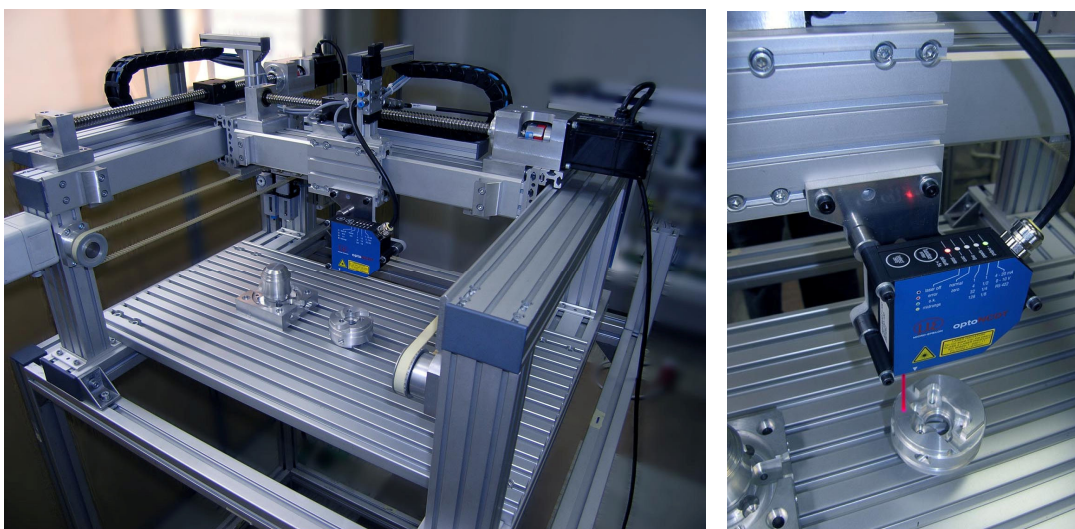
U cilju verifikacije razvijenog koncepta beskontaktnog visokopreciznog skeniranja srednjegabaritnih i velikogabaritnih delova kompleksne geometrije primenom laserskih triangulacionih senzora i manipulacionih robota na industrijskim proizvodnim linijama, razvijena je eksperimentalna instalacija u okviru Centra za nove tehnologije Mašinskog fakulteta u Beogradu. Sistem se sastoji iz: 1)manipulacionog robota antropomorfne konfiguracije sa 6 stepeni slobode nosivosti 6 kg i dohvata 1600 mm, 2)laserskog triangulacionog senzora mernog opsega od 70 do 170 mm, brzine uzorkovanja 2500 Hz i rezolucije 0.001 mm, 3) granitnog stola visoke preciznosti sa odgovarajućim postoljem za potiskivanje visokofrekventnih i seizmičkih vibracija, 4)prateći pribor za integraciju mehaničkog sistema, 5)akvizicioni sistem za prikupljanje podatka sa laserskog senzora i manipulacionog robota + primarna obrada i vizuelizacija i 6)interaktivni terminal za komunikaciju čovek-mašina. Razvijena i realizovana instalacija omogućava sprovođenje ekstenzivnih eksperimentalnih istraživanja i evaluacije koncepta robotizovanog laserskog skeniranja za industrijske aplikacije u delu dimenzione metrologije na proizvodnim linijama u automobilskoj industriji, reverznom inženjerstvu i kompenzacije geometrijske nesavršenosti priprema u okviru robotizovanih sistema za elektrolučno zavarivanje. Realizator ove instalacije je Centar za nove tehnologije Mašinskog fakulteta u Beogradu, a korisnici su članice konzorcijuma projekta i kompanije poslovne zainteresovane za rezultate projekta: Kolubara-Metal Vreoci, Velpan Kikinda, Zastava kovačnica, Robotakt Valjevo, Milan Blagojević Smederevo.

EKSPERIMENTALNA INSTALACIJA 2: Laboratorijska instalacija za lasersko skeniranje malih delova kompleksne geometrije (slika 9).

U cilju verifikacije razvijenog koncepta beskontaktnog visokopreciznog skeniranja malih delova kompleksne geometrije primenom laserskih triangulacionih senzora, realizovana je u okviru Centra za nove tehnologije Mašinskog fakulteta u Beogradu eksperimentalna instalacija bazirana na 3-d manipulacionom Kartezijevom servo-sistemu. Sistem se sastoji iz: 1)3-d platforme sa Kartezijevom konfiguracijom, sa dve servopogonjene ose i jednom pneumatski pogonjenom diskretnom osom; veličina radnog prostora 300x420x150 mm, 2)laserskog triangulacionog senzora mernog opsega od 70 do 170 mm, brzine uzorkovanja 2500 Hz i rezolucije 0.001 mm i opcionog laserskog triangulacionog senzora mernog opsega od 30 do 50 mm, sa brzinom uzorkovanja od 1000 Hz i rezolucijom od 0.001 mm, 4)prateći pribor za integraciju mehaničkog sistema, 5)akvizicioni sistem za prikupljanje podatka sa laserskih senzora + primarna obrada i vizuelizacija i 6)interaktivni terminal za komunikaciju čovek-mašina. Razvijena i realizovana instalacija omogućava sprovođenje ekstenzivnih eksperimentalnih istraživanja i evaluacije koncepta visokorezolutnog laserskog skeniranja prvenstveno za domen aplikacija u reverznom inženjerstvu. Realizatori instalacije su Centar za nove tehnologije Mašinskog fakulteta u Beogradu i kompanija Mikrokontrol, a korisnici članice konzorcijuma projekta.



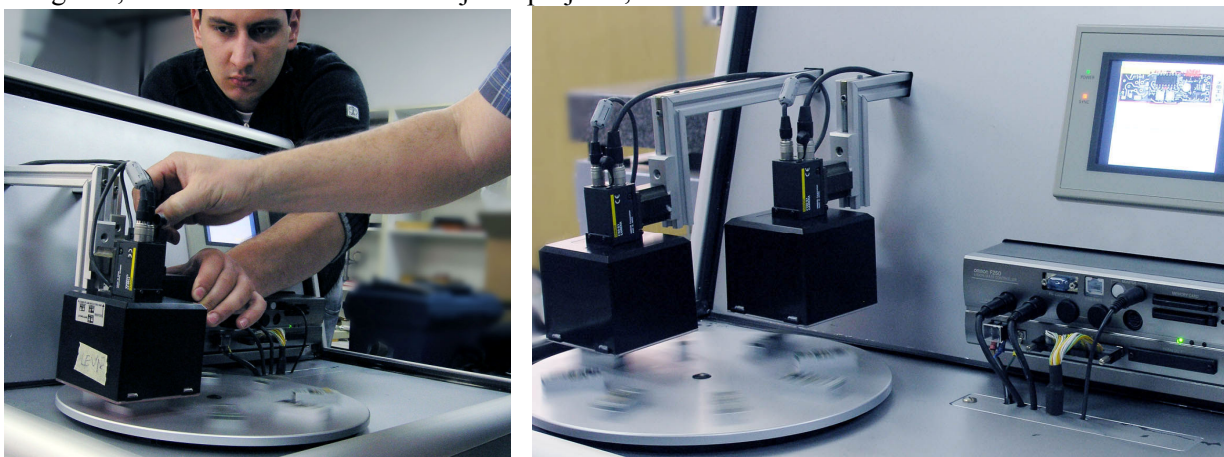
Slika 8: Koncept i fotografije Laboratorijske instalacije 1 u fazi probnog rada, podešavanja i provere funkcionalnosti instaliranih modula



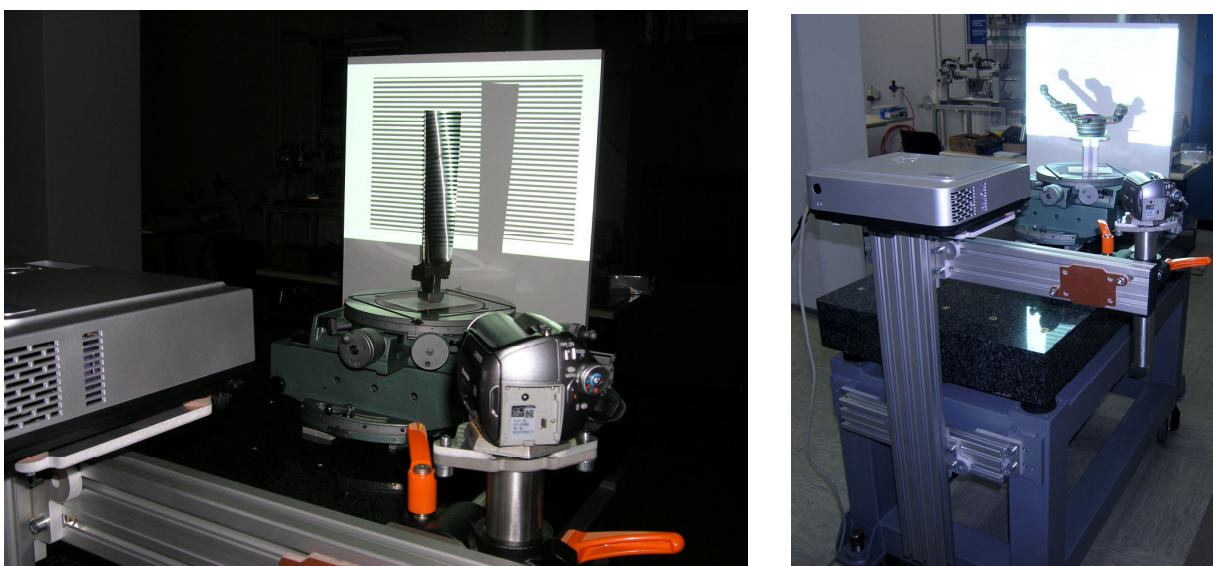
Slika 9: Fotografije Laboratorijske instalacije 2- dispozicija mernog sistema za lasersko skeniranje složenih geometrijskih formi u okviru koncepta reverznog inženjerstva

EKSPERIMENTALNA INSTALACIJA 3: Laboratorijska instalacija za sisteme kontrole geometrijskih karakteristika proizvoda primenom ultrabrzih visokorezolutnih sistema veštačkog gledanja (slika 10).

U cilju verifikacije koncepta ultrabrzog sistema za analizu slike i prepoznavanje oblika u realnom vremenu na proizvodnim linijama u industrijskim uslovima, realizovana je odgovarajuća eksperimentalna instalacija u okviru Centra za nove tehnologije Mašinskog fakulteta u Beogradu. Sistem se sastoji iz: 1)Specijalnog akvizicionog računara za četiri kanala za prihvatanje senzorskih signala koje generišu CCD kamere, 2)Dve CCD kamere sa ekspozicijom od 1/20000 sec, odgovarajućim optičkim sistemima i inteligentnim modulima za osvetljavanje scene, 3)Obrtnog stola sa kontrolisanim brojem obrtaja za fiksiranje delova čija se geometrija kontroliše, 4)Mrežni interfejs za povezivanje akvizicionog signala za razvojnim PC sistemom i 5)Interaktivni terminal za komunikaciju čovek-mašina. Razvijena i realizovana instalacija omogućava sprovođenje ekstenzivnih eksperimentalnih provera algoritma prepoznavanja geometrijskih ili vizuelnih detalja na delu koji se ispituje i optimizaciju uslova osvetljenja scene kao kritičnog elementa za primenu senzora veštačkog gledanja, posebno u uslovima ekstremno kratkih ciklusnih vremena i rada sa objektima koji poseduju delikatna svojstva površina od interesa. Ovaj sistem je praktično primenjen za sprovođenje preliminarnih istraživačkih aktivnosti na izvođenju studije izvodljivosti automatske kontrole kvaliteta na linijama za proizvodnju municije za potrebe kompanije Prvi Partizan iz Užice. Realizatori instalacije su Centar za nove tehnologije Mašinskog fakulteta u Beogradu i kompanija Mikrokontrol iz Beograda, a Korisnici članice konzorcijuma projekta, Prvi Partizan Užice.



Slika 10: Fotografije Laboratorijske instalacije 3 – podešavanje i probni rad sistema industrijskih kamera i akvizicionog sistema za visokorezolutnu ultrabrznu obradu slike



Slika 11: Fotografije Laboratorijske instalacije 4- dispozicija opreme za sistem prostorne digitalizacije identifikacije geometrijskih karakteristika proizvoda primenom ultrabrzih visokorezolutnih sistema veštačkog gledanja

EKSPERIMENTALNA INSTALACIJA 4: Laboratorijska instalacija za prostornu digitalizaciju strukturiranom svetlošću.

Laboratorijska instalacija za prostornu digitalizaciju objekata složene geometrije primenom optičke triangulacije na bazi strukturirane svetlosti, prikazana je na slici 11. Istraživanja u ovom smislu su započeta tokom 2010. godine i rezultirala su izgradnjom odgovarajućeg eksperimentalnog stola sa sistemom za generisanje strukturirane svetlosti velike fleksibilnosti (kontrolisan personalnim računarom) i softverskim sistemom za kalibraciju izvora strukturirane svetlosti i sistema prijemnog modula sa ugrađenim 2d senzorom za konverziju optičke pobude u električni signal velike brzine.

3.5. Razvoj modela interakcije Univerzitet – Industrija

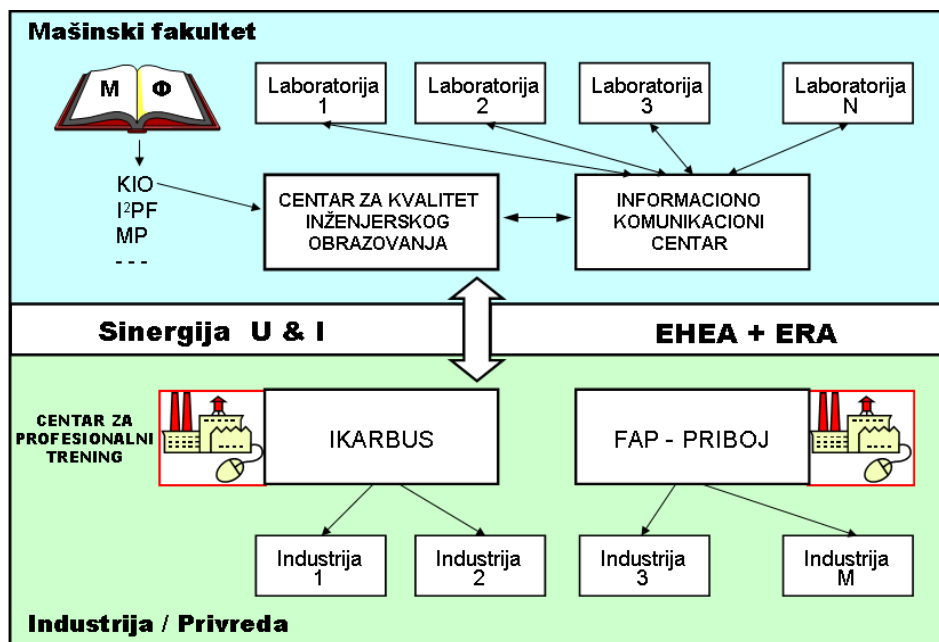
Za budući integrisani zajednički prostor za visoko obrazovanje (EHEA – European Higher Education Area) i istraživanje (ERA – European Research Area), univerziteti treba da pripreme industriju za predloge zajedničkih projekata programa FP7 koje finansira Evropska unija. Bergenski kominike kao izlazni dokument sa Ministarskog sastanka Evrope ističe značaj visokog obrazovanja u daljem unapređenju istraživanja, kao i značaj istraživanja u podržavanju visokog obrazovanja za ekonomski i kulturni razvoj evropskog društva i njegovu socijalnu koheziju.

Razvijeni model interakcije Univerzitet-Industrija obuhvatio je sledeće sadržaje:

1. Razvoj metodologije za sistematsku identifikaciju raspoloživih znanja proizvodnih i rukovodnih struktura.
2. Koncipiranje mehanizama za kontinualno osavremenjavanje znanja, posebno u kontekstu znanja za stvaranje novih proizvoda i inovativnih sadržaja.
3. Koncipiranje integrisanog sistema za obezbeđivanje kvaliteta u proizvodnji i obrazovanju.
4. Mehanizam diseminacije rezultata projekta.
5. Interakcija sa Bolonjskom deklaracijom, TEMPUS i FP7 programom EU.

Razvijeni model [9] je baziran na primeni Internet i multimedijjskih tehnologija kao fizičkog medijuma za praktičnu implementaciju. Dalji razvoj i implementacija modela interakcije Univerzitet-Industrija u obrazovanju, prekvalifikovanju i profesionalnom treningu eksperata iz industrije i studenata. Implementacija metoda koje su savremeni trend razvoja Evrope-2020, kao društva baziranog na znanju.

Rezultati istraživanja treba da unaprede proizvodnju korisnika istraživanja, a zajedno sa aktuelnim poslovnim funkcijama ukupnog poslovanja, treba da budu edukacioni sadržaj budućih Centara za profesionalni trening eksperata i studenata kao paradigmatičkih edukaciono-razvojnih jedinica industrija i fakulteta za integrisanu Evropu 2020 kao budućem društvu baziranom na znanju (slika 9).



Slika 12: Model transfera znanja u projektu MA 14035

U realizaciji Centra za profesionalni trening zaposlenih eksperata i studenata na praksi postojala su ograničenja usled neizvesnih i neuspelih vlasničkih transformacija korisnika istraživanja. To je uslovalo da se postavi program i principi rada Centra za profesionalni trening eksperata i studenata sa predlogom nabavke odgovarajuće opreme i programske podrške. Sama realizacija ovih centara mora da bude povezana sa

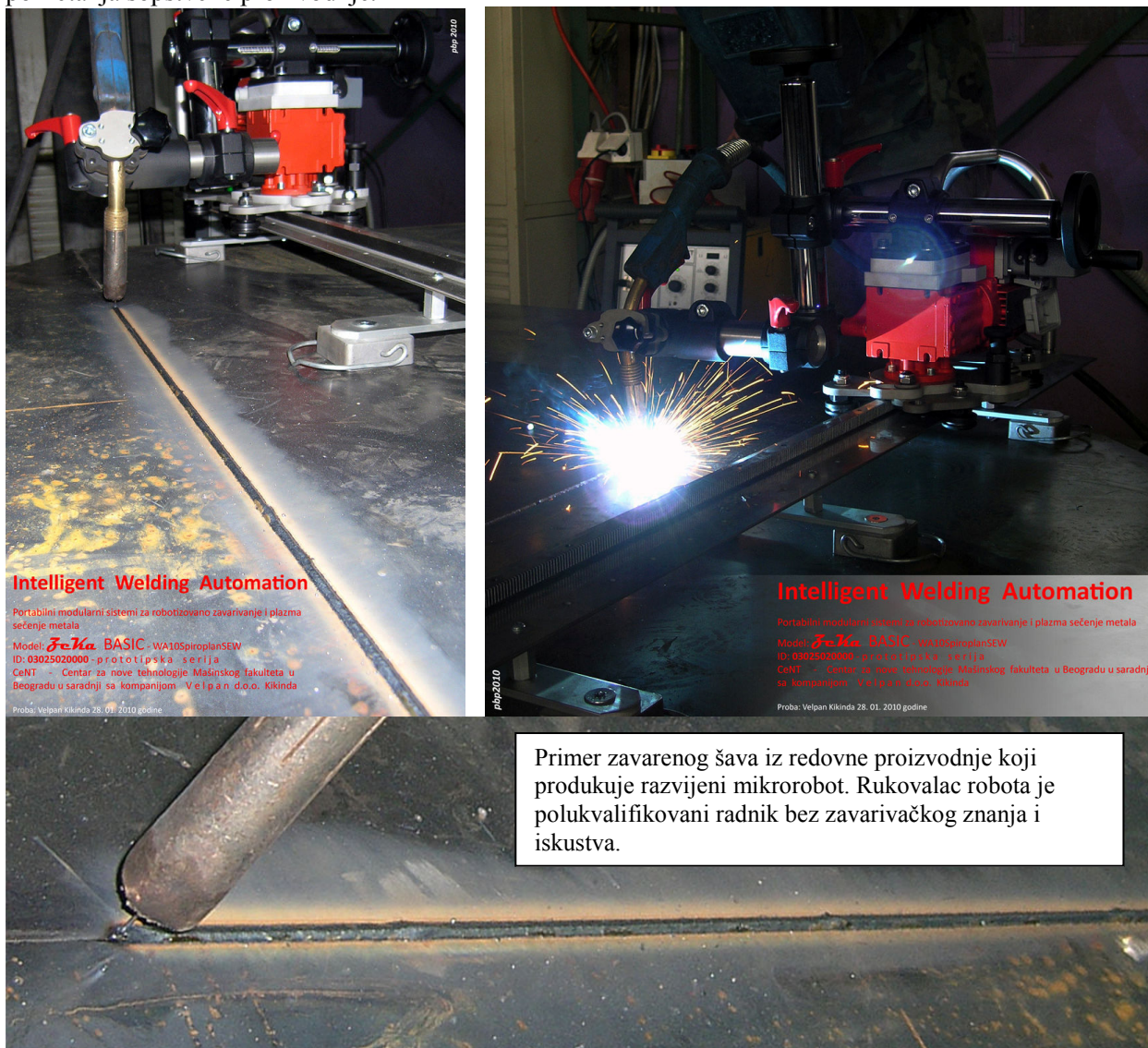
izradom elektronske dokumentacije za nove proizvode sa novim vlasnicima IKARBUS i FAP. To bi značilo da problem realizacije centara treba da se poveže sa projektovanjem i realizacijom novih integrisanih informaciono-komunikacionih sistema ovih industrija i odgovarajućim investiranjem, sa pozivom na predloženo rešenje, a u skladu sa postavljenim novim prioritetima tehnološkog razvoja Srbije. Ovo je naročito važno za industriju FAP i nerazvijeni region te industrije za koji postoji posebni podsticajni fond. Zato postavljeni program Centra za profesionalni trening zaposlenih eksperata i studenata na praksi treba da bude deo dokumentacije za korišćenje ovih podsticajnih sredstava.

3.6. Izgradnja WEB portala projekta

Za potrebe interne komunikacije istraživačkih timova, diseminacije rezultata i edukacije koncipiran je i izgrađen WEB portal projekta master.mas.bg.ac.rs/ma14035

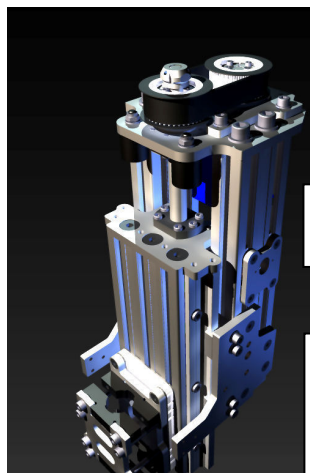
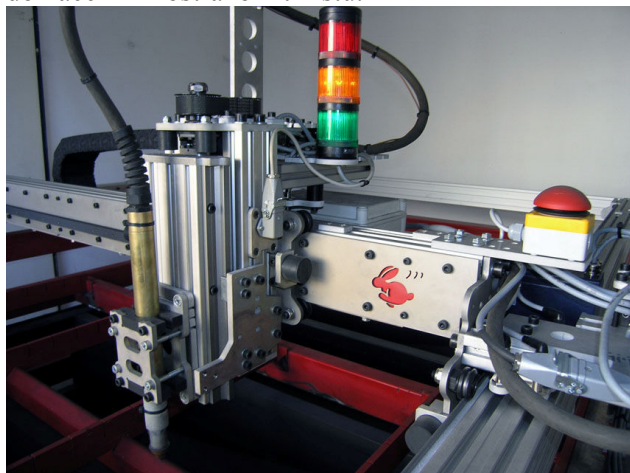
4. PRIMENA REZULTATA PROJEKTA

Aplikacija 1: Portabilni mikrorobot razvijen u okviru projekta INTOSA za potrebe automatizacije procesa elektrolučnog zavarivanja. Robot je uveden u proizvodnju u kompaniji Velpan iz Kikinde januara meseca 2010. godine. Robotom rukuje radnik koji nema kvalifikacije varioca. Tokom jednogodišnjeg rada dva prototipa pokazano je kako jedan mikrorobot robot može da zameni 3 kvalifikovana varioca. Na slici 13 prikazani su roboti na tipičnim zadacima u redovnoj proizvodnji i posebno je naveden primer šava izrađenog zavarivanjem brzinom od 0,6m/min. Ovaj proizvod ima punu komercijalnu upotrebljivost, a nastao je prvenstveno u cilju supstitucije uvoza, redukcije potrebnog obima investicija za 70%, i eventualnog pokretanja sopstvene proizvodnje.



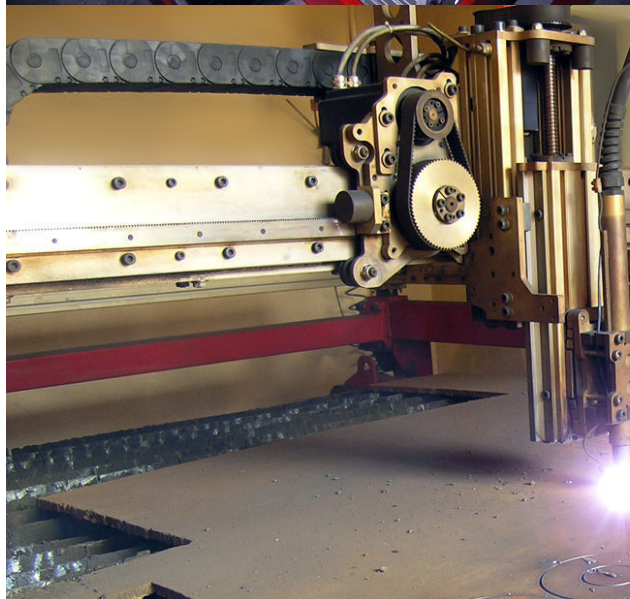
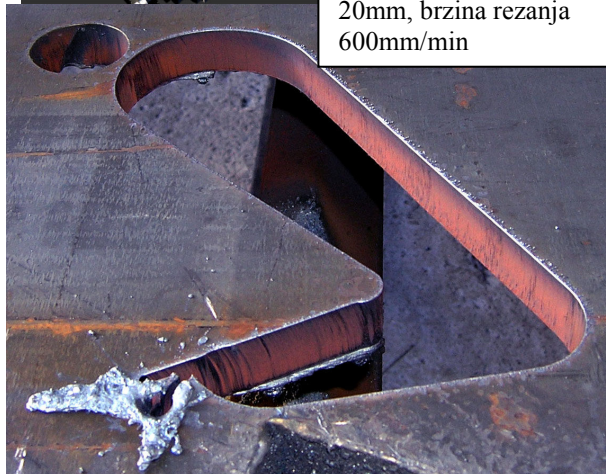
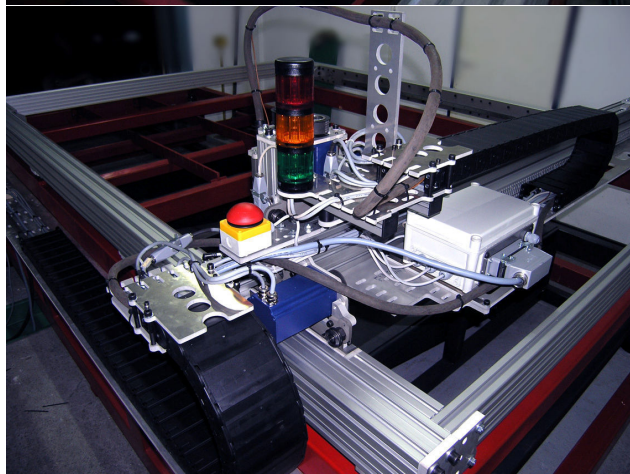
Slika 13: Portabilni mikrorobot za zavarivanje

Aplikacija 2: Modularni numerički sistem za plazma rezanje razvijen u okviru projekta INTOSA. Plazma sistem je uveden u proizvodnju u kompaniji Velpan iz Kikinde jula meseca 2010. godine. Pored modularne gradnje koja predstavlja jedinstveno rešenje na tržištu, domaćem i međunarodnom, ovaj sistem sadrži i originalno upravljanje realizovano kroz koncept otvorene arhitekture koja je bazirana na kombinaciji PC računarske platforme i industrijskih programabilnih automata. Mehanički i upravljački sistem su u potpunosti rezultat sopstvenog istraživanja i razvoja tima istraživača na projektu MA14035. Ovaj proizvod ima punu komercijalnu upotrebljivost, a nastao je prvenstveno u cilju supstitucije uvoza, redukcije potrebnog obima investicija za preko 70% i mogućeg pokretanja jednog, za domaću privredu, novog proizvodnog programa industrijske proizvodnje numerički upravljanih sistema za plazma rezanje sa ciljem njihovog plasmana na domaćem i inostranom tržištu.



Virtuelni CAD model modula z ose

Prva probna kontura rezana na lokaciji Velpan Kikinda. Čelični lim debljine 20mm, brzina rezanja 600mm/min

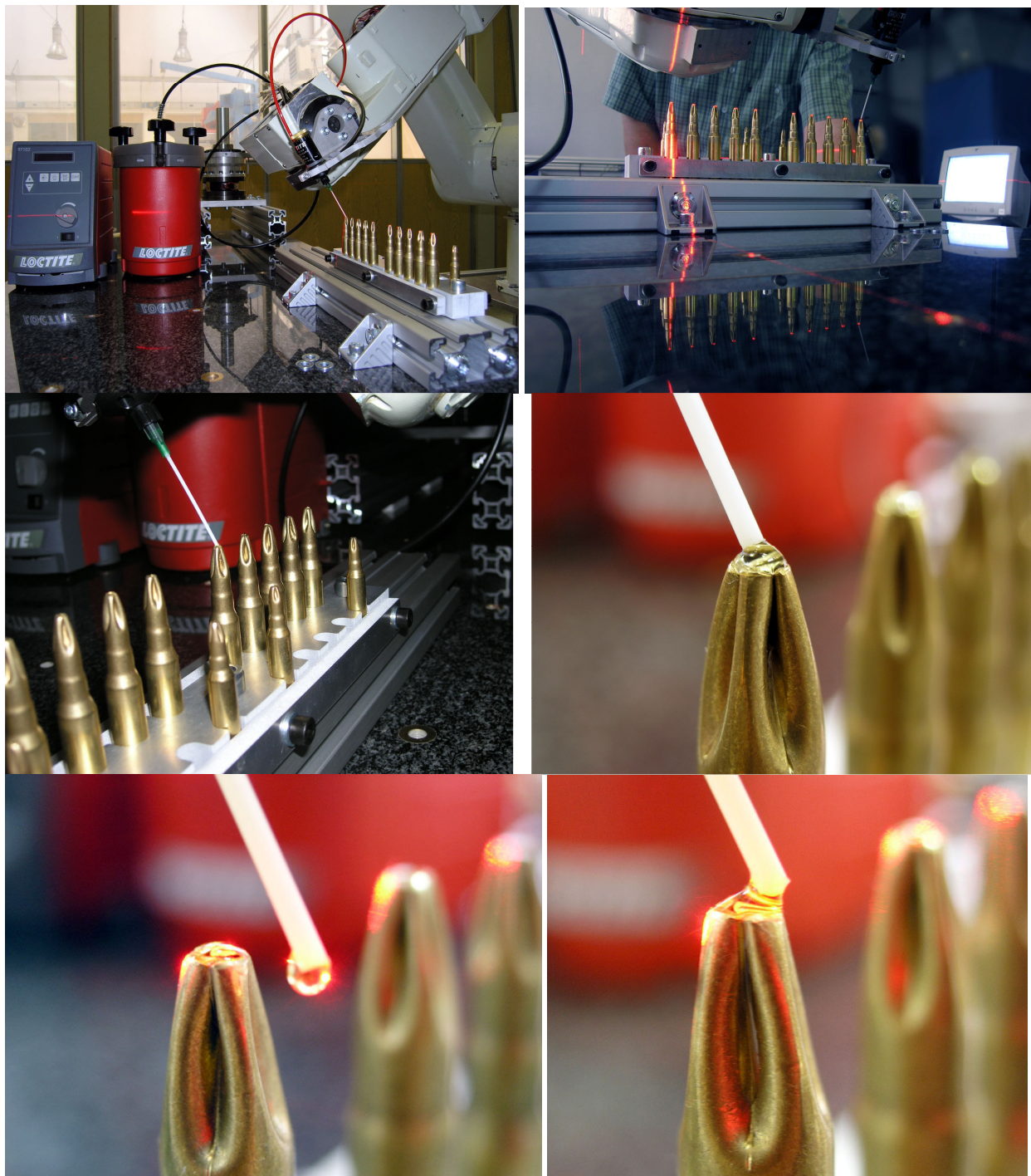


VELPAN Kikinda, mart 2011

M. Žinčević, Fakultet Inženjerski, Univerzitet u Beogradu
Mašina u redonoj dvosmenskoj proizvodnji

Slika 14: Modularni numerički sistem za plazma rezanje

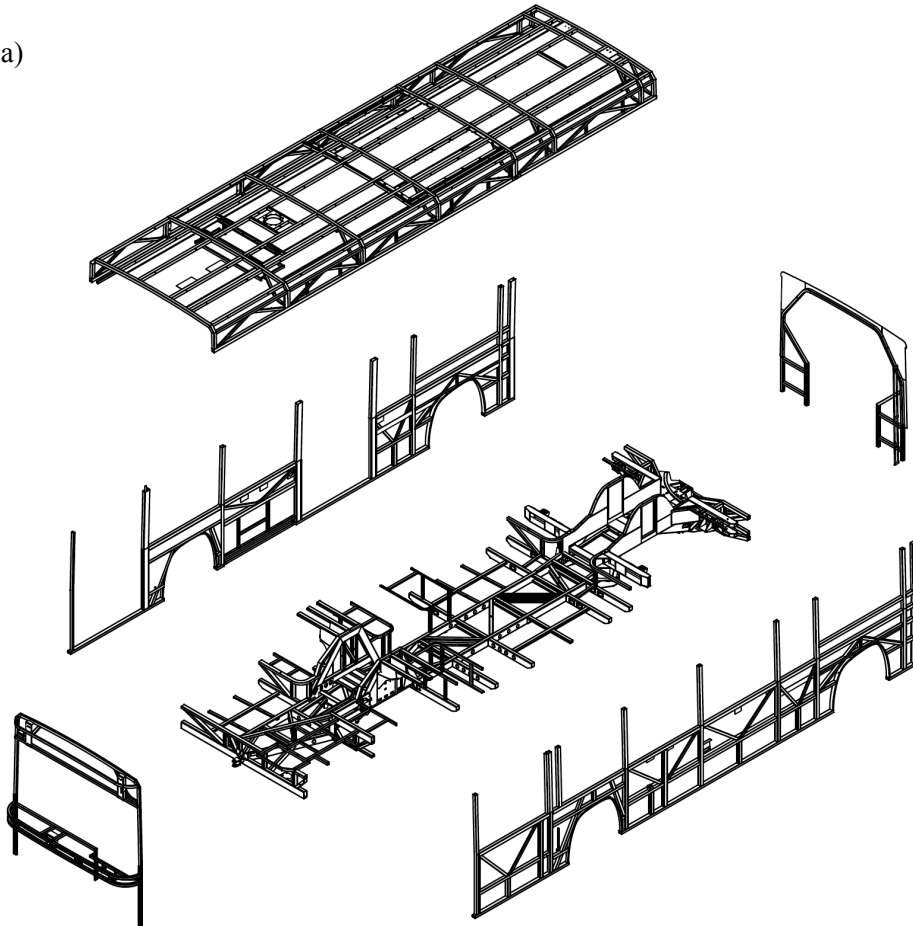
Aplikacija 3: Robotski sistem za doziranje zaptivne smese i optičku kontrolu manevarskog i bojevog metka iz proizvodnog programa kompanije Prvi partizan iz Užica u sklopu programa proizvodnje municije po NATO specifikaciji. Ovaj proizvod je specijalne namene, predstavlja potpunu supstituciju uvoza i nudi značajne uštede u obimu potrebnih investicija. Projekat se nalazi u fazi mirovanja zbog problema koji su izazvani požarom koji je zahvatio proizvodne pogone kompanije PPU. Tehnička izvodljivost ovog projekta je demonstrirana PPU, realizacija je imperativna, očekuje se povoljan poslovni trenutak za njegovu operacionalizaciju. U fizičkoj realizaciji demonstracionih eksperimenata učestvovala je kompanija HENKEL Srbija, Industrijski adhezivi (LOCTITE). Na fotografijama ispod navodi se dispozicija demonstracionog sistema i detalji probnog doziranja vode a zatim i doziranja konkretnog adheziva u zapremini od 4ul na vrh manevarskog metka.



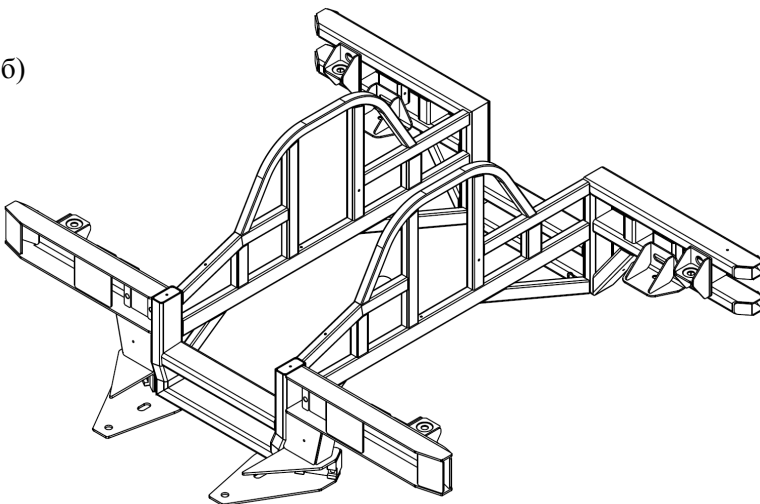
Slika 15: Robotski sistem za doziranje zaptivne smese i optičku kontrolu manevarskog i bojevog metka

Aplikacija 4: Koncipiranje robotskog sistema za automatsku montažu zavarenih sklopova kostura i noseće strukture nove generacije niskopodnih autobusa iz proizvodnog programa kompanije IKARBUS. Objektivne teškoće u poslovanju kompanije IKARBUS izazvane problemima svojinske transformacije onemogućile su razvojne aktivnosti za praktičnu implementaciju postavljenih koncepata, koji pored tehnoloških operacija montaže i zavarivanja uključuju i operacije robotske dimenzione kontrole priprema i finalnih sklopova (robotizovano skeniranje laserskom triangulacijom i struktuiranom svetlošću sa ciljem kontrole geometrije zavarenog sklopa i njegove kompletnosti). Nastavak razvojnih aktivnosti i realizacija demonstracionog sistema koji je od strateškog značaja za razvoj tehnoloških osnova kompanije IKARBUS planira se u okviru projekta TR35007.

a)



b)



Slika 16: Prostorni modeli tehnoloških reprezentata zavarenih sklopova iz proizvodnog programa kompanije IKARBUS koji su predmet postavke koncepta nove tehnologije za njihovu proizvodnju primenom robotizovanog zavarivanja i robotizovanog skeniranja laserskom triangulacijom i struktuiranom svetlošću sa ciljem kontrole geometrije zavarenog sklopa i njegove kompletnosti

5. ZAKLJUČAK

U okviru ovog rada izloženi su sadržaj istraživanja, ciljevi i pregled ostvarenih rezultata na projektu MA14035 INTOSA koji zajednički realizuju Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, kompanija Mikrokontrol iz Beograda, IKARBUS iz Beograda i FAP iz Priboja. Ostvareni rezultati pokazuju zainteresovanost i spremnost domaće industrije za implementaciju savremene digitalne optičke tehnologije u svojim proizvodnim procesima i ostalim oblicima poslovnih aktivnosti.

Aplikacije izvedene iz istraživačkorazvojnih aktivnosti koje su sprovedene u trogodišnjem periodu realizacije projekta MA14035 jasno ukazuju na komercijalne efekte koji su ostvarene u direktnom i indirektnom smislu. Pod direktnim efektima podrazumevaju se pre svega efekti supstitucije uvoza, nečemu što je nekada bio jedan od osnovnih pokretača razvoja, a danas potpuno zaboravljeni potencijal koji može da značajno doprinese smanjenju spoljno trgovinskog deficita Srbije i otvori nova radna mesta, posebno u razvojno zavisnim visokotehnološkim sektorima. Pod direktnim efektima podrazumeva se i značajno redukovan obim investicija uloženi za uvođenje nove tehnologije, posebno u kompaniji Velpan. Pod indirektnim efektima podrazumevaju se efekti porizašli iz povećanja obima i kvaliteta proizvodnje, kao i efekti proizašli iz razrešavanja problema nedostatka kvalifikovane radne snage, posebno u delu tehnologije zavarivanja.

Reference

- [1] Godišnji izveštaji projekta MA14035, Interni materijal u formi elaborata i tehničke dokumentacije za 2008, 2009 i 2010. godinu.
- [2] Petrovic, P., B., Jakovljevic, Z., Milacic, V., R., Context sensitive recognition of abrupt changes in cutting process, Expert Systems with Applications, Vol. 37, No. 5, pp. 3721-3729, 2010,
- [3] Petrovic, P., B., Jakovljevic, Z., Dynamic Compensation of Electrical Runout in Eddy Current Contactless Measurements of Non-Stationary Ferromagnetic Target, Sensor Letters, 7: 191-202, 2009,
- [4] Jakovljevic, Z., Petrovic, P., B., Recognition of Contact States in Robotized Assembly Using Wavelet Transform and Support Vector Machines, International Conference on Innovative Technologies in Design, Manufacturing and Production, INTECH 2010, Prague, 2010.
- [5] Jakovljevic, Z., Petrovic, P., B., Recognition of Contact States in Robotized Assembly Using Qualitative Wavelet Based Features and Support Vector Machines, Proceedings of the 36th International MATADOR Conference, Manchester, UK, pp. 305-308, Springer-Verlag book chapter, ISBN: 978-1-84996-431-9
- [6] Jakovljević, Ž., Petrović, P., B., A New Approach to Rubberized Cord Surface Structure Identification Based on High-Resolution Laser Scanning and Multiresolution Signal Processing, FME Transactions, Vol. 37, pp. 19-26, 2009, ISSN: 1451-2092
- [7] Petrović, P., Jakovljević, Ž., 3D digitalizacija objekata kompleksne geometrije integracijom laserskog triangulacionog senzora i industrijskog robota, Zbornik radova, 33. Savetovanje proizvodnog mašinstva SCG, Beograd, jun, 2009., str. 219-224, ISBN: 978-86-7083-662-4
- [8] Petrovic, B., P., Jakovljevic, Z., Pilipovic, M., Mikovic, Dj, V., In Process Identification Of Workpiece/System Geometrical Deviations Based On General Purpose Robots And Laser Triangulation Sensors - Part 1: Conceptual Framework and Part 2: Evaluation (Invited Paper), Proceedings, 10th International Scientific Conference On Flexible Technologies, MMA 09, Novi Sad, 2009, pp. 174-182, ISBN: 978-86-7892-223-7
- [9] Spasić, Ž., Pilipović, M., Edukacioni aspekti i diseminacija rezultata projekta, MNT-MFB 14035.6-7/10, Parcijalni završni izveštaj za 2010. godinu, Mašinski fakultet u Beogradu, 2010.

Application of intelligent sensory systems in development of integrated automation of real and virtual processes in manufacturing enterprises—recapitulation of the project MA14035

Abstract

This paper gives the results of research conducted within project MA14035 carried out jointly by Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade and companies Mikrokontrol, Belgrade, IKARBUS Belgrade and FAP, Priboj. Besides an overview of theoretical and methodological issues, special attention is given to practical results realized within this project in the form of laboratory installations which are used for practical verification of key innovative contents of conducted research, as well as conceptual solutions for chosen technological tasks in production plant of Ikarbus Company as one of project participants. At the end we present the perspective of application of obtained results in industrial conditions on production lines of participating companies or in the context of projects with companies which are not the members of project consortium.



Д. Марковић, Ж. Спасић¹

ПРИМЕНА ИНФОРМАЦИОНО КОМУНИКАЦИОНИХ ТЕХНОЛОГИЈА У РЕАЛИЗАЦИЈИ ВИРТУЕЛНОГ ПРОЈЕКТА

***Резиме:** Развој информационо комуникационих технологија у последњих неколико година, довела је и до нових облика организовања и настанка виртуелних предузећа и виртуелних универзитета. Сарадња између универзитета и предузећа, одвија се такође на виртуелни начин и то путем реализације виртуелних пројеката. Да би се ти пројекти успешно реализовали, неопходна је и одговарајућа комуникација како асинхрона тако и синхрона. Синхрона комуникација је кључ успешности једног виртуелног пројекта.*

Увод

Обезбеђивање компетентности индустрије на домаћем, европском и светском тржишту производа, услуга, капитала и знања није могуће без примене високих информационо-комуникационих технологија. Велике промене које се односе на развој информационо-комуникационих технологија (Интернет и друге примене), утицале су на промену економских токова и услове пословања предузећа и универзитета, нарочито у току последње деценије. То значи да традиционални облици пословања више не могу да обезбеде очекиване резултате и задовољавајуће вредности пословних перформанси. С тога су све присутнија истраживања која имају за циљ да испитају пословни профил успешне организације или универзитета, који ће се на најбољи начин да прилагоди сталним променама на строгом светском тржишту знања. На основу расположивих информација може да се закључи да ће најуспешнија предузећа и универзитети да буду они који ће на најбољи начин искористити сарадњу између виртуелних универзитета и виртуелних предузећа, ради остваривања заједничких циљева који се могу остварити и преко виртуелних пројеката.

Виртуелни универзитет

Виртуелни универзитет представља организациону форму кибернетске интеграције активности једног или више универзитета која обезбеђује учење и студирање користећи информационо комуникационе технологије за наставу и укупну подршку (администрација, развој материјала за учење, менторство, испитивање и оцењивање, праћење напредовања студената, везе са пословним окружењем и Алумни асоцијацијама)¹. Међу новим методама учења, е-учење се појавило као несумњиво једно од најпопуларнијих, и широко је прихваћена и од факултета као и од стране студената. Наиме, скоро 90% свих америчких факултета нуди могућност студирања преко интернета или учење на даљину, што омогућава приступ својим студијским програмима свим студентима ма где се налазили у смислу географске локације. За одређене земље, као што су Аустралија и Канада на пример, Интернет образовање је у последњих неколико година постао један од најзначајнијих грана привреде.

¹ Мр Душан Марковић, Београдска Пословна школа, Београд dusanbps@gmail.com, Проф. Др Жарко Спасић, Машински факултет, Београд

Виртуално предузеће

Виртуална предузећа су се појавила и пре развоја информационих система и односила су се на организациону промену самог предузећа. Развојем информационо комуникационих технологија довело је до брисања граница како самог предузећа тако и географских граница. Другим речима виртуелно предузеће проширује стратешки домет организације. Ово укључује проширење обима и степена могућности које су на располагању предузећу, квантификованим од фактора величине, времена и простора.

Виртуелно предузеће може да помогне другим предузећима које су у партнерском односу да искористе нове пословне могућности које самостално нису могли

Како је већ описано пред виртуалним предузећем нестају ограничења по питању величине, времена и простора а самим тим шири се стратешки хоризонт и на тај начин пружају се велике предности за организације. Резултати студије од стране (Grimshaw & Kwok, 1998)² идентификује следеће предности у оквиру испитиваних виртуелних предузећа:

- ✓ Повећање конкурентне способности
- ✓ Флексибилност
- ✓ Већи одзив (купаца)
- ✓ Побољшање корисничког сервиса
- ✓ Користи у смањењу трошкова
- ✓ Побољшање комуникације и унутрашње контроле

Производне организације имају своја пословна окружења, док универзитети такође дефинишу своја образовно-истраживачко-пословна окружења. Међутим, предузећа и универзитети кроз сарадњу имају и заједничка образовно-пословна окружења у синергији која треба да повећа вредност производа и услуга за тржиште, тежећи заједничкој пословној изврсној.

Сарадња универзитет-индустрија

Компаније могу развити своје техничке капацитете и производе на основу интерних истраживања и развоја или преко ангажовања ресурса изван виртуелне организације. Иако је пожељно да се врше сопствена истраживања и развој капацитета, све више се даје на значају коришћење технологија спољних извора. Развој технологија спољних извора може да се спроводе на неколико начина, укључујући и сарадњу индустрија-индустрија, индустрија-истраживачка институција, као и сарадња универзитет-индустрија. Међу њима, сарадња универзитет-индустрија сматра се најважнијим од стране многих научника у вези националне конкурентности.

Неколико главних разлога, за мотивацију индустрије да повећа сарадњу универзитет- индустрија, су:

- (1) Приступ радне снаге, укључујући и добро обучене дипломце и стручњаке факултета,
- (2) Приступ резултатима основним и примењеним истраживањима које ће довести до развоја нових производа и процеса,
- (3) Решавање специфичних професионалних проблема које се не могу решити у оквиру фирме,
- (4) Приступ Универзитетским ресурсима;
- (5) Помоћ у континуираном образовању и обуку;
- (6) Добијање престижа или побољшање слике компаније

С друге стране, разлози да Универзитет остварује сарадњу са индустријом су релативно једноставни.

- (1) Индустрија даје нова материјална средства за универзитет,
- (2) Индустријско финансирање подразумева мање "бирографије" него државно финансирање;

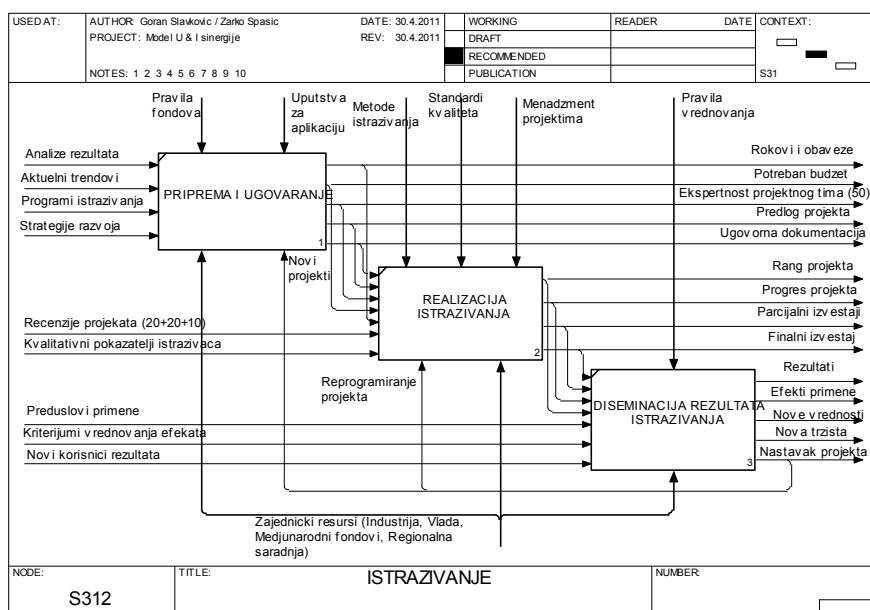
- (3) Индустија финансира истраживања која пружају студентима да се суоче и да решавају реалне проблеме
- (4) Индустија финансира истраживање која представљају изазов за универзитетске истраживаче и пружа им прилику да раде на интелектуално изазовне истраживачке програме;
- (5) Нека владина средства су на располагању за примењена истраживања али на основу заједничких интереса између универзитета и индустрије.

Што се тиче сарадње универзитет-индустија не постоји универзално прихваћен облик сарадње. Ипак, још увек се може једноставно дефинисати интеракција универзитет-индустија и то на следећи начин:

- (1) Општа помоћ,
- (2) Уговорена истраживања,
- (3) Развој производа,
- (4) Развој нових технологија
- (5) Обука кадрова

Уговорена истраживања – виртуелни пројекти

У односу на све већ горе поменуте моделе сарадње универзитет-индустија овде ће се разматрати један вид сарадње и то у области истраживања. Како се на слици 1 види могу се уочити три активности



Слика 1. Дијаграм интегрисаних активности истраживање у синергији универзитета и индустрије³

у којима учествује и индустрија преко својих захтева као и преко својих ресурса у виду, експерата, стручних сарадника који ће радити на реализацији. Сва истраживања која се воде су истраживања пројектног типа а пошто се реализују у виртуелним универзитетима и факултетима називају се и виртуелним пројектима.

Приликом пројектовања дела информационог система синергије виртуелног универзитета и виртуелног предузећа није довољно размотрити само услове који су дати преко IDEF0 дијаграма, већ се мора узети у обзир и начин управљања виртуелним пројектима.

Као и код управљање пројектима на традиционални начин и код управљање виртуелним пројектима постоје следећи кораци:

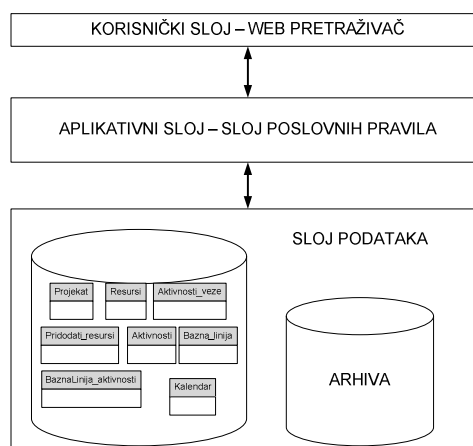
1. Избор партнера
2. Дефинисање пројектног тима
3. Реализација пројекта
4. Завршетак пројекта

Први корак на листи је избор пословног партнера. У Синергији виртуелног универзитета и виртуелног предузећа тај избор је дефинисан преко компетентности факултета и путем модалитета сарадње универзитета и индустрије. Такав пројекат мора да се идентификује, промовише и одобри од стране финансијера пројекта. Комуникација се обични изводи асинхроно путем електронске поште, а у случају да је неопходно и синхроно путем видео конференције или само аудио дискусије.

Дефинисање пројектног тима је први корак где се традиционално и виртуелно управљање пројектима разликује. Осим што чланови тима морају да поседују одговарајуће компетенције, њихово учешће мора бити добровољно и морају да показују задовољавајућу одговорност према раду и навикама. Због начина на који се остварује комуникација на пројекту, број учесника треба да буде ограничен на неколико. Lipnack & Stamps¹⁸ предложили су пет до десет учесника. То је разумно с обзиром на структуру мреже, јер уз повећање чланова тима број међусобних веза се повећава, што и уз најбољу технологију долази до успорења мреже, па је сарадња тежа него кад се реализује рад лицем у лице.

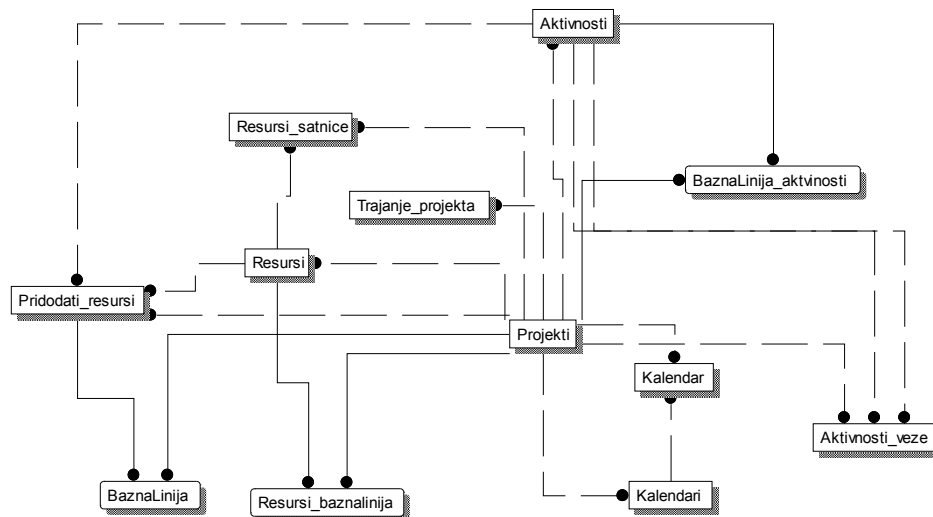
Основне карактеристике које треба да поседује руководиоца виртуелног пројекта су потпуно исте као и код руководиоца традиционалног пројекта, једино ће спровођење захтевати различита искуства са виртуелним тимовима.

Приликом реализације пројекта пројектни тимови се суочавају са истим проблемима реализације као и код традиционалног рада на пројекту. Због разуђености тимова целокупном пројекту и свим задацима би требало да се приступа путем интернета. Овај услов се може остварити коришћењем трослојне архитектуре.(slika 2)



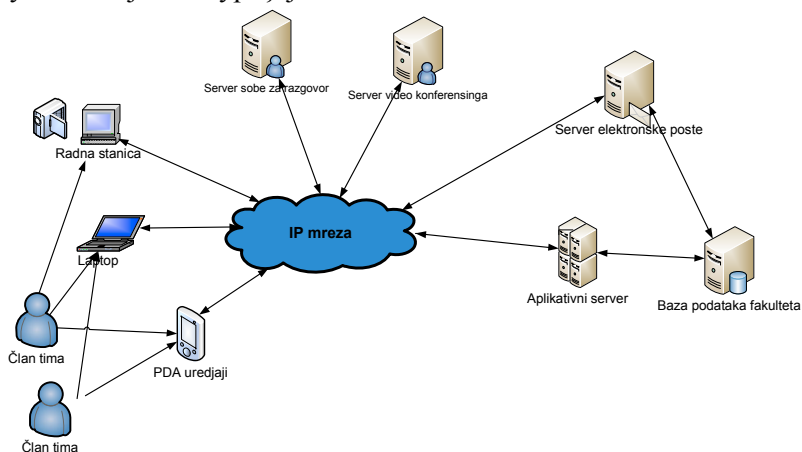
Слика 2. Трослојна архитектура са припадајућим табелама

Табеле и њихова међусобна релација дата је преко дијаграма релације ентитета сл. 3



Слика 3. Релациони дијаграм ентитета

Осим директним приступом преко веб претраживача, да би члан тима видео своје задатке, задавање задатака и извештај о њиховој реализацији, може се одвијати и путем електронске поште. Истраживања у комуникацији Eggert ⁴ су показала да кључну улогу у успешности реализације пројекта има и комуникација на пројекту и то поготову синхрона комуникација, аудио и визуелна дискусија сл.4. Са слике се могу се уочити следећи елементи. Виртуелни универзитет би требао да поседује сервер са базом података где би се налазиле табеле које су неопходне за вођење пројеката (слика 3), апликативни сервер на коме се налазе пословна правила за приступ подацима. Универзитет би могао да има сопствени сервер електронске поште или би се он реализовао у интернет облаку. Мрежа у самомо универзитету би морала били гигабитна, са одговарајућим свичерима и заштитом (нису дати на слици). Сервери за аудио и видео конференцију су по својим својствима доста захтевни и било би добро да се користе неки из интернет облака са припадајућим софтвером (Google Talk, Skype, Windows Live Messenger). Чланови тима могу приступити поменутиим ресурсима применом, PDA уређаја коришћењем GPRS-а или Wifi –ја, или помоћу лаптопа у коме постоји интегрисана мултимедија. У случају да се приступа интернету коришћењем PC рачунара, онда је неопходна и набавка додатних мултимедијалних уређаја.



Слика 4 Информационе комуникационе технологије у служби управљања виртуелним пројектом

Закључак

Информационо комуникационе технологије играју важну улогу у реализацији виртуелних пројеката. Због своје разноврсности и захтевности представљају високу инвестицију. Да би чланови виртуелног тима могли да приступе свим задацима, приступ је преко интернета. Пренос видео материјала и пренос гласа за потребе конференција, због количине података које се преносе додатно оптерећује мрежу па се за сада не препоручује већи број од 10 чланова тима, који ће присуствовати истовременој конференцији, али и да не буду део виртуелног универзитета већ да се користи неки постојећи у интернет облаку.

Референце

- [1] **Спасић Жарко** „Интегрисани систем квалитета дигиталног универзитета“ Машински факултет, Београд 2007 стр.26.8
- [2] **Grimshaw, D. J. and Kwok, F. T. Sandy** *The Business Benefits of the Virtual Organization*, in: *The Virtual Workplace*, Idea Group Publishing. (1998).
- [3] **Славковић М. Горан** „Примена Теорије Управљања Комплексним Системима На интегрисани Систем Квалитета у Синергији Универзитета Са Образовно-Пословним Окружењем“ Докторска дисертација Београд, 2010 стр 104
- [4] **Lipnack, Jessica & Stamps, Jeffery**, “*Virtual Teams: The New Way to Work*”, *Strategy & Leadership* (January/February 1999), pp 14-19
- [5] **Eggert, Andreas**, “*The Role of Communication in Virtual Teams*”, *Virtual Organization Net* (2001),

USE OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES IN THE IMPLEMENTATION OF VIRTUAL PROJECT

Abstract: *The development of information communication technology in recent years has led to new forms of organization and the creation of virtual enterprises and virtual universities. Cooperation between universities and companies are also taking place in a virtual way and that through the implementation of virtual projects. To these projects successfully implemented, it is necessary and appropriate communication both asynchronous and synchronous. Synchronous communication is the key to the success of a virtual project.*



G. Vujačić, Ž. Marjanović¹

NADZOR CIM PROCESA PUTEM BLUETOOTH TEHNOLOGIJA

Apstrakt: *Korišćenje bluetooth komunikacionog standarda u realizaciji kompjuterskog modela za nadzor, praćenje i procese donošenja odluka u računarskim i CIM mrežnim sistemima.*

Ključne reči: *bluetooth, network monitoring, decision making process*

1. UVOD

Bluetooth je radio standard i komunikacioni protokol koji je primarno dizajniran za malu potrošnju energije, sa kratkim dometom signala (od 1, 10 do 100m). Baziran je na jeftinim transivskim mikročopovima. Bluetooth dozvoljava komunikaciju među uređajima koji se nalaze u dometu. Pošto uređaji koriste radio komunikacioni sistem, oni ne moraju biti u liniji jedan sa drugim (kao na primer IR uređaji), štaviše mogu se nalaziti u različitim prostorijama.

Da bi uređaj bio kompatibilan za korišćenje Bluetooth protokola, on mora poštovati izvesne specifikacije, ili tzv. Bluetooth profile. Neki od ovih profila, ili modusa upotrebe su sledeći:

- Bežično kontrolisanje i komunikacija između mobilnog telefona i hands-free slušalica, odnosno headset-a
- Bežična mreža formirana između PC računara u ograničenom prostoru, gde nije potrebna velika propusna moć
- Bežična komunikacija između PC-a i ulazno/izlaznih uređaja, odnosno računarskih periferija, kao što su tastature, miševi ili štampači
- Prenos fajlova između uređaja korišćenjem OBEX protokola
- Prenos liste kontakata, liste sastanaka i obaveza, kao i raznih podsetnika između uređaja korišćenjem OBEX-a
- Zamena tradicionalnih užičenih serijskih uređaja i opreme, npr. GPS risiveri, medicinska oprema, uređaji za kontrolu saobraćaja, ili kontrolu nekog proizvodnog procesa ...
- Za ostale modele kontrolisanja u kojima se koristi IR (infracrveni) interfejs
- Za bežičnu kontrolu igračkih konzola – Nintendo, Sony PlayStation i Microsoft Xbox koriste bluetooth u svojim kontrolerima

Bluetooth se često pogrešno poistovećuje sa Wi-Fi mrežnim tehnologijama. U cilju kompletnog razumevanja navedene studije potrebno je jasno napraviti razliku među ovim entitetima.

Bluetooth tehnologija se implementira u veliki niz novih proizvoda kao što su telefoni, štampači, slušalice, itd. On je namenjen komunikaciji među uređajima koji se nalaze u „blizini“ i kojima nije potrebna velika propusna moć. Takođe, bluetooth pojednostavljuje „otkrivanje“ i konfiguriranje servisa. Bluetooth uređaji „oglašavaju“ (advertise) sve servise koje poseduju. Ovo podiže stepen pristupačnosti servisa, bez potrebe za brigom o mrežnim adresama, dozvolama pristupa resursima, konfigurisanjem tipova servisa i ostalim

¹ mr Goran Vujačić, dipl. Ing., VŽŠSS Beograd, goran.vujacic@vzs.edu.rs, Željko Marjanović, dipl. ing., rain@vzs.edu.rs

podešavanjima vezanim za tradicionalne mreže.

Sa druge strane, Wi-Fi tehnologija je više u skladu sa tradicionalnom ethernet mrežom i zahteva podešavanje da bi se moglo pristupiti servisima, prenositi fajlove, podesiti audio linkove. Wi-Fi koristi slične radio frekvencije kao i bluetooth, ali sa većom snagom emitera koja rezultira jačim konekcijama. Wi-Fi se koristi u scenarijima čiji transportni medijum podseća na klasične ethernet mreže. Za razliku od Bluetooth-a, on omogućava bržu vezu, veći domet signala kao i stepen sigurnosti. Ukratko mogla bi se napraviti paralela, Bluetooth se često označava kao bežični USB, dok se Wi-Fi označava kao bežični ethernet.

2. OPIS MODELA

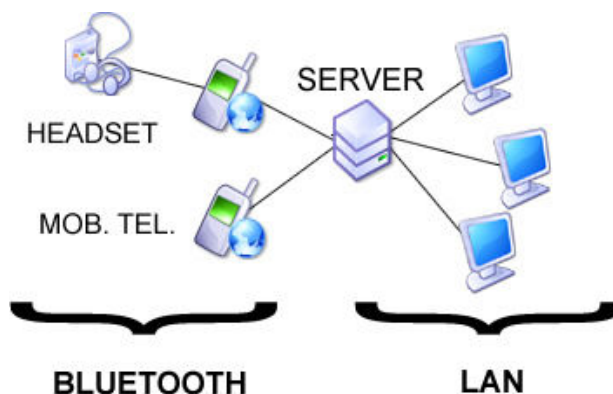
U ovom delu će biti opisan scenario i model primene koji je testiran i sproveden. Primarni cilj interesovanja je bila upotreba Bluetooth-a u svrhu nadziranja računarskih i drugih bežičnih mreža. Interesovalo nas je kako se ova tehnologija može iskoristiti u mrežama malog i srednjeg kapaciteta, koje su joj najveće prednosti, a koje mane dolaze do izražaja. Takođe je bio i cilj da se ispita mogućnost tehnologije kao medijuma prenosa upozorenja ili promene nekog posmatranog mrežnog statusa i to do drugih tipova mreža kao što su GSM ili GPRS, naravno korišćenjem mobilnih telefona; rečju, upotreba Bluetooth-a kao „mosta“ između zatvorenog računarskog sistema koji se nalazi u alarmiranom stanju i javne mobilne komunikacione mreže.

Ambijentalni hardver koji smo posedovali je sledeći: server računar AMD64 3800+, 3GB RAM, 17 radnih stanica klase AMD Sempron 2000 do 2500+ sa po 256 MB RAM, 2 jeftina Bluetooth USB adaptera ISSC (Integrated System Solution Corp.) klase 2 (2,5 mW) sa dometom oko 10 metara, mobilni telefon Sony Ericsson K700i, sa ugrađenim Bluetooth čipom marke Philips, takođe klase 2, mobilni telefon Siemens SXG75 sa Bluetooth čipom istog proizvođača, klase 2, bežične slušalice marke Sony, ponovo sa Philips čipom klase 2, i naravno, fizički uspostavljen Ethernet mrežu od 100Mbps među serverom i radnim stanicama.

Ambijentalni softver koji smo koristili se prvenstveno odnosi na Linux platformu. Naime, nije nas interesovao način rada PC klijenata, kao i softver koji su posedovali, već njihova dostupnost i vidljivost na mreži, rečju njih smo samo nadzirali. Takođe nas nije interesovao softver koji su nudili mobilni telefoni i slušalice, već njihovi „oglašeni“ javno dostupni Bluetooth servisi, jačina radio signala i trenutni kapacitet baterije. U cilju kvalitetnije analize problema i sami smo razvili pomoćna softverska rešenja, ali krenimo redom.

Na serveru je instaliran Debian 4.0 Etch Linux operativni sistem, kao stabilna i izuzetno kvalitetna Linux distribucija. Program koji je vršio nadziranje LAN mreže je bio Nagios. Nagios predstavlja multifunkcionalno softversko rešenje, namenjeno nadzoru mreža svih vrsta, koje je izuzetno podesivo i proširivo putem svog multifunkcionalnog plug-in interfejsa. Naime, Nagios sam ne vrši nadzor, već to čine njegovi priključi, odnosno plug-in programi koji se mogu posebno specijalizovati za određeni, posmatrani entitet. Ova okolnost je posebno odgovarala specifičnosti naše konfiguracije, tako da smo razvili sopstvene plug-in programe za nadzor.

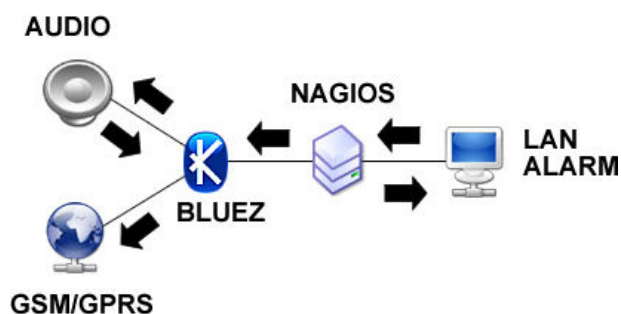
Postoji još jedna osobina Nagios-a koja je pogodovala analizi našeg modela. Radi se o Nagios event handlerima, odnosno o načinu alarmiranja usled pojave promene posmatranog stanja. Kao što je slučaj sa plugin programima, i hendleri mogu biti usko specijalizovani i kreirani za bilo koju svrhu i način obaveštavanja o nastaloj promeni. Ovu osobinu smo iskoristili za kreiranje „mosta“ između GSM mreže i Linux servera, a koja se odnosi na drugi deo naše studije.



Slika 1. Fizička konfiguracija modela

Softverska podrška Linux operativnog sistema za Bluetooth je realizovana putem dva Bluetooth stack-a (zvanični Linux Bluetooth stack je BlueZ). Prvi se odnosi na kernel modul koji je zadužen za hardversku identifikaciju uređaja i njegovu dostupnost drugim uređajima u sistemu kao medijuma komunikacije. Naš Linux sistem je došao sa unapred instaliranim kernel modulom, tako da nije postojala potreba za manuelnim konfigurisanjem kernela i njegovim kompajliranjem. Pošto je kernel spreman, potrebno je instalirati drugi deo stack-a, odnosno userspace programe koji će kreirati sloj komunikacije potreban drugim aplikacijama. Minimalni zahtevi ovog stack-a se odnose na softverske pakete bluez-libs i bluez-utils. Ovi paketi instaliraju razne pomoćne programe i serverske aplikacije koji omogućavaju inicijalno funkcionisanje Bluetooth podsistema, odnosno u našem slučaju dva USB Bluetooth adaptera.

Glavni (master) Bluetooth uređaj može komunicirati sa maksimalno sedam drugih uređaja. Ova mrežna grupa od osam uređaja se još naziva i piconet. U našem slučaju konfiguracija je bila neznatno drugačija. Na svaki od USB adaptera je povezan po jedan mobilni telefon, s tim da telefoni nisu međusobno upareni, a još je i Siemens mobilni telefon povezan sa slušalicama, koje su uparene sa njim i sa serverom. Sada se kompletna konfiguracija može opisati na sledeći način. Server nadgleda status LAN mreže, odnosno dostupnost PC klijenata na njoj. Takođe, server nadgleda status i jačinu signala između Siemens mobilnog telefona i slušalica. Drugi mobilni telefon se koristi kao most ka GSM mreži, odnosno ako se neki od posmatranih subjekata nadje u alarmiranom stanju server će uspostaviti vezu sa mobilnim telefonom, koji će onda poslati SMS poruku ili e-mail administratoru obavestavajući ga o nastalom problemu. Da bi bio siguran da je komunikacija u svakom trenutku moguća server nadgleda i status baterije mobilnog telefona koji šalje obaveštenja. Dalje, server može poslati i audio signal drugom mobilnom telefonu (korišćenjem SCO protokola), koji će ovaj zatim proslediti slušalicama, a sve u cilju testiranja postupka alarmiranja na ograničenom prostoru.



Slika 2. Logička konfiguracija modela

Za dalju analizu potrebno je bliže objasniti način uspostavljanja komunikacije između bluetooth uređaja.

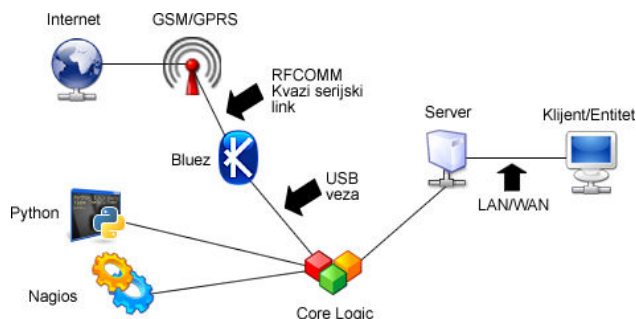
Prema specifikaciji svaki bluetooth uređaj na zahtev drugih uređaja mora da pošalje sledeće informacije

- Ime uređaja
- Klasu uređaja
- Listu servisa
- Ostale tehničke informacije, npr osobine uređaja, proizvođača, Bluetooth specifikaciju, itd.

Svaki uređaj može izvršiti pretragu da bi pronašao druge uređaje sa kojima će se povezati i svaki uređaj može biti konfigurisan da odgovori na pretragu i pošalje informacije iz gore navedene liste. Kada uređaj sazna adresu drugog uređaja i servise koji su mu od interesa, on uspostavlja direktnu komunikaciju sa ciljnim uređajem. Komunikacija se ostvaruje tek pošto su uređaji „upareni“ ili putem manuelne potvrde vlasnika uređaja. Uparivanje uređaja se odnosi na par uređaja koji su uspostavili sigurnu (poverilacku) komunikaciju putem deljenog tajnog ključa ili manuelnim unošenjem istog ključa na oba uređaja. Kada su uređaji upareni, oni mogu enkriptovati prenos podataka među njima da bi osigurali prenos, ali se enkripcija može isključiti. Takođe, ključevi se skladište na fajl sistemu uređaja, a ne u samom čipu. Pošto je adresa Bluetooth uređaja nepromenljiva, uparivanje će se zadržati, čak i ako neki od uređaja promeni svoje ime. Uparivanje se može raskinuti, odnosno izbrisati u svakom trenutku. U većini slučajeva, za pristup servisima je potrebno uparivanje uređaja, mada postoje servisi za koje to nije neophodno (npr. Sony Ericsson telefoni obično prihvataju poslate OBEX vizit kartice bez ikakvog uparivanja)

3. REALIZACIJA MODELA

U prethodnom odeljku smo opisali ambijentalni hardver i softver i dali detaljnu sliku posmatranog modela. Sada ćemo detaljno analizirati softverske metode koje smo sproveli i dati konkretne odgovore koji se tiču podešavanja svih potrebnih parametara.



Slika 3. Primenjena realizacija modela

Krenimo redom. Pošto smo instalirali Nagios softverski paket korićenjem Debian-ovog odličnog package manager-a, pristupili smo njegovoj konfiguraciji. Konfiguracija Nagios-a je modularizovana i to na sličan način kao plug-in programi ili handler-i i tradicionalno se ostvaruje putem nekoliko tekstualnih fajlova. Kada smo definisali ciljnu host grupu klijenata koje posmatramo, kreirali smo servis koji vrši proveru njihovog stanja na mreži i to korišćenjem **check_ping plugin-a**. Event handler koji koristimo smo sami kreirali, a on vrši slanje SMS poruke administrator-u. **Pogledajmo najvažnije fragmente Nagios konfiguracije (irelevantni delovi su izostavljeni).**

```
define hostgroup {
    hostgroup_name klijenti
    members        XP1,XP2,...
}
define service{
    hostgroup klijenti
    check_command check_ping_all!100.0,20%!200.0,80%
    event_handler notify-by-mobile!+381644648878
}
```

Pošto je definisana ciljna host grupa, metod provere i metod slanja notifikacija odnosno handler događaja, potrebno je pristupiti konfiguraciju Bluetooth podsistema na serveru. Na prvom mestu moramo pokrenuti Bluetooth servise (*hcid, sdpd i rfcomm*). Ako je proces pokrenut bez grešaka komanda *hciconfig* bi trebalo da izlista naša dva USB Bluetooth uređaja. Dodatna konfiguracija je Bluetooth podsistema je dosta opširna za predstavljanje u ovoj analizi da bi se kompletno predstavila, ali potrebno je pomenuti da se sva podešavanja odnose na fino kontrolisanje rada počevši od toga koji će PIN uređaji koristiti, tipa uparivanja, imena uređaja, nivoa sigurnosti i enkripcije ... Kada je podsistem podešan potrebno je detektovati druge Bluetooth uređaje na preostalom hardveru (mobilni telefoni i slušalice), preciznije rečeno njihove MAC adrese. Za ovu svrhu koristimo komandu *hcitool*. Posle zadavanja komande *hcitool inq*, dobićemo listing sličan ovome:

```
Inquiring ...
00:0D:41:26:21:53      clock offset: 0x69af      class: 0x520204
00:16:20:A8:23:10      clock offset: 0x5949      class: 0x520204
00:AF:FB:1C:7D:AE      clock offset: 0x5579      class: 0x72010c
```


Listing pokazuje MAC adrese naših uređaja (mobilnih telefona i slušalica). Ove podatke ćemo iskoristiti za automatsko uparivanje uređaja pri pokretanju podsistema, a oni su naročito korisni i prilikom uspostavljanja radio frekvencijske komunikacije sa uređajima. Ovaj tip konekcije je od izuzetnog zanačaja u našem slučaju jer nam omogućava da direktno pristupimo upravljačkom layer-u mobilnih telefona. Ova konstatacija zaslužuje detaljnije pojašnjavanje. Naime, model upravljanja i prenosa informacija od i ka telefonima se obavlja serijski, gde telefon za svoj komunikacioni interfejs nudi Bluetooth modem, slično „klasičnom“ metodu komunikacije sa dial-up modemima. Međutim „modem“ telefona ne pruža samo dial-up gateway kao kod kompjuterskih modema (mada je i on moguć), već i širok spektar upravljačkih i uređivačkih komandi samog uređaja, počevši od manipulisanja adresarom, važnim kontaktima, sastancima, SMS, EMS i MMS porukama, statusom baterije i signala GSM/GPRS mreže. Podešavanje ovakve komunikacije na Linux sistemu se postiže komandom *rfcomm*. Konfiguracioni fajl ove komande je */etc/bluetooth/rfcomm.conf* i u našem slučaju njegov sadržaj je sledeći (irelevantni delovi izostavljeni):

```
rfcomm0 {
    # Automatski bind uređaja pri pokretanju
    bind yes;
    # Bluetooth adresa uređaja
    device 00:16:20:A8:23:10; # Sony Ericsson K700i
}
rfcomm1 {
    bind yes;
    device 00:0D:41:26:21:53; # Siemens SXG75
}
```

Sada sledeća komanda omogućava serijsku komunikaciju izabranim uređajem (komunikacioni čvorovi */dev/rfcomm0* i */dev/rfcomm1* se automatski kreiraju)

```
# rfcomm listen 0 1
Waiting for connection on channel 1
```

Ili ako se eksplicitno želi navesti fizički uređaj (*hci0* predstavlja naš prvi USB Bluetooth)

```
# rfcomm -i hci0 connect 0 00:16:20:A8:23:10
```

Sada, pošto je potrebno podešavanje izvršeno, komunikacija se ostvaruje na standardan način koristeći */dev/rfcomm0* ili */dev/rfcomm1*. Komunikaciju može ostvariti bilo koji softverski alat koji ima implementirane metode za pristup serijskim interfejsima, odnosno portovima. Komande koje se prosleđuju imaju sintaksu standardnih AT komandi koje koriste dial-up modemi, uz naravno brojna proširenja za upravljanje telefonom čija sintaksa nije u potpunosti standardizovana i uglavnom zavisi od modela i proizvođača telefona.

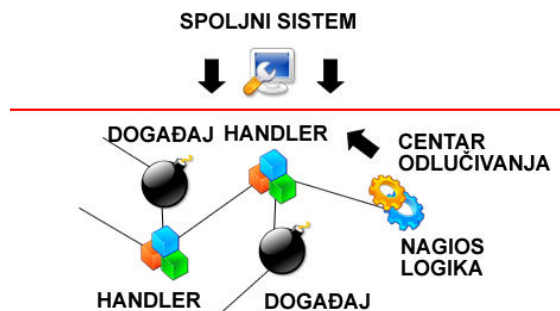
Pri programiranju komunikacionog sloja sa mobilnim telefonom koristili smo Python programski jezik i njegova povezivanja na Bluetooth i serijske programske biblioteke PyBluez i PySerial, respektivno . Python predstavlja odličan objektno orijentisani interpreterski jezik sa velikom bibliotekom funkcija, koji je pritom lako proširiv kreiranjem modula bilo korišćenjem njega samog ili C programskog jezika (ako se želi dodatna brzina izvršavanja). U sledećem odeljku je prikazan listing python interaktivne sesije iz koga se može uočiti način pristupa interfejsu telefona:

```
# python
Python 2.4.4 (#2, Jan 13 2007, 17:50:26)
[GCC 4.1.2 20061115 (prerelease) (Debian 4.1.1-21)] on linux2
Type "help", "copyright", "credits" or "license" for more information.
>>> import serial
>>> mob1 = serial.Serial('/dev/rfcomm0',19200,timeout=1)
>>> mob1.write('ATI7\r\n')
>>> mob1.readlines()
['ATI7\r\r\n',
```

```
' Modem Configuration Profile\r\n',
\r\n',
'Product Type      Terminal Adapter\r\n',
'Interfaces        Bluetooth, IrDA, RS-232\r\n',
'Options           OBEX, PPP, RLP, V42bis\r\n',
'(\x01$SERC002\\\\"MODEM\\\\"K700 seriesA4)\r\n', '\r\n', 'OK\r\n']
```

Iz prethodnog listinga se može uočiti standardizovan način kreiranja objekta koji vrši pristup serijskom portu, a zatim upućivanje AT identifikacione komande jednostavnim funkcijama za čitanje i upis koje su slične funkcijama za čitanje/upis u klasične fajlove. Naš **kod event handler-a je u biti zasnovan na prikazanim tehnikama kroz osnovne korake: pristup uređaju, „pisanje“ komande, a zatim očitavanje i parzovanje odgovora.** Naravno kod je daleko robustniji i on obuhvata hardversko „zaključavanje“ uređaja koje štiti od višestrukog pristupa drugih programa portu, takođe tu je i provera grešaka, podešavanje parametara serijskog porta (broj bauda, hardverska provera grešaka, stopbits, , itd.) Nećemo navoditi kompletan izvorni kod handler-a jer bi on zauzeo previše prostora.

Pre nego što nastavimo dalje potrebno je osvrnuti se na argumente koje naš handler prihvata i na koji on vrši alarmiranje. Prvo, handler ne „odlučuje“ samostalno. Glavni Nagios proces je zadužen za „donošenje“ odluka. Naime, on vrši odlučivanje zasnovano na zadatim konfiguracionim varijablama i složenom algoritmu provere, tzv. promene „težine“ stanja alarmiranosti posmatranog objekta. Kada Nagios „zaključiči“ da je nastala promena stanja on prepušta handler-u da izvrši obaveštavanje, ili neki drugi tip akcije koji u posmatranom slučaju ima neki značaj. Handler ne mora biti samo jednostavno oruđe izveštavanja, odnosno komunikacioni kanal, već je moguće preprogramirati ga da izvrši dodatne provere, a zatim izvrši obaveštavanje ili jednostavno prepusti obaveštavanje drugom handler-u. Ova informacija čitavom sistemu omogućava izuzetnu fleksibilnost, odnosno modularnost i omogućava primenu izuzetno kompleksnih algoritama koji se mogu primeniti za „**pametno**“ donošenje odluka.



Slika 4. Modus lanca odlučivanja sistema

Iako je naš model realizovan u „mikro“ okruženju, bilo je moguće izvršiti probu sistema „menjanja“ komunikacionog kanala, ali istina na ograničen način. Pored provere stanja signala među slušalicama i drugog mobilnog telefona, druga grana komunikacije služila je za odašiljanje audio upozorenja da je baterija na prvom kanalu (mobilnom telefonu) istrošena. Naime, handler je merio jačinu signala, odnosno potencijanu udaljenost slušalica od servera. Što je signal bio slabiji provera je predpostavljala da se slušalice koriste, odnosno da je administrator prisutan, tj. na dovoljnoj blizini da reaguje. Ova „konstatacija“ je automatski označavala mogućnost da se administrator u neposrednoj blizini obavesti u slučaju da je baterija na prvom mobilnom telefonu (koji je bio gateway ka GSM/GPRS mreži) istrošena. Potrebna jačina, odnosno slabljenje signala je izračunata na osnovu pozicije administratorove kancelarije, preciznije njegovog PC računara u odnosu na server sistem, koji je, naravno, bio uslovljen i dometom Bluetooth opreme. Kada je signal bio dovoljno snažan ovaj, drugi, komunikacioni kanal se bespogovorno zatvarao. Naravno, ovaj sistem odlučivanja poseduje neke ozbiljne nedostatke, ali oni su uglavnom uslovljeni posedovanim hardverom. Takođe, osiguravanje komunikacionog mosta ka GSM mreži se moglo postići konstantnim držanjem mobilnog telefona na punjaču, ali ovakav postupak bi onemogućio bitnu komponentu posmatranog modela, nepredvidivost, entropiju sistema (status baterije se menja u zavisnosti od broja poslanih poruka, jačine signala mreže mobilne telefonije, aktivnosti Bluetooth čipa).

4. ZAKLJUČAK

Bluetooth uređaji predstavljaju relativno novi vid tehnologije, koja je prvenstveno orijentisana ka krajnjim korisnicima, nalazeći se u njihovim personalnim uređajima, kompjuterima, mobilnim telefonima, palmtopovima, uređajima za zabavu, ili skladištenje ličnih kontakata, ili lista obaveza. Ona omogućava instant pristup nizu uređaja bez gotovo ikakve potrebe za dodatnim podešavanjima ili komplikovanim instaliranjem i kasnijim konfiguriranjem. Jedna od značajnih prednosti tehnologije je i cena, koja je zaista niska i pristupačna raznim slojevima korisnika, ali ona ne stoji u srazmeri sa kvalitetom uređaja, kao što se to očekivalo.

Sa druge strane, Bluetooth komunikacije predstavljaju robustan sistem sa dosta novih ideja, koji je, ne smemo zaboraviti, tek u svom zamahu. Nesumnjivo je da će tehnologija uspeti da potisne i preraste IR tehnologiju, u odnosu na koju je tehnološki superiorna, čak i sa većim stepenom fleksibilnosti i slojevima primene.

Cilj ovde predstavljenog modela korišćenja bio je da prikaže neke zanimljive aspekte korišćenja u procesu nadziranja i odlučivanja nekog računarskog sistema, naravno, projektovanog na mikroplanu. Nedostaci su uočljivi na prvi pogled. Najveći od kojih je domet signala, a zatim sledi nekompatibilnost standarda. Sa druge strane, prednosti su iznenađujuće. Ako zanemarimo nisku cenu (kako uređaja, tako i njihove eksploatacije), stepen konfigurabilnosti i primene u najrazličitijim scenarijima je iznenađujući. Povezivanje i uspostavljanje komunikacije između nekoliko hardverski toliko različitih uređaja i PC sistema, nikada nije bilo jednostavnije sa širokim spektrom dostupnih mogućnosti.

Konačni sud bi trebalo da glasi obećavajuće. Iako tehnologija nije na potrebnom nivou zrelosti da bi se mogla pouzdano koristiti u realtime sistemima, njene mogućnosti su obećavajuće, i na nju se u skorijoj budućnosti mora računati i to u složenijim sistemima i modusima primene nego što danas postoje.

5. REFERENCE

<http://bluez.sourceforge.net>

<http://www.holtmann.org/linux/bluetooth/>

<http://www.bluetooth.org>

<http://bluetooth-alsa.sourceforge.net/>

<http://www.debian.org/>

<http://www.python.org>

Abstract: Using Bluetooth communication standards in the implementation of a computer model for supervision, monitoring and decision making processes in computer and CIM network systems.

37. JUPITER KONFERENCIJA
sa međunarodnim učešćem

37th JUPITER CONFERENCE
with foreign participants

ZBORNİK RADOVA
PROCEEDINGS



24. simpozijum

CAD/CAM

Beograd, maj 2011.

CAD/CAM

Petrakov, Y. NEW METHOD OF 3-D SIMULATION FOR CAD/CAM SYSTEMS.....	2.1
Jovišević, V., Borojević, S., Lakić-Globočki, G., Sredanović, B. OPTIMIZACIJA PROCESA PROIZVODNJE PRIMJENOM PROGRAMSKOG SISTEMA TECNOMATIX PLANT SIMULATION	2.8
Vasić, M., Čarapić, V., Radiša, R., Milićević, R., Kvrgić, V. UNAPREĐENJE RADNOG KOLA PELTONOVE TURBINE	2.16
Tanović, L., Puzović, R., Popović, M., Bojanić, P., Mladenović, S. PRIMENA CAD/CAM/CAE PROGRAMSKOG PAKETA PRI PROJEKTOVANJU I IZRADI ALATA ZA LIVENJE POD PRITISKOM DELOVA OD POLIMERA	2.22
Slavković, R., Milićević, I., Popović, M., Radiša, R. SIMULACIJA PROCESA LIVENJA KAO OSNOVA CAD/CAM PROJEKTOVANJA DINAMIČKI OPTEREĆENIH ODLIVAKA U MAŠINOGRADNJI.....	2.30
Trivković, S., Simonović, A., Živković, R., Stupar, S. NAPONSKO-DEFORMACIONA ANALIZA TEMPORO-MANDIBULARNOG ZGLOBA	2.36
Posteljnik, Z., Trivković, S., Petrašinović, N., Stanojević, M. PROJEKTOVANJE LOPATICE NAPREDNE VETROTURBINE PRIMENOM SAVREMENIH CAD SOFTVERA.....	2.41
Peković, O., Simonović, A., Stupar, S., Komarov, D. KONSTRUKTIVNO REŠENJE VRHA DIMNJAKA SA KOMPENZACIJOM TERMIČKIH DILATACIJA.....	2.46
Svorcan, J., Simonović, A., Stupar, S., Peković, O. ODREĐIVANJE KONSTRUKTIVNIH PARAMETARA UVODNIKA DIMNIH GASOVA ČELIČNIH DIMNJAKA.....	2.51
Bojanić, P., Mladenović, G. ANALIZA PROBLEMA PRI GENERISANJU PUTANJE ALATA PRI OBRADI SKULPTORSKIH POVRŠINA	2.57
Mladenović, G. ANALIZA STRATEGIJA OBRADNE KORIŠĆENJEM KOMERCIJALNIH CAD/CAM SOFTVERA	2.63
Kovljenić, B. ISTRAŽIVANJE MODELA ZA STANDARIZACIJU RAZMENE PODATAKA U DOMENU CAD/CAM-ERP INTEGRACIJE.....	2.69
Polić Radovanović, S., Srećković, M., Milosavljević, M. 3D LASERSKO SKENIRANJE, CAD/CAM i CNC TEHNOLOGIJE U ZAŠTITI KULTURNE BAŠTINE.....	2.74
Milosavljević, A., Polić Radovanović, S., Petronić, S. CAD/CAM TEHNOLOGIJE I PRIMENA SUPERLEGURA U SAVREMENOM DIZAJNU	2.80

Dr. Youri Petrakov¹

NEW METHOD OF 3-D SIMULATION FOR CAD/CAM SYSTEMS

Introduction

Efficiency of the use of modern machine-tool with CNC fully depends on software which is given the computer-integrated CAD/CAM systems. If machining of details stand shapes possible with the use of instructions and programs of producers of machine-tools with CNC, at a complex 3-D form there is not an alternative to the modern computer-integrated CAD/CAM systems. Such systems (*CATIA*, *Mastercam*, *Pro/Engineer*, *Cimatron*, *Delcam*) allow to design the programs of machining on multi axial machine-tools with CNC for the details of practically any shape [1].

However, the structure of such systems does not foresee automation of actions of technologist-programmer for the choice of the best strategy of machining, setting of the cutting mode, correction of shape-generating trajectory. Therefore, although modern systems and allow to realize machining of complex shapes, but does not utilize all of possibilities of modern machine-tool with CNC on a control all of the tools of process of cutting directly at machining of detail. Thus, there is considerable reserve on the increase of the productivity of machining of complex 3-D surfaces of details of machines on machine-tools with CNC, which presently is not utilized.

Tasks of researches

The computer-integrated CAD/CAM systems provide the process of preparation of the program control for machine-tools with CNC in accordance with an algorithm [2], presented on fig.1.

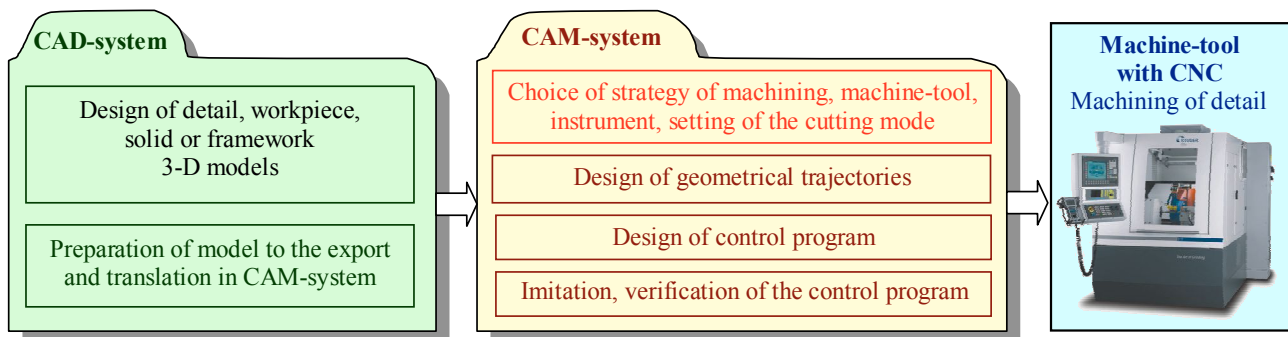


Fig.1. Structure of programming CNC with computer-integrated CAD/CAM system

The first stage of technological preparation is design of draft of detail, workpiece in form solid or framework model. If the file of model of detail is imported from other CAD-system, the special programs-translators are utilized, the mathematical vehicle of spline operations, automatic smooth interface of surfaces, is widely utilized. On the whole, the modern CAD-system create the file of model of detail, fully providing the necessities of the existent CAM-system for planning of trajectories of shaping.

On the second stage the CAM-system is connected, where the first operations are executed a technologist-programmer «by hand». From offered menu he chooses strategy of machining which must be related to the system of shape-generating co-ordinates of machine-tool and consists in the method (to cycle) of removal of allowance. Further, at the choice of instrument, it is offered to him to appoint the cutting mode, thus, as a rule, does not get possibility to change the cutting mode in one cycle. A geometrical kernel is then included

¹ **Dr. Youri Petrakov**, Professor, Department of Mechanical Engineering
National Technical University of Ukraine «Kiev Polytechnic Institute»
Tel. (044) 241-68-06; fax: (044) 454-95-29
E-mail: tm-mmii@kpi.ua, yp-86@yandex.ru

for planning of shape-generating trajectories, and on the chosen post-processor of machine-tool the program control is automatically generated in the proper codes.

The module of imitation and verification of the generated program develops in the modern CAM-systems. During an imitation a programmer can check up the trajectory of motion on absence of flagrant errors, presences of untitled places, removal of superfluous material etc [3].

The analysis of process of planning of the program control proved that the modern CAM-systems did not automate planning of major parameters of future process machining which are simply appointed a technologist coming from the experience. Therefore, extraordinarily actual is further development of computer-integrated CAD/CAM-systems for the removal of the noted failings.

In this direction on the department of mechanical engineering of NTUU «KPI» large experience the result of which is a principal change of structure of computer-integrated CAD/CAM-system is accumulated (fig.2).

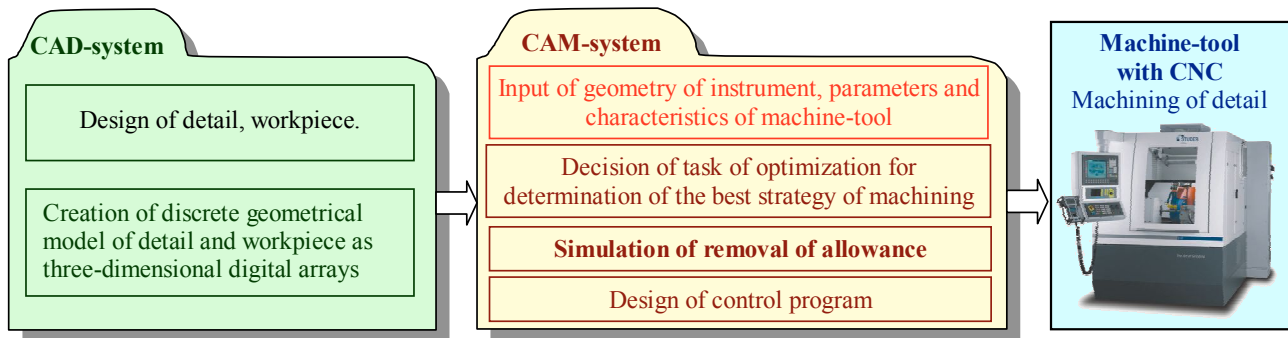


Fig.2. New structure of programming for CNC with computer-integrated CAD/CAM system

In the CAD-system there is transformation of geometrical forms, which the surface of detail consists, in digital arrays, expected with the chosen step taking into account the system of shaping of the proper machine-tool. Due to such presentation the universal models of detail and workpiece are created, that provides possibility of application of universal algorithms in the CAM-system.

In the CAM-system a technologist-programmer in the hand mode sets the geometrical parameters of instrument, necessary parameters and descriptions of machine-tool only. Further automatically the task of optimization for determination of optimum depth of cutting decides on draft passage-ways on the criterion of minimum time of machining. The calculation of optimum depth of cutting allows to define, by a preliminary design and simple comparison of results, optimum strategy of machining, namely, trajectory, providing minimum to time of all of transition in a technological operation.

The module of the CAM-system is further included, where the simulation of process of removal of allowance is automatically executed and on every step geometrical parameters, necessary for complete authentication of cutting mode in accordance with the type of machining, are determined is milling, turning, grinding etc. On got as a result of design information automatically the task of optimization decides and the preliminary file of the program control, which contains not only geometrical co-ordinates but also optimum mode of cutting – feed rate and cutting speed, is formed [4].

Thus, the basic module of new structure is the simulated module. The offered structure of computer-integrated CAD/CAM-systems well proved itself at preparation of control the program for contour machining of 2D surfaces. Therefore there was a task of adaptation of the developed algorithms of design of removal of allowance in a flat chart to treatment of 3-D surfaces of details.

Decision of task

In accordance with the schema of machining (fig.3), machining is executed an instrument 1 (by a milling cutter with a spherical tip) on lines, with the distance S_c between them and feed S_f of machining at motion along every line. In obedience to conception of functioning of the design module, on every step at motion along a line it is necessary to define the geometrical parameters of the removal of allowance. Such parameters are determined of the mutual location of surfaces of workpiece, which was machining at motion of instrument on a nearby line, surface of contact of instrument with a workpiece and initial surface of workpiece. Thus all of these surfaces have 3-D character, that complicates a task considerably.

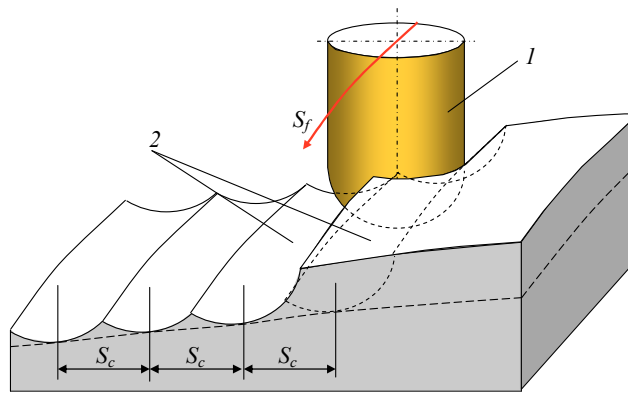


Fig.3. Schema of machining of complex 3-D surfaces

For the use of algorithms of decision of flat task appears expedient to apply a next reception, based on an analogy with *LOM-technologies*. Essence of such technologies, intended for making of 3-D models of complex details, consists of successive increase of flat skims, each of which has the contour. The by volume surface of model of detail is created as a result.

The spherical surface of milling cutter can be presented as an aggregate of the entered cylindrical milling cutters of different diameter $(D_f)_i$ and small thickness $(h_f)_i$ (fig.4, a), for which there are dependences of calculation of force of cutting and its components in the theory of cutting.

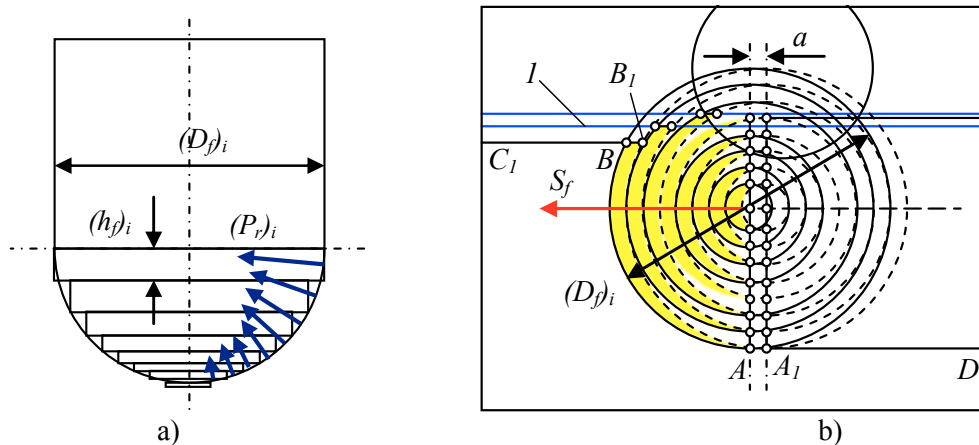


Fig.4. To the decision of 3-D task of geometrical crossing

Now necessary for authentication of power descriptions of process parameters cut away every milling cutter of layer of allowance it is possible to find, utilizing the algorithm of decision of flat task. For this purpose it is necessary to shape geometrical such problem specifications, which are fully determined the scopes of cylindrical milling cutters which replace a spherical instrumental surface. On fig.4, a two positions of such aggregate, proper two nearby steps of simulation, are shown, thus primary position is shown the dotted lines (a - is a distance of moving of milling cutter in the direction of feed of machining for one step of simulation).

It was thus succeeded to take the task of simulation of machining of 3D surface to two tasks of simulation of flat crossing of instrument and detail. For a cylindrical milling cutter, by the diameter $(D_f)_i$, the computational algorithm of decision of flat task is able to define the co-ordinates of points A and B . For such case contour of workpiece, which is utilized in a calculation, was determinate on the previous step of simulation and marked the line $C_1B_1A_1B_1$. For the next milling cutter of less diameter the contour of workpiece settles accounts like, except for the line C_1B_1 , which is substituted by a line 1. Position of line 1 set from the decision of task of crossing of plane, containing this milling cutter, with the surface of nearby ditch. Like, for every cylindrical milling cutter it is possible to expect the parameters of the cut away layer of allowance, necessary for the decision of power task.

After the calculation of the modules of vectors of cutting forces on every milling cutter it is necessary to set their orientation in space. Appears expedient to send them on normal to the initial spherical instrumental surface which was approximated. On fig.4, and the vectors $(P_r)_i$ of radial components of cutting force on every cylindrical milling cutter of the chosen aggregate are shown. Summarize these vectors, it is possible to get the resulting vector of radial component of cutting force for a spherical milling cutter.

It is expedient to conduct the simulation of flat crossing on a sequencing algorithm the outline chart of which is shown on fig.5. An algorithm is foreseen by presentation of geometrical appearances of shape-generating trajectory, initial instrumental surface and workpiece as discrete geometrical models as three-dimensional digital arrays which were preliminary formed in the CAD-system (look fig.2).

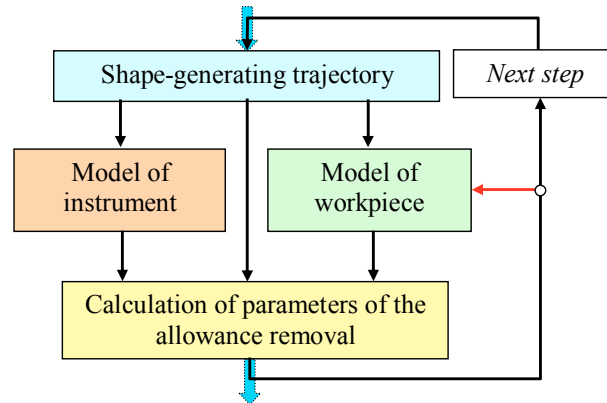


Fig.5. Algorithm of design of the geometrical 2-D crossing

An algorithm is made by part of general procedure of simulation of all of process of cutting and can correctly function only in the middle of this procedure, as on every step of simulation on the expected parameters cutting force, which, through reserve of process, causes resilient deformations, is calculated, that, in same queue, leads on a next step to the change a shape-generating trajectory. In addition, in algorithm on fig.5 the change of workpiece on the expected parameters of remote material is foreseen, and on the last passage-way, the surface of workpiece calculated in procedure presents the surface of the machined detail.

We will illustrate functioning of algorithm for the decision of flat task of contour 2-D machining an instrument with a cylindrical initial instrumental surface. On fig.6, a shown geometrical crossing of instrument 1 with a workpiece 2 at his motion on a shape-generating trajectory 3, and on fig.6, a is a flow-chart of algorithm of procedure of calculation of crossing of necessary points which determine the parameters of the cut away layer on every step of design.

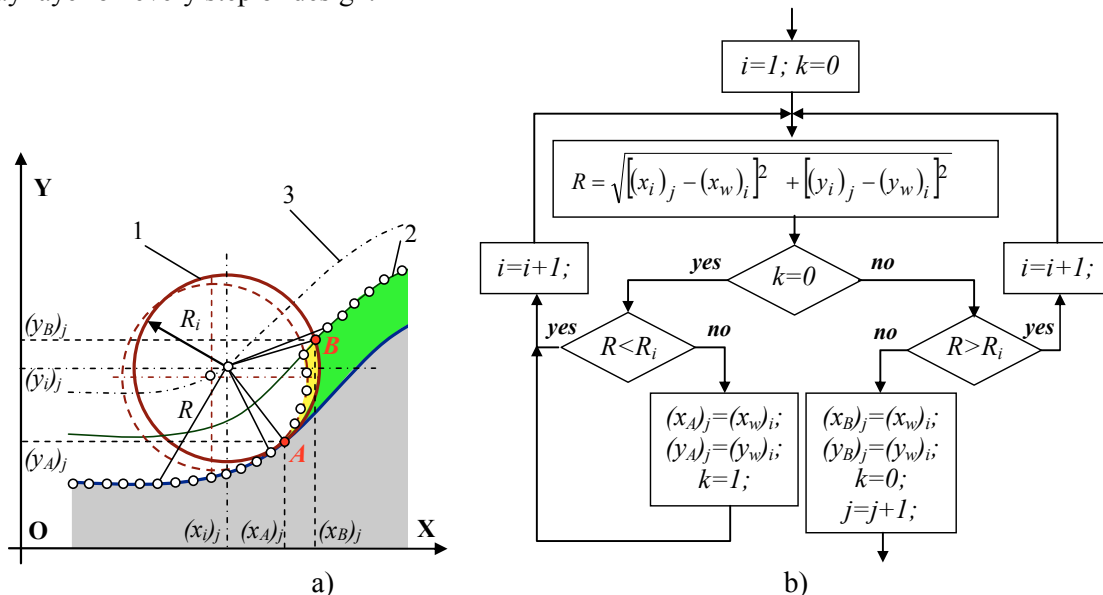


Fig.6. Schema (a) and algorithm (b) of geometrical crossing for a flat task

In accordance with the offered numeral method all of contour of purveyance appears a discrete geometrical model as arrays $[x_j]$ and $[y_j]$. For every step of simulation it is necessary to find the crossing of point A (beginning of line of contact of instrument with a workpiece) and points B are completion of line of contact (look fig.3, a). Taking into account permanent transformation of workpiece, its contour on every step of simulation appears a line, which consists of the machining contour, part of instrumental surface and contour of workpiece, machining on a previous passage-way.

On fig.6, a this contour is marked mugs which symbolize the discrete geometrical model of workpiece. On the calculated values of co-ordinates of points *A* and *B* it is possible to expect necessary for every type of machining parameters, i.e. fully to identify a cutting process.

It is suggested to conduct a calculation on an algorithm the flow-chart of which is presented on fig.6, a. Denotations in an algorithm and on fig.6, a coincide. In an algorithm the size *R* settles accounts on every step of design (*j* is a number of step), distance from the center of instrument consistently to every point of contour of workpiece. At $k=0$ comparing is executed to the radius R_i of instrument to satisfaction of condition of $R < R_i$. Implementation of the indicated condition automatically determines the co-ordinates of point *A*. For this $k=1$ and comparing to the radius of instrument is executed already to satisfaction the condition of $R > R_i$. Implementation of this condition automatically determines the co-ordinates of point *B*. Then, in general part of simulation (look fig.5) algorithm, found co-ordinates of points *A* and *B* is appropriated the new contour of workpiece.

For verification of the developed new method of 3-D design of geometrical crossing the application program the interface of which is presented on fig.7 was developed. An interface is shown in the process of simulation of process of milling of workpiece of rectangular shape (basic data: length 100mm, width 50mm), and a height in further calculations is determined coming from the set depth of cutting. For activating of the program to press button «To Apply basic data», and then button «Simulation». At pressure of the button «To Apply basic data» the discrete digital arrays of workpiece are formed with the step of 0,1mm, thus, in accordance with the accepted conception of *LOM-technologies*, such arrays settle accounts on the depth of milling (in this case 10mm) with the step of 1mm, i.e. the framework model of purveyance is created. Thus, in the process of simulation of geometrical crossing all of procedures are executed with the three-dimensional array of data measuring ($10 \times 500 \times 1000$).

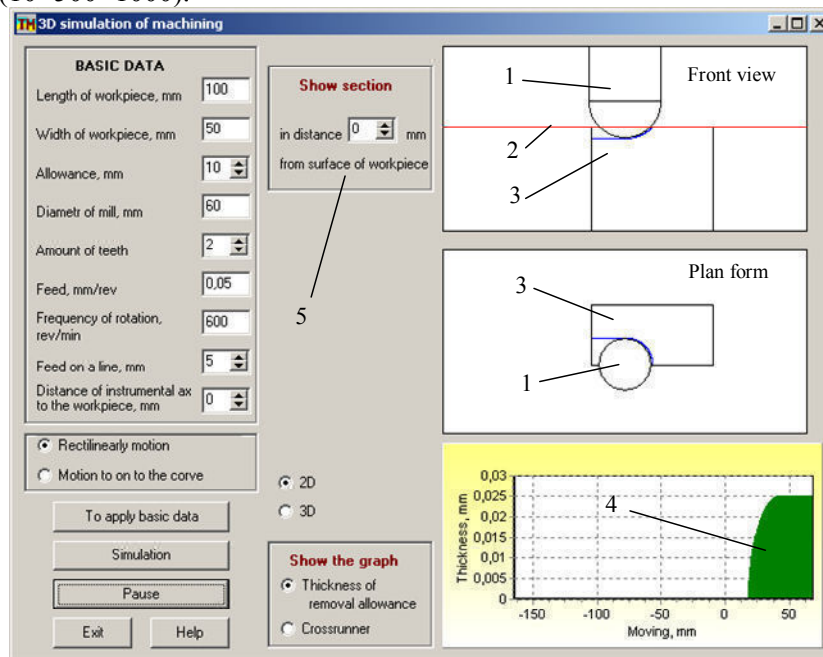


Fig.7. Interface of the program of 3-D simulation

At a simulation on every step, by turns of the same type procedures of determination of intersections instrument and purveyance in every layer of allowance (through 1mm on the depth of cutting) are executed on a plan form, front view and from one side (look the field of graphic animation on fig.7). An end-view on the field of graphic animation is not shown out. After determination of such points all of arrays of framework model of workpiece are counted on algorithms which were offered for the decision of flat task. Simulated results hatch in the windows of graphic image, where animation of process of design of crossing of milling cutter is 1 with a workpiece 2.

At the same time, a total thickness settles accounts the special procedure cut away one tooth of layer of allowance, and a result hatches on the special screen of interface 4. On the whole in the program all of functions are foreseen for the calculation of vector of cutting force both on the module and to direction, and consequently, such procedure can be utilized for building in the proper module of computer-integrated CAD/CAM-systems.

The application program enables to look after crossing of instrument and workpiece in any section on the depth of cutting. A control is carried out from the field 5 interface, and line 3 designates a section which

a graphic image and animation is on (look fig.7). On fig.8 three types of graphic window are presented at the image of the proper sections on the depth of cutting, that confirms the utilized conception, similar to *LOM-technologies* evidently.

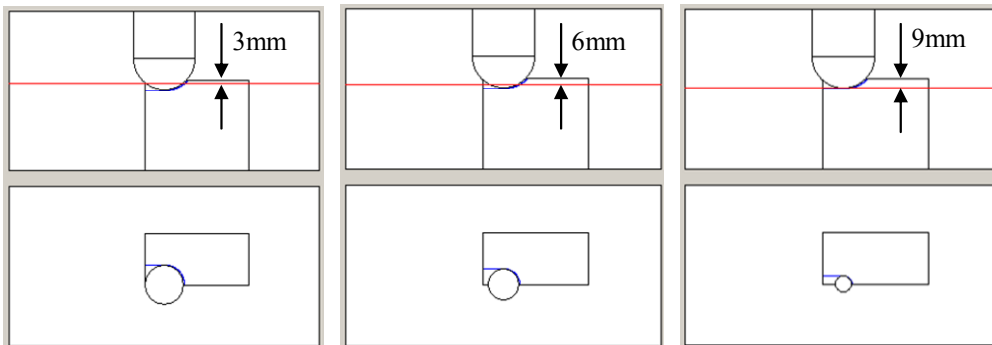


Fig.8. Crossing of instrument and workpiece on the depth of cutting

The results of functioning of procedures of simulation of geometrical crossing fully suffice for the construction of 3-D image of process. For this purpose it is necessary to activate a function «3-D» on an interface. Consisting of interface changes of graphic window (fig.9).

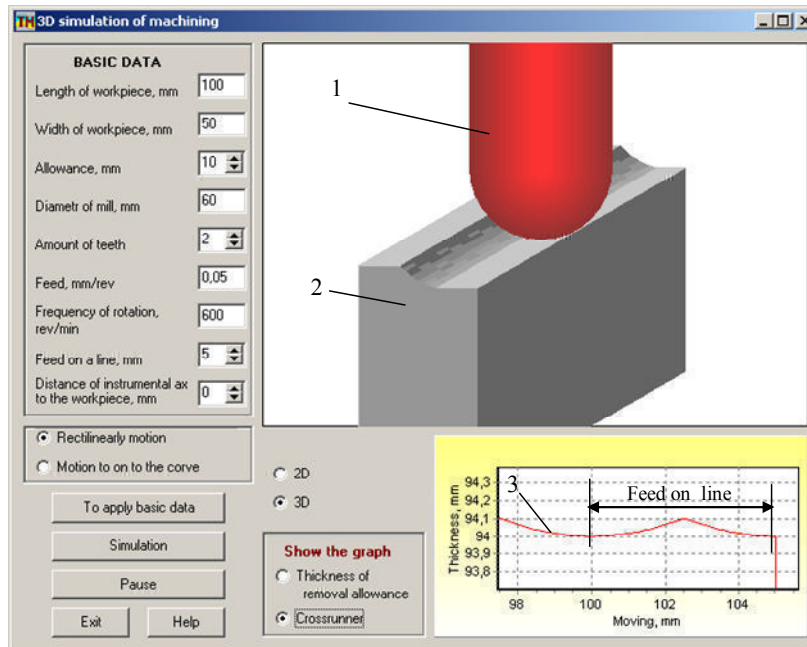


Fig.9. State of interface at the simulation of 3-D image

In a graphic window the initial instrumental surface of milling cutter appears 1 and animation of motion of workpiece is executed 2 with the simultaneous change of shape, proper the delete of part of allowance, which is determined at functioning of the design program. On fig.9 the second passage-way on the lines of milling (feed on the line of 5mm) and program is shown enables in a megascopic scale to present the graphic image of section of workpiece – forms of scallop which appeared after cutting (line 3 on fig.9).

All of the presented results are got at relative motion of instrument and workpiece to on to the line. For verification of universality that to reliability of the developed method and algorithms a function was foreseen «Motion to the corve», which causes the relative moving of instrument and purveyance on a harmonic law in a horizontal plane. The program showed possibility of 3-D design and in this case. In a graphic window (fig.10) milling cutter 1 co-operates with a workpiece 2 and forms a surface which has a curvilinear section with the overhead plane of workpiece (line 3). Thus character of change of thickness cut away one tooth of milling cutter of layer of allowance changes also.

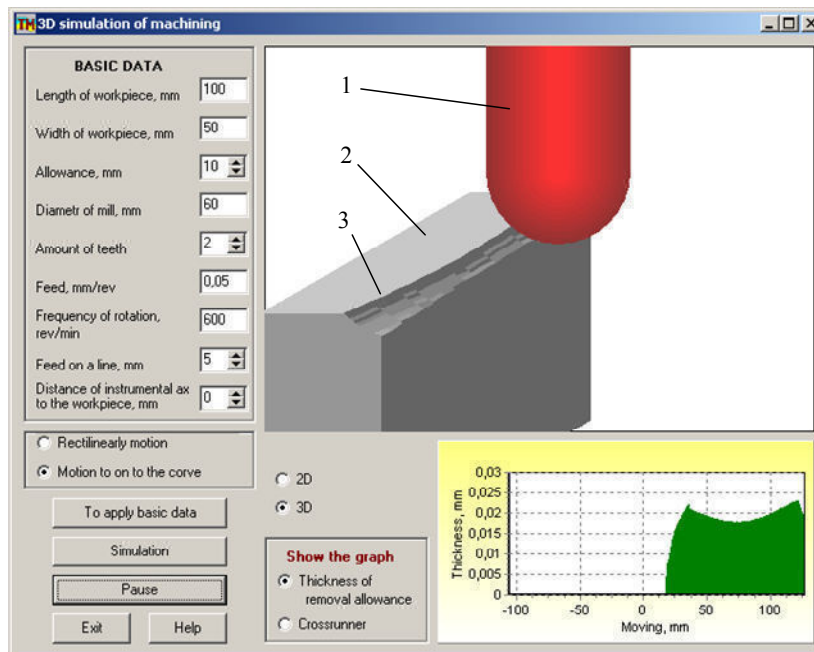


Fig.10. Simulation at curvilinear motion of milling cutter and workpiece

Applied program tests showed its high fast-acting, although there is the largenesses enough of arrays (5 million values) with which executed an operation for one step of design. So, one step of simulation with implementation of all of the foreseen procedures on a computer Celeron CPU 2,13 GHz is occupied by a no more than 10 ms.

Analyzing and comparing methods and algorithms of decision of task of design of geometrical crossing, an author realizes that, if the method of decision of flat task boldly can be recommended for practical application, the offered method of decision of 3-D task is determined by possible direction with the use of framework models and design conception, similar to *LOM-technologies*.

Conclusions

1. Possibility of determination of geometrical parameters of 3D of allowance removal is well-proven on a new method, to consisting of substituting of one spatial task of crossing of two bodies by two flat tasks.
2. Geometrical parameters of the allowance removal, which settle accounts on every step of design it is expedient to utilize for a calculation forces of cutting during approximation of initial instrumental surface of spherical milling cutter by the aggregate of the cylindrical entered milling cutters.
3. The developed application program can be utilized as a module of the CAM-systems, which, in accordance with the offered new structure, is able automatically to design the optimum mode of cutting in the program control for a machine-tool with CNC taking into account the variable terms of machining of 3D surfaces of details.

References

1. Zainal R. Mahayuddin, Che Hassan Che Haron, Rosilah Hassan Flank Wear Simulation of a Virtual End Milling Process / European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.24 No.1 (2008), pp.148-156
2. Balic J. Sntelligent CAD/CAM systems for CNC programming – an overview / Advances in Production Engineering & Managmnt ISSN 1854-6250 1(2006) 1, pp.13-22.
3. Robert B. Jererd, Barry K. Fussell, Mustafa T. Ercan Manufacturing & Industrial Innovation Research Conference, Florida, 2001.
4. Петраков Ю.В. Розвиток САМ-систем аавтоматизованого програмування верстатів з ЧПУ / Монографія. Вид. «Січка», Київ, 2011.-222с.

Abstract

New method of 3D simulation for machining of complex surface is presented. Method is based on decision of the task of determination of removal parameters allowance, when a 3D task is replaced on two 2D tasks. A numerical method is developed in the new structure of the computer-integrated CAD/CAM systems. The application program of 3D design, which can be used for programming of machine-tools with CNC, is created.



Vid Jovišević¹, Stevo Borojević², Gordana Globočki-Lakić³, Branislav Sredanović⁴

OPTIMIZACIJA PROCESA PROIZVODNJE PRIMJENOM PROGRAMSKOG SISTEMA TECNOMATIX PLANT SIMULATION

Rezime: U ovom radu predstavljena je metodologija optimizacije procesa proizvodnje na bazi višestruke simulacije modela tipskih i grupnih tehnoloških procesa. Metodologija optimizacije se bazira na uvođenju međuskладиšta promjenjivog kapaciteta u prethodno razvijene simulacione modele tehnoloških procesa. Proces optimizacije na bazi simulacije procesa proizvodnje izvršen je modeliranjem i simulacijom tipskog tehnološkog procesa i grupne operacije struganjem, kao i primjenom alata Experimental Manager u okviru programskog sistema Tecnomatix Plant Simulation. Kao rezultat optimizacije određen je maksimalni kapacitet proizvodnje i optimalna veličina međuskладиšta, pri odgovarajućim ulaznim podacima, datim ciljevima i ograničenjima.

Ključne riječi: optimizacija, simulacija, međuskладиšte, tecnomatix plant simulation,

1. UVOD

U ovom radu je prikazana optimizacija procesa proizvodnje na prethodno razvijenim modelima za simulaciju tipskih i grupnih tehnoloških procesa primjenom programskog sistema Tecnomatix Plant Simulation. Optimizacija procesa proizvodnje omogućava povećanje efektivnosti proizvodnih sistema izborom optimalne veličine međuskладиšta za date proizvodne uslove, uz prethodno definisane ciljeve i ograničenja u procesu optimizacije. Proces optimizacije je izvršen na bazi višestrukog broja ponavljanja eksperimenata sa prethodno razvijenim modelima za simulaciju primjenom alata Experimental Manager u okviru programskog sistema Tecnomatix Plant Simulation.

Cilj optimizacije proizvodnih procesa primjenom modela za simulaciju je postizanje rezultata koji mogu biti implementirani u realnim uslovima. Pored toga, u okviru simulacije se definiše priprema, izvođenje i evaluacija pažljivo usmerenih eksperimenata u sklopu razvijenih modela za simulaciju tehnoloških procesa, čiji ulazni podaci moraju odgovarati realnim proizvodnim uslovima i ograničenjima.

Optimizacija proizvodnih struktura primjenom modela za simulaciju tehnoloških procesa se vrši primjenom sljedećih koraka:

- Procjena i sakupljanje podataka, iz realnih proizvodnih procesa, koji su neophodni za projektovanje modela za simulaciju;
- Određivanje cilja i ograničenja optimizacije modela za simulaciju i formiranje modela za simulaciju tehnoloških procesa u skladu sa definisanim ciljevima;
- Pokretanje eksperimenata za izvođenje optimizacije modela za simulaciju tehnoloških procesa, koji generišu rezultate, kao što su: nivo neuravnoteženosti toka materijala, broj obrađenih radnih predmeta, proizvodna vremena obrade, iskorišćenje mašina;
- Interpretacija podataka optimizacije modela za simulaciju;

2. OPTIMIZACIJA PROCESA PROIZVODNJE

Optimizacija procesa proizvodnje predstavlja proces iznalaženja optimalnih posmatranih veličina za unaprijed definisane ulazne podatke. Da bi se izvršio proces optimizacije, uz poznavanje ulaznih veličina, neophodno je definisati kriterijum (funkciju cilja) i ograničenja procesa optimizacije. Funkcije cilja su definisani obrasci koji predstavljaju ciljeve procesa optimizacije u okviru projektovanog modela, dok

¹ Prof.dr Vid Jovišević, Banja Luka, Mašinski fakultet, +387 51 468-320 vid.jovisevic@blic.net

² Mr Stevo Borojević, Banja Luka, Mašinski fakultet, +387 51 468-320 stevoborojevic@hotmail.com

³ Prof.dr Gordana Globočki - Lakić, Banja Luka, Mašinski fakultet, +387 51 468-320 gnm@blic.net

⁴ Branislav Sredanović, Banja Luka, Mašinski fakultet, +387 51 468-320 sredanovic@gmail.com

ograničenja u matematičkom smislu predstavljaju granice u kojima se posmatrani problem (optimizacioni model) posmatra.

U okviru ovog rada, funkcija cilja (1) predstavlja maksimalni broj obrađenih radnih predmeta u posmatranom procesu proizvodnje, koji je predstavljan sa adekvatnim modelima za simulaciju.

$$(\max) Z_0 = \sum_{j=1}^n x_j \quad (1)$$

Ograničenja u okviru posmatranog modela procesa proizvodnje, za koji je izvršen proces optimizacije, su:

- posmatrani period optimizacije procesa proizvodnje (2):

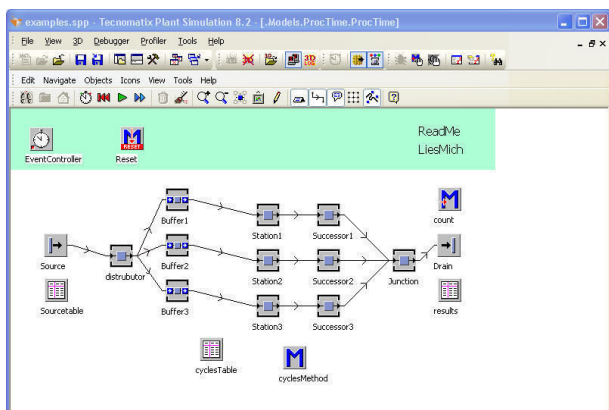
$$\sum_{j=1}^n t_j \cdot x_j \leq K_\epsilon \quad (2)$$

gdje je:

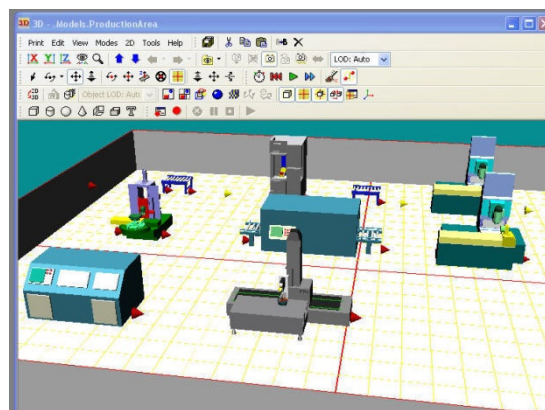
- x_j - broj posmatranih radnih predmeta;
- t_j - vrijeme izrade posmatranog radnog predmeta na j-tom tehnološkom sistemu;
- Z_0 - funkcija cilja;
- K_ϵ - efektivni kapacitet (usvojeno 960 min ili 2 radne smjene)
- proces optimizacije se izvodi na pojedinačnim radnim mjestima odnosno korišćenjem jednog tehnološkog sistema po radnom mjestu;
- proces optimizacije je izvršen za proces proizvodnje koji se odvija prema prethodno projektovanom grupnom i tipskom tehnološkom procesu za izabranu tehnološku grupu radnih predmeta;
- maksimalni kapacitet međuskladišta je 5 radnih predmeta;

3. MODELIRANJE I SIMULACIJA PROCESA PROIZVODNJE

Tecnomatix Plant Simulation predstavlja programski sistem, koji je namjenjen za modeliranje, simulaciju i optimizaciju procesa proizvodnje. Optimizacija procesa proizvodnje pomoću ovog programskog sistema vrši se na osnovu vremenski orjentisane simulacije i događajno orjentisane simulacije. Vremenski orjentisana simulacija uzima u obzir veliki opseg različitih vrsta proizvodnih vremena, dok događajno orjentisana simulacija uzima u obzir samo one tačke u vremenu na koje događaji imaju uticaj u sklopu modela za simulaciju. U okviru ovog rada korišćena je vremenski orjentisana simulacija.



Slika 1. Modeliranje tehnoloških procesa u 2D okruženju [4].



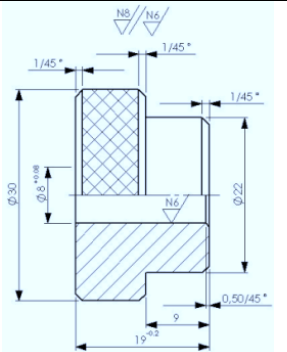
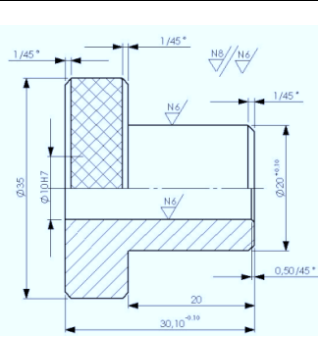
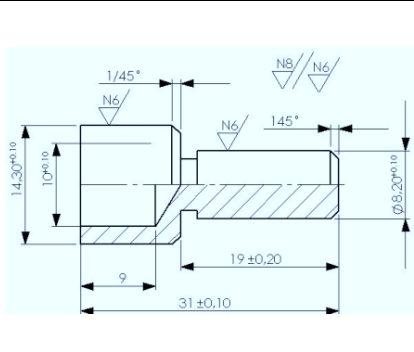
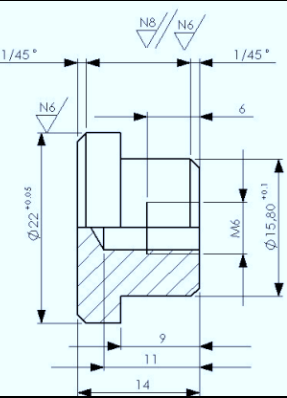
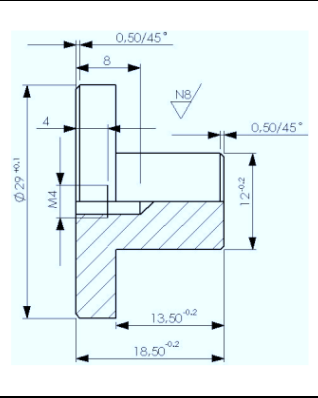
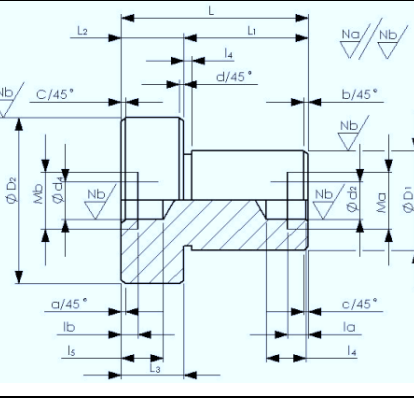
Slika 2. Modeliranje tehnoloških procesa u 3D okruženju

Modeliranje tehnoloških procesa, odnosno stvaranje modela za simulaciju realnih proizvodnih procesa primjenom programskog sistema Tecnomatix Plant Simulation je moguće izvršiti u 2D i 3D okruženju. Modeliranje u 2D okruženju (slika 1), primjenjuje se za kompleksnije zahtjeve simulacije i optimizacije. Odnosi se prvenstveno na vremensko uravnoteženje tehnoloških/proizvodnih procesa, odnosno analizu procesa proizvodnje sa stanovišta vremena (vremena izrade, pomoćna i dodatna vremena, pripremno-završna vremena, ciklusa proizvodnje i uravnoteženja).

Modeliranje u 3D okruženju (slika 2), koristi se za praćenje rasporeda tehnoloških sistema i uređaja, koje je neophodno prostorno rasporediti u odgovarajući proizvodni sistem. U ovom radu modeli za simulaciju su razvijeni u 2D okruženju, koje nudi jednostavniji interfejs i veće mogućnosti izvođenja procesa optimizacije u odnosu na 3D okruženje.

4. PRIKAZ MODELA ZA SIMULACIJU PROCESA PROIZVODNJE

Model za simulaciju procesa proizvodnje primjenom tipske i grupne tehnologije, razvijen je za tehnološku grupu radnih predmeta (slika 3). Karakteristika ove grupe radnih predmeta je velika geometrijska sličnost i mogućnost obrade na istim obradnim sistemima.

Oznaka	33.08.040	Oznaka	33.05.020	Oznaka	33.12.012
					
Klas.br.	100.5500.2	Klas.br.	102.5500.2	Klas.br.	102.1100.2
Oznaka	33.08.046	Oznaka	33.25.025	Kompleksni dio	
					
Klas.br.	100.5700.2	Klas.br.	102.5700.2	Klas.br.	102.5700.2

Slika 3. Tehnološka grupa radnih predmeta

Za prikazanu tehnološku grupu radnih predmeta razvijeni su modeli za simulaciju i to:

- tipskog tehnološkog procesa obrade bez međuskладиšta (slika 4),
- tipskog tehnološkog procesa obrade sa međuskладиšima (slika 5) i
- grupnog tehnološkog procesa za operaciju obrade struganjem (slika 6).

Projektovanje tipskog tehnološkog procesa sa i bez međuskладиšta izvršeno je zbog praćenja rezultata procesa optimizacije, koji su direktno zavisni od međuskладиšta i njihovih kapaciteta. Razvoj modela simulacije grupne operacije struganjem, kao zasebne cjeline izvršeno je zbog dominantnog značaja ove operacije u tipskom tehnološkom procesu sa stanovišta koncentracije i broja zahvata. Ova operacije ima i najveće izmjene u toku realizacije obrade grupe radnih predmeta, za koju je izvršeno projektovanje tipskog tehnološkog procesa.

- U procesu proizvodnje, kao nedovršena proizvodnja, identifikovana su 2 radna predmeta;
- Usko grlo procesa proizvodnje je identifikovano na operaciji struganjem;
- Identifikovano je iskorišćenje obradnih sistema (slika 13);
- Određene su godišnje količine radnih predmeta koje je moguće proizvesti (slika 8);
- Identifikovane su godišnje potrebe rada na operacijama (slika 9);

	string 0	integer 1	table 2
string	TipDela	Kolicina	Vremena
1	DioA	111	table21
2	DioB	101	table22
3	DioC	121	table23
4	DioD	101	table24
5	DioE	111	table25
6			

Slika 7. Količine proizvedenih radnih predmeta u posmatranom ciklusu proizvodnje/optimizacije

	string 0	integer 1	integer 2
string	Broj Komada	Godisnja kolicina delova	Godisnja kolicina serija
90	.MUs.Enbity:90	22500	750
91	.MUs.Enbity:91	22750	758
92	.MUs.Enbity:92	23000	767
93	.MUs.Enbity:93	23250	775
94	.MUs.Enbity:94	23500	783
95	.MUs.Enbity:95	23750	792
96	.MUs.Enbity:96	24000	800
97	.MUs.Enbity:97	24250	808
98	.MUs.Enbity:98	24500	817
99	.MUs.Enbity:99	24750	825
100	.MUs.Enbity:100	25000	833
101	.MUs.Enbity:101	25250	842

Slika 8. Količine proizvedenih radnih predmeta u toku jedne godine

	string 0	time 1	time 2	time 3	time 4	time 5	time 6
string	Broj komada	Ukupna kolicina rada STRUGANJE	Ukupna kolicina rada BRUSENJE	Ukupna kolicina rada GRAVIRANJE	Ukupna kolicina rada KONTROLA	Ukupna kolicina rada ZAULJIVANJE	Ukupna kolicina rada PAKOVANJE
90	.MUs.Enbity:90	116:07:56:40.0000	12:02:41:40.0000	60:13:28:20.0000	20:20:00:00.0000	31:06:00:00.0000	13:00:30:00.0000
91	.MUs.Enbity:91	117:14:17:30.0000	12:05:53:20.0000	61:05:26:40.0000	21:01:33:20.0000	31:14:20:00.0000	13:03:58:20.0000
92	.MUs.Enbity:92	118:20:38:20.0000	12:09:05:00.0000	61:21:25:00.0000	21:07:06:40.0000	31:22:40:00.0000	13:07:26:40.0000
93	.MUs.Enbity:93	120:02:59:10.0000	12:12:16:40.0000	62:13:23:20.0000	21:12:40:00.0000	32:07:00:00.0000	13:10:55:00.0000
94	.MUs.Enbity:94	120:02:59:10.0000	12:12:16:40.0000	62:13:23:20.0000	21:18:13:20.0000	32:15:20:00.0000	13:14:23:20.0000
95	.MUs.Enbity:95	122:15:40:50.0000	12:18:40:00.0000	63:21:20:00.0000	21:23:46:40.0000	32:23:40:00.0000	13:17:51:40.0000
96	.MUs.Enbity:96	123:22:01:40.0000	12:21:51:40.0000	63:21:20:00.0000	22:05:20:00.0000	33:08:00:00.0000	13:21:20:00.0000
97	.MUs.Enbity:97	125:04:22:30.0000	13:01:03:20.0000	64:13:18:20.0000	22:10:53:20.0000	33:16:20:00.0000	14:00:48:20.0000
98	.MUs.Enbity:98	125:04:22:30.0000	13:01:03:20.0000	65:05:16:40.0000	22:16:26:40.0000	34:00:40:00.0000	14:04:16:40.0000
99	.MUs.Enbity:99	127:17:04:10.0000	13:07:26:40.0000	65:21:15:00.0000	22:22:00:00.0000	34:09:00:00.0000	14:07:45:00.0000
100	.MUs.Enbity:100	128:23:25:00.0000	13:10:38:20.0000	67:05:11:40.0000	23:03:33:20.0000	34:17:20:00.0000	14:11:13:20.0000
101	.MUs.Enbity:101	130:05:45:50.0000	13:13:50:00.0000	67:21:10:00.0000	23:09:06:40.0000	35:01:40:00.0000	14:14:41:40.0000

Slika 9. Godišnje potrebe rada za posmatrane operacije izrade radnog predmeta oznake 33.08.046

5.2 Rezultati modela za simulaciju sa međuskladištima u procesu proizvodnje

Uvođenjem međuskladišta u modele za simulaciju odnosno u model tipskog tehnološkog procesa i pokretanjem simulacije ostvareni se slijedeći rezultati:

- U toku posmatranog ciklusa optimizacije u trajanju od 16 časova proizvedeni su radni predmeti u količinama prikazanim na slici 10;
- U procesu proizvodnje, kao nedovršena proizvodnja, identifikovana su 2 radna predmeta;
- Usko grlo procesa proizvodnje je identifikovano na operaciji struganjem;
- Identifikovano je iskorišćenje obradnih sistema (slika 13);
- Određene su godišnje količine radnih predmeta koje je moguće proizvesti (slika 11);
- Identifikovane su godišnje potrebe rada na operacijama (slika 12);

	string 0	integer 1	table 2
string	TipDela	Kolicina	Vremena
1	DioA	112	table21
2	DioB	106	table22
3	DioC	128	table23
4	DioD	105	table24
5	DioE	111	table25
6			

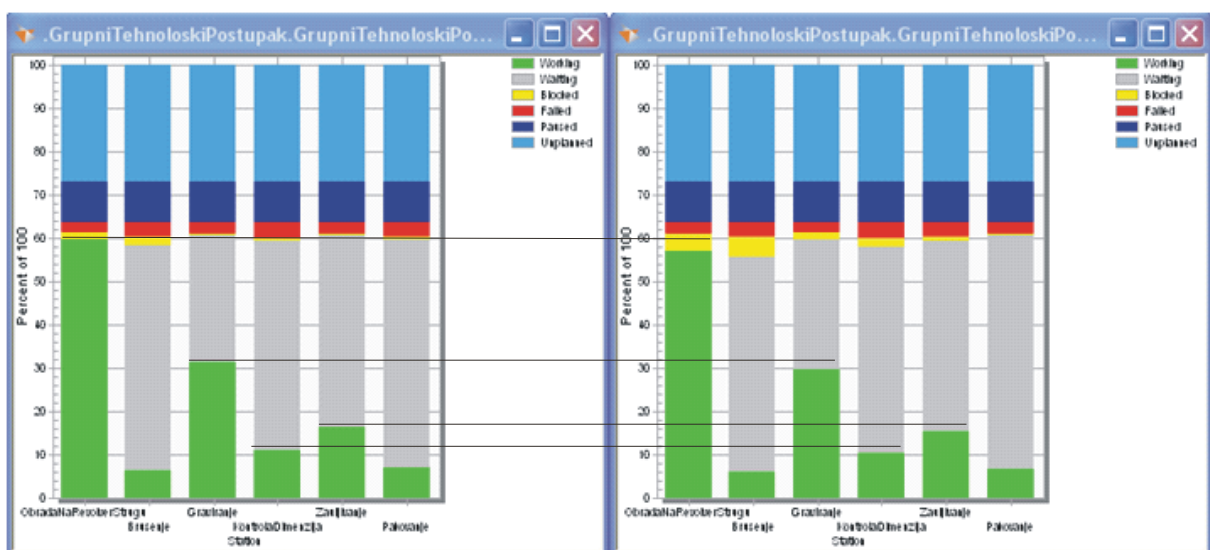
Slika 10. Broj proizvedenih radnih predmeta u posmatranom ciklusu proizvodnje/optimizacije

	string 0	integer 1	integer 2
string	Broj Komada	Godisnja kolicina delova	Godisnja kolicina serija
101	.MUs.Entity:101	25250	842
102	.MUs.Entity:102	25500	850
103	.MUs.Entity:103	25750	858
104	.MUs.Entity:104	26000	867
105	.MUs.Entity:105	26250	875
106			

Slika 11. Broj proizvedenih radnih predmeta u toku jedne godine

	string 0	time 1	time 2	time 3	time 4	time 5	time 6
string	Broj komada	Ukupna kolicina rada STRUGANJE	Ukupna kolicina rada BRUSENJE	Ukupna kolicina rada GRAVIRANJE	Ukupna kolicina rada KONTROLA	Ukupna kolicina rada ZAULJIVANJE	Ukupna kolicina rada PAKOVANJE
95	.MUs.Entity:95	123:22:01:40.0000	12:18:40:00.0000	63:21:20:00.0000	21:23:46:40.0000	32:23:40:00.0000	13:17:51:40.0000
96	.MUs.Entity:96	125:04:22:30.0000	12:21:51:40.0000	64:13:18:20.0000	22:05:20:00.0000	33:08:00:00.0000	13:21:20:00.0000
97	.MUs.Entity:97	125:04:22:30.0000	13:01:03:20.0000	65:05:16:40.0000	22:10:53:20.0000	33:16:20:00.0000	14:00:48:20.0000
98	.MUs.Entity:98	127:17:04:10.0000	13:04:15:00.0000	65:21:15:00.0000	22:22:00:00.0000	34:00:40:00.0000	14:04:16:40.0000
99	.MUs.Entity:99	128:23:25:00.0000	13:07:26:40.0000	66:13:13:20.0000	22:22:00:00.0000	34:09:00:00.0000	14:07:45:00.0000
100	.MUs.Entity:100	130:05:45:50.0000	13:13:50:00.0000	67:05:11:40.0000	23:09:06:40.0000	34:17:20:00.0000	14:11:13:20.0000
101	.MUs.Entity:101	130:05:45:50.0000	13:13:50:00.0000	67:21:10:00.0000	23:09:06:40.0000	35:01:40:00.0000	14:14:41:40.0000
102	.MUs.Entity:102	132:18:27:30.0000	13:20:13:20.0000	68:13:08:20.0000	23:14:40:00.0000	35:10:00:00.0000	14:18:10:00.0000
103	.MUs.Entity:103	134:00:48:20.0000	13:23:25:00.0000	69:05:06:40.0000	24:01:46:40.0000	35:18:20:00.0000	14:21:38:20.0000
104	.MUs.Entity:104	134:00:48:20.0000	13:23:25:00.0000	69:21:05:00.0000	24:07:20:00.0000	36:02:40:00.0000	15:01:06:40.0000
105	.MUs.Entity:105	135:07:09:10.0000	14:02:36:40.0000	70:13:03:20.0000	24:07:20:00.0000	36:11:00:00.0000	15:04:35:00.0000

Slika 12. Godišnje potrebe rada za posmatrane operacije izrade radnog predmeta oznake 33.08.046



a) sa međuskladištima b) bez međuskladišta

Slika 13. Dijagram iskorišćenja obradnih sistema

Optimizacija kapaciteta međuskладишта je izvršena primjenom alata Experimental Manager u okviru razvijenog simulacionog modela proizvodne strukture za proizvodnju tehnološke grupe radnih predmeta. Međuskладишта su integrisana u model tipskog tehnološkog procesa. Integrisano je 6 međuskладишта sa usvojenim kapacitetom od 5 radnih predmeta po međuskладиštu.

Experimental Manager je alat u okviru programskog sistema Tecnomatix Plant Simulation koji se bazira na izvođenju velikog broja eksperimenata na bazi svih mogućih kombinacija postavljenih ulaznih veličina. Izvođenje procesa optimizacije je izvršeno sa 4096 mogućih kombinacija kapaciteta pojedinih međuskладишта sa brojem ponavljanja 3 svakog od eksperimenata. Nivo povjerenja u okviru procesa optimizacije odnosno izvođenja eksperimenata iznosio je 90%.

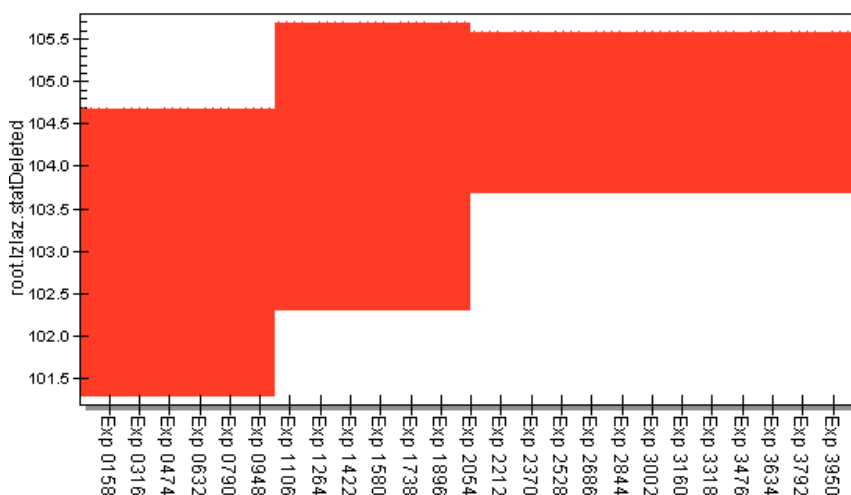
Rezultati ostvareni izvođenjem optimizacije kapaciteta međuskладишта sa maksimalnim kapacitetom procesa proizvodnje u količini od 105 radnog predmeta (oznake 33.08.046), u okviru projektovane proizvodne strukture su (slika 14):

- Kapacitet međuskладишта 1 je 2 radna predmeta;
- Kapacitet međuskладишта 2 je 1 radni predmet;
- Kapacitet međuskладишта 3 je 1 radni predmet;
- Kapacitet međuskладишта 4 je 1 radni predmet;
- Kapacitet međuskладишта 5 je 1 radni predmet;
- Kapacitet međuskладишта 6 je 1 radni predmet;

Exp 1020	1	4	4	4	3	4
Exp 1021	1	4	4	4	4	1
Exp 1022	1	4	4	4	4	2
Exp 1023	1	4	4	4	4	3
Exp 1024	1	4	4	4	4	4
Exp 1025	2	1	1	1	1	1
Exp 1026	2	1	1	1	1	2
Exp 1027	2	1	1	1	1	3
Exp 1028	2	1	1	1	1	4
Exp 1029	2	1	1	1	2	1

Slika 14. Segment rezultata optimizacije kapaciteta postavljenih međuskладишта

Ulazne vrijednosti kapaciteta međuskладишта su pretpostavljene u količini od 5 radnih predmeta, a nakon izvođenja procesa optimizacije, može se uočiti da su kapaciteti međuskладишта predimenzionisani i da ih treba uspostaviti u saglasnosti sa rezultatima procesa optimizacije.



Slika 15. Zavisnost količine proizvedenih radnih predmeta od kapaciteta međuskладишта

Zavisnost količine proizvedenih radnih predmeta od kapaciteta međuskладишта u toku izvođenja procesa optimizacije, kao još jedan od generisanih rezultata, prikazan je na slici 15. Količina proizvedenih radnih predmeta se kreće od 101 do 105 radnih predmeta za posmatrani ciklus optimizacije od dvije smijene (16 časova).

6. ZAKLJUČAK

Optimizacija procesa proizvodnje je izvršena primjenom razvijenih modela za simulaciju i projektovanih tipskih i grupnih tehnoloških procesa. Rezultati optimizacije prikazani su kao:

- rezultati modela za simulaciju bez međuskладиšta u procesu proizvodnje;
- rezultati modela za simulaciju sa međuskладиštima u procesu proizvodnje;

Optimizacija procesa proizvodnje izvršena je primjenom Experimental Manager u okviru programskog sistema Tecnomatix Plant Simulation, koji se bazira na izvođenju velikog broja eksperimenata na bazi svih mogućih kombinacija postavljenih ulaznih veličina. U procesu optimizacije izvršeno je 4096 mogućih kombinacija kapaciteta pojedinih međuskладиšta sa brojem ponavljanja 3 svakog od eksperimenata i sa nivoom povjerenja u okviru procesa izvođenja eksperimenata od 90%.

U konkretnom slučaju, razvijeni model za simulaciju procesa proizvodnje tehnološke grupe radnih predmeta, pruža mogućnost:

- Sagledavanja neophodnih vremenskih potreba;
- Maksimalno mogućih količina radnih predmeta koje je moguće proizvesti;
- Iskorišćenja obradnih sistema;
- Iskorišćenja kapaciteta međuskладиšta za bilo koju količinu i vrstu radnih predmeta, koji prema klasifikaciji pripadaju posmatranoj tehnološkoj grupi;

7. LITERATURA

- [1] Jovišević V. : Projektovanje tehnoloških procesa, Mašinski fakultet, Banja Luka, 2005.
- [2] Todić V.: Projektovanje tehnoloških procesa, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2004.
- [3] Zelenović D.: Projektovanje proizvodnih sistema, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2003.
- [4] Babić R. B.: Projektovanje tehnoloških procesa, Mašinski fakultet Beograd, 2004.
- [5] Globočki-Lakić G.; Obrada metala rezanjem-teorija, modeliranje i simulacija, Mašinski fakultet, Banja Luka, 2010.
- [6] UGS Corporation -Tecnomatix Plant Simulation 8.2., Plano, TX, USA

OPTIMIZATION OF PRODUCTION PROCESS WITH APPLICATION OF PROGRAM SYSTEM TECNOMATIX PLANT SIMULATION

Abstract: *In this paper it was proposed a methodology for optimizing the production process based on multiple simulations of models for typical and group technological processes. Optimization methodology is based on the buffer introduction with variable capacity in previously developed simulation models of technological processes. Optimization process based on simulation of the production process is done by modeling and simulation of typical technological processes and group operation of turning, as also with using software tool Experimental Manager in the program system Tecnomatix Plant Simulation. As a result of optimization it was determined a maximum production capacity and the optimal buffer capacity, with appropriate input data, objectives and constraints.*

Key words: *optimization, simulation, buffers, Tecnomatix Plant Simulation*



M. Vasić, V. Čarapić, R. Radiša, R. Milićević, V. Kvrgić¹⁾

UNAPREĐENJE RADNOG KOLA PELTONOVE TURBINE

Rezime:

Unapređenje postojećih radnih kola turbina pokazuje znatne prednosti. Na taj način se povećava stepen iskorišćenja hidroelektrana uz minimalne troškove jer su izbegnuti skupi građevinski radovi. Uslovi eksploatacije i ponašanje postojećih turbina su poznati. Modelska ispitivanja u ovim slučajevima nije potrebno sproviđi, jer se kao osnova koristi poznata geometrija postojećih radnih kola. Primenom savremenih softverskih alata na relativno lak način se dolazi do novih, unapređenih, turbina i do veće proizvodnje električne energije. Sve ovo je pokazano na primeru unapređenja radnog kola peltonove turbine u MHE 'Seljašnica'.

Ključne reči: Radno kolo, peltonova turbina, CAD modeliranje, reverzno inženjerstvo

1. UVOD

Hydroenergetski potencijal vodotokova vekovima predstavlja značajan izvor energije, tragovi korišćenja energije vode mogu se pratiti još od drevnih civilizacija Egipta, Mesopotamije, Kine ..., gde je korišćena za pokretanje prvih mašina. Sa pronalaskom i početkom intenzivnog korišćenja električne energije tokom devetnaestog i početkom dvadesetog veka počinje i nagli razvoj hidrauličnih mašina za njenu proizvodnju. U ranoj fazi eksploatacije hidroenergetskih potencijala generisana električna energija retko je prelazila nekoliko stotina kilovata. Danas, primenom savremenih tehnologija i znanja o projektovanju, materijalima i proizvodnji učinjen je veliki napredak u razvoju i poboljšanju hidro-opreme u cilju zadovoljavanja sve kompleksnijih zahteva koje postavlja rad i održavanje sve moćnijih hidroelektrana na korist milionima ljudi širom sveta.

Povećanje cene nafte i smanjenje njene eksploatacije, usled iscrpljivanja postojećih resursa, povećane zabrinutosti o negativnim uticajima sagorevanja uglja – efekat staklene bašte, korišćenja nuklearne energije, pa i velikih hidroelektrana na prirodnu okolinu, povećali su zanimanje za korišćenje hidroenergetskih potencijala malih vodotokova u svim delovima sveta. To je uslovalo razvoj modernih hidro turbina, koje mogu da rade u uslovima malih protoka i padova vodene mase.

Projekti koji podrazumevaju korišćenje hidroenergetskog potencijala malih vodotokova uključuju one instalacije koje imaju mali pad (obično ispod 40 m) i mali kapacitet (nominalno manje od 16 000 kW). Hidroelektrična energija se dobija kroz dve faze. U prvoj fazi potencijalna energija vodene mase pokreće hidrauličnu turbinu i pretvara se u mehaničku energiju, a u drugoj fazi ova mehanička energija pokreće generator koji je pretvara u električnu energiju. Snaga generisane električne energije zavisi od protoka vodene mase i razlike u nivou između izvora vodotoka i ispusta akumulacije (pad).

Ukupni hidropotencijal Srbije procenjen je na oko 31.000 GWh godišnje. Veći deo tog potencijala (oko 62%) je već iskorišćen jer je ekonomski opravdano građenje većih proizvodnih kapaciteta. Ostatak hidropotencijala je iskoristiv gradnjom manjih i skupljih objekata posebno ako se računa na mini i mikro elektrane. Neke procene potencijala malih hidroelektrana, koje uključuju mini i mikro elektrane na preko 1000 mogućih lokacija sa instalisanom jediničnom snagom ispod 10 MW, kazuju da je na malim vodotokovima moguće ostvariti ukupnu instalisanu snagu od oko 500 MW i proizvodnju 2.400 GWh/god. Od toga se polovina (1.200 GWh/god.) nalazi u Užičkom, Niškom i Kragujevačkom regionu, gde može da bude korišćen u brojnim malim postrojenjima sa ukupnom instalisanom snagom od oko 340 MW raspoređenom na oko 700 lokacija. Budući da je naš preostali neiskorišćeni hidropotencijal značajnim delom

¹⁾ Miroslav Vasić, dipl.maš.inž, (miroslav.vasic@li.rs), Vladimir Čarapić, dipl.maš.inž, (vladimir.carapic@li.rs), Radomir Radiša, dipl.maš.inž, (radomir.radisa@li.rs), Radisav Milićević, dipl.maš.inž, (Radisav.milicevic@li.rs), dr Vladimir Kvrgić, dipl.maš.inž, (vladimir.kvrgic@li.rs), LOLA Institut, Kneza Višeslava 70a, 11030 Beograd, Srbija.

u opsegu male hidroenergetike, taj deo je i posebno izučavan. Izrađen je i katastar malih hidroelektrana za jedinične

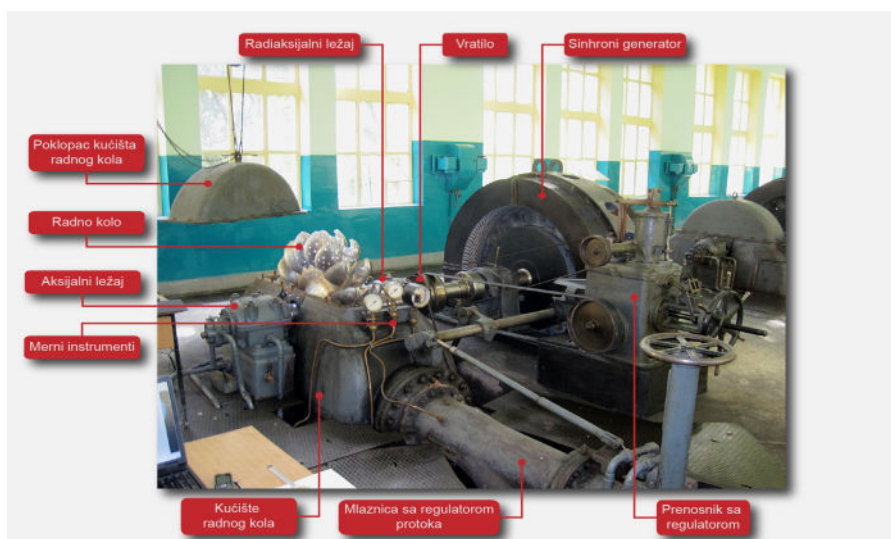
snage ispod 10 MW. Rezultat je iskazan u ukupnoj instalisanoj snazi od 453 MW i prosečnoj proizvodnji od 1.600 GWh/god. na oko 868 lokacija.

Danas je u pogonu u Republici Srbiji samo 31 mini hidroelektrana ukupne snage 34,654 MW i godišnje proizvodnje od 150 GWh. Van pogona je 38 mini hidroelektrana ukupne snage od 8.667 MW i procenjene godišnje proizvodnje od 37 GWh. Ove male HE mogu se osposobiti za pogon uz ulaganje koje je zavisno od stanja u kome se nalaze. Postoje značajne mogućnosti ugradnje malih hidroelektrana u postojećim vodoprivrednim objektima, koje se takođe karakterišu znatno nižim troškovima.

Ovaj rad daje prikaz o unapređivanju, odnosno razvoju, projektovanju i proizvodnji radnog kola Peltonove turbine za mini hidroelektranu 'Seljašnica', ED Užice pogon Prijepolje.

2. OPIS MHE 'SELJAŠNICA'

MHE 'Seljašnica' kod Prijepolja je jedna od 31 koja je u pogonu, ali radi sa smanjenim kapacitetom usled oštećenja radnog kola jednog bloka. Izgrađena je i puštena u rad 1952. godine sa instalisanom snagom od 1.260 kVA projektovanom maksimalnom snagom koju predaje elektromreži od 800kW i sa padom od 160 m. Posедуje dva sinhrona generatora snage 2x630 kVA. Napon priključenja na mrežu je 10kV. Godišnja proizvodnja električne energije iznosi oko 3.000.000 kWh, slika 1.



Slika 1. Prvi blok - Peltonova turbina MHE 'Seljašnica'

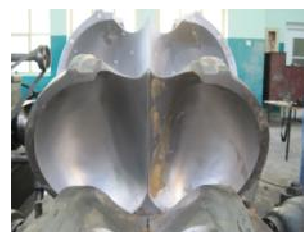
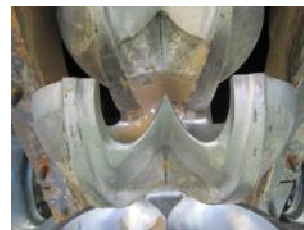
Prvobitna radna kola Peltonove turbine u MHE 'Seljašnica' su bila izrađena od bronzе, slika 2. Usled eksploatacije, dinamičkih opterećenja, erozije, kavitacije i raznih nečistoća iz vode došlo je do njihovog znatnog oštećenja što je uslovlilo gubitke u snazi > 60%.



Slika 2. Radno kolo iz 1952. godine sa karakterističnim oštećenjima u korenu lopatice, na sečici i na košu

Prvo radno kolo je zamenjeno 1978. godine, slika 3. Tip turbine: Pelton P1 0.9/120, Litostroj. Ovo radno kolo je izrađeno od nerđajućeg čelika i projektovano je sa sledećim parametrima:

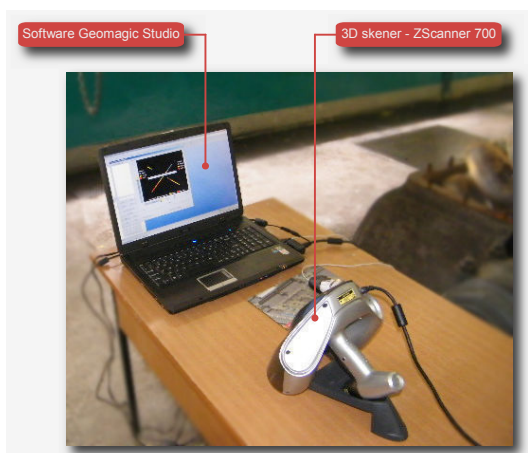
- nominalni broj obrtaja: od 500 o/min,
- maksimalni broj obrtaja: 900 o/min,
- prečnik vratila: 150 mm,
- prečnik glavčine turbinskog kola oko 220 mm,
- prečnik turbinskog kola u podnožju lopatica oko 700 mm,
- spoljni (najveći) prečnik turbinskog kola oko 1180 mm,
- širina glavčine turbinskog kola: 300 mm,
- širina lopatica: 320 mm,
- dužina lopatica: oko 280 mm.



Slika 3. Radno kolo iz 1978. godine tip Pelton P1 0.9/120, Litostroj

Upravo ovo radno kolo je poslužilo kao polazni model za razvoj i projektovanje novog koje treba da zameni, drugo, postojeće radno kolo iz 1952. godine, primenom tehnika reverznog inženjerstva gde se na osnovu postojećeg objekta mogu pronaći njegove konstruktivne karakteristike. Na ovaj način je izbegnuto skupo i dugotrajno modelsko ispitivanje radnih kola u cilju postizanja zahtevanih projektnih parametara.

3. 3D – DIGITALIZACIJA RADNOG KOLA PELTONOVE TURBINE



Slika 4. Laserski skener

sprovedene ili reflektovane energije dobijaju dvodimenzionalne slike preseka ili oblaci tačaka koji predstavljaju geometriju objekta. Prednosti nekontaktnih metoda su odsustvo fizičkog kontakta između objekta i mernog aparata, dobra tačnost i brzina kao i mogućnost skeniranja objekata velikih gabarita.

Reverzni inženjering u modernom smislu podrazumeva korišćenje specijalne opreme (hardver i softver) za dobijanje geometrijskih podataka koji se koriste za stvaranje virtuelnog trodimenzionalnog modela koji odgovara originalu. Grubo, moguće je na tri načina dobiti potrebne podatke: kontaktno, nekontaktno i destruktivno. Dobijeni podaci, najčešće u obliku dvodimenzionih slika poprečnih preseka ili oblaka tačaka, definišući geometriju modela i pomoću posebnih softverskih paketa pretvaraju se u trodimenzione geometrijske modele [1].

Kontaktne metode (mehaničke ruke, CNC koordinatne merne mašine) imaju veliku tačnost. Nekontaktne metode rade na principu projektovanja energetskih izvora (svetlosti, zvuka, magnetnih polja...) na objekte, a potom se merenjem

Destruktivne metode za akviziciju podataka koriste se za merenje malih i kompleksnih objekata. Destruktivne metode omogućavaju snimanje unutrašnjih delova strukture koji su skriveni unutar konture, ali se pri skeniranju objekat uništava.

Za digitalizaciju radnog kola peltonove turbine primenjen je nekontaktni metod digitalizacije, pri tom je korišćen laserski skener ZScanner 700 proizvođača Z Corporation i softverski paket Geomagic Studio 12, slika 4. Ovako ukoponovan sistem odlikuje velika brzina skeniranja (akvizicije) do 18.000 tačaka u sekundi, dobra tačnost do $50\mu\text{m}$ (XY) i rezolucija od 0,1 mm po Z-osi.

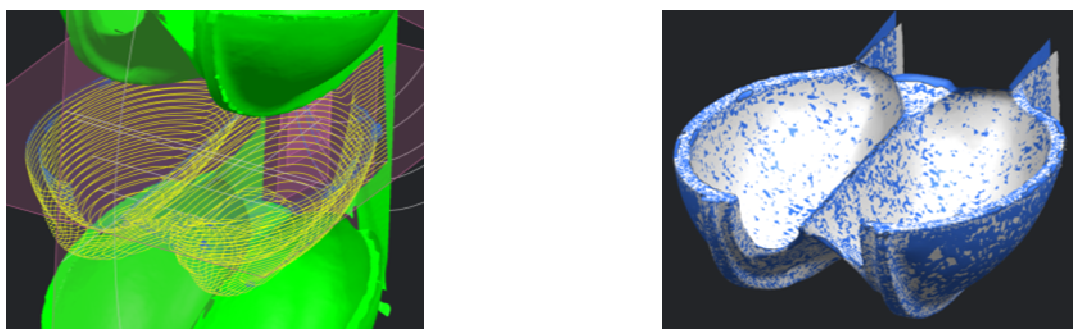
Sam proces digitalizacije se sastoji iz nekoliko koraka: 1. čišćenje objekta koji se skenira, 2. matiranje sjanih površina, 3. postavljanje markera na skenirani objekat, 4. kalibracija sistema za skeniranje, 5. akvizicija – formiranje poligona, odnosno oblaka tačaka, slika 5.



Slika 5. Proces digitalizacije radnog kola peltonove turbine

4. FORMIRANJE CAD MODELA

Na osnovu dobijenog oblaka tačaka pristupa se formiranju 3D CAD modela. U ovom slučaju to je urađeno u okruženju Siemens/UGS NX. Proces se, ukratko, sastoji u sledećem: prvo se pronalaze osnovni geometrijski elementi kao što su ose i ravni simetrije nekom od metoda numeričke matematike, na osnovu njih se vrši filtriranje i redukovanje (smanjivanje) dobijenog oblaka tačaka čime se znatno olakšava rad i rasterećuju računarski resursi, zatim se formiraju analitičke krive i površine čime se model zatvara u zapreminski, solid model, slika 6.

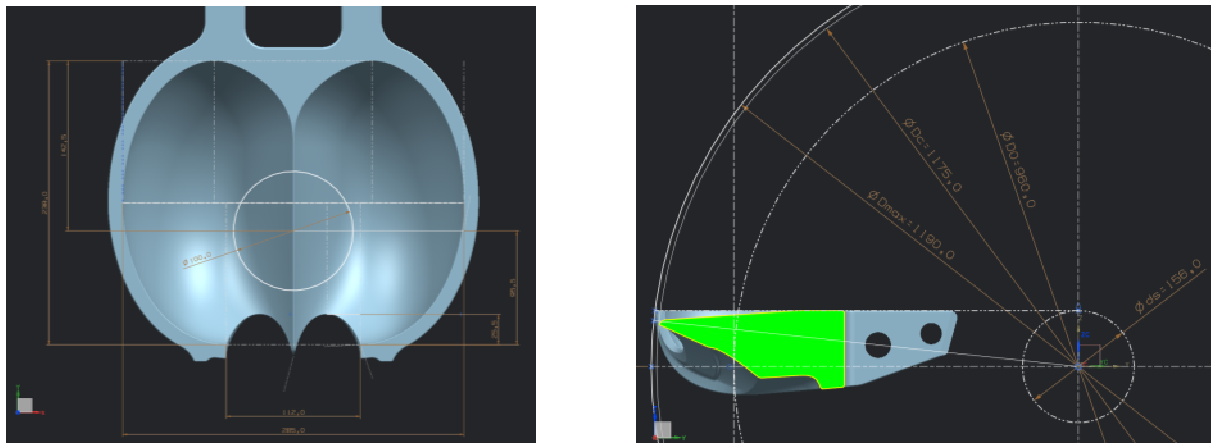


Slika 6. Formiranje analitičkih krivih i analitičkih površina

Kako objekat koji se digitalizuje sadrži neka odstupanja od projektovanih parametara koja su posledica grešaka izrade i/ili montaže, tako i sam sistem za digitalizaciju radi sa određenom tačnošću. Konačan,

digitalizovani, model će sadržati greške i digitalizovanog objekta i sistema za digitalizaciju. Da bi se te greške eliminisale pristupa se parametarskom CAD modeliranju na osnovu dobijenog oblaka tačaka, njihove vrednosti se procenjuju i računski se proveravaju. Tada digitalizovani objekat ne predstavlja ništa drugo do trodimenzionalnu skicu. Izbor da li ulaska u proizvodnju sa digitalizovanim modelom ili parametarskim zavisi od složenosti, funkcionalnosti i nameni digitalizovanog objekta kao i rokova izrade.

U ovom slučaju izvršena je parametrizacija digitalizovanog modela, a sa tim je i dobijen sasvim nov oblik lopatice peltonove turbine, slika 7.



Slika 7. Parametri lopatice peltonove turbine

5. ZAKLJUČAK

U radu je pokazan jedan metod za projektovanje delova složene geometrije kakva je lopatica peltonove turbine. Digitalizacija laserom se pokazala kao veoma efikasna metoda. Važno je napomenuti da je na ovaj način izbegnuto složeno modelsko ispitivanje koje je obavezno kod projektovanja turbina. Kao model je iskorišćeno postojeće radno kolo sa poznatim karakteristikama i na osnovu njega je konstruisano novo radno kolo sa većim stepenom iskorišćenja. U radu je stavljeno težište na problematiku formiranja CAD modela lopatice radnog kola i nije pokazan račun koji je prilikom njegovog konstruisanja sproveden. Na osnovu dobijenog modela izvršena je obrada na CNC obradnom centru, a kasnije i montaža radnog kola i turbine.



Slika 8. 3D CAD model sklopa radnog kola i napravljeno radno kolo peltonove turbine

6. LITERATURA

- [1] Raja, V., Fernandes, K., Reverse Engineering – An Industrial Perspective, Springer-Verlag, London, 2008.
- [2] Vesely, J., Varner, M., A Case Study of upgrading of 62.5MW Pelton Turbine, CKD Blansko internal report

- [3] Gao, J., et all, Adaptive restoration of complex geometrzs parts through reverse engineering application, Advances in Engineering Software 37 (2006) 592-600
- [4] Bagci, E., Reverse engineering application for recovery of broken or worn parts and re-manufacturing: Three case studies, Advances in Engineering Software 40 (2009) 407-418
- [5] Chen, L.C., Lin, G.C.I., Reverse engineering in the design of turbine blades – a case study in applzing the MAMPD, Robotics and Computer Integrated Manufacturing 16 (2000) 161-167

M. Vasić, V. Čarapić, R. Radiša, R. Milićević, V. Kvrgić

A CASE STUDY OF UPGRADING PELTON TURBINE BUCKETS

Abstract:

Improvement of existing turbine bucket shows considerable advantages. In this way, increases the utilization of hydro power plants at minimum cost because they avoided costly construction work. Conditions of exploitation and the behavior of existing turbines are known. Model testing in these cases is not necessary to implement, because it is used as the basis of known geometry of existing buckets. By using modern software tools is a relatively easy way to come up with new, improved, turbine and the higher electricity production. All of this is shown by the example of improving a Pelton turbine bucket in MPP 'Seljasnica'.

Key words: *Bucket, Pelton turbines, CAD modeling, reverse engineering*

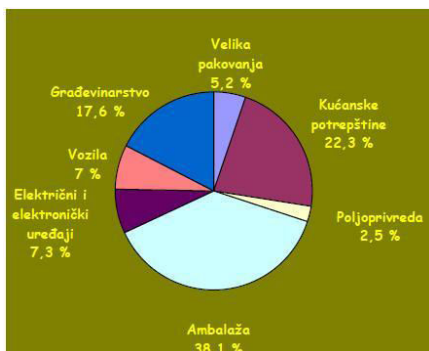
PRIMENA CAD/CAM/CAE PROGRAMSKOG PAKETA PRI PROJEKTOVANJU I IZRADI ALATA ZA LIVENJE POD PRITISKOM DELOVA OD POLIMERA

Apstrakt U radu su prikazani osnovni principi projektovanja proizvoda od polimernih materijala koji se oblikuju livenjem pod pritiskom, kao i osnovni principi projektovanja odgovarajućih alata za njihovo oblikovanje. Imajući u vidu da su zadaci projektovanja spomenutih delova i alata i obrada potrebnih udubljenja u alatima vrlo složen zadatak i u nekim slučajevima je potrebna i izrada prototipova, ovde je data analiza mogućnosti primene CA (*Computer Aided*) alata u navedenim aktivnostima kroz neke primere primene. Cilj analize je da pokaže u kojoj su meri raspoloživi CA alati u mogućnosti da potpomognu automatizaciju projektovanje proizvoda od polimernih materijala i projektovanje i izradu alata za oblikovanje takvih delova livenjem pod pritiskom. Kao i to u kojoj meri je primena simulacionih modela adekvatna zamena za izradu prototipova.

Cljučne reči: polimerni materijali, CAD/CAM/CAE, alati za livenje pod pritiskom

1. UVOD

Intenzivnija primena polimera počela je pedesetih godina prošlog veka zahvaljujući pre svega velikim mogućnostima sinteze i na taj način dobijanja materijala sa širokim spektrom svojstava. Danas je teško zamisliti neki proizvod na tržištu koji nema neku komponentu izradenu od polimernih materijala (polimera). Polimerni materijali se koriste za izradu: ambalaže za pakovanje hrane i pića, delova aparata i uređaja u domaćinstvu, tekstila, igračkaka, delova električnih i elektronskih uređaja, delova karoserija automobila i mnogih drugih njihovih komponenti a procentualno učešće primene u pojedinim oblastima u EU dato je na slici 1. Vrlo retko se polimerni materijali sastoje isključivo od polimera u izvornom obliku, već obično sadrže brojne dodatke za poboljšanja svojstava (mehaničkih, površinskih, optičkih itd.)



Slika 1. Oblast primene polimera

Relativno lakše oblikovanje u odnosu na metale, mogućnosti estetskog dizajna, i druga pogodna svojstva širila su njihovu primenu u sve oblasti gde čvrstoća, krutost, i druge prednosti metala nisu od primarnog značaja. Poslednje dve decenije, bilo sami ili kao elementi kompozita, polimerni materijali se uveliko primenjuju i za odgovorne mašinske delove.

Postoji više pokušaja klasifikacije i izbora terminologije za klasifikaciju polimernih materijala kao što su na primer klasifikacije prema: hemijskom sastavu, fizičkom ponašanju, prirodi nastanka, ponašanju na povišenim temperaturama itd.

Prema [1] data je podela polimernih materijala prema kriterijumu njihovog ponašanja na povišenim temperaturama na: *termoplastične polimere* (plastomeri), *termoumrežene polimere*

(duromeri) i *elastomere* (guma). U grupu termoplastičnih polimera spadaju materijali sa linearnim i razgranatim lancima molekula koji se mogu više puta prerađivati, dok grupu *termoumreženih polimera* čine materijali sa umreženom strukturom koji se mogu prerađivati samo jedan put (ne mogu da se recikliraju). *Elastomeri* (gume) imaju sposobnost da se elastično deformišu bez kidanja. Potrebna karakteristika za elastično ponašanje je umrežena struktura elastomera. Proces umrežavanja elastomera naziva se *vulkanizacija* (*nepovratan hemijski proces*). Livenje pod pritiskom (injekciono presovanje ili tzv. *brizganje*) polimernih materijala je jedan od osnovnih postupaka za izradu komadnih proizvoda od termoplastičnih polimera. Po svojim opštim karakteristikama ovaj proces je sličan procesu livenja metala pod pritiskom. Međutim, karakteristična struktura polimernih materijala, sastavljena od dugih lanaca molekula, za posledicu

¹ Dr Ljubodrag Tanović, red. prof., ltanovic@mas.bg.ac.rs; dr Pavao Bojanić, red. prof., pbojanic@mas.bg.ac.rs; dr Radovan Puzović, van. prof., rpuzovic@mas.bg.ac.rs; mr Mihajlo Popović, asistent, mpopovic@mas.bg.ac.rs; G. Mladenović dipl. maš. inž. gmladenovic@mas.bg.ac.rs; Katedra za proizvodno mašinstvo, Univerzitet u Beogradu - Mašinski fakultet, Kraljice Marije br. 16

ima niz specifičnosti procesa livenja pod pritiskom (brizganja) polimera u odnosu na pomenuti sličan proces livenja metala. Široka primena procesa livenja pod pritiskom (brizganja) polimera uslovala je reakciju proizvođača CA (Computer Aided) softvera koji su svoje aktivnosti usmerili u dva pravca.

S jedne strane proizvođači komercijalnih CAD/CAM paketa počeli su da razvijaju module za pomoć pri projektovanju proizvoda i odgovarajućih alata za njihovu izradu. S druge strane razvijali su se specijalizovani CAE paketi za simulaciju i analizu samog procesa livenja pod pritiskom (brizganja) polimera (popunjavanje kalupne šupljine, hlađenje, skupljanje i sl.). Tržište danas nudi više CAD/CAM sistema sa ugrađenim pomoćnim modulima pomenute namene – Creo Elements/Pro (Pro/Engineer), Autodesk Inventor, NX (Unigraphics), SolidWorks, Catia, ..., i relativno manji broj CAE sistema za analizu tehnološkog procesa brizganja – Autodesk MoldFlow, Moldex 3D, SIGMASOFT, ...

U nastavku su prikazne neke od aktivnosti koje se sprovode tokom realizacije posmatranih proizvoda a koje nude odgovarajući dostupni softveri (kroz primer primene). Spomenute aktivnosti se mogu načelno podeliti u tri međusobno povezane celine po kojima se može posmatrati primena CAD/CAM/CAE alata [3]:

1) *Projektovanje proizvoda:*

- geometrijsko modeliranje uz analizu tehnoločnosti idejnog rešenja;
- izbor materijala proizvoda;
- analiza konstrukcije sa aspekta postavljenih eksploatacionih uslova uz pomoć CAE alata (skupljanje, ugibi, zaostali naponi, eventualno statičko i dinamičko ponašanje, ...).

2) *Projektovanje alata:*

- geometrijsko modeliranje elemenata alata;
- projektovanje i analiza ulivnog sistema, sistema hlađenja i sistema za izbacivanje izratka;
- projektovanje tehnologije za izradu elemenata alata (NC kod za NUMA).

3) *Projektovanje i analiza tehnološkog procesa:*

- izbor parametara tehnološkog procesa;
- završna analiza i simulacija procesa livenja pod pritiskom (brizganja) kao i kvalitet proizvoda (skupljanje, krivljenje, zaostalih naponi, itd.).

2. PROJEKTOVANJE PROIZVODA

Projektovanje proizvoda od polimernih materijala je definisano njegovom primenom i postupkom proizvodnje (oblikovanja). Pri čemu vrlo važnu ulogu igraju vrsta polimernog materijala od kog se proizvod izrađuje, mogućnosti izrade udubljenja (kalupa) u alatu za livenje pod pritiskom i karakteristike same mašine za oblikovanje (brizgaljke). Ovde je vrlo važna napomenuti potrebu tesne saradnje između projektanta proizvoda, projektanta alata i tehnologa za projektovanje procesa izrade, kako bi se tehnički prihvatljiv proizvod/deo najekonomičnije proizveo.

Najčešće u zahtevima kupaca ostaje niz nedefinisanih pitanja koja utiču na konačno konstruisanje i tehničko-ekonomsku opravdanost izratka (proizvoda/dela), kao što su [2]:

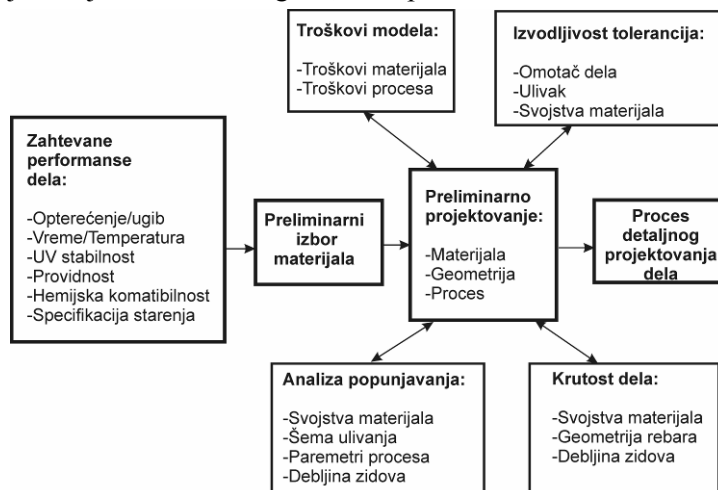
- izbor vrste i svojstava polimernog materijala,
- mogućnost oblikovanja složene površine na proizvodu (nagibi površina, bočni otvori itd.)
- mogućnosti modeliranja tankih zidova (moguća mesta skupljanja materijala),
- mogućnost pojave nepovoljnih oblika (potrebno zaobljenje i/ili obaranje ivica i prelaza),
- mogućnost poštovanja zadatih tolerancija,
- posledice ugradnje delova od metala u proizvod od polimera (moguća unutrašnja naprezanja),
- potreba za dizajnerskom analizom tehnoločnosti dela,
- potreba za naknadnom obradom.

Rešavanje ovih problema zavisi u mnogome od iskustva ljudi i od mogućnosti primene odgovarajućih softverskih alata. U cilju poštovanja dobre inženjerske prakse sugerise se optimizacija izbora materijala, geometrije i procesa oblikovanja proizvoda, uvažavajući mehaničke mogućnosti procesa i proizvodna ograničenja u meri u kojoj je to moguće. Rešavanje ovih problema zavisi u mnogome od iskustva projektanata (ljudi). Danas u većoj meri neiskustvo projektanata se može kompenzovati primenom softverskih alata. Imajući u vidu značaj izbora vrste i svojstava polimernih materijala kako na projektovanje proizvoda/dela tako i na projektovanje alata za njihovo oblikovanje u radu [4] dat je šematski prikaz (slika 2) softverskog alata za podršku prilikom projektovanja proizvoda (posebna pažnja posvećena izboru materijala, analizi ispunjavanja oblika, funkcionalnosti proizvoda uz poštovanje ekonomskih zahteva).

Komercijalni CAD paketi sa više ili manje uspeha ispunjavaju geometrijske zahteve (kod njih postoje različiti načini obezbeđenja modeliranja složenih površina, ostvarivanje nagiba, i pravljenje kutijastih konstrukcija sa tankim zidovima).

Brzina modeliranja je jedan od pokazatelja prednosti jednog paketa nad drugim, ali treba imati u vidu i druge faktore kao što su iskustvo projektanta, okruženje u koje se model integriše, cena paketa itd.

Dizajnerska analiza tehnološkičnosti dela sa aspekta procesa livenja ostvaruje se ili pomoću posebno ugrađenih CAE modula u CAD/CAM pakete ili specijalizovanim CAE alatima koji na bazi MKE vrše simulaciju i analizu popunjavanja kalupne šupljine, hlađenja, skupljanja, i sl.. Cilj ove analize je da se oceni kvalitet konstrukcije proizvoda u smislu tehnološkičnosti i otklone eventualni nedostaci kao što su: mesta nagomilanog materijala koja otežavaju hlađenje, zatim suviše tanki zidovi, nagle promene toka i drugi elementi strukture koji otežavaju tečenje rastopa. PTC je za ovu namenu u Pro/Engineer, sada Creo Elements/Pro, integrisao CAE paket Moldflow, koji čini modul Plastic Adviser (MPA).



Slika 2. Šematski prikaz softverskog alata za podršku projektovanju proizvoda [4]

3. PROJEKTOVANJE I IZRADA ALATA

Imajući u vidu da alati za livenje pod pritiskom (injekciono brizganje) proizvoda/delova od polimernih materijala imaju centralnu ulogu u toku proizvodnje, njihovo besprekorno funkcionisanje kao i kvalitet izrade određuju ekonomsku opravdanost proizvodnje i kvaliteta proizvoda. Shodno tome vrlo je važno da se u procesu projektovanja i izrade alata vodi računa kako bi se proizveli alati koji postavljanjem na mašinu (brizgaljku) treba da omoguće što veći stepen automatizacije (cilj je skraćivanje vremenskog ciklusa oblikovanja) u proizvodnji proizvoda/dela, što će obezbediti dimenzionu tačnost, kvalitet proizvoda i eliminisati potrebu naknadne obrade (osim u nužnim slučajevima uklanjanje ulivka).

Takođe zbog visokih pritisaka kojima su alati izloženi (trpe velika mehanička opterećenja) u toku procesa oblikovanja, potrebno je pri konstruisanju voditi računa i o izboru materijala (čelici sa visokim mehaničkim i termičkim svojstvima) od kojih će se izrađivati pojedini delovi alata (za svaki alat pojedinačno s obzirom na njegovu namenu). Međutim u nekim slučajevima kad su u pitanju male serije projektovanje skupih alata nema ekonomsko opravdanje, pa je neophodna naknadna mehanička obrada u cilju dorade izradaka prema zahtevima namene samog proizvoda/dela. Bespotrebna štednja na ceni alata, zanemarujući preciznu izradu ili upotrebljavajući loš materijal, greška je koja se kasnije nepovoljno odražava na čitavu proizvodnju.

Alati za livenje pod pritiskom polimernih materijala (termoplastični, termoumreženi i elastomeri) mogu se grupisati sa aspekta praktične primene prema glavnim obeležjima projektovanja i funkcionisanja kao što su:

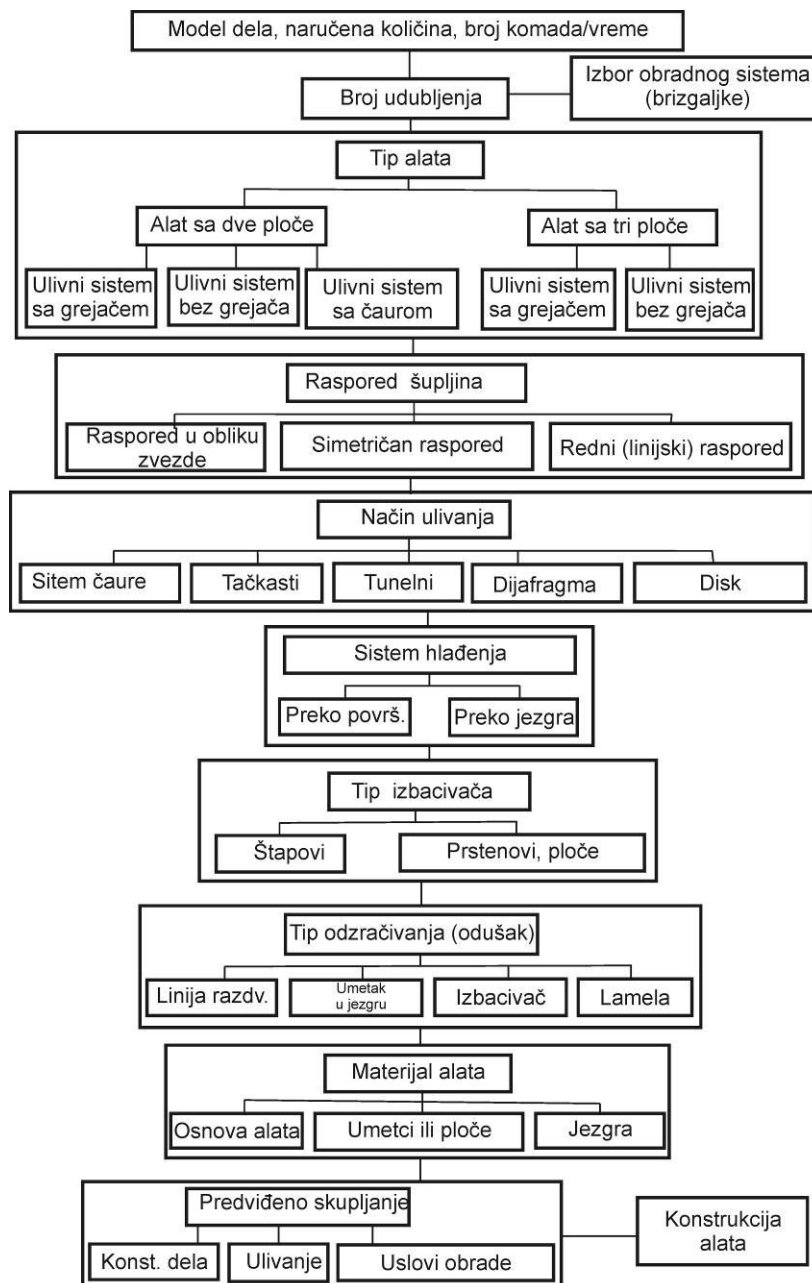
- tip ulivnog sistema (način odvajanja ulivka),
- tip sistema za izbacivanje izradaka (vrsta izbacivača),
- postojanje ili nepostojanje spoljašnjih ili unutrašnjih žlebova (navoja) na proizvodu/delu i
- način na koji se oblikovani proizvodi/delovi odvođaju iz alata (aktiviranje izbacivanja, vađenje jezgra).

Prema DIN ISO standardu 12165 alati za livenje pod pritiskom polimera razvrstavaju se u sledeće grupe:

- standardni alati (sa dve ploče),
- specijalni alati (specifičan sistem vođenja),
- alati sa pločama za skidanje proizvoda/delova iz alata,
- alati sa tri ploče,
- alati sa konusom,
- alati sa grejačima kod ulivnog sistema (toplim ulivnim kanalima).

Takođe postoje alati bez grejača kod ulivnog sistema (hladni ulivni kanali) za obradu termoumreženih smola analogno alatima sa grejačima kod ulivnog sistema koji se koriste za obradu termoplastičnih jedinjenja i elastomera. Na slici 3. dat je dijagram toka aktivnosti pri projektovanju alata za livenje pod pritiskom polimera.

S obzirom na veliki uticaj izbora materijala i načina konstruisanja i izrade alata (dimenzionisanje kalupne šupljine, predviđanje mogućeg skupljanja u alatu i naknadno nakon vađenja iz alata, obezbeđenje kvaliteta površina na alatu, izbor načina hlađenja kalupne šupljine, izbora mesta i oblika ulivnog sistema i izbor sistema za izbacivanje itd.) bilo je potrebno primeniti metod konačnih elemenata (FEM) u procedurama za proračune.



Slika 3. Dijagram toka aktivnosti projektovanja alata za livenje pod pritiskom polimera [5]

Primena metoda konačnih elemenata (FEM) zahtevala je i primenu odgovarajućih softverskih paketa CAD/CAM/CAE u procesima projektovanja proizvoda/delova i projektovanja i izrade alata za njihovo oblikovanje. Korišćenjem ovih metoda i programskih paketa štedi se i vreme i novac, a postiže se optimizacija procesa projektovanja izrade i oblikovanja. Konačni projekat alata nastaje tek pošto se izvrši projektovanje dela, i pojasne se svi zahtevi koji imaju uticaja na projektovanje kalupa.

Činjenica da su elementi alata za livenje plastike izuzetno skupi (i da nema opravdanja da svaka alatnica ima proizvodnju standardnih delova alata s obzirom na brzinu i izrade i kvalitet u eksploataciji) dovela je do toga da su se pojedine firme (DME, HASCO, Strack, EOC, MISUMI, Meusburger, ...) specijalizovale za izradu standardnih elemenata alata (standardna kućišta, vođice, čivije, ploče, ...) kako bi smanjile njihovu cenu (uzimanjem u obzir brzinu izrade alata i kvalitet u eksploataciji nema opravdanja da svaka alatnica ima proizvodnju standardnih delova alata). Većina ovih proizvođača ima i elektronske 3D kataloge standardnih elemenata sa mogućnošću da se isti importuju u sklop alata. Takođe skoro svi proizvođači imaju standardne formate (IGES, STL, ACIS, STEP) a vrlo često imaju i modele u formatima najpoznatijih CAD paketa.

Na taj način projektovanje alata se svodi na njegovo koncipiranje, izbor standardnih elemenata, i projektovanje onih elemenata koji direktno utiču na oblik proizvoda (kalupi, jezgra, izbacivači, umetci). Projektovanje sistema kanala za ubrizgavanje i sistema kanala za hlađenje svodi se uglavnom na modifikacije na prethodno izabranim elementima.

Modeliranje elemenata alata koji formiraju kalupnu šupljinu (kalup i jezgra) se najčešće ostvaruje kao otisak modela proizvoda, pri čemu se uzima u obzir skupljanja koje nastaje kao posledica hlađenja odlivka posle livenja.

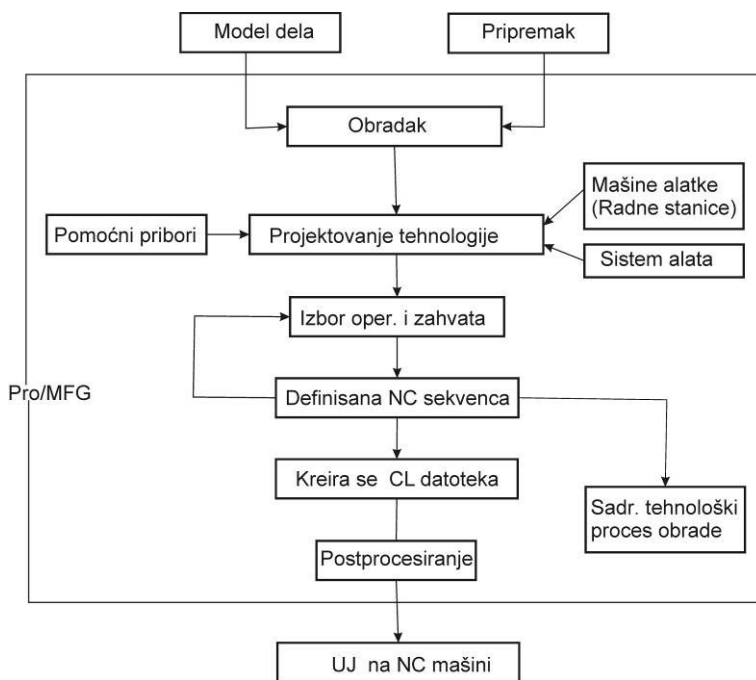
Najveći posao u izradi alata predstavlja izrada elemenata alata koji formiraju kalupnu šupljinu. Najčešće se obrada (glodanje) ovih elemenata alata izvodi na NUMA-a (obradni centri), a prema NU programima generisanim od strane CAM sistema. Na slici 4. je dat dijagram aktivnosti u pripremi NC programa modula *Pro/MFG*. Tamo gde glodanje nije rešenje najčešće se koristi elektroeroziona obrada sa elektrodama. Pored komercijalnih CAD/CAM paketa u izradi elemenata alata koji formiraju kalupnu šupljinu i elektroda se uspešno koriste i posebni CAM sistemi: SurfCAM, Vericut, EdgeCAM, Mastercam i drugi.

Za početno koncipiranje i analizu alata može se koristiti Autodesk MoldFlow Adviser. Pomoću njega je moguće projektovati i analizirati ulivni sistem, raspored istih ili različitih delova u kalupu, odrediti silu zatvaranja alata, tok materijala pri popunjavanju kalupa i sl. Balansiranje kalupa u smislu istovremenog popunjavanja svih šupljina i ravnomernog hlađenja je od primarnog značaja.

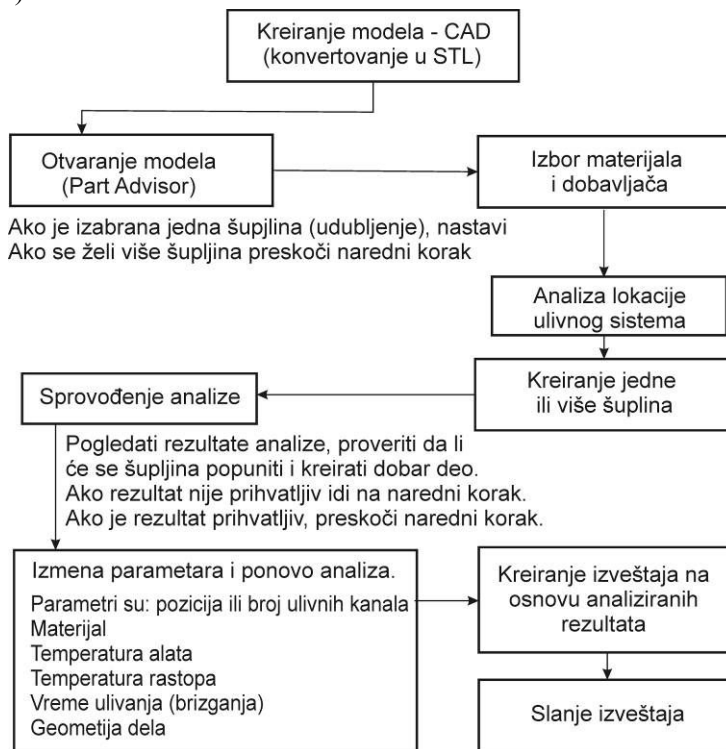
4. PROJEKTOVANJE I ANALIZA (SIMULACIJA) TEHNOLOŠKOG PROCESA

Proces livenja pod pritiskom (injekcionog brizganja) je složen proces i zbog toga je posebno važno kod tehničkih proizvoda usaglasiti sve parametre procesa i dovesti u sklad izabrani polimerni materijal, projektovani alat i odabranu mašinu (brizgaljku).

Uticajni faktori na proces livenja pod pritiskom mogu se prikazati i kroz odgovor na sledeće pitanja: koji je optimalan pritisak potreban za zatvaranje alata, da li je popunjena kalupna šupljina (gnezdo), koliko je potrebno vreme za popunjavanje kalupne šupljine, koliko je broj delova koji se mogu istovremeno oblikovati, kolika je radna temperatura, gde je linija razdvajanja, gde treba postaviti sistem za hlađenje itd? Svako od ovih pitanja ako na njega ne postoji adekvatan odgovor odraziće se na kvalitet gotovog proizvoda. Iz tog razloga neophodno je pre konstruisanja a posebno pre izrade izvršiti analizu procesa livenja i dobiti odgovore na postavljena pitanja, te sa tim znanjem krenuti dalje u eventualni redizajn dela i projektovanje ili redizajn alata. Da bi imali brze i što je moguće tačnije odgovore na postavljena pitanja u inženjerskoj praksi se sve više koriste CAE programski paketi koji omogućavaju simulaciju procesa (smanjuje se vreme i troškovi izrade prototipova) i kroz virtuelni dizajn prikaz tih rezultata.



Slika 4. Dijagram toka aktivnosti u modulu *Pro/MFG*



Slika 5. Prikaz dijagrama toka Autodesk Moldflow Advisor simulacije [6]

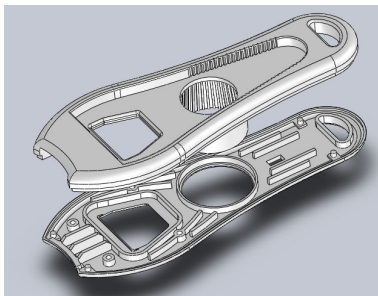
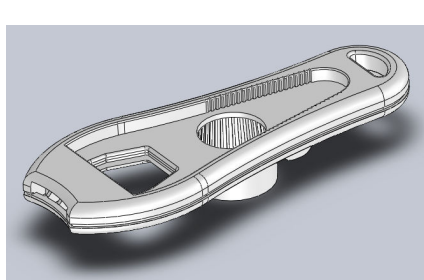
Pomenuti CAE alati u okviru svojih baza materijala, npr. Autodesk Moldflow Adviser (na slici 5. dat je dijagram toka aktivnosti) ima bazu od preko 4000 polimera, sadrže i preporuke za parametre procesa brizganja (pritisak ubrizgavanja, temperaturu rastopa, temperaturu kalupa). Ove preporuke daju proizvođači materijala i osnovno je pravilo da se one ispoštuju kad god je to moguće, a da se eventualni problemi rešavaju izmenama na proizvodu i/ili alatu.

5. PRIMER PRIMENE CAD/CAM/CAE

Na primeru izabranog složenog proizvoda (otvarač za flaše) izrađenog od polimernog materijala „ABS - Akrilonitril-butadien-stirol” prikazano je u skraćenoj verziji projektovanje proizvoda, projektovanje procesa (simulacija) i projektovanje i izrada alata za livenje pod pritiskom primenom CAD/CAM/CAE softverskih paketa (SolidWorks, Autodesk Inventor i Autodesk Moldflow Adviser”, CGTech Vericut).

5.1. Model proizvoda – CAD

Na slici 6 je prikazan preliminarni dizajn proizvoda - otvarač, koji se sastoji iz dva dela i koji je modeliran u programskom paketu SolidWorks Za dalji prikaz i analizu simulacije procesa i projektovanja i izrade alata je korišćen gornji deo otvarača čija su svojstva materijala:



- Koeficijent linearnog toplotnog širenja, $8 \div 13 \cdot 10^{-5}$ mm/K;
- Modul elastičnosti pri istezanju, $1680 \div 2200$ N/mm²;
- Čvrstoća na savijanje $42 \div 78$ N/mm²
- Tvrdća po Rokvelu R75
- Izduženje pri kidanju $6 \div 60$ °C
- Toplotna provodljivost $0,14 \div 0,25$ W/mK
- Specifična toplota $1,25 \div 1,66$ KJ/K kg
- Temperatura omekšavanja $100 \div 120$ °C.

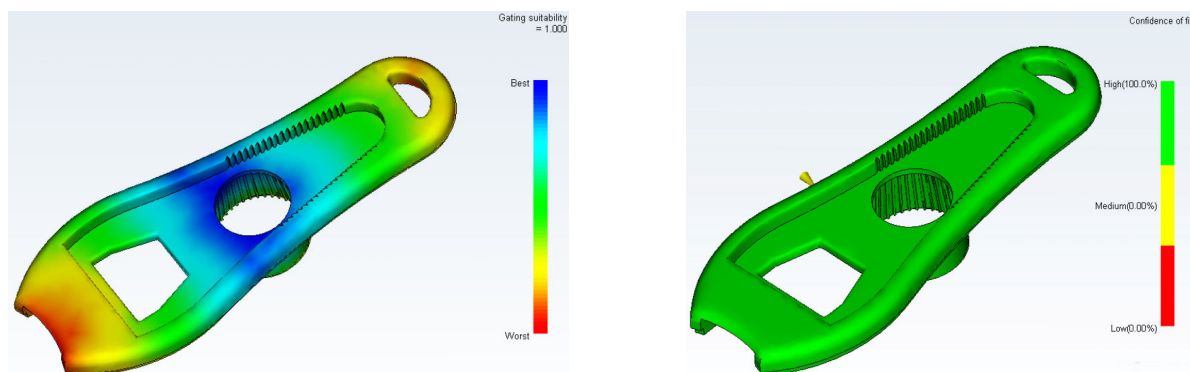
Slika 6. 3D-model „otvarača za flaše“ nakon provere tehnološkičnosti

5.2. Simulacija procesa livenja pod pritiskom (injekciono brizganje) – CAE

Nakon preliminarnog dizajna proizvoda/dela (izbor geometrije, materijala itd.), izbora procesa oblikovanja (u ovom slučaju livenje pod pritiskom-brizganje) pristupa se simulaciji izabranog procesa oblikovanja u cilju postizanja konačnog oblika proizvoda/dela i određivanja optimalnih parametara.

Simulacijom procesa livenja polimera (korišćen softverski paket Autodesk Moldflow Adviser) moguće je unapred, pre procesa proizvodnje dobiti podatke koji se koriste za analizu kvaliteta realnog proizvoda. Nakon definisanja materijala i parametara procesa, u softveru sledi analiza moguće lokacije ulivnog sistema (slika 7a), koja je veoma bitna sa aspekta popunjavanja kalupne šupljine (na slici 7b je prikazan kvalitet ispunje posle izbora mesta ulivanja na osnovu predložene lokacije). Da bi se došlo do rezultata kvaliteta proizvoda/dela, potrebno je izvršiti i ostale analize kao što su: analiza vremena popunjavanja kalupne šupljine, analiza pritiska na kraju procesa livenja (pad pritiska), analiza temperature rastopine/kalup itd.. (slike 8 i 9)

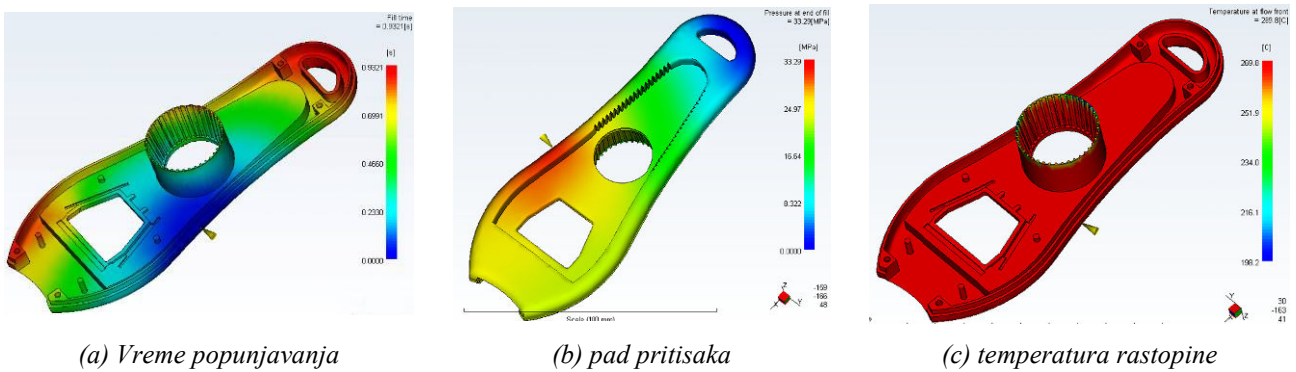
Parametri procesa kao što su pritisak, temperatura kalupa i temperatura rastopa mogu se menjati u zavisnosti od željenog kvaliteta površina dela. Analizirajući više puta proces tečenja materijala kroz kalup možemo doći do najpovoljnijih parametara za željeni kvalitet dela.



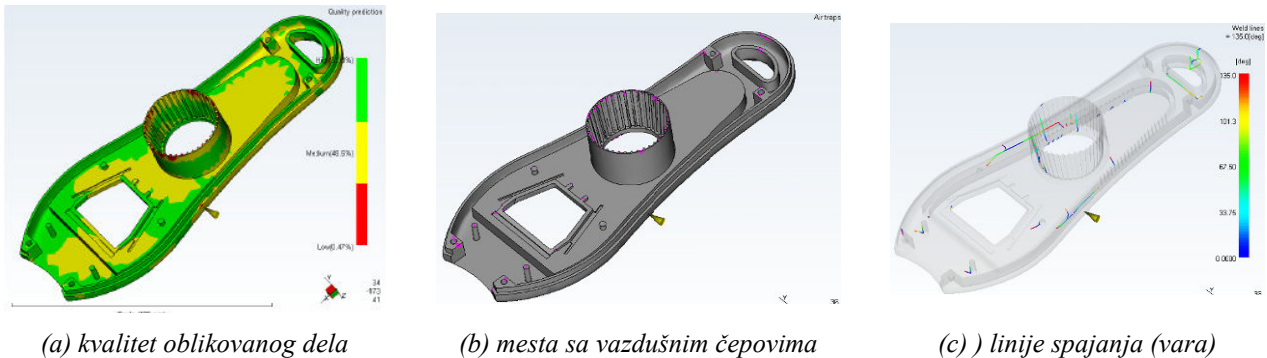
(a) predlog mesta ulivanja

(b) kvalitet ispunje posle izbora mesta ulivanja

Slika 7. Definisiranje mesta ulivnog kanala



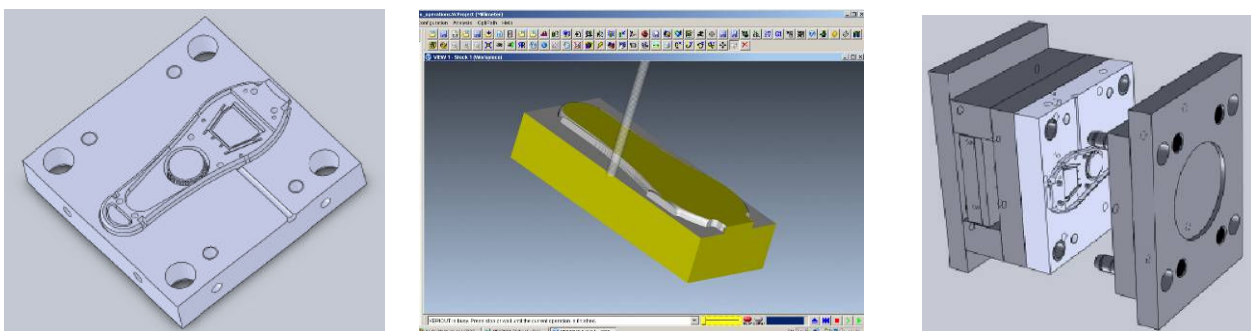
Slika 8. Prikaz dela rezultata analize procesa livenja pod pritiskom



Slika 9. Prikaz dela rezultata analize procesa livenja pod pritiskom (nastavak 1)

5.3 Konstrukcija alata – CAD/CAM

Uspešno projektovanje alata za livenje pod pritiskom polimera, zahteva pažljivo sagledavanje i ispunjenje svih zahteva u pogledu funkcionalnosti samog alata. Potrebno je voditi računa o tehnologičnosti i ekonomičnosti izrade, a da se pri tome ne naruši funkcionalnost. Ovde je dat prikaz dela rezultata iz domena projektovanja alata za livenje pod pritiskom primenom CAD/CAM softvera prema proceduri koja je data u tački 3. Na osnovu dimenzija kalupnih šupljina, željenog oblika dela, hoda alata, tipa vođenja biraju se standardne komponente kućišta alata (katalog izabranog proizvođača), koje se mogu modifikovati prema potrebama. Osnovu kućišta alata čine noseće ploče za pokretni i nepokretni kalup sa stubovima za vođenje i vodičama. Projektovanje donjeg i gornjeg dela kalupa se izvodi vodeći računa o toplotnom skupljanju materijala i položaju podeone ravni po kojoj se alat i razdvaja. Na slici 10a dat je prikaz modela donje kalupne šupljine. Obrada ove kalupne šupljine se izvodi na CNC glodalici, za koju je definisan NC program za obradu u programu Vericut. Na slici 10b je prikazana simulacija obrade jednog od zahvata. Na slici 10c. je dat prikaz modela kompletnog alata za livenje pod pritiskom gornjeg dela otvarača.



Slika 10. Prikaz elemenata alata, njihova obrada glodanjem i model alata

6. ZAKLJUČAK

Za svaki proizvod potreban je novi alat, čiji troškovi izrade, vreme izrade i tražena tačnost direktno utiču na kvalitet i cenu proizvoda. Da bi proizvod bio rentabilan treba ga proizvesti ekonomično i plasirati ga na tržište u momentu kada za njim nastaje potreba. Ovo je moguće ostvariti primenom odgovarajućih softvera za konstrukciju i analizu delova, kao i primenom standardnih elemenata alata. Razvoj industrije praćen je i

razvojem programskih paketa koji omogućavaju projektovanje proizvoda i upravljanje proizvodnjom pomoću računara (CAD/CAM). Prednosti primene CAD/CAM u procesu projektovanja alata su:

- Podrška pri projektovanju NC tehnologije za obradu segmenata alata koji formiraju kalupnu šupljinu, a ima i mogućnost kreiranja trodimenzionalnog modela proizvoda (deo ili element alata) učitavanjem iz baze ili automatskim generisanjem.
- Pomoć projektantu da brzo projektuje proizvod/deo i skрати vreme projektovanja alata za livenje pod pritiskom takvih delova.
- Pomoć pri rešavanju ponovljivih i rutinskih zadataka pri izradi alata što pruža bolji kvalitet života i rada što stvara veće zadovoljstvo u radu.
- Pomoć korisnicima da jednostavno izmene geometriju dela, što znači da može da se poboljša i kvalitet projektovanog alata i time smanji broj grešaka.

CAE alati omogućavaju projektantima da koriste numeričke simulacije za: podešavanje konstrukcije novog proizvoda, izbora potrebnih parametara procesa oblikovanja i samim tim povećanje pouzdanosti pri projektovanju alata da se neće pojaviti greške i sve to bez trošenja novca i vremena na izradu prototipova i njihovog testiranja.

I pored toga što se može videti iz prethodnog, da CAD/CAM/CAE alati pružaju veliku podršku projektovanju proizvoda od polimera i odgovarajućih alata, navedena podrška je još uvek nedovoljna da bi se kod složenih i odgovornih delova (obično kompozitni materijali) mogla uvek izbeći izrada probnih komada. U tu svrhu se koriste tehnike kao što su HSM (High Speed Machining), PR (Rapid Prototyping), zatim aluminijumski i silikonski alati, i slično.

Još uvek na tržištu ne postoji integrisan sistem (jedinствен softver) koji bi u potpunosti podržao sve navedene aktivnosti već je za njihovu realizaciju potrebno integrisati više paketa. Realizacija jednog takvog sistema bi podrazumevala dalje približavanje CAE analiza realnom procesu livenja, zatim dalja automatizacija procesa projektovanja alata uz konformniju integraciju elektronskih kataloga standardnih elemenata, i šire mogućnosti u projektovanju sistema kanala za hlađenje.

7. LITERATURA

- [1] Kalpakjian, S., Manufacturing Engineering and Technology, Addison Wesley Publishing Company, USA, 1995.
- [2] Nađ M., Polimerni materijali (plastomeri i elastomeri, konstrukcija i prerada), Zagreb, 1991.
- [3] Kovljenić B., Ivanović R., Puzović R., Popović M., Stanje i perspektive primene CAD/CAM/CAE paketa u projekto. proizv. od plastike i odgovarajućih alata, 29. JUPITER Konfer., Beograd, 2003., pp.2.47-2.50.
- [4] Beiter, K., Cardinal, J., and Ishii, K., "Design for Injection Molding: Balancing Mechanical Requirements, Manufacturing Costs, and Material Selection," To appear in the Proc. of the ASME Computer Integrated Concurrent Design Conference, Sept., 1995, Boston, MA
- [5] Patcharee L., Design, Analysis and Simulation in Injection in-Mold Labeling, Ph.D. dissertation, Institute of Plastics Technology (IKT), University of Stuttgart, 2009.
- [6] Wong, C. T., Shamsuddin S., Napsiah I. & A.M.S. Hamouda., Design and Simulation of Plastic Injection Moulding Process, Pertanika J. Sci. & Techno!. Supplement 12(2): 85 - 99 (2004).
- [7] www.tool-moldmaking.com
- [8] www.autodesk.com
- [9] www.hasco.com

THE APPLICATION OF THE CAD/CAM/CAE PROGRAM PACKAGE IN THE DESIGN AND MANUFACTURING OF CASTING PRESSURE TOOLS FOR PARTS MADE FROM POLYMERS

Abstract. *The paper presents the basic design principles of polymer products molded by pressure casting, as well as the basic principles of appropriate tools design for their molding. Taking into account that the design tasks of mentioned parts and tools as well as machining of required dents in tools is a very complex task and that in some cases the prototypes are required to be made, the paper gives the analysis of the possibilities of applying the CA (Computer Aided) tools in mentioned activities through some examples of application. The aim of the analysis is to demonstrate how much the available CA tools can help the automation of polymeric material product design, and tool design and manufacture for molding such products by pressure casting. Also, the paper shows the degree to which the application of simulation models is an adequate substitution in prototype making.*

Key words: *polymeric materials, CAD/CAM/CAE, pressure casting tools*



R. Slavković, I. Milićević, M. Popović, R. Radiša^{1*}

SIMULACIJA PROCESA LIVENJA KAO OSNOVA CAD/CAM PROJEKTOVANJA DINAMIČKI OPTEREĆENIH ODLIVAKA U MAŠINOGRAĐNJI

Rezime

Simulacija procesa livenja dinamički opterećenih odlivaka u mašingradnji poslednjih nekoliko godina široko je prihvaćena kao tehnološka aktivnost u skoro svim svetskim livnicama. Ova metodologija znatno skraćuje vreme od ideje do dobijanja gotovog proizvoda, u odnosu na tradicionalne metode testiranja prototipskog proizvoda. Međutim, pouzdanost rezultata simulacije nameće dobro poznavanje kako tehničko tehnoloških parametara tako i graničnih uslova primene simulacije. U okviru ovog rada dat je primer primene softverskog sistema MAGMASoft za simulaciju procesa livenja veznog dela dvodelnog zuba kod bagera kontinualnog transporta.

Ključne reči: odlivak, projektovanje, kvalitet, simulacija, softver

1. UVOD

Pri projektovanju tehnologije livenja značajna pažnja poklanja se eliminisanju mogućnosti nastanka bilo vidljivih ili nevidljivih grešaka u odlivku, zbog toga što iste mogu biti glavni uzročnik loma odlivka u procesu eksploatacije. Da bi se dobio odlivak potrebnih tehničko tehnoloških karakteristika, potrebno je obratiti pažnju na tri ključna zahteva: [1],[2],[5]:

- 1) analiza tehnološkičnosti livenja,
- 2) definisanje metode livenja i metodologije izrade kalupa za livenje i
- 3) definisanje tehnoloških parametara liva.

Još u fazi projektovanja odlivka i tehnologije livenja, uz pomoć kompjuterske simulacije procesa livenja i očvršćavanja metala, moguće je preko zadatih ulaznih parametara uočiti i otkloniti greške za relativno kratko vreme bez utroška materijala i energije i usvojiti optimalnu tehnologiju izrade odlivka. Korišćenjem parametarskog modeliranja geometrije, korisnik može varirati vrstu i lokaciju hranitelja na odlivku čime je moguće postići minimum poroznosti i maksimalnu gustinu materijala odlivka. Simulacija procesa livenja reznih delova modularnih reznih zuba rotornog bagera izvedena je softverskim sistemom *MAGMASoft*.

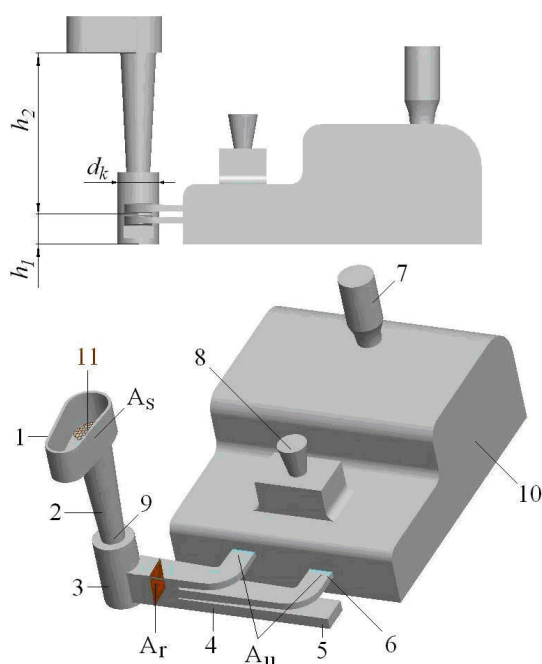
2. CAD MODEL ZA SIMULACIJU PROCESA LIVENJA

2.1 Osnovni CAD elementi procesa livenja

Za simulaciju procesa livenja primenom MAGMASoft-a [3] potrebno je uraditi 3D CAD model svih elemenata kalupne šupljine koju popunjava tečni metal, odnosno ulivni sistem (ulivna čaša, sprovodnik, kolektor, razvodnik i ulivnici), hranitelji i odvodnici gasova. Ispravno konstruisan **ulivni sistem** treba da osigura da se tečni metal uliva u kalupnu šupljinu brzo i bez turbulencija. Turbulentni tok može izazvati ulazak gasova, vazduha i šljake u kalup što je glavni uzročnik nastanka defektnog odlivka.

¹ dr Radomir Slavković, red. prof (slavkovic@tfc.kg.ac.rs), mr Ivan Milićević, asistent (ivanmil@tfc.kg.ac.rs), mr Marko Popović, asistent (marko@tfc.kg.ac.rs), Tehnički fakultet Čačak, Svetog Save, 65, 32000 Čačak, Radomir Radiša, dipl.maš. ing, stručni savetnik, (radomir.radisa@li.rs), LOLA INSTITUT, Beograd

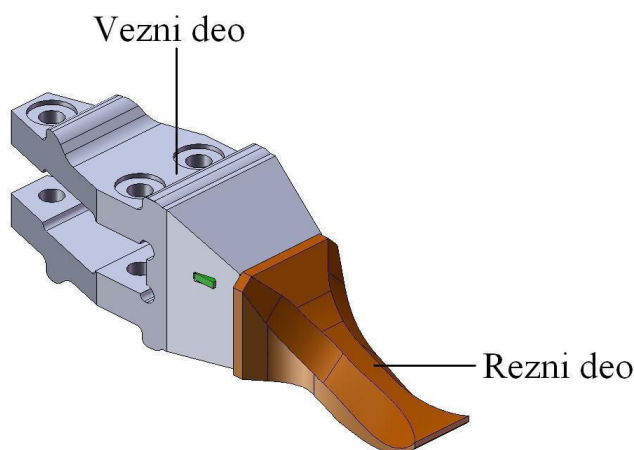
Takođe treba da onemogući unošenje nemetalnih uključaka u kalup, omogući istiskivanje gasova iz kalupne šupljine i osigura dovoljno brzo punjenje kalupne šupljine. Usled zapreminskog skupljanja tečnog metala pri hlađenju, dolazi do smanjenja zapremine odlivka. Ovaj efekat uzrokuje stvaranje usahlina (lunkera) na mestima koja zadnja očvršćavaju. U takvim slučajevima projektuju se **hranitelji** sa osnovnom funkcijom da obezbede dovoljno tečnog metala za najmasivnije sekcije odlivka što omogućuje očvršćavanje bez usahlina. Mesto hranitelja određuje se iskustveno. Za optimalno hlađenje potrebno je obezbediti priliv tečnog metala na bazi „usmerenog očvršćavanja“, od tanjih ka masivnijim delovima odlivka. Hranitelji se postavljaju na vrh ili sa strane odlivka, tako da poslednji deo tečnog metala treba da očvrstne u samim hraniteljima. Mesto hranitelja uglavnom je limitirano oblikom odlivka (njegov najmasivniji deo). **Odvodnici gasova** sprečavaju stvaranje vazdušnih džepova u kalupnoj šupljini i postavljaju se na odgovarajućim mestima radi odzračavanja istih. Obavezno se postavljaju na najvišim mestima odlivka. Mesta pojave vazdušnih džepova definišu se na osnovu analize strujanja tečnog metala kroz kalupnu šupljinu. Na sl.2.1 dati su osnovni elementi kalupne šupljine za jedan odlivak.



*Slika 2.1: Elementi kalupne šupljine:
 1- ulivna čaša; 2- sprovodnik; 3- kolektor;
 4- razvodnik; 5- slepi kraj razvodnika; 6- ulivnik;
 7- hranitelj; 8- odvodnik gasova; 9- prigušnik;
 10- odlivak; 11- rešetka (sprečava ulazak šljake)*

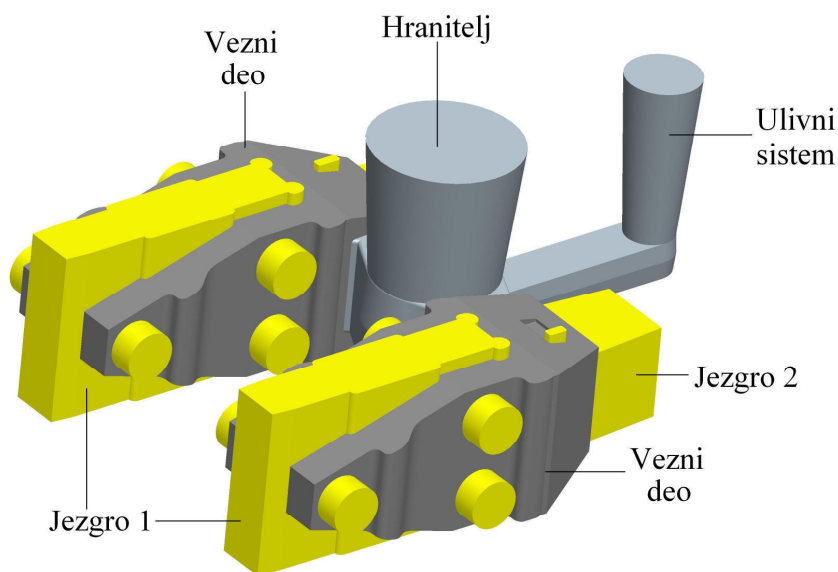
2.2 Osnovni CAD elementi na primeru zuba bagera kontinualnog dejstva

Analizom uslova eksploatacije i habanja navedenog zuba, uočena je maksimalna pohabanost reznog dela do 30% ukupne mase reznog zuba. Kako je ekonomičnost u proizvodnji važan faktor svih istraživanja (u ovom slučaju u proizvodnji uglja), imajući u vidu geometriju reznog zuba, cilj projektovanja je da se razvije dvodelni zub sl.2.2 čiji rezni deo se menja nakon pohabanosti, a vezni deo ima višekratnu upotrebu. Takođe, tehničko tehnološkim parametrima reznog dela zuba može se uticati na njegove radne karakteristike (otpornost na habanje, žilavost, tvrdoća, dinamička čvrstoća i drugo) koje se mogu prilagođavati uslovima radne sredine, čime se utiče na značajno smanjenje troškova kopanja uglja.



Slika 2.2: Dvodelni rezni zub bagera kontinualnog dejstva

Veznim delom dvodelni zubi [7] vezuju se za vedricu radnog točka bagera koja u procesu eksploatacije u određenim vremenskim intervalima reznim vrhovima izvodi proces kopanja. Kao posledica periodičnog ulaska zuba u zahvat kopanja vezni i rezni elementi zuba izloženi su značajnim dinamičkim opterećenjima. U navedenim uslovima eksploatacije kako kod veznih tako i reznih elemenata mora biti eliminisana mogućnost pojave unutrašnjih šupljina (lunkera) koje su veoma osetljive na koncentraciju napona i često su uzročnik loma. U ovakvim slučajevima veoma je značajno pre izrade alata potrebnih za oblikovanje kalupa izvršiti simulaciju procesa livenja odnosno izvršiti virtuelni proces livenja na osnovu koga se može proveriti širok spektar tehničko-tehnoloških karakteristika odlivka. Na sl 2.3 dat je CAD model [4] sistema odlivak, ulivni sistem i hranitelj za simulaciju procesa livenja veznog dela, softverskim sistemom *MAGMASoft*.

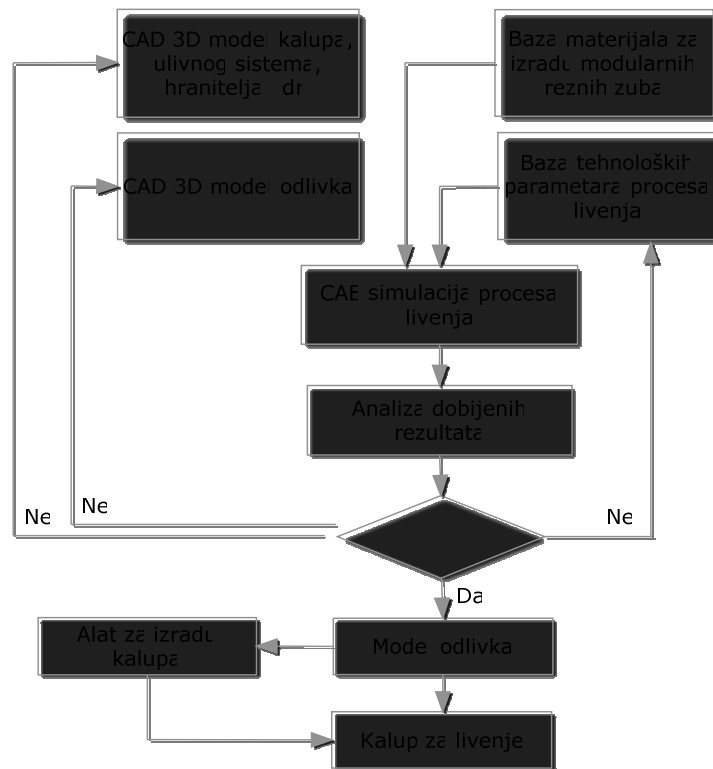


Slika 2.3: CAD model sistema vezni element, ulivni sistem hranitelj sa jezgrima

3. CAD/CAM SIMULACIJA PROCESA LIVENJA VEZNOG DELA DVODELNOG ZUBA SOFTVERSKIM SISTEMOM *MAGMASoft*

Softverski sistem *MAGMASoft* je kompjuterski alat koji omogućava simuliranje procesa livenja i očvršćavanja odlivka. To je vrlo moćan i pouzdan simulacijski softver koji se koristi pri istraživanju parametara poboljšanja i optimizacije procesa livenja. Omogućuje brzo i efikasno testiranje niza mogućnosti i varijanti unutar granica procesa livenja i odabir optimalne kombinacije tehnoloških parametara. Potencijalni problemi se lako otkrivaju i odstranjuju već u fazi projektovanja oblika odlivka, što projektantu/tehnologu omogućava optimizaciju procesa livenja. Rezultati simulacije prikazuju se u 3D grafičkom prikazu, gde se rentgenskim pogledom u kalup vidi tok punjenja livne šupljine, brzina punjenja kalupa kao i temperature

oblasti. Presecima kroz odlivak dobija se front očvršćavanja i moguća mesta poroznosti usled očvršćavanja metala. Ulazni podaci potrebni za simulaciju su: 3D geometrijski model odlivka i ostalih komponenta (ulivni sistem, hranitelj, filter, klupa i drugo), parametri tehnologije livenja (početna temperatura liva, materijal kalupa, vrsta premaza, materijal odlivka, vrsta livačkog lonca – nagibni / sa čepom,) itd. Modul **MAGMApre** koristi 3D modele u standardnim grafičkim formatima (*STL* ili *STEP*). Nakon procesiranja livenja daju se preporuke i zaključci. Na osnovu njih, po potrebi izvode se nove simulacije sa promenjenim parametrima. Takođe pri pregledu rezultata simulacije rade se slike kritičnih i zanimljivih detalja, potrebnih korisniku rezultata simulacije. Na sl.3.1 dat je princip simulacije procesa livenja primenom softverskog sistema **MagmaSoft** [3],[6].

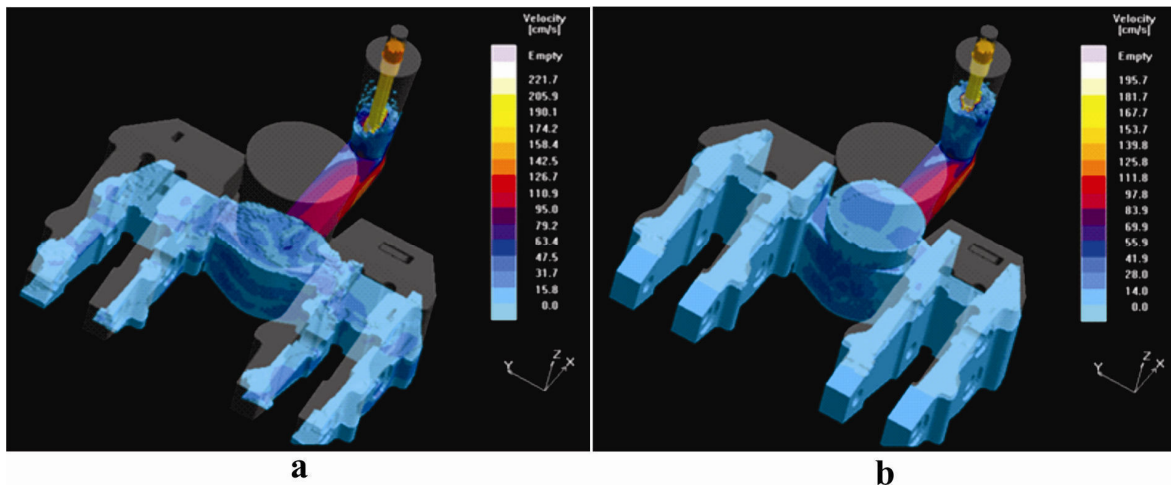


Slika 3.1: Princip simulacije procesa livenja softverom **MAGMASoft**

4. REZULTATI SIMULACIJE PROCESA LIVENJA VEZNOG DELA DVODELNOG ZUBA

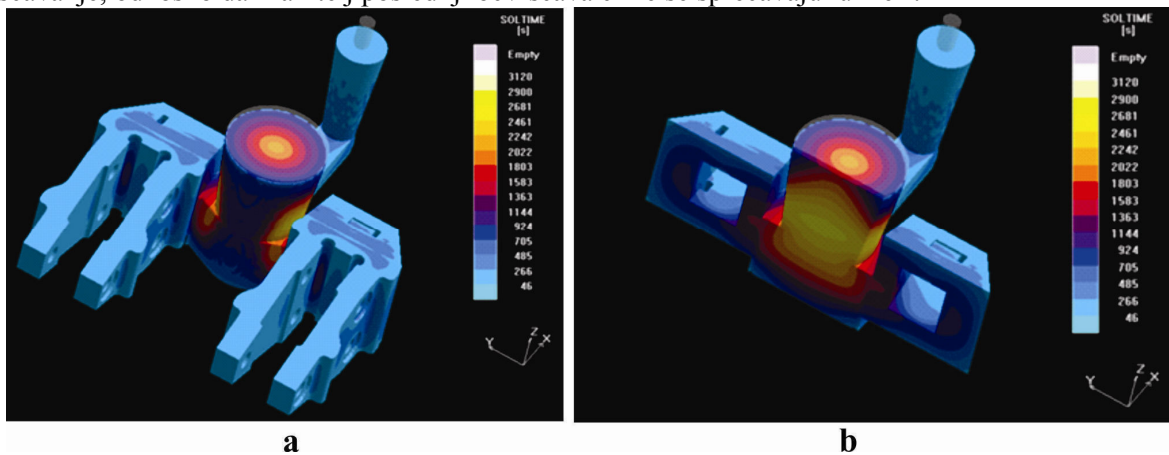
Za konceptijsko rešenje dva odlivka u jednom kalupu sl.2.3, a na osnovu teorijskih postavki datih u [1] kao i imajući u vidu simetričan raspored odlivaka u odnosu na osu livenja, predviđeno je da hranitelj bude iznad ulivnika sl.2.3. Materijal odlivka je Č0545, kalup i jezgra su dobijeni CO₂ postupkom i zaštićeni cirkonskim premazom. Livenje je gravitacijsko iz nagibnog lonca.

Grupa **FILLING** softverskog paketa **MagmaSoft** ima više modula, među kojima su modul "**Fill Press**" za prikazivanje rasporeda pritiska u metalu tokom livenja, modul "**Fill Velo**" za prikazivanje brzine metala tokom livenja i modul "**Fill Temp**" za prikaz promene temperature u toku livenja. Na sl.4.1 prikazana je brzina punjenja kalupa v_s (cm/s).



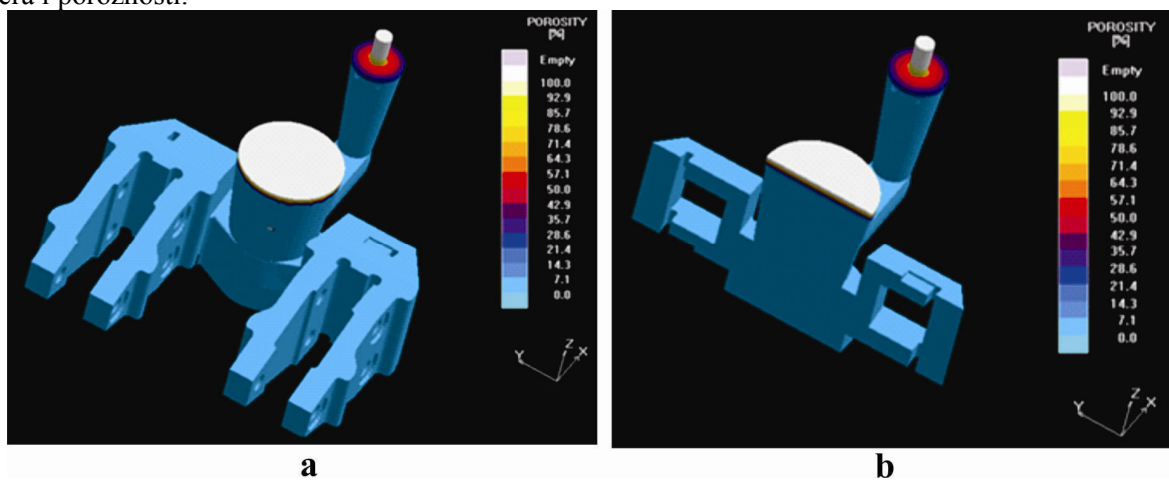
Slika 4.1: Brzina punjenja; a) pri 35% i b) pri 70% popunjenosti kalupa

Modul **SOLIDIFICATION** koristi se za prikaz rezultata očvršćavanja sa izotermama i temperaturnim poljima. Na sl.4.2 dato je vreme očvršćavanja veznih delova dvodelnog zuba za određeni vremenski period sa prikazanim temperaturnim poljima. Ovaj test omogućuje otkrivanje kritičnih mesta u odlivku kako u 3D prikazu odlivka tako i u presecima po zahtevu tehnologa. Sa slike se vidi usmereno očvršćavanje, odnosno da hranitelj poslednji očvršćava čime se sprečavaju lunkeri.



Slika 4.2: Vreme očvršćavanja odlivka; a) u 3D prikazu odlivka, b) presek kroz hranitelj

Modul **POROSITY** omogućuje analizu poroznosti, lunkera kao i fazne strukture u odlivku. Na sl.4.3 dat je potpuno očvrslu odlivak dva vezna dela dvodelnog zuba sa presekom kroz hranitelj radi utvrđivanja lunkera i poroznosti.



Slika 4.3: Poroznost odlivka: a) osnovni izgled, b) presek kroz hranitelj

5. ZAKLJUČAK

Upotrebom programskog sistema *MAGMASoft* skraćuje se vreme razvoja proizvoda. To je uz današnje oštre zahteve kupaca kao i uz nedostatak iskusnih kadrova u livnicama vrlo bitan segment kako pri osvajanju novih pozicija tako i pri optimizaciji postojećih. U paketu *MAGMASoft* u okviru ogromne baze podataka skupljena su mnoga svetska iskustva iz livarstva koja se koriste pri proveravanju tehnologija u livnicama. Sa sl.4.2 i sl.4.3 se vidi da prema projektovanoj tehnologiji vezni deo nema poroznosti, a temperaturna polja su pravilno raspoređena što je preduslov za kvalitetan odlivak.

6. LITERATURA

- [1] ASM International, *CASTING design and performance*, (Materials Park, Ohio) 2009.
- [2] Bishop, H., Tazlor, H & Powell, R., *Risering of Steel Castings with Exothermic Sleeves*, Foundry, June 1958, 50-54.
- [3] MAGMASoft, *Manual Part One*, www. MAGMASOFT. COM,
- [4] Lombard, M., *SolidWorks Surfacing and Complex Shape Modeling Bible*, Wiley Publishing, Inc., (Indianapolis) 2009.
- [5] Marković, S., Matijašević, S., Josipović, Ž & Očokoljić, S., *Collection of solved tasks in the metal casting process*, (Faculty of Technology and Metallurgy, Belgrade) 1994.
- [6] Sturm J. C, Hansen P. N, Hartmann G, & Achim E. W, (Magma Gießereitechnologie GmbH, Achen, Germany), *Optimized Development for Castings and Casting Procesess*, World Foundry Congress, (Korea) 2002.
- [7] Slavković, R., Zvonimir, J., Milićević, I., Popović, M., Projektovanje reznih zuba bagera primenom CAD/CAE/CAM tehnologije, IMK -14, Istraživanje i razvoj, Godina XV, broj (32-33)3-4/2009.

SIMULATION OF CASTING PROCESS AS A BASE FOR CAD / CAM DESIGN CASTING DYNAMICALLY LOADED IN THE MACHINE INDUSTRY

Abstract

Casting process simulation of dynamic loading of casting the past few years has been widely accepted as a technological activity in almost all international foundries. This methodology significantly reduces the time of making the final product, compared to traditional methods of testing of prototypic product. Reliability of simulation results requires knowledge of technical and technological parameters and the potential application of simulation. In this paper provides an example of application software system MAGMASOFT for casting process simulation of a two-part teeth of excavator continuous effect of surface Mining "Kolubara".

Keywords: casting, design, quality, simulation, software

Srđan Trivković, Aleksandar Simonović, Rade Živković, Slobodan Stupar¹

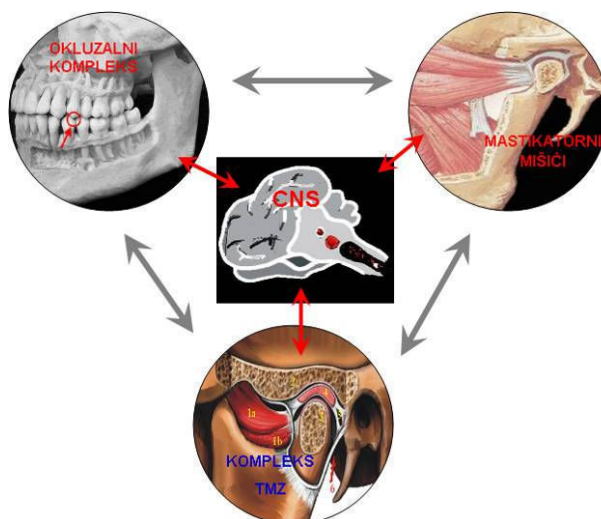
NAPONSKO-DEFORMACIONA ANALIZA TEMPORO-MANDIBULARNOG ZGLOBA

Rezime

U radu je opisan postupak naponsko-deformacione analize temporomandibularnog zgloba, metodom konačnih elemenata. Numeričkom simulacijom patoloških i fizioloških pokreta mandibule omogućena je identifikacija pomeranja i naponskog stanja spoja ljudske vilične i slepoočne kosti. Formiranjem trodimenzionalnog CAD modela i nelinearnom konačnoelementnom analizom, identifikovane su zone najvećeg opterećenja artikulacionog diska u toku razmatranih kretanja temporomandibularnog zgloba.

UVOD

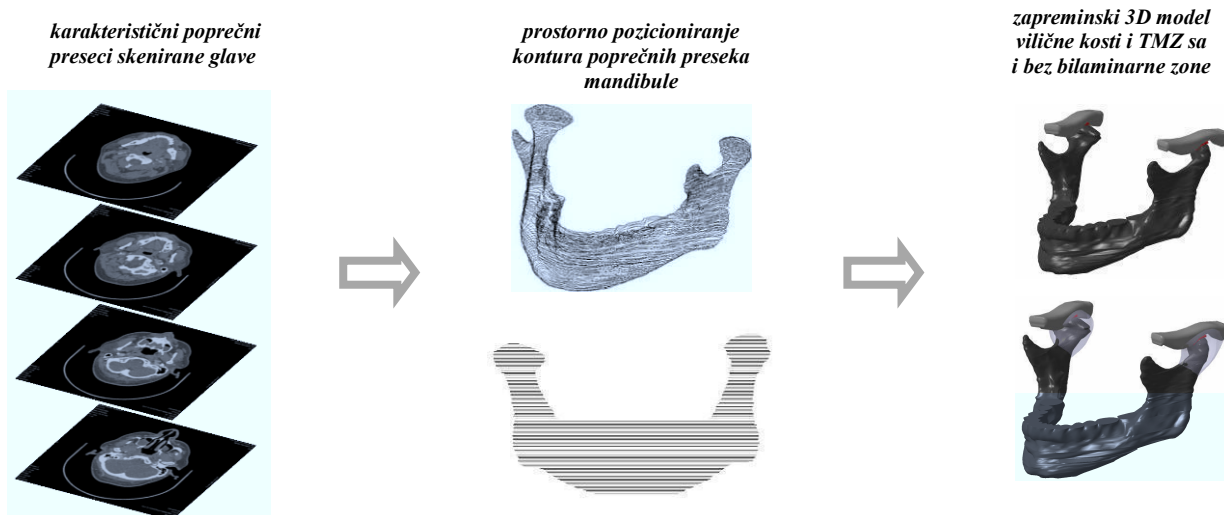
Kompleks temporo-mandibularnog zgloba (TMZ), sa okluzalnim i neuro-muskularnim kompleksom, čini izuzetno složeno anatomsko i funkcionalno jedinstvo orofacijalnog sistema. Zdravlje i funkcija stomatognatog sistema direktno je zavisno od stanja i funkcije bilo kog od ovih kompleksa orofacijalnog sistema. Centralni nervni sistem preko povratne nervne sprege kontroliše funkcije orofacijalnog sistema i štiti njegove elemente od prekomernog opterećenja i eventualnog oštećenja. Kretanje para TMZ uslovljeno je pokretima donje vilice. Pokreti donje vilice, odnosno pokreti TMZ-a, se najčešće odvijaju u fiziološkim okvirima (istovetne-simetrične kretnje), ali i tokom parafunkcija (asimetrične-različite kretnje). Optimalno opterećenje artikulacionog tkiva TMZ je neophodno da bi se sačuvalo morfološki i fiziološki integritet samog tkiva.



Slika 1. Šematski prikaz povezanosti elemenata stomatognatog sistema

¹ Srđan Trivković dipl. inž, Mašinski fakultet Beograd, tel. 3302-345, e-mail: strivkovic@mas.bg.ac.rs
doc dr Aleksandar Simonović dipl. inž, Mašinski fakultet Beograd, tel. 3302-345, e-mail: asimonovic@mas.bg.ac.rs
mr sci dr Rade Živković, Stomatološki fakultet Beograd, tel. 2685-288, e-mail: radeziv@gmail.com
prof dr Slobodan Stupar dipl. inž, Mašinski fakultet Beograd, tel. 3302-345, e-mail: sstupar@mas.bg.ac.rs

Naponi i sile u strukturama TMZ tokom funkcije su veoma teško eksperimentalno merljivi i mogu se samo mehaničkim analizama približno odrediti. Matematički modeli TMZ, pokazali su se kao moćno oruđe za analizu i predviđanje opterećenja u TMZ-u. Metoda konačnih elemenata u analizi opterećenja artikulacionog diska TMZ-a pri statičkim i dinamičkim opterećenjima i dobijeni rezultati, mogu doprineti boljem razumevanju fiziološke i patološke funkcije artikulacionog diska. Veoma ograničena istraživanja i eksperimenti na ljudskom TMZ-u su pokazala da je funkcionalno preopterećenje važno za nastanak dislokacije artikulacionog diska i destrukcije u TMZ-u. S obzirom da do sada nisu obavljena ciljana ispitivanja distribucije opterećenja na strukture TMZ-a u fiziološkim i patološkim uslovima, ovaj rad je fokusiran na analizu naponsko-deformacionih stanja u strukturama TMZ-a u toku protruzije i laterotruzije donje vilice. Stabilnu fiziološku okluziju karakteriše apsolutna ravnoteža sila koje deluju na zube i njihove potporne strukture i zglobova u toku ispoljavanja funkcija orofacijalnog sistema. Patološka okluzija je stanje orofacijalnog sistema u kome nije prisutna anatomska i fiziološka harmonija.



Slika 2. Proces dobijanja 3D modela vilične kosti

Izradi proračunske mreže koja predstavlja osnov za strukturalnu analizu, tj. proračunu napona i deformacija konačnelementnom metodom, prethodila je izrada geometrijskog modela vilice. Modeliranje ljudske vilične kosti izvršeno je na osnovu podataka dobijenih magnetnom rezonancom, segmentim postupkom radi postizanja potrebne tačnosti. Softverskom obradom su eliminisane anomalije sa snimka. Usled složenosti geometrije vilice, izrada modela i obrada poprečnih preseka vliličnog zgloba izvršene su u AutoCad-u. Dvodimenzionalne krive dobijene ovim putem korišćene su u programskom paketu CATIA V5 radi izrade 3D modela i generisanja konačnoelementnog modela.

ANALIZA

Strukturalna analiza artikulacionog diska, prema definisanim opterećenjima i pomeranjima elemenata 3D modela TMZ-a, se sastoji iz četiri faze koje podrazumevaju i primenu metode konačnih elemenata:

I faza:

Generisanje geometrije 3D modela TMZ-a na osnovu podataka dobijenih magnetnom rezonancom;

II faza:

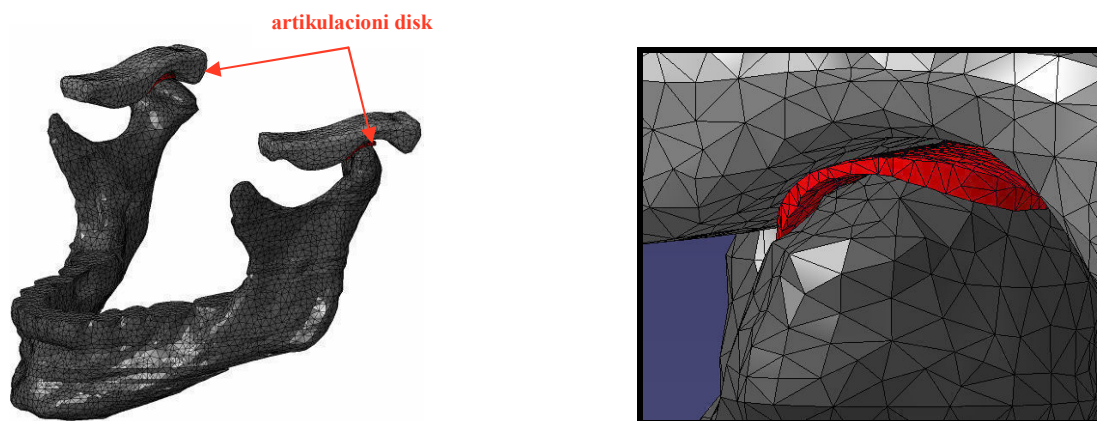
Formiranje mreže konačnih elemenata i definisanje karakteristika materijala konačnoelementnog modela TMZ;

III faza:

Definisanje pokretanja 3D modela TMZ-a, tokom protruzije i laterotruzije donje vilice;

IV faza:

Određivanje veličine, pravca, smera i načina unošenja opterećenja u 3D model TMZ-a, rešavanje matematičkog modela i interpretacija rezultata.



Slika 3. Diskretizovan 3D model vilične kosti i detalj artikulacionog diska

Diskretizacija i odabir vrste konačnih elemenata izvršena je tako da se omogući dobijanje rezultata pri planiranim fiziološkim i patološkim uslovima na izrađenim modelima:

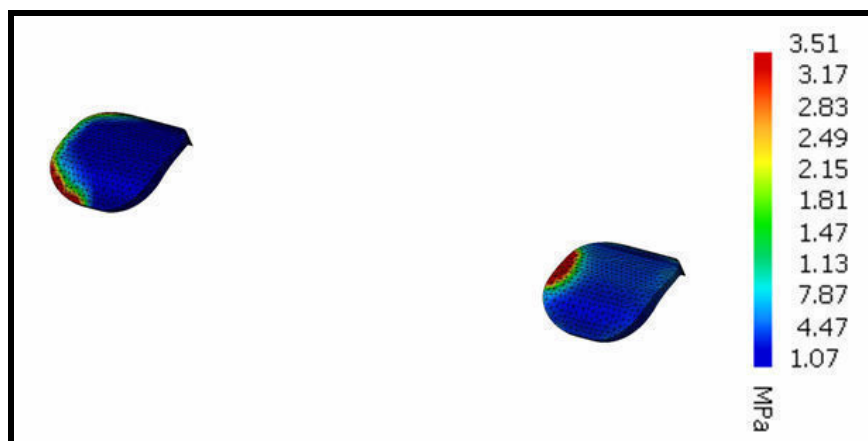
Model 1. model na kome je analizirano opterećenje artikulacionog diska u toku protruzijske kretnje donje vilice. Rezultati proračuna su obavljani u početnom položaju i pri maksimalnoj protruziji donje vilice, bez delovanja sile.

Model 2. model na kome je analizirano opterećenje artikulacionog diska u toku lateralne kretnje donje vilice. Rezultati proračuna su obavljani u toku fiziološkog pokreta, bez delovanja sile.

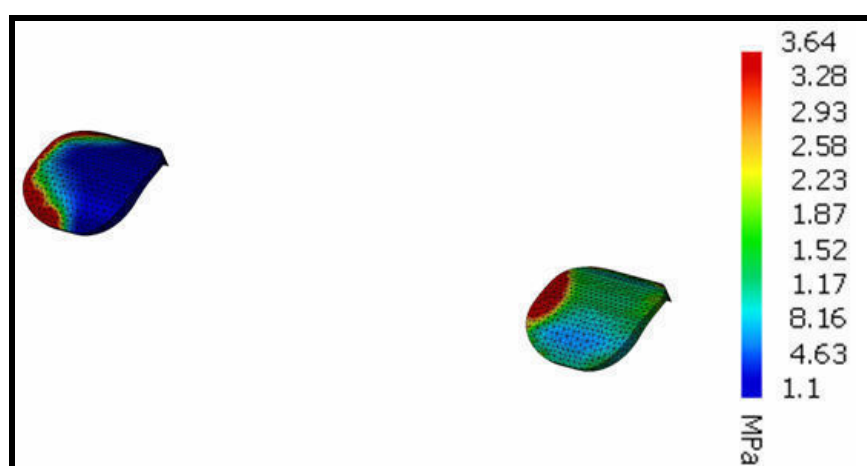
Model 3. model na kome je analizirano opterećenje artikulacionog diska u toku laterotruzije (kretanja u stranu) donje vilice, u prisustvu mediotruzijske okluzalne smetnje. Rezultati proračuna su obavljani pri delovanju sile od 100N i 300N.

Poređenje, analizom dobijenih rezultata, ukazuje na značajan gradijent promene napona na artikulacionom disku u odnosu na ostala tkiva temporo-mandibularnog zgloba.

Proračunski dobijene vrednosti ukazuju na maksimalne vrednosti napona na nivou celog artikulacionog diska TMZ-a. Pri protruziji donje vilice distribucija opterećenja u artikulacionom disku je manja nego tokom translatornih kretanja kondila, a u toku same translacije najveće opterećenje se registruje pri maksimalno otvorenim ustima. Posmatrajući artikulacioni disk najveće opterećenje se registruje u anteriornom delu intermedijalne zone i na anteriornom anulusu. Pri laterotruziji donje vilice distribucija opterećenja na artikulacionom disku je u skladu sa fiziologijom pokreta, ali najveće opterećenje podnose lateralni deo intermedijalne zone diska na radnoj strani i medijalni deo intermedijalne zone diska na balansnoj strani. Mediotruzijska okluzalna smetnja dovodi do značajnog povećanja opterećenja u kondilu, čime se potvrđuje štetan efekat okluzalne smetnje po artikulacioni disk i ostale strukture TMZ.



a)



b)

Slika 4. Naponi na artikulacionom disku u toku kretanja u stranu donje vilice
a) u toku fiziološkog pokreta bez delovanja sile (model 2) b) u toku patološkog pokreta prilikom delovanja sile od 100N (model 3)

ZAKLJUČAK

Predstavljeni rad demonstrira mogućnosti upotrebe savremenih kompjuterskih orijentisanih metoda pri rešavanju složenih bio-mehaničkih problema kakav je indentifikacija naponsko-deformacionih stanja hrskavičavih i koštanih struktura. Kompleksnost oblika vilične kosti zahteva pažljiv pristup u razmatranju efikasnosti i fleksibilnosti geometrijskog modela, uzimajući u obzir namene i cilj modelovanja tj. utvrđivanje distribucije opterećenja kroz strukturu TMZ-a. Metodom konačnih elementa je pre svega izvršena analiza opterećenja duž artikulacionog diska u uslovima fiziološke i patološke okluzije. Sa tim u vezi ova istraživanja su obuhvatila diskretizaciju naponskih stanja na artikulacionom disku pri osnovnim pokretima donje vilice (proturuzije i laterotruzije donje vilice), kao i pri disharmoniji elemenata TMZ-a (laterotruzijske okuzalne smetnje). Izloženim načinom pristupa i primenom računarski orijentisanih metoda moguće je steći uvid u naponsko-deformaciono stanje kompleksnih skeletnih struktura i dobiti rezultate koji mogu značajno upotpuniti postojeće eksperimentalne podatke.

LITERATURA

1. Simonović A., Živković R., Stanojević M., Komarov D. Geometriško modeliranje i izrada 3D modela donje vilice, 33. Jupiter konferencija 2007.
2. Simonović A., Živković R., Obradović A., Trivković S., Analiza naponsko-deformacionih stanja viličnog zgloba, 33. Jupiter konferencija 2009.
3. Simonović A., Živković R., Obradović A., Trivković S., Analiza naponsko-deformacionih stanja artikulacionog diska temporo-mandibularnog zgloba, 34. Jupiter konferencija 2010.
4. CATIA V5 User's Documentation, Dassault Systemes, 2003.
5. Zachowa S., Lamecker H., Elsholtz B., Stiller M., Reconstruction of mandibular dysplasia using a statistical 3D shape model, Elsevier Science, 2005.
6. Tanaka E., R del Pozo, Tanaka M., Asai D., Three dimensional finite element analysis of human temporomandibular joint with and without disc displacement during jaw opening, Medical Engineering & Physics 26,2004, 503-511
7. Beek M., Koolstra J.H., L.J. van Ruijven, and T.M.G.J van Eijden, Three dimensional Finite Element Analysis of the Cartilaginous Structures in the Human Temporomandibular Joint, Journal of Dental Research, 2001, 80,10
8. Airolti RL., Gallo LM., Palla S., Precision of the jaw tracking system JAWS-3D. J Orofacial Pain 8155, 1994.

TEMPOROMANDIBULAR JOINT STRESS-STRAIN ANALYSIS

Abstract

This paper presents stress and strain analysis of temporo-mandibular joint by finite element method. Numerical simulation of pathological and physiological mandibular movement, allows displacements and stress state identification of human jaw and temporal bone joint. Three-dimensional CAD model development and nonlinear finite-element analysis, identified articulatory disc maximum load zones during considered temporo-mandibular joint movement.



Zorana Posteljnjk, Srđan Trivković, Nikola Petrašinović, Marija Stanojević¹

PROJEKTOVANJE LOPATICE NAPREDNE VETROTURBINE PRIMENOM SAVREMENIH CAD SOFTVERA

Rezime

Lopatica vetroturbine predstavlja veoma važnu komponentu vetroturbine i njeno projektovanje je kompleksan zadatak koji zahteva veliku količinu informacija. U radu je opisan postupak modeliranja lopatice vetroturbine NREL Phase VI korišćenjem modernih CAD alata. Modeliranje je izvršeno za potrebe analize strujanja, kao i za dalju softversku obradu. Analize se vrše radi smanjenja troškova izrade, kao i predviđanja budućih problema koji se mogu javiti pri izradi lopatice, kao i u toku njene eksploatacije. Prednost ovakvog načina rada se ogleda i u mogućnosti izmene dizajna lopatice usled potrebe za prilagođavanjem vetroturbina različitim radnim režimima.

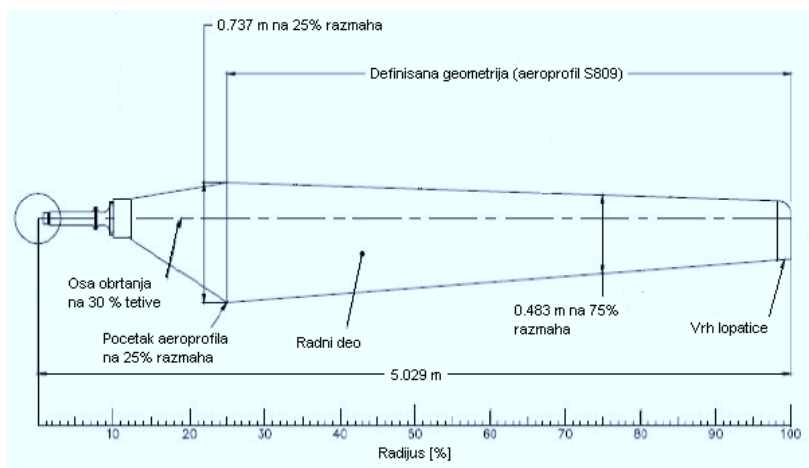
UVOD

Poslednjih godina industrija vetroturbina je postala visokorazvijena i tehnološki napredna oblast. Savremeni trendovi razvoja vetroturbina zahtevaju primenu modernih softverskih paketa za modeliranje, analizu i optimizaciju konstrukcija. Upotrebom ovih alata, koji podrazumevaju integraciju programa za modeliranje, proračun čvrstoće i strujanja, vreme projektovanja i reprojekovanja se znatno smanjuje.

Lopatice vetroturbina se smatraju jednim od najkritičnijih komponenti sistema vetroturbine [1]. One moraju biti projektovane tako da rade u širokom opsegu radnih režima, da izdrže sva strukturalna opterećenja, postignu maksimalno iskorišćenje vetra, a da pritom oštećenja i buka budu što manji. U procesu projektovanja mora se uzeti u obzir zamor koji se javlja u toku eksploatacije, jer je predviđeni radni vek vetroturbine oko 20 godina.

U radu je modelirana lopatica vetroturbine NREL Phase VI. Vetroturbina je konstruisana za ispitivanje u jednom od najvećih aerotunela na svetu, čije dimenzije iznose 24.4x36.6 metara. Aerotunel se prvenstveno koristi za određivanje karakteristika strujanja oko aerodinamičkih površina i drugih konstrukcija, za male i velike brzine strujanja. Konstrukcija ove vetroturbine je sa dve kompozitne lopatice, dužine 5.029 metara što predstavlja najveći prečnik jednog rotora koji se ispitivao u aerotunelu. Rezultati testova su pokazali da je priroda strujanja vazduha oko vetroturbina dinamički veoma složena. Turbulentnost strujanja predstavlja jedan od faktora koji doprinose složenosti dobijanja validnih eksperimentalnih rezultata. Testiranje u kontrolisanim uslovima aerotunela, pri kojima su ovi faktori eliminisani, omogućuju istraživačima da definišu specifične dinamičke veličine koje je moguće uporediti sa vrednostima dobijenim odgovarajućim proračunima. Ova vetroturbina je konstruisana da karakteriše aerodinamički i strukturni odziv kao kod vetroturbina većih razmera. Merene vrednosti uključuju uslove ulaznog strujanja, aerodinamičku raspodelu pritiska po aeroprofilu, i odziv ostalih mehaničkih komponenata vetroturbine. Cilj ispitivanja je dobijanje što preciznijih rezultata koji će biti primenljivi za velikogabaritne vetroturbine. Dobijeni podaci se koriste za verifikaciju i poboljšanje metoda projektovanja i analize naprednih vetroturbina.

¹ Zorana Posteljnjk, dipl. inž, Mašinski fakultet Beograd, tel. 3302-345, email: zposteljnjk@mas.bg.ac.rs
Srđan Trivković, dipl. inž, Mašinski fakultet Beograd, tel. 3302-345, email: strivkovic@mas.bg.ac.rs
Nikola Petrašinović, dipl.inž, Mašinski fakultet Beograd, tel. 3302-345, email: npetrasinovic@mas.bg.ac.rs
mr Marija Stanojević, dipl. inž, Mašinski fakultet Beograd, tel. 3302-345, email: mzstanojevic@mas.bg.ac.rs



Slika 1. Lopatica vetroturbine NREL Phase VI

POVEZIVANJE PROGRAMA CATIA V5 SA DRUGIM APLIKACIJAMA

Pomoću programskih paketa, proces modeliranja može biti značajno ubrzan upotrebom makroa i ugrađenih skript jezika. Na Windows platformi su podržani *Visual Basic for Applications* i *Visual Basic Scripting Edition*, preko kojih je moguća automatizacija, ali i povezivanje sa drugim aplikacijama. Na ovaj način je omogućen ne samo unos podataka iz gotovo svakog programskog paketa, već i kreiranje i manipulacija objektima iz drugih aplikacija, zahvaljujući postojanju velikog broja ugrađenih programskih klasa, metoda i naredbi.

U ovom radu je prikazan postupak modelovanja lopatice vetroturbine NREL Phase VI korišćenjem prethodno izračunatih podataka o sekcijama lopatice koji su uneti u MS Excel tabelu. Dati podaci su ulazni za VBA skript koji predstavlja vezu između dva programska paketa. U skript programu se uneti parametri, zajedno sa odgovarajućim komandama, prosleđuju u programski paket za 3D modeliranje – Catia V5 [2]. Jedan od potprograma izgleda ovako:

Sub Main()

```
Dim TypeFile As Integer
TypeFile = GetTypeFile
```

```
' V5R12 - Create dedicate openBody for created geometry
' Get CATIA Active Document
' Warning: Active document has to be a Part Document
Dim PtDoc As Object
Set PtDoc = GetCATIAPartDocument
```

```
' Dim myHBody As HybridBody
Set myHBody = PtDoc.Part.HybridBodies.Add()
Set referencebody = PtDoc.Part.CreateReferenceFromObject(myHBody)
PtDoc.Part.HybridShapeFactory.ChangeFeatureName referencebody, "GeometryFromExcel"
```

```
If TypeFile = 1 Then
    CreationPoint
ElseIf TypeFile = 2 Then
    CreationSpline
ElseIf TypeFile = 3 Then
    CreationLoft
End If
End Sub
```

Radijalna udaljenost r (m)	Debljina aeropr. (m), % tetive	Dužina tetive (m)	Ugao vitoperenja (stepen)	Ugao vitoperenja ose (% tetive)
0	Centar rotacije	Centar rotacije	Centar rotacije	Centar rotacije
1.257	20.95%	0.737	20.040	30
1.343	20.95%	0.728	18.074	30
1.510	20.95%	0.711	14.292	30
1.648	20.95%	0.697	11.909	30
1.952	20.95%	0.666	7.979	30
2.257	20.95%	0.636	5.308	30
2.343	20.95%	0.627	4.715	30
2.562	20.95%	0.605	3.425	30
2.867	20.95%	0.574	2.083	30
3.172	20.95%	0.543	1.150	30
3.185	20.95%	0.542	1.115	30
3.476	20.95%	0.512	0.494	30
3.781	20.95%	0.482	-0.015	30
4.023	20.95%	0.457	-0.381	30
4.086	20.95%	0.451	-0.475	30
4.391	20.95%	0.420	-0.920	30
4.696	20.95%	0.389	-1.352	30
4.780	20.95%	0.381	-1.469	30
5.000	20.95%	0.358	-1.775	30

Tabela 1. Podaci lopatice [3]

	A	B	C
62	StartMulti-SectionsSurface		
63	StartCurve		
64	996.23	0.54	1343
65	985.28	2.45	1343
66	967.99	6	1343
67	945.23	11.01	1343
68	917.63	16.94	1343
69	885.37	23.35	1343
70	848.54	30.17	1343
71	807.56	37.61	1343
72	763.14	45.78	1343
73	716.06	54.62	1343
74	667.18	64.03	1343
75	617.47	73.79	1343
76	568.01	83.56	1343
77	520.05	92.37	1343
78	473.84	98.43	1343
79	428.09	101.01	1343
80	382.23	101.09	1343
81	336.89	99.33	1343
82	292.59	95.94	1343
83	249.87	91.13	1343
84	209.2	85.05	1343
85	171.03	77.86	1343
86	135.8	69.72	1343
87	103.9	60.82	1343
88	75.68	51.32	1343
89	51.47	41.43	1343
90	31.58	31.36	1343
91	16.26	21.33	1343
92	5.75	11.66	1343
93	0.37	2.75	1343
94	EndCurve		

Slika 2. Koordinate aeroprofila [4]

Na slici 2. je prikazan primer ulaznih podataka za skript program - geometrijski parametri koji su potrebni za modelovanje lopatice, u ovom slučaju koordinata gornjake aeroprofila, kao i komande definisane u skript fajlu. Preko njih se ostvaruje veza sa odgovarajućim komandama u programskom paketu Catia V5 i automatsko generisanje prosleđenih elemenata odnosno tačaka, linija i površi.

Izvršavanje koda zavisi od tipa podatka u ćeliji tabele. Program prepoznaje da li se radi o komandi ili parametru modela (koordinate modela) i prema tome se donosi odluka o izvršavanju potrebnog potprograma.

MODELIRANJE LOPATICE

Proračuni u okviru projektovanja lopatice vetroturbine se mogu podeliti na aerodinamički i strukturalni deo proračuna. Aerodinamički proračun se odnosi na određivanje optimalne geometrije lopatice u smislu performansi i opterećenja i u okviru njega se definišu svi parametri potrebni za njeno modelovanje.

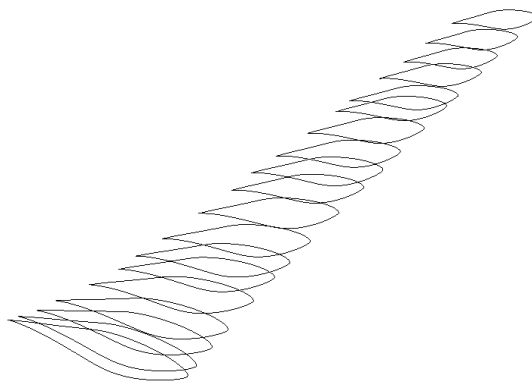
Odgovarajući geometrijski oblik lopatice je od izuzetne važnosti. Parametrizacijom oblika lopatice postiže se lako i brzo dalje modifikovanje geometrije, što je od velikog značaja za vetroturbine, s obzirom na potrebu za optimiziranjem konstrukcije u zavisnosti od uslova vetra na mestu postavljanja.

Oblik lopatice je definisan aeroprofilima čije su dužine tetiva i debljine kao i ugao vitoperenja prikazane u tabeli 1. Modelovana lopatica celom dužinom, sem u korenom delu, ima laminarni aeroprofil S809, koji je napravljen posebno za vetroturbine sa horizontalnom osom obrtanja.

Prilikom modeliranja broj preseka mora biti dovoljan da bi se ostvarilo što preciznije aproksimiranje oblika lopatice između dva proračunata preseka, i u ovom slučaju ih imamo 19 (slika 4).

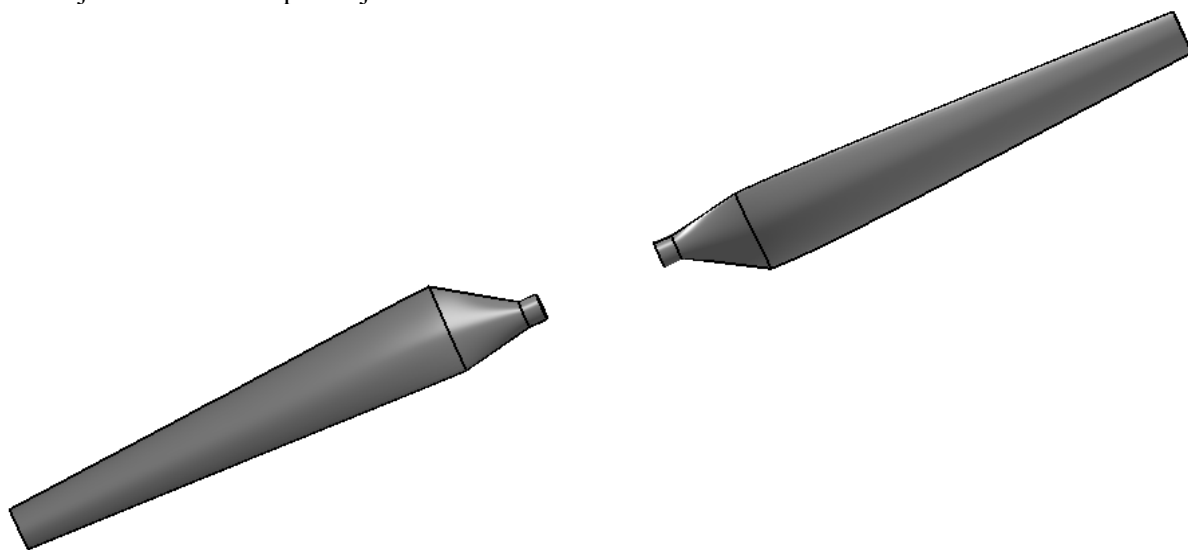


Slika 3. Aeroprofil S809



Slika 4. Raspored aeroprofila duž lopatice

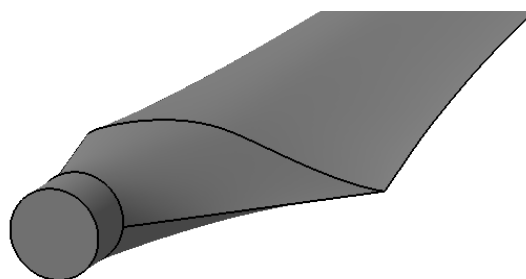
Za definisanje gornjake i donjake aeroprofila prikazanog na slici 3. korišćeno je 60 tačaka koje su zatim spajane zatvorenim splajn krivom. Za date dužine tetiva računane su koordinate svake od 60 tačaka koje su zatim transformisane tako da aeroprofilu budu postavljeni pod uglovima koji su dati u tabeli 1. Postupak se ponavlja za svih 19 preseka lopatice. Tako pripremljeni podaci se prosleđuju VBA skriptu koji na osnovu njih iscrta potrebne tačke, linije i površi u 3D programskom paketu. Na slici 5. prikazan je konačan model lopatica i njihov međusobni položaj.



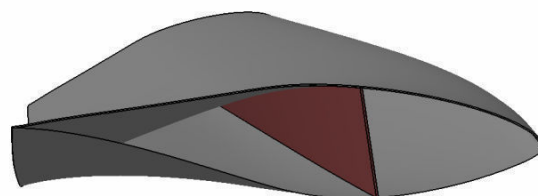
Slika 5. Modelovane lopatice vetroturbine NREL Phase VI

Obe lopatice su vezane za glavčinu rotora u tački koja je na 0.508 m od ose rotacije. Konstrukcija korenog dela lopatice je vezana za strukturalne zahteve, i upravo zbog toga i prelaz sa cilindričnog korenog dela lopatice na aeroprofilisani treba da bude što blaži (slika 6.). Cilindrični deo korena je prečnika 0.218 m, a dužine 0.152 m.

Aerodinamički i strukturalni proračuni su zasnovani na maksimalnim statičkim i dinamičkim opterećenjima lopatice. Nakon odgovarajuće geometrije lopatice treba uspostaviti takvu strukturu koja će zadovoljiti zahteve u pogledu čvrstoće i krutosti, uz minimalnu težinu same lopatice. Na slici 7. prikazan je poprečni presek lopatice na kome se može videti ramenača koja je postavljena celom dužinom lopatice i doprinosi boljoj raspodeli opterećenja, kao i većoj otpornosti lopatice silama koje izazivaju savijanje i izvijanje.



Slika 6. Koreni deo lopatice



Slika 7. Poprečni presek lopatice

ZAKLJUČAK

Optimizacija vetroturbine prema radnim uslovima, kao i same konstrukcije lopatice, važan je faktor koji utiče na njenu ekonomsku isplativost. Primenom savremenih CAD paketa, postupkom koji je opisan u radu, omogućeno je jednostavno i efikasno modeliranje lopatice kojim se znatno može skratiti proces projektovanja i optimizacije. Takođe, povezivanjem CAE programskih paketa olakšava se uvoz i izvoz modela iz programa za modeliranje u programe za različite vrste analiza. Dakle, dobijeni model lopatice može se koristiti za dalju softversku obradu - strukturalnu analizu, numeričku simulaciju strujanja ili može biti upotrebljen za proces proizvodnje.

LITERATURA:

1. Burton T, Sharpe D, Jenkins N, *Wind Energy Handbook*, John Wiley & Sons Ltd, USA, 2004
2. *Catia V5r19 User's Manual*
3. Hand M, Simms D, Fingersh L, et al. (2001), *Unsteady Aerodynamics Experiment Phase VI: Wind Tunnel Test Configurations and Available Data Campaigns*, Technical Report NREL/TP -500-29955, NREL, 2001.
4. Giguere P, Selig S, *Design of a Tapered and Twisted Blade for the NREL Combined Rotor*, NREL, 1999.

DESIGN OF ADVANCED WIND TURBINE ROTOR BLADE USING MODERN CAD SOFTWARE

Abstract

Rotor blade is an important component of a wind turbine and its design is a complex task that requires a large amount of information . This paper describes the process of modelling rotor blade of the NREL Phase VI wind turbine by using modern software packages. Modeling was conducted in order to analyze the flow field, as well as for further software processing. The analysis is performed to reduce the cost of production, and to predict possible future problems that may occur during the manufacturing of rotor blades, as well as their exploitation. The advantages of presented design method is the possibility of rotor blade design adjustments according to different working regimes.



Ognjen Peković, Aleksandar Simonović, Slobodan Stupar, Dragan Komarov¹

KONSTRUKTIVNO REŠENJE VRHA DIMNJAKA SA KOMPENZACIJOM TERMIČKIH DILATACIJA

Rezime

Čelični industrijski dimnjaci sprovode dimne gasove – produkte sagorevanja u atmosferu. Najčešće su dvoplašne konstrukcije gde unutrašnji plašt služi kao dimni kanal a spoljašnji kao noseći element pri čemu je prostor između dva plašta ispunjen izolacionim slojem mineralne vune. Temperatura produkata sagorevanja varira u zavisnosti od aplikacije ali se u praksi sreću temperature dimnih gasova i do 500°C. Velika temperatura dimnih gasova dovodi do velike termičke dilatacije unutrašnjeg plašta dok, usled izolacionog sloja, spoljašnji plašt dilatira u značajno manjoj meri. Ovakvo ponašanje konstrukcije dovodi do pojave velikih napona i oštećenja na vezivnim elementima vrha dimnjaka koji spajaju dva plašta. U ovom radu prikazani su rezultati numeričkog termičkog proračuna dvoplašnog čeličnog dimnjaka i dato je konstruktivno rešenje koje omogućava dilatacije unutrašnjeg plašta u podužnom pravcu istovremeno sprečavajući radijalno pomeranje unutrašnjeg u odnosu na spoljašnji plašt. Konstruisanje i izrada radioničke dokumentacije izvršeno je korišćenjem najsavremenijih CAD sistema

1. UVOD

Osim mehaničkih opterećenja usled atmosferskih i seizmičkih uticaja, čelični industrijski dimnjaci izloženi su i štetnim hemijskim i termičkim dejstvima. Jedinjenja sumpora i ostali agresivni elementi koji su sastavni deo dimnih gasova kao i atmosferska vlaga utiču na pojavu korozivnih oštećenja na strukturi dimnjaka. Kada je plašt dimnjaka izložen povišenoj temperaturi dimnih gasova-produkata sagorevanja ili, u mnogo manjoj meri, kada je izložen jakom sunčevom zračenju ili velikim promenama ambijentalne temperature, dolazi do temperaturne dilatacije dimnjaka. U slučaju da je pomeranje dimnjaka sprečeno dilatacije mogu izazvati pojavu nedozvoljeno visokih napona u strukturi dimnjaka.

Asimetrično strujanje produkata sagorevanja po poprečnom preseku dimnjaka može prouzrokovati neravnomernu raspodelu temperature u plaštu dimnjaka što dodatno kompikuje naponsku sliku budući da dolazi do pojave termičkih napona i po obimu dimnjaka.

Usled razlike u termičkom širenju različitih komponenti dimnjaka, pri konstruisanju dimnjaka treba obratiti posebnu pažnju na tehnička rešenja zona dimnjaka gde se:

- ostvaruje veza unutrašnjeg i spoljašnjeg plašta
- nalaze otvori na plaštu dimnjaka
- nalaze mesta oslonaca penjalica i platformi na plaštu dimnjaka

¹ Ognjen Peković dipl. inž., Mašinski fakultet Beograd, tel. 3302-345, email: opekovic@mas.bg.ac.rs
doc. dr Aleksandar Simonović dipl. inž., Mašinski fakultet Beograd, tel. 3302-345, email: asimonovic@mas.bg.ac.rs
prof. dr Slobodan Stupar dipl. inž., Mašinski fakultet Beograd, tel. 3302-242, email: sstupar@mas.bg.ac.rs
mr Dragan Komarov dipl. inž., Mašinski fakultet Beograd, tel. 3302-345, email: dkomarov@mas.bg.ac.rs

Kod uobičajene dvoplašne konstrukcije dimnjaka (kada unutrašnji plašt vrši ulogu dimovodnog kanala a spoljašnji plašt ulogu nosećeg strukturnog elementa) plaštovi su na vrhu dimnjaka spojeni krutom vezom. Prostor između dva dimnjaka ispunjava se izolacionim slojem kako bi se obezbedilo da temperatura unutrašnjeg plašta bude iznad tačke rose produkata sagorevanja što dovodi do značajne razlike u temperaturi spoljašnjeg i unutrašnjeg plašta. Usled ove razlike u temperaturi dolazi do različitog širenja unutrašnjeg u odnosu na spoljašnji plašt i opterećenja vezivnog elementa koji spaja unutrašnji i spoljašnji plašt dimnjaka pa dolazi do njegovog ubrzanog propadanja (slika 1.).

Upotrebom savremenih CAD/CAE paketa moguće je izvršiti identifikaciju zona na kojima dolazi do pojave visokih termičkih opterećenja, izvršiti neophodne konstruktivne izmene i ponoviti analizu u svrhu provere valjanosti novog konstruktivnog rešenja.



Slika 1.- Oštećenje vezivnog prstena čeličnog industrijskog dimnjaka TO Borča

2. OPIS PROBLEMA

Usled neposrednog kontakta sa produktima sagorevanja dolazi do zagrevanja i termičke dilatacije unutrašnjeg plašta dimnjaka. Spoljašnji plašt se jednom stranom nalazi u atmosferi dok je sa druge strane izolacionim slojem odvojen od unutrašnjeg plašta usled čega je njegova temperatura značajno niža od temperature unutrašnjeg plašta pa su i dilatacije značajno manje od dilatacija unutrašnjeg plašta.

Uobičajeno konstruktivno rešenje vrha dimnjaka sastoji se od čeličnog prstena koji je zavarenim spojem vezan za unutrašnji plašt i L profila zavarenog za spoljašnji plašt a koji su međusobno povezani vijčanom vezom (slika 2.). Ovako kruta veza ne dopušta relativno pomeranje jednog u odnosu na drugi plašt te na konstrukciji dolazi do pojave dodatnih opterećenja (slika 3.), koje uzrokuje deformacije elemenata dimnjaka, njihova oštećenja i propadanje.



Slika 2.- Uobičajeno konstruktivno rešenje veze spoljašnjeg i unutrašnjeg plašta a) dimnjak TO Batajnica
b) dimnjak pomoćne kotlarnice TENT B

Izduženje štapa izloženog dejstvu homogenog temperaturnog polja dato je izrazom:

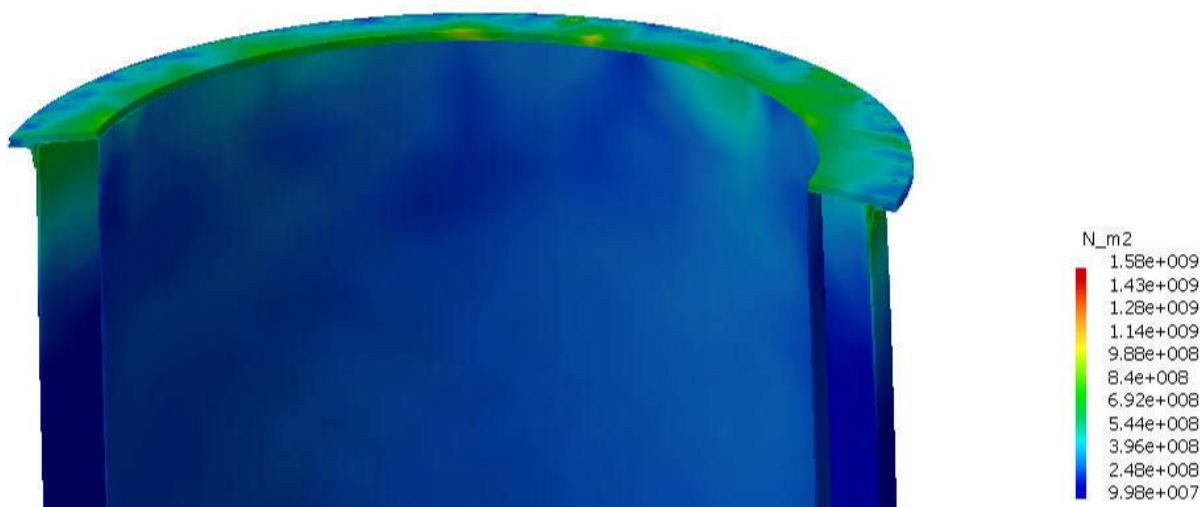
$$\Delta l = \int_0^l \varepsilon(z) dz .$$

Za homogen štap , izduženje je moguće izraziti kao:

$$\Delta l = \int_0^l \alpha_t \Delta T(z) dz ,$$

gde je α_t koeficijent linearnog izduženja štapa , a ΔT razlika između početne i krajnje temperature do koje se zagrejavao štap.

Konačnoelementnom analizom izvršen je proračun napona koji se javljaju na vrhu dimnjaka visokog 50m, pri temperaturi dimnih gasova od 400°C i ambijentalnoj temperaturi od 15°C. Unutrašnji plašt je sa spoljne strane savršeno izolovan tako da nema uticaja na zagrevanje spoljašnjeg plašta. Rezultati proračuna prikazani su na slikama 3.i 4. Proračun je izvršen u programskom paketu Catia V5, korišćenjem 3D konačnih elemenata tipa tetraedra sa 12 stepeni slobode (3 po čvoru).



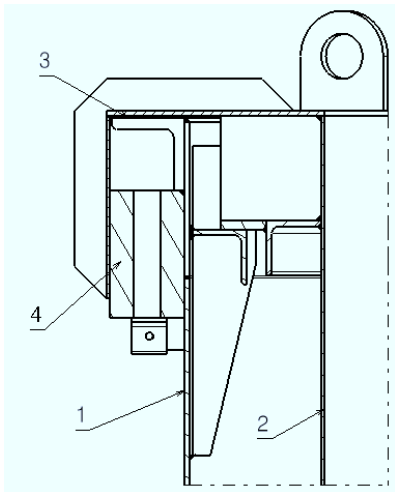
Slika 3.- Naponsko stanje vrha dimnjaka



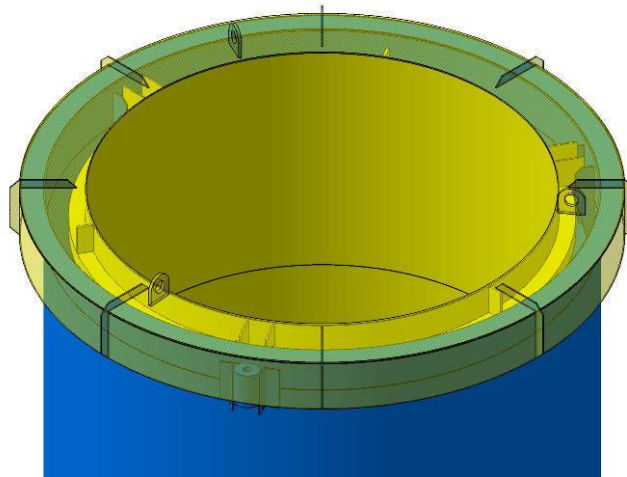
Slika 4.- Pomeranje vrha dimnjaka

3. KONSTRUKTIVNO REŠENJE VRHA DIMNJAKA

U cilju sprečavanja pojave termičkih napona na vrhu dimnjaka izvršena je rekonstrukcija vrha dimnjaka. Za razliku od postojećih konstruktivnih rešenja, omogućeno je nezavisno aksijalno pomeranje unutrašnjeg i spoljašnjeg plašta, dok je onemogućeno radijalno međusobno pomeranje spoljašnjeg i unutrašnjeg plašta. Ovakvim rešenjem eliminisana je pojava termičkih napona pri vrhu dimnjaka a u isto vreme onemogućeno je radijalno kretanje unutrašnjeg plašta i eventualni udari u spoljašnji plašt. Takođe, konstrukcija vrha dimnjaka sprečava prolaz atmosferskih padavina i produkata sagorevanja u međuplašni prostor. Na slici 5. prikazan je rekonstruisani vrh dimnjaka. Na spoljašnji plašt (pozicija 1.) naleže vezivni prsten (pozicija 3.) koji je zavarenim spojem vezan za unutrašnji plašt (pozicija 2.). Gumenim distancerom (pozicija 4.) onemogućeno je međusobno pomeranje unutrašnjeg i spoljašnjeg plašta u radijalnom pravcu.



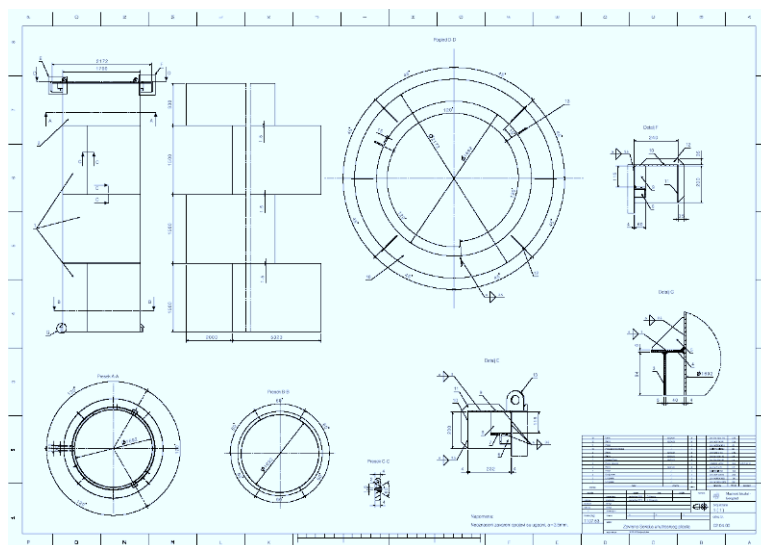
Slika 5.



Slika 6. CAD model novog konstruktivnog rešenja vrha

dimnjaka

Modelovanje i projektovanje tehničkog rešenja vrha dimnjaka izvršeno je u programskom paketu Catia V5. Ovaj programski paket pored brojnih drugih mogućnosti sadrži i module za 3D modeliranje, analizu metodom konačnih elemenata i generisanje tehničke dokumentacije koji su korišćeni prilikom izrade rešenja vrha dimnjaka. Na slici 7. prikazan je tehnički crtež poslednje sekcije unutrašnjeg plašta dimnjaka sa novim rešenjem vrha generisan na osnovu 3d modela sa slike 6. Takođe u okviru Catia V5 paketa nalazi se i modul za izradu i analizu mašinskih sklopova „*Assembly design*“ gde je moguće izvršiti funkcionalnu analizu sklopova i definisati međusobne odnose elemenata sklopa.



Slika 7. Tehnička dokumentacija za izradu poslednje sekcije unutrašnjeg plašta dimnjaka

4. ZAKLJUČAK

U radu je opisana upotreba savremenog CAD/CAE programskog paketa pri analizi, projektovanju i izradi grafičke dokumentacije tehničkog rešenja vrha dimnjaka. Izvršena analiza metodom konačnih elemenata ukazala je na spoj spoljašnjeg i unutrašnjeg plašta kao mesto sa visokom koncentracijom napona pri temperaturnoj dilataciji dimnjaka. Termički naponi vrha dimnjaka eliminisani su tako što je omogućeno aksijalno pomeranje jednog plašta dimnjaka u odnosu na drugi. Upotrebom savremenih softverskih alata vreme potrebno za realizaciju aktivnosti u vezi analize i projektovanja značajno je smanjeno, a sam kvalitet rešenja značajno poboljšan. U savremenom poslovnom okruženju, kada se pred projektante postavljaju visoki zahtevi po pitanju produktivnosti i kada se projektanti susreću sa veoma kratkim vremenskim rokovima, upotreba savremenih softverskih alata postaje neophodan uslov za konkurentno poslovanje. Na ovom primeru prikazane su mogućnosti savremenih CAD/CAE/CAM alata kakav je CATIA V5, i ukazano je na velike uštede u vremenu koje je moguće ostvariti njihovom upotrebom.

LITERATURA

1. CICIND – Comite international des chemines industrielles, *The CICIND chimney book – Industrial chimneys of concrete or steel*, CICIND Zurich, ISBN 3-00-017609-8, 2005.
2. Faber B, Gropp R, *Connection arrangement for two pipes carrying hot fluids*, United States Patent, Patent Number 4 747 624, 1988.
3. Bursi O.S, Jaspert J.P, *Basic issues in the finite element simulation of extended end plate connections*, 1998.
4. Stupar S, Simonović A, Komarov D, Peković O, Trivković S, Zorić N, Posteljnik Z, Svorcan J, *Projekat sanacije čeličnog dimnjaka TO Borča - 50m/Ø2000mm-Ø1700mm*, Mašinski fakultet, Ugovor br. MF 1544/1, Beograd 2010.
5. Stupar S, Simonović A, Komarov D, Peković O, Trivković S, Svorcan J.: *Klizno-spojni prsten industrijskih čeličnih dimnjaka*, tehničko rešenje br.514/2, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd 2010.

Abstract

DESIGN OF FLUE STACK TOP PLATE WITH COMPENSATION OF THERMAL DILATATION

Industrial steel chimneys transfer flue gas - products of combustion into the atmosphere. Double wall stacks are the most common type of construction where the inner shell serves as a flue channel and the outer as the load bearing element. Space between two shells is filled with insulation layer. Temperature of combustion products varies depending on the application but, in practice, flue gas temperatures can reach up to 500°C. High temperature of flue gases causes large thermal dilatation of the inner shell, while the outer shell dilates in a significantly lesser extent, due to the insulating layer. Such behavior of the structure generate high stresses and damage the top plate that connect the two shells. In this paper, the results of numerical thermal calculations of double wall steel chimney are given and a constructive solution that allows movement of the inner shell in the longitudinal direction while preventing radial displacement of the internal relative to the outer shell is presented. Design and production of workshop documentation was done using the latest CAD systems.



Jelena Svorcan, Aleksandar Simonović, Slobodan Stupar, Ognjen Peković¹

ODREĐIVANJE KONSTRUKTIVNIH PARAMETARA UVODNIKA DIMNIH GASOVA ČELIČNIH DIMNJAKA

Rezime:

Industrijski dimnjaci, usled svoje odgovorne funkcije i raznorodnih opterećenja koje trpe, uglavnom se posebno projektuju prema zahtevima i nameni. Važan korak u procesu njihove konstrukcije predstavlja izrada CAD modela koji se kasnije prvenstveno koristi u numeričkim proračunima kao i u izradi dokumentacije. Ovaj rad prikazuje deo procesa remontovanja industrijskog čeličnog dimnjaka čija početna konstrukcija nije adekvatno rešena što je rezultiralo ubrzanim propadanjem. Uvodnik dimnih gasova potpuno je promenjen da bi se postigla ravnomernija raspodela termičkog opterećenja, a do novog koncepta došlo se nakon izrade modela i detaljne numeričke analize korišćenjem savremenih softverskih alata.

1. UVOD

Konstrukcija jednoplašnog dimnjaka sastoji se od jednog plašta koji vrši funkciju glavnog nosećeg elementa strukture, a ujedno služi i kao dimovodni kanal. Ukoliko, kod takvog dimnjaka, postoji više dimovodnih kanala za sprovođenje dimnih gasova iz različitih kotlova ka atmosferi postavljenih na istoj ili sličnoj visini, različitih masenih (zapreminskih) protoka ili temperatura, javlja se potreba za uvođenjem unutrašnje pregrade. Ukoliko unutrašnja pregrada nije adekvatno projektovana, može doći do neravnomernog termičkog opterećenja i pojave dodatnih napona konstrukcije dimnjaka. Pravilnim razdvajanjem dimnih gasova iz naspramno postavljenih dimnih kanala na ulazu u dimnjak moguće je umanjiti uticaj prethodno opisanih problema.

Prethodna konstrukcija unutrašnje pregrade razmatranog dimnjaka sastojala se od čelične ploče koja je poprečni presek dimnjaka delila na dve celine. Kako je razlika temperatura dolazećih gasova iz različitih dimovodnih kanala velika, dolazilo je do stvaranja termičkih dilatacija različitih intenziteta duž plašta dimnjaka a time i do povećanih napona, što je dovelo do ubrzanog propadanja konstrukcije.

Kao deo rekonstrukcije dimnjaka, osmišljen je novi koncept unutrašnje pregrade. Radi uspostavljanja ravnomernije raspodele temperature u korenom delu dimnjaka, pregradna ploča zamenjena je sklopom koji se sastoji iz cevi kružnog poprečnog preseka, veznih elemenata i nastavka dimovodnog kanala koji sprovodi dimne gasove iz jednog dimovodnog kanala. Strujanje dimnih gasova iz drugog dimovodnog kanala ostvaruje se kroz međuprostor između plašta dimnjaka i cevi.

Korišćenjem savremenih CAD/CAM alata napravljen je geometrijski model dimnjaka na osnovu kog su izrađeni proračunski modeli za numeričku simulaciju strujanja i analizu čvrstoće metodom konačnih elemenata. Simulacija strujanja i analiza čvrstoće izvršene su kako bi se proverila valjanost rešenja i kako bi se odredila tačna geometrija uvodnika dimnih gasova kojom se naponi u plaštu dimnjaka minimizuju.

¹ Jelena Svorcan dipl.inž, Mašinski fakultet Beograd, tel. 3302-345, e-mail: jsvorcan@mas.bg.ac.rs
doc. dr Aleksandar Simonović dipl. inž, Mašinski fakultet Beograd, tel. 3302-345, e-mail: asimonovic@mas.bg.ac.rs
prof. dr Slobodan Stupar dipl. inž, Mašinski fakultet Beograd, tel. 3302-345, e-mail: sstupar@mas.bg.ac.rs
Ognjen Peković dipl. inž, Mašinski fakultet Beograd, tel. 3302-345, e-mail: opekovic@mas.bg.ac.rs



Slika 1: Oštećenje, prslina, na rebru korene strukture dimnjaka

2. OPIS KONSTRUKCIJE

Jednoplášni dimnjak TO Zemun odvodi dimne gasove iz tri mazutna kotla ukupne snage 32MW. Otvor prvog dimnovodnog kanala (kojim se dovode gasovi iz jednog kotla) je dimenzija $1800 \times 700 \text{ mm}$ na koti 3600 mm , dok je drugi (kojim se dovode gasovi iz preostala dva kotla) dimenzija $1400 \times 400 \text{ mm}$ na koti 3900 mm . Prethodni pregradni zid prostirao se od kote 2400 mm do kote 6400 mm mereno od dna dimnjaka. Širina ploče iznosila je 1250 mm i pomoću nje poprečni presek dimnjaka podeljen je na dve oblasti, površina 0.344 m^2 i 1.196 m^2 respektivno.

Konstruktivni parametri novog uvodnika određeni su prema prethodnom stanju. U cilju očuvanja odgovarajućeg odnosa površina a vodeći računa o ekonomskim ograničenjima, uvodnik je izrađen od standardne cevi prečnika $\varnothing 711 \text{ mm}$ (čime je neznatno promenjen odnos površina kroz koje prolaze dimni gasovi koji dolaze iz jednog i drugog kanala). Visina sklopa nije menjana i iznosi 4 m .

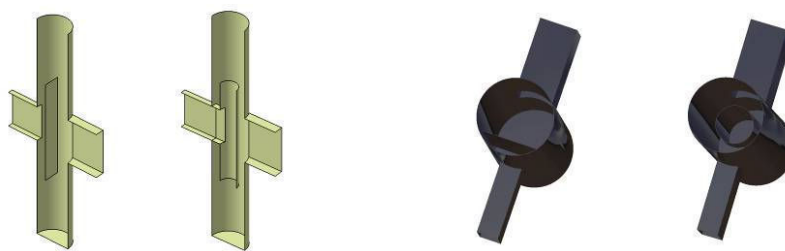


Slika 2: Skica i fotografija prethodnog stanja i skica novog rešenja

3. IZRADA PRORAČUNSKOG MODELA

Izvršeni proračun sastojao se iz dva koraka. Svi potrebni modeli izrađeni su korišćenjem programskog paketa Catia V5 (modeli su pojednostavljeni u meri i kojoj je to bilo moguće, a tako da fizikalnost realnog procesa bude dovoljno očuvana).

U prvom koraku izrađena su dva modela, jedan za prethodno stanje i drugi za novo rešenje uvodnika, gde je u cilju određivanja temperaturnog polja, modeliran fluid unutar korenog dela dimnjaka. Drugi korak sastojao se od izrade dva modela korenog dela dimnjaka, prethodnog i novog rešenja, na osnovu kojih su izrađeni konačnoelementni modeli, izvršeni strukturalni proračun i dobijene vrednosti napona i pomeraja koje odgovaraju temperaturnom polju određenom u prethodnom koraku. Zajedno sa modeliranjem geometrije problema, postavljeni su odgovarajući granični uslovi kojima su se realne veze između elemenata konstrukcije simulirale sa dovoljnom tačnošću. Izrađeni modeli prikazani su na Slici 3.

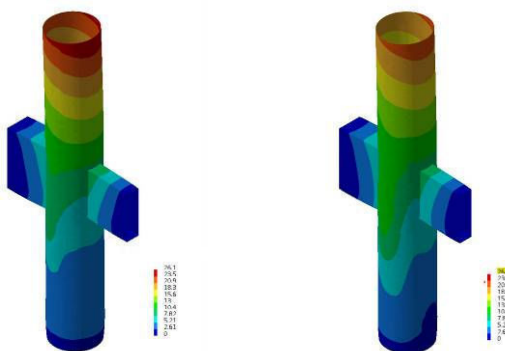


Slika 3: Proračunski modeli prethodnog i novog rešenja

3. ANALIZA REZULTATA

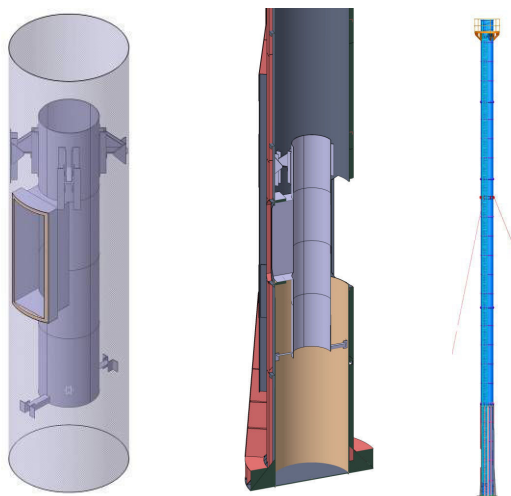
Nakon sprovedene numeričke simulacije strujanja, pretpostavke o postizanju ravnomernije raspodele brzina i temperatura donekle su potvrđene. Iako vrednosti dobijene numeričkim proračunom nije bilo moguće proveriti, izračunate vrednosti su se slagale sa očekivanim rezultata. Rešenja dobijena u prvoj fazi iskorišćena su kao početne vrednosti u daljim iteracijama u cilju tačnijeg određivanja raspodele pritiska i temperature po površinama korenog dela dimnjaka. Na osnovu izvršenih proračuna određena je konačna geometrija uvodnika i odabrani su odgovarajući materijali .

Na slici 4 prikazani su rezultati konačnoelementne analize. Može se primetiti da su pomeranja plašta dimnjaka sa cilindričnim uvodnikom smanjena za 14% u odnosu na prethodnu pregradu, te da je došlo do ravnomernije raspodele pomeranja po obodu dimnjaka.



Slika 4: Proračunate vrednosti pomeraja za prethodno i novo rešenje uvodnika dimnih gasova

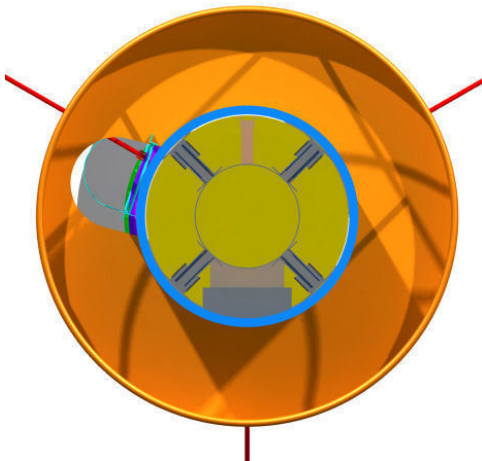
4. IZRADA MODELA KORENOG DELA DIMNJAKA



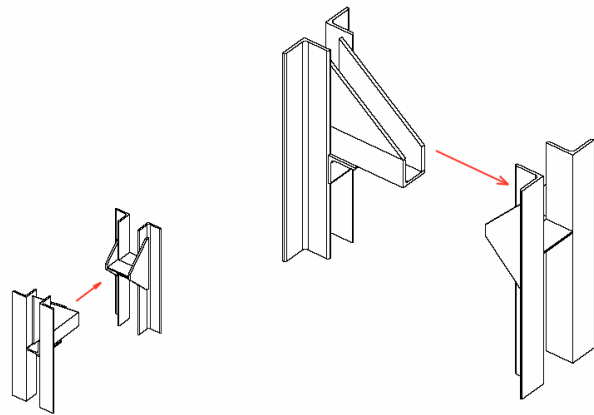
Slika 4: Izometrijski prikazi modela korenog dela kao i celog dimnjaka

U ovom delu projektovanja, takođe, korišćen je programski paket Catia V5, prvenstveno moduli Part Design i Assembly Design. Usled svojih brojnih mogućnosti i lake upotrebljivosti, moguće je potpuno definisati i detaljno prikazati svaki od sastavnih delova, kao i odgovarajuće veze među njima. Korišćeni programski paket pokazao se i kao značajna ispomoć u dizajniranju veze novog sklopa i unutrašnjosti dimnjaka.

Takođe, kada je proračunom potvrđena prednost novog uvodnika dimnih gasova, izrađen je detaljan CAD model celog dimnjaka što je prikazano na slici 5. Na modelu celokupnog dimnjaka takođe su sprovedene potrebne mehaničke analize korišćenjem paketa Catia V5. Proračun konstrukcije metodom konačnih elemenata pokazao je da je primenom novog rešenja uvodnika ostvareno povoljnije naponsko stanje u konstrukciji kao i da nije došlo do promene frekventnih karakteristika dimnjaka.

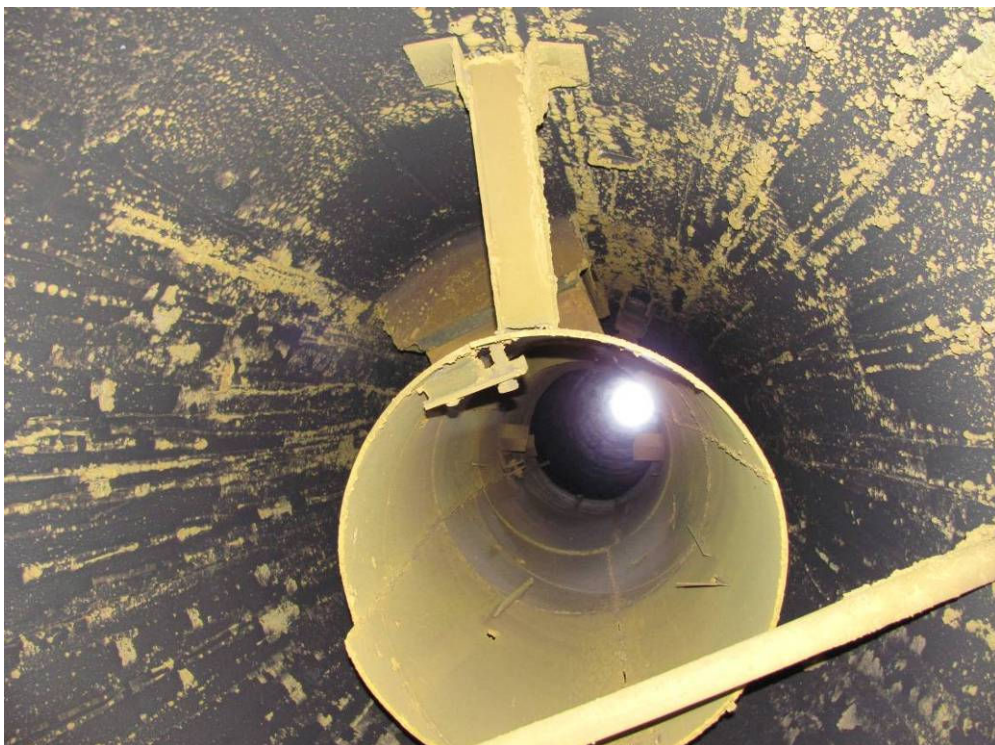


Slika 5: Pogled odozgo modela dimnjaka



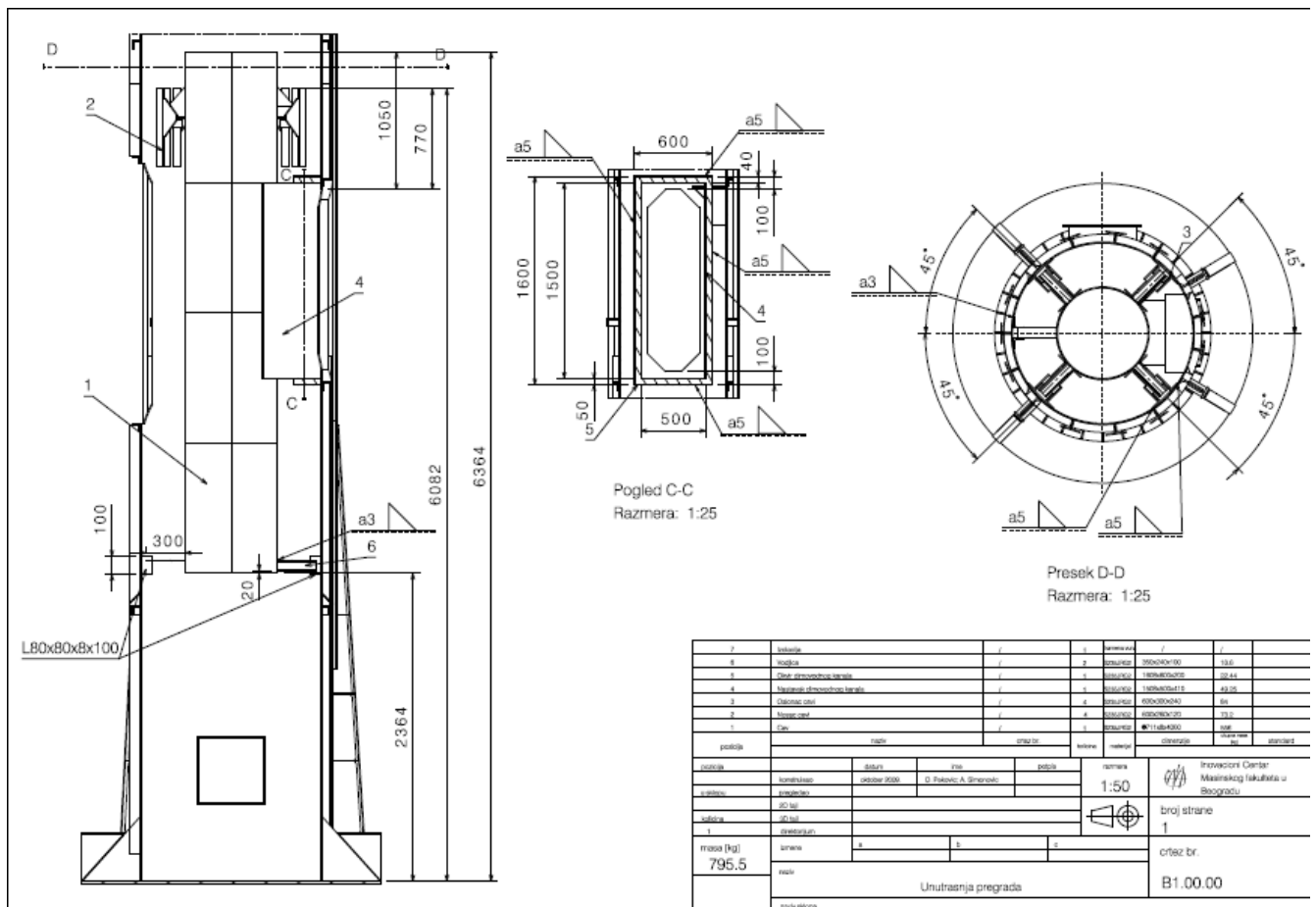
Slika 6: Prikaz veze sklopa i unutrašnjeg plašta

Nakon završetka projektovanja, sprovođenja potrebnih proračuna i izrade tehničke dokumentacije, izvršena je rekonstrukcija dimnjaka i prethodna unutrašnja pregrada zamenjena je novom što je prikazano na slici 7.



Slika 7: Realizovana konstrukcija

Tehnički crtež, izrađen za potrebe proizvodnje unutrašnje pregrade prikazan je na slici 8.



Slika 8: Tehnički crtež

5. ZAKLJUČAK

Kao deo rekonstrukcije dimnjaka TO Zemun, nakon analize postojećeg stanja, izvršena je zamena unutrašnje pregrade dimnjaka čija je funkcija razdvajanje dolazećih struja dimnih gasova. Kako je, usled geometrije pregrade i načina oslanjanja, dolazilo do stvaranja nejednakih termičkih dilatacija, a time i dodatnih napona u plaštu dimnjaka, osmišljen je nov koncept unutrašnje pregrade - uvodnika dimnih gasova. Novim tehničkim rešenjem uvodnika postignuta je ravnomernija raspodela temperatura po obimu dimnjaka i značajno su smanjena pomeranja konstrukcije usled delovanja termičkog opterećenja. Prilikom projektovanja, proračuna, izrade dokumentacije i same rekonstrukcije korišćeni su CAD/CAE sistemi čijom upotrebom je skraćeno vreme potrebno za realizaciju aktivnosti vezanih za rekonstrukciju dimnjaka.

LITERATURA

1. Payne R, *Fluid slug flow mitigation with partitioned pipe*, United States Patent, Patent Number 5 322 551, 1994.
2. Vandever P, *Process for burning oil insoluble sludge*, United States Patent, Patent Number 1 976 528, 1934.
3. Marty Ph, Michel F, Tochon P, *Experimental and numerical study of the heat transfer along a blunt flat plate*, 2007.
4. Andreozzi A, Campo A, Manca O, *Compounded natural convection enhancement in a vertical parallel-plane channel*, 2007.
5. Stupar S, Petrovic Z, Simonović A, Komarov D, Peković O, Trivković S, Zorić N, *Projekat rekonstrukcije unutrašnje pregrade jednoplašnog dimnjaka TO Zemun*, Inovacioni centar Mašinskog fakulteta u Beogradu, Ugovor br. ICMF 150/1, pon. br. 85/1 i 85/2, Beograd 2009.

DETERMINATION OF THE CONSTRUCTIVE PARAMETERS OF INDUSTRIAL STEEL CHIMNEYS FUEL-GASES INLET

Abstract:

Because of their responsible function and diverse loads they are subjected to, industrial chimneys are mostly specially projected according to their specification and purpose. An important step in this process is the production of the CAD model that is, later on, primarily used in numerical simulations and documentation. This paper presents a part of the process of rebuilding an industrial steel chimney whose initial construction was not adequately solved and that resulted in rapid decline. Fuel-gases inlet was completely changed in order to achieve a more uniform thermal load distribution, and this new concept was reached after designing a model and performing a detailed numerical analysis by using modern software packages.



P. Bojanić¹, G. Mladenović²

ANALIZA PROBLEMA PRI GENERISANJU PUTANJE ALATA PRI OBRADI SKULPTORSKIH POVRŠINA

Rezi me

Kod obrade radnih predmeta sa skulptorskim površinama na CNC mašinama alatkama, putanja alata je ključni element za kvalitet obrađene površine i za efikasnost obrade. U radu se daje opšta analiza problema i pravaca rešavanja u generisanju putanje alata pri obradi skulptorskih površina. Definisani su kriterijumi za optimizaciju pri generisanju putanje alata.

Ključne reči: putanja alata, skulptorska površina, CNC obrada

1. UVOD

Mnogi proizvodi imaju, u svojoj strukturi, delove sa vrlo složenom konfiguracijom površina koje se ne mogu analitički opisati već se njihov opis svodi na aproksimaciju polinomima višeg reda. Složen oblik površina nastaje iz funkcionalnih ili estetskih razloga. Poznato je da se takvi delovi ne mogu u potpunosti predstaviti tehničkim crtežom, pa je proizvodnja istih isključivo orijentisana na primenu CNC tehnologije. Primena 3-osnih i 5-osnih CNC mašina alatki se podrazumeva u izradi delova sa pomenutim, složenim ili skulptorskim površinama. Peto-osne mašine imaju simultano upravljanje po 5 osa, tri translacije, u pravcu osa x, y i z, i dve rotacije koje izvodi nosač alata ili sto mašine, ili kombinovano. U poređenju sa 3-osnim mašinama alatkama, 5-osne mašine su efikasnije u obradi skulptorskih površina a dobija se i veći kvalitet obrađenih površina. U praksi je moguće sresti i upotrebu $3\frac{1}{2}\frac{1}{2}$ CNC mašine, koje se odlikuju nižom cenom,

manjom popustljivošću u odnosu na 5-osne mašine ali i nemogućnošću upravljanja osama rotacije za vreme procesa rezanja. Ovo pak podrazumeva da je neophodan gubitak vremena u postavljanju definisane orijentacije, što se odražava na efikasnost izrade radnog predmeta.

Postoje dve klasifikacije faza obrade skulptorskih površina. Jedna podrazumeva da se do konačnog oblika skulptorske površine dolazi kroz grubu, polufinu, finu obradu i obradu čišćenja nakon čega sledi poliranje površina. Grubom obradom se skida velika količina materijala i kao rezultat se dobija gruba aproksimacija konačnog oblika površine. U toku polufine obrade uklanja se višak materijala dobijen aproksimativnom grubom obradom i dobija se ofsetovana površina sa dodatkom za finu obradu. U toku fine obrade dobija se konačan oblik površine. U toku operacije čišćenja uklanja se zaostali materijal koji nije mogao biti uklonjen zbog velikog prečnika alata. Druga klasifikacija je grublja i ona prepoznaje samo grubu, finu obradu i obradu čišćenja.

Mera kvaliteta obrade skulptorske površine u suštini treba da bude ostvareno tolerancijsko polje. Definisanjem dozvoljene gornje i donje granice odstupanja dizajner je precizirao geometrijski prostor u kome se može naći obrađena površina a da odgovara funkcionalnim ili estetskim

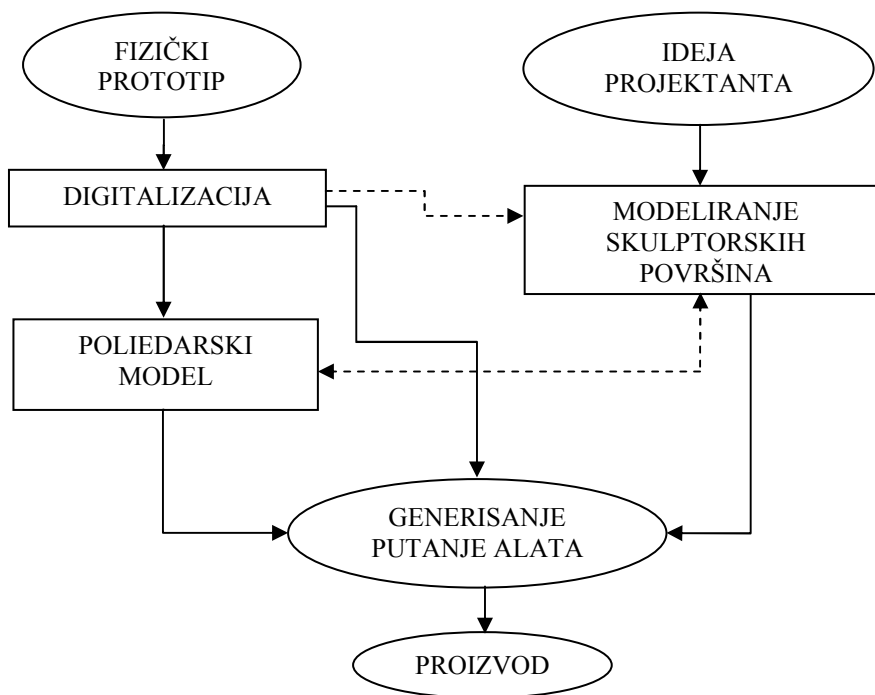
¹ Prof. dr Pavao Bojanić, Katedra za proizvodno mašinstvo, Mašinski fakultet Beograd, pbojanic@mas.bg.ac.rs

² Asist. Goran Mladenović, dipl.inž.maš., Katedra za proizvodno mašinstvo, Mašinski fakultet Beograd, gmladenovic@mas.bg.ac.rs

zahtevima. Ovo pak podrazumeva da maksimalna hrapavost ne treba da dostigne maksimalno dozvoljenu toleranciju kao i da površina bude bez nedozvoljenog kontakta sa alatom. Problem kolizije alata i skulptorske površine je vrlo kompleksan i zbog ograničenosti obima rada neće se ovom prilikom razmatrati.

2. MOGUĆI ULAZI ZA PROCES GENERISANJA PUTANJE ALATA

Izgradnja internog, kompjuterskog, modela radnog predmeta može, u principu, da se odvija kroz generativni proces koji je ugrađen u algoritam CAD sistema ili kroz metodologiju reverznog inženjerstva, sl. 1.



Slika 1. – Mogući ulazi za generisanje putanje alata

Poliedarski modeli su našli veliku primenu u CAD/CAM sistemima zbog svoje jednostavnosti u primeni u algoritmima za geometrijsku analizu i za razmenu podataka. Ovi modeli se kreiraju ili iz datog oblaka tačaka [1,2] ili iz parametarski definisanih površina [3]. Poliedarski modeli olakšavaju generisanje putanje alata jer svode problem na generisanje putanje alata na nekom površinskom segmentu. Za razliku od ovog načina, ponekad se ne može izbeći ni izrada neparametarske ili neimplicitne površine, npr. kada je objekat modeliran u nekom materijalu od strane umetnika a zatim digitalizovan kontaktnom ili bezkontaktnom metodom i preveden u CAD model.

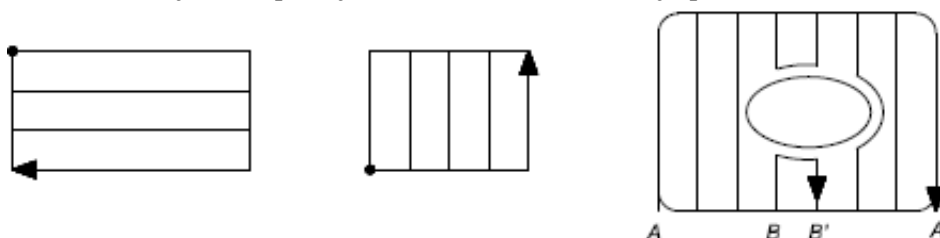
Tačnost u generisanju poliedarskog modela može značajno uticati na kvalitet rezultujuće putanje alata. Gustina mreže za semplovanje i triangulacija treba da se odredi prema željenoj tačnosti i vremenskoj efikasnosti. Utvrđivanje različitih geometrijskih karakteristika, kao što je vektor normale i radius krivine može biti dodatni izvor grešaka koje otežavaju iznalaženje putanje alata prema tehnološkim zahtevima obrađene površine. Zbog toga se razvijaju dva pristupa:

- izrada triangularne poliedarske površine generisane ili iz parametarskog opisa površine ili iz oblaka tačaka, i
- direktna izrada na osnovu oblaka tačaka u aplikacijama reverznog inženjerstva izbegavajući gubitak vremena i greške pri triangulaciji.

3. GENERISANJE PUTANJE ALATA

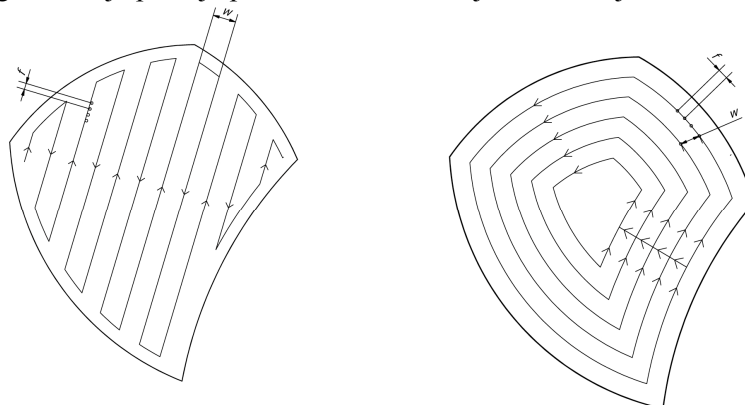
Problem generisanja putanje alata kod izrade skulptorskih površina podrazumeva vrlo kompleksnu analizu interakcija geometrije zadate površine, geometrije alata i definisanih ograničenja. Ako su funkcije cilja kvalitet obrađene površine i optimalno vreme obrade tada imamo u različitim fazama projektovanja obrade kontradiktorne zahteve. Tako npr. pri završnoj obradi potrebno je minimizirati vreme obrade, a sa druge strane hrapavost mora ostati ispod definisanog nivoa. Idealna putanja alata bi trebala da generise uniformnu distribuciju hrapavosti po celoj površini. Manja hrapavost ne znači istovremeno bolju putanju alata jer to možda podrazumeva duže vreme obrade. U suštini, generisanje putanje alata može se svesti na dve oblasti: topologiju putanje i parametre putanje. Topologija je određena geometrijskim skupom tačaka po kome se alat kreće a parametri putanje se odnose na definisanje koraka u longitudinalnom i transferzalnom pravcu kretanja alata.

Putanja alata je određena skupom tačaka kontakta alata i obrađene površine. Topologija pojedinačnih putanja i metod njihovog sukcesivnog povezivanja ima direktan uticaj na vreme obrade. Odgovarajuća topologija može rezultirati u minimalnoj dužini putanje alata ili minimalnom broju promena smera kretanja, sl 2.



Slika 2. – Izbor putanje alata i segmentacija

Za glodanje skulptorskih oblasti koriste se uglavnom dva pristupa: generisanje putanje alata u unapred definisanom pravcu i generisanje putanja paralelnih konturi koja se obrađuje, slika 3.



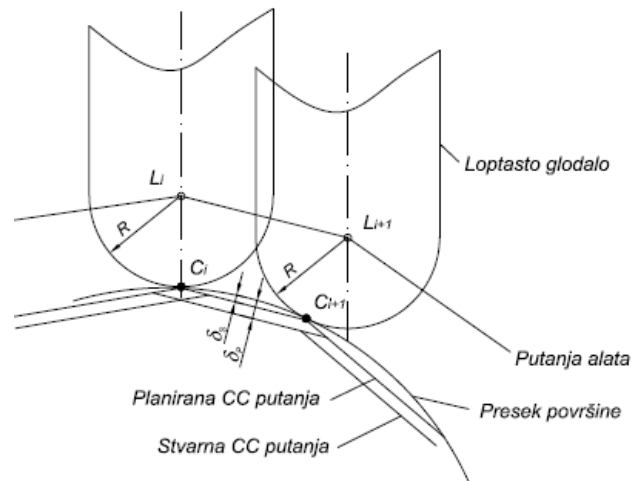
Slika 3. – Različite topologije putanje alata

U prvom pristupu, segmenti putanje alata su paralelni datom pravcu koji može biti upravan na konturnu ivicu ili paralelan sa osom koordinatnog sistema. Izbor referentne linije direktno utiče na dužinu putanje alata. Izbor optimalnog pravca će rezultirati u dužim segmentima putanje alata i minimalnim segmentima kretanja alata bez rezanja. U komercijalnim CAM sistemima koristi se specifična zig-zag putanja kretanja alata pri gruboj obradi, koja spada u ovu vrstu putanja.

Putanje paralelne konturi skulptorske oblasti su definisane samom konturom. Svaki segment je ofset granice konture. Paralelne ofsetne putanje mogu međusobno da budu spiralno spojene ili da predstavljaju nezavisne putanje. Uporedna istraživanja [4,5] vremena obrade kod oba koncepta generisanja putanje alata imajući u vidu ubrzanja i usporenja kod pomoćnog kretanja. Istraživanja su vršena korišćenjem linearnog modela promene ubrzanja i usporenja kod pomoćnog kretanja. Opšti zaključci su da izbor optimalne topologije putanje zavisi od složenosti konture i uslova rezanja a da ipak putanje paralelne konturi daju manje vreme obrade pod uslovima relativno konstantnih parametara rezanja. Bazirano na rezultatima ovih istraživanja razvijen je pristup [6] obrade sloja po sloja primenjiv naročito kod izrade kalupskih šupljina.

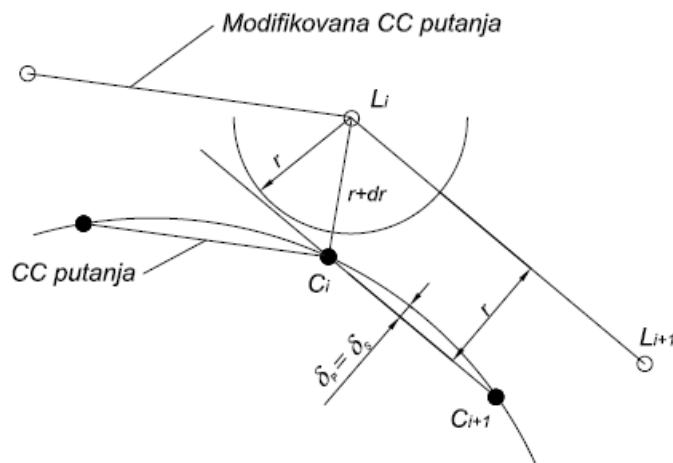
Pored izbora koncepta putanje, postoji i problem određivanja koraka pri longitudinalnom i transferzalnom kretanju alata. Oni direktno utiču na tačnost obrade skulptorske površine. Rastojanje između dve susedne

tačke kontakta alata i površine duž longitudinalnog kretanja određuje korak pri pomoćnom kretanju. Ako su dve susedne tačke kontakta alata C_i i C_{i+1} , na osnovu normala na površinu u tim tačkama lako možemo izračunati odgovarajuće položaje centra alata L_i i L_{i+1} , sl.4.



Slika 4. – Dodatna greška pri ofsetovanju alata

Pri tome nastaje greska δ_s . Pri pravolinijskom kretanju alata od tačke L_i do L_{i+1} , alat će zadirati dublje u materijal pa ćemo imati još jednu komponentu greške δ_p . Ova greška je određena tangentom na vrh alata koja je paralelna pravoj L_i, L_{i+1} . Da bi se izbegla pomenuta greška potrebno je modifikovati položaj alata za vrednost dr , tako da se tangenta prava na vrh alata poklopi sa pravom određenom sa tačkama C_i i C_{i+1} , sl.5.



Slika 5. – Modifikovana putanja alata

Uglavnom se koriste linijski segmenti za aproksimaciju putanje alata u pravcu kretanja, mada su razmatrani i koncepti kružne interpolacije [7] i plonomske interpolacije [8]. Broj tačaka kontakta alata i površine direktno utiče na veličinu koraka pomoćnog kretanja u pravcu kretanja alata i u pravcu bočnog kretanja a time i na hrapavost obrađene površine i tačnost oblika. Sa druge strane, veliki broj pomenutih tačaka povećava vreme obrade, intenzitet korišćenja procesora i memorije CNC kontrolera.

Imajući u vidu kao ciljne funkcije pri generisanju putanje alata koje se odnose na efikasnost obrade, kvalitet obrađene površine i odsustvo podsecanja (kolizije) zahtevi koje moraju biti ugrađeni u algoritam su:

- Minimizirati broj segmenata za rezanje „vazduha”
- Minimizirati broj segmenata putanje alata,
- Maksimirati duzine segmenata putanje alata,
- Kretanje duž graničnih krivih,
- Tehnološki zahtevi,
- Robusnost

Tradicionalne metode za generisanje putanje alata su: izoparametarske, izoravanske i izohrapavosne. Skulptorske površine se u geometrijskom modeliranju obično predstavljaju kao B-splaj površine. Njihov oblik se kontroliše preko kontrolnih tačaka a opisane su u funkciju dva parametra u i v. Osobina ovih površina je da zadržavaju kontinuitet drugog reda C^2 . Zadajući vrednost jednog parametra možemo odrediti krivu u funkciju drugog parametra čime se može generisati mreža površine. Te iste krive se mogu iskoristiti za generisanje putanje alata da se po njima vodi alat pri izradi površina. Takvo generisane putanje alata zovemo izo-parametarske.

Medjutim izoparametarski metod nije bas najpovoljniji za generisanje putanje alata u Dekartovim koordinatama. Zbog toga se češće koriste ravni kretanja paralelne ravnima koordinatog sistema. Tako definisane putanje alata su izo-ravanske. Putanja alata se nalazi u vodećoj ravni, i u slučaju 3-osne obrade i loptastog vrha glodala, je određena položajem centra lopte. Tačka kontakta glodala i površine koja se obrađuje je promenjiva i zavisi od normale na površinu u tački dodira (CC).

Da bi se primenio ovaj metod, potrebno je generisati tačke iz parametarskog domena u domen dekartovih koordinata. Izračunavajući normalu u svakoj tački i pomerajući centar glodala u pravcu normale za radijus, dobija se novi skup tačaka koji predstavlja položaj alata. Da bi se obradila cela površina alat se kreće po nizu putanja koje su na nekom međusobnom rastojanju. Rastojanje između dva prolaza, L može se odrediti na osnovu više kriterijuma. Jedan od kriterijuma može da bude maksimalno dozvoljena hrapavost obrađene površine koja je određena visinom neskinutog sloja materijala između dva prolaza alata. Rastojanje između dve putanje alata može se izraziti u funkciji maksimalne hrapavosti h, radijusa loptastog glodala R i radiusa krivine ρ [9].

$$L = \frac{|\rho| \left\{ 4R^2 (\rho + h)^2 - \left[(\rho + R)^2 - (\rho + h)^2 - R^2 \right] \right\}^{1/2}}{(\rho + R)(\rho + h)}$$

Odstupanje putanje alata od definisane površine odnosno krive preseka površine i ravni kretanja alata definiše grešku u longitudinalnom pravcu kretanja alata. Maksimalno odstupanje mora biti manje od dozvoljene tolerancije t. Dužina pravolinijskog segmenta putanje može se odrediti iz izraza [16]

$$L_{cl} = 2 \left[2t (R+t) - t^2 \right]^{1/2}$$

Treći koncept se odnosi na princip izo-hrapavosti koji će obezbediti jednaku visinu neravnina između dve uzastopne, transferalne, putanje alata. Da bi se odredila putanja alata koja ce respektovati uslov jednake hrapavosti naredna putanja alata se mora određivati na osnovu poznate prethodne putanje i uslova da kriva koja predstavlja vrhove neravnina između dva prolaza alata bude zajednička za oba prolaza. Ovaj princip podrazumeva da nam je poznata površina izo-hrapavosti, rubna kriva kao presek obvojnne površine alata i površine izo-hrapavosti [10]. Površina izo-hrapavosti se može odrediti iz jednačine:

$$\mathbf{P}_h(u, v) = \mathbf{P}(u, v) + \mathbf{n} h \quad - \text{gde je } \mathbf{n} \text{ normala u datoj tački površine radnog predmeta a } h \text{ visina neravnine kojom definišemo željenu hrapavost.}$$

4. ZAKLJUČAK

Kod obrade skulptorskih površina veoma je važno kako se generiše putanja alata jer to direktno utiče na kvalitet obrađene površine i na vreme obrade. Aproksimacija skulptorske površine, opisana u parametarskom prostoru, zahteva konverziju u diskretizovan model koji nam pruža mogućnost jednostavnog generisanja putanje alata ali zahteva intenzivne matematičke operacije što nameće zahteve za performansama računara odnosno upravljačke jedinice ukoliko se određivanje putanje alata određuje u realnom vremenu. Zavisno od metode obrade mora se uspostaviti analitička zavisnost između zahtevanih parametara obrađene površine, hrapavost, tolerancija, i putanje referentne tačke alata. Ovako definisane putanje nemaju redundantnost i višekratnu obradu istog dela površine što podrazumeva da se ovako dobija kraća putanja alata odnosno obrada radnog predmeta se vrši u kraćem vremenu

5. LITERATURA

- [1] Sun W, Bradley C, Zhang YF, Loh HT. Cloud data modelling employing a unified, non-redundant triangular mesh. *Computer-Aided Design* 2001; 33(2):183_93.
- [2] Li Y, Gu P. Free-form surface inspection techniques state of the art review. *Computer-Aided Design* 2004;36(13):1395_417.
- [3] Li CL. A geometric approach to boundary-conformed toolpath generation. *Computer-Aided Design* 2007;39(11):941_52.
- [4] Kim BH, Choi BK: Machining efficiency comparison direction-parallel tool path with contour-parallel tool path. *Computer Aided Design*, 1994, 26(3) 89-95
- [5] El-Midany TT, Elkeran A, Tawfik H.: Toolpath pattern comparison: contour-parallel with direction-parallel. *Geometric modeling and imaging*. 2006, p77-82.
- [6] Li H., Dong Z., Vickers GW.: Optimal toolpath pattern identification for single island, sculptured part rough machining using fuzzy pattern analysis. *Computer Aided Design*, 1994, 26(11) 787 -95
- [7] Pi J., Jensen G; Grind-free tool path generation for five-axis surface machining. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 1998, 11(4) 337-50
- [8] Langeron Jm, Duc E., Lartigue C., Bourdet P.: A new format for 5-axis tool path computation, using B-spline curves. *Computer Aided Design*, 2004, 36(12) 1219-29
- [9] P. Bojanić: Generisanje putanje alata pri obradi skulptorskih površina na 3-osnim CNC mašinama loptastim glodalom. *Zbornik radova XXXIII Savetovanje proizvodnog mašinstva Srbije*, Beograd 2009.
- [10] P. Bojanić, G. Mladenović: Generisanje putanje alata po kriterijumu izohrapavosti pri obradi skulptorskih površina na 3-osnim CNC mašinama. *Zbornik radova 36. Jupiter konferencije*, Beograd, 2010.

ANALYSIS OF THE PROBLEMS IN GENERATING THE TOOL PATH WHEN MACHINING SCULPTURAL SURFACES

Summary

When processing workpieces with sculptural surfaces on CNC machine tools, the tool path is a key element for the surface quality and efficiency of processing. The paper provides a general analysis of problems and solving in generating tool path processing sculptural surfaces. There are defined criteria for the optimization of tool path generation.

Key words: tool path, sculptured surface, CNC machining

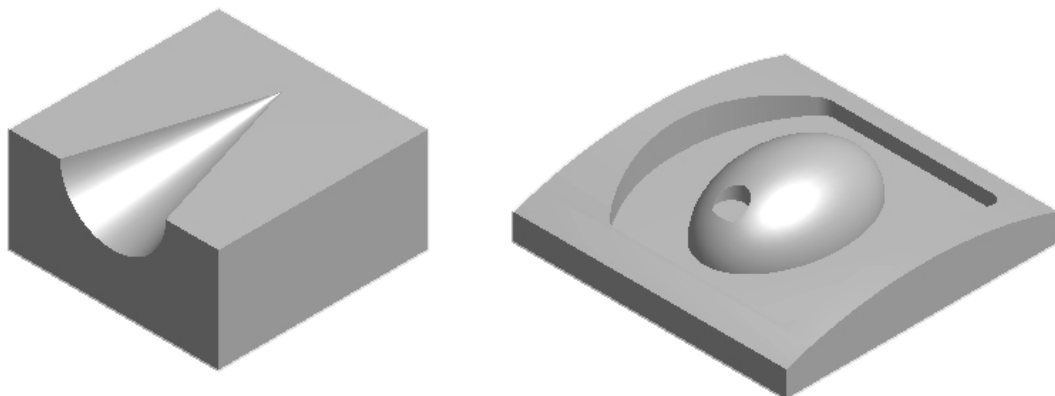
G. Mladenović¹**ANALIZA STRATEGIJA OBRADNE KORIŠĆENJEM
KOMERCIJALNIH CAD/CAM SOFTVERA***Re z i m e*

Izbor CAD/CAM softvera u velikoj meri utiče na efikasnost, a samim tim i ekonomičnost izrade dela. Komercijalni CAD/CAM softvevi imaju mogućnost izbora strategije obrade. U radu se daje analiza različitih strategija obrade istog dela radi definisanja kriterijuma po kojem bi se vršila optimizacija prilikom izbora najadekvatnije strategije.

Ključne reči: CNC obrada

1. UVOD

Obrada površina sa složenom geometrijom je važan proces koji se najčešće koristi u raznim granama industrije kao što su automobilska i avio industrija, ali isto tako kod proizvodnje raznih kalupa za livenje i kovanje. Zbog povećanja konkurentnosti na tržištu, od izuzetnog je značaja smanjene vremena i cene obrade bez žrtvovanja kvaliteta dela. Obrada površina sa složenom geometrijom je vremenski i skup proces, a proces završne obrade može da predstavlja i do 75% od ukupne cene obrade. U slučaju ovakve obrade neizostavno je koristiti neki CAD/CAM softver kako bi se površina definisala analitički, a na osnovu toga generisala odgovarajuća putanja alata. Broj podataka koji se odnosi na putanju alata pri eskponencijalno zavisi od zahtevane tolerancije pa sa tim u vezi upravljačka jedinica mora da ima veliku memoriju da bi se smestila tolika količina informacija odjedanput ili da se sekvencijalno šalje što ima svoje nedostatke. Kao jedan od kriterijuma za izbor strategije obrade bi mogla da bude sila rezanja, a sve u cilju minimizacije vremena obrade bez narušavanja zahtevane tolerancije i kvaliteta obrade dela. Na slici 1 su prikazani 3D modeli delova na čijim će se primerima vršiti analiza izbora strategije obrade. Za izradu CAD modela kao i za izradu G koda korišćen je softverski paket ProEngineer Wildfire 4.0. Analiza obuhvata samo 3 – osnu obradu.

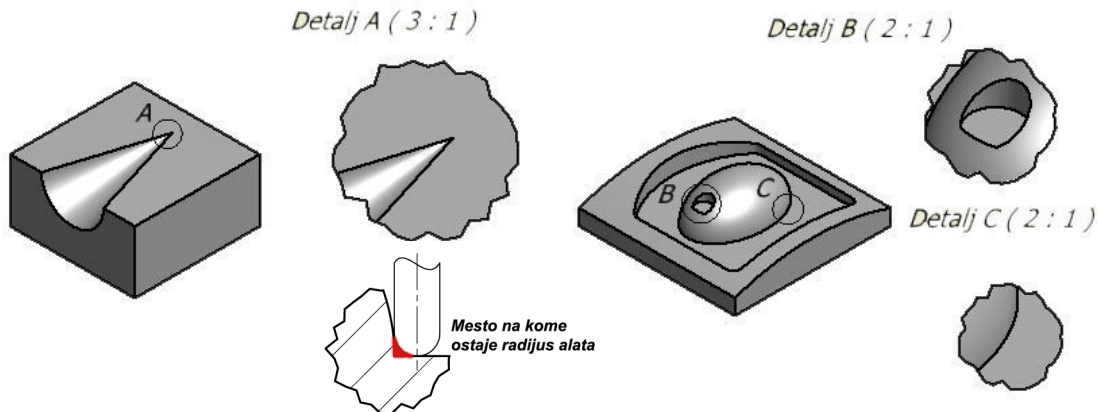


Slika 1 – 3D modeli delova na kojima se vrši analiza izbora strategije obrade

¹ Asist. Goran Mladenović, dipl.inž.maš., Katedra za proizvodno mašinstvo, Mašinski fakultet Beograd, gmladenovic@mas.bg.ac.rs

2. DEFINISANJE PROBLEMA

Ako se izvrši analiza geometrije delova, a imajući u vidu da se obrada izvodi loptastim glodalom lako se može uočiti gde se javljaju problemi, tj koja se mesta ne mogu obraditi. Naime, ako želimo da obradimo neku oštru ivicu na tom mestu će ostati radijus zaobljenja vrha glodala. Ovo je radi lakšeg razumevanja prikazano na slici 2 gde su prikazani detalji na kojima može da se pojavi greška obrade. Na delu na levoj strani je lako uočiti da je nemoguće obraditi ovakvu oštru ivicu loptastim glodalom, dok se na delu na desnoj strani detalj B ne može obraditi sa glodalom većim od 10 mm jer je prečnik udubljenja jednak 10 mm, a problem u veži sa detaljem C je taj što se ne može obraditi oštra ivica sa loptastim glodalom.

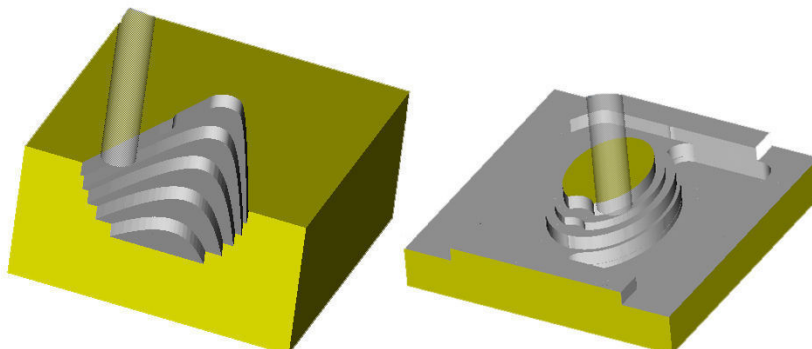


Slika 2 – Mesta koja se ne mogu obraditi izabranim alatom i izabranom strategijom

Kako je problem definisan, sada se pristupa analizi mogućnostima izabranog CAM softvera. Radiće se varijacije strategija obrade, tj same strategije, ali i prečnika alata. Treba napomenuti da nije nemoguće obraditi dati deo kao što se zahteva, ali ovde se navodi analiza za loptasto glodalo i 3 – osnu obradu tako da je analiza ograničena samo na ovaj slučaj obrade.

3. OPTIMALNA OBRADA U FUNKCIJI OD PREČNIKA ALATA I STRATEGIJE OBRADJE

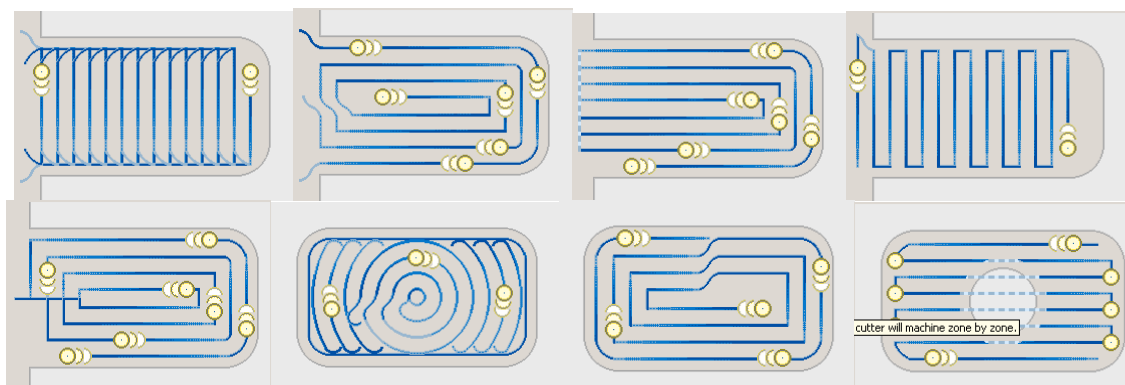
Izabrani softver je, kako je već ranije rečeno ProEngineer WildFire 4.0. Dati softver ima mogućnost izbora strategije obrade, kao što su: zapreminsko glodanje, glodanje po trajektoriji, predobrada, površinsko glodanje, izarada rupa i otvora itd. Za oba dela će se prvo koristiti postupak predobrade koji će se raditi vretenastim glodalom prečnika 12 mm, a tek onda varijante fine obrade sa loptastim glodalom različitog prečnika i različite strategije obrade. Na slici 3 je prikazan izgled dela nakon predobrade prikazan u okviru VERICUT modula. Parametri obrade su u oba slučajja bili: brzina pomoćnog kretanja 200 mm/min, dubina obrade u jednom prolazu 5 mm, maksimalna širina obrade (pomeranje glodala u transferzalnom pravcu) 5 mm, broj obrta glavnog vretena 1000 o/min. Dodatak za finu obradu u oba slučajja iznosi 0.5 mm.



Slika 3 – Izgled delova nakon sprovedene grube obrade

Na slici 3 je lako uočiti da se deo sa desne strane ne može obraditi glodalom od 12 mm, pa je zbog toga potrebno smanjiti prečnik glodala kako bi glodalo moglo da skine materijal sa svih strana. Međutim, prilikom smanjenja prečnika glodala potrebno je smanjiti i širinu glodanja u jednom prolazu, jer softver ne

dozvoljava da širina glodanja bude veća od polovine prečnika glodala. Na slici 4 su prikazane sve moguće strategije obrade izabranog softvera, a u tabeli 1 se daje analiza samo za neke od njih za oba dela.



Slika 4 – Moguće strategije obrade izabranog softvera

Tabela 1 – Varijacija strategije predobrade

Redni broj	Skica strategije obrade	Parametri obrade	Prečnik alata [mm]	Glavno vreme obrade [min]	Slika dela nakon obrade
1		F=200 mm/min n=1000 o/min a=5mm w=5 mm	12	9.2	
2		F=200 mm/min n=1000 o/min a=5mm w=5 mm	12	7	
3		F=200 mm/min n=1000 o/min a=5mm w=4 mm	10	51.9	
4		F=200 mm/min n=1000 o/min a=5mm w=4 mm	10	42.5	

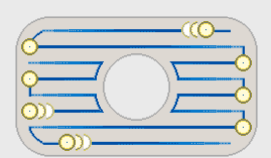
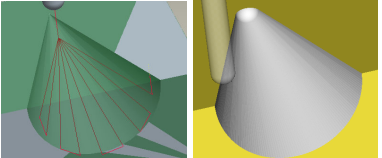
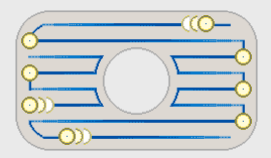
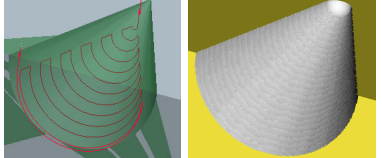
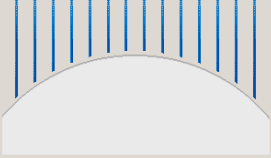
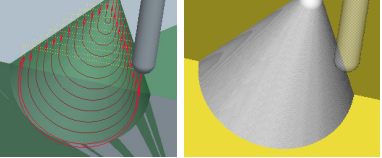
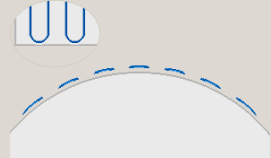
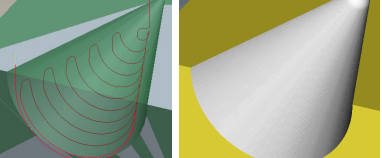
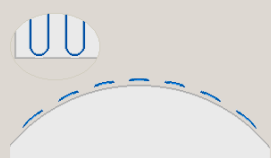
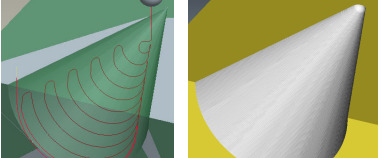
Na osnovu podataka iz tabele 1 može se jasno videti da sa istim alatom i parametrima obrade dobijamo različita vremena obrade za različite strategije obrade. Analizirajući predobradu dela 1 može se zaključiti sledeće.

- Izborom strategije obrade kod koje se alat kreće paralelno nekoj od ravni koordinatnog sistema mašine (RB1) dobijamo veće vreme obrade jer nakon prolaza alata paralelno pomenutim ravnima alat mora na kraju da obiđe celu konturu koja se obrađuje,
- Dok za izbor strategije obrade gde je putanja alata ofsetovana kontura (RB2) imamo kraće vreme obrade tj, nemamo slučaj kao kod prethodne strategije da alat na kraju obiđe celu konturu, već je to uradio prilikom prvog prolaza.

Ista ova analiza važi i za deo 2 (RB3, RB4) samo što je zbog složenije geometrije dela veće vreme obrade neko kod dela 1.

Za strategiju fine obrade korišćena je metoda površinskog glodanja. Pored toga što je vršena varijacija strategije prebrisavanja površine, vršena je varijacija prečnika glodala, ali i samih parametara obrade. Radi bolje preglednosti rezultati su prikazani tabelarno u tabeli 2 i 3 gde se vidi koliko je ukupno vreme obrade dela za izabranu kombinaciju parametara obrade, strategije i prečnika alata.

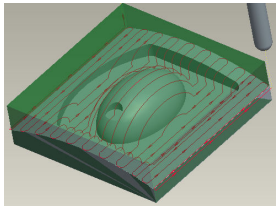
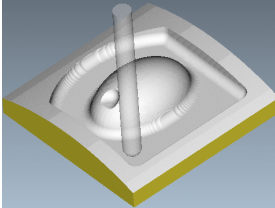
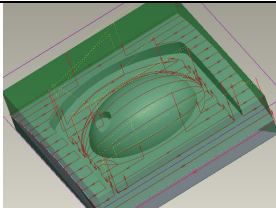
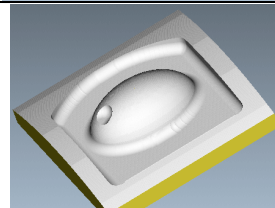
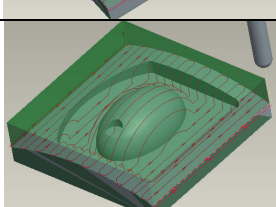
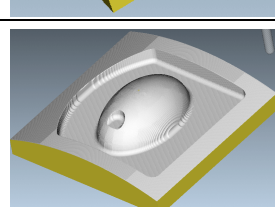
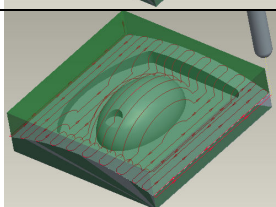
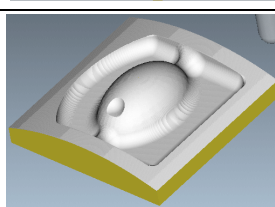
Tabela 2 – Varijacija strategije fine obrade za deo 1

Redni broj	Skica strategije obrade	Parametri obrade	Prečnik alata [mm]	Glavno vreme obrade [min]	Slika dela nakon obrade
1		F=100 mm/min n=1000 o/min w=0.5 mm	10	69.9	
2		F=100 mm/min n=1000 o/min w=0.5 mm	10	55.4	
3		F=100 mm/min n=1000 o/min w=0.5 mm	10	129.72	
4		F=100 mm/min n=1000 o/min w=0.5 mm	10	55.1	
5		F=100 mm/min n=1000 o/min w=0.5 mm	6	65.3	

Posmatrajući rezultate date u tabeli 2 može se zaključiti sledeće: Zavisno kakav nam ne kriterijum za obradu, tj kakav smo zahtev postavili za cilj. Ako je recimo zahtev minimalno vreme obrade onda bi se izabrala strategija pod rednim brojem 4. Strategije RB2 i RB4 su vrlo slične samo što u slučaju RB4 alat prilikom poranja u transferzalnom pravcu prolazi preko luka, dok kod RB2 prelazi po pravoj liniji pa je zbog toga potrebno malo više vremena za obradu. Upoređivanjem RB4 i RB5 gde se samo menja prečnik alata uočava se da je i veće vreme obrade, ali je zbog toga i kompletnija obrada, tj dobijen je izradak koji više liči 3D

modelu prilikom korišćenja manjeg glodala (RB5). Međutim, treba napomenuti da je prilikom korišćenja manjeg prečnika alata potrebno i smanjiti rešime rezanja (dubinu i brzinu pomoćnog kretanja) što bi za posledicu imalo dodatno povećanje vremena obrade. Ponekad je bitno u kom se pravcu kreće alat zbog kvaliteta obrađene površine. Na osnovu toga može se analizirati RB1 sa RB2. Kod RB1 alat ne skida uvek istu količinu materijala pa se zbog toga pojavljuje duže vreme obrade nego kod RB2 gde glodalu u svakom prolazu (ne razunajući poslednji prolaz) skida istu količinu materijala. Specifičnost RB3 je ta da alat uvek skida materijal u samo jednom smeru pa je otuda i znatno povećanje vremena obrade u odnosu na sve ostale slučajevne varijanti obrade.

Tabela 3 – Varijacija strategije fine obrade za deo 2

Redni broj	Skica strategije obrade	Parametri obrade	Prečnik alata [mm]	Glavno vreme obrade [min]	Slika dela nakon obrade
1		F=100 mm/min n=1000 o/min w=0.5 mm	10	242.9	
2		F=100 mm/min n=1000 o/min w=0.5 mm	10	227.4	
3		F=100 mm/min n=1000 o/min w=0.5 mm	5	242	
4		F=100 mm/min n=1000 o/min w=0.5 mm	14	235.7	

Analizirajući podatke iz tabele 3 može se doći do sledećeg zaključka: Razlika između RB1 i RB2 je ta što se kod prve varijante obrađuje cela kontura odjednom, a kod druge se obrađuje prvo deo sfere, a zatim deo krive površine. Kod RB3 je upotrebljeno glodalo manjeg prečnika. Primećuje se da se kvalitet obrađene površine daleko bolji nego kod varijante sa upotrebom glodala od 10 mm. Međutim, ovo povlači da je primenom glodala manjeg prečnika potrebno smanjiti rešime rezanja, a samim tim se povećava i ukupno vreme obrade. I na kraju RB4 prikazuje kako se sa glodalom većim od 10 mm ne može postići adekvatna obrada, jer je poluprečnik glodala veći od radijusa zaobljenja ivica.

4. ZAKLJUČAK

U radu je data analiza mogućnosti CAD/CAM softvera na primeru obrade dva dela. Analizirana je gruba i fina obrada. Na osnovu rezultata simulacije obrade došlo se do zaključka da izbor strategije obrade i prečnika alata znatno utiču na tačnost obrade, ali i na ukupno vreme obrade. Prilikom izbora strategije potrebno je izabrati strategiju kod koje se ne javlja da alat „reže vazduh“ jer to dovodi do povećanja vremena obrade. Isto tako se dobijaju različita vremena obrade za kretanje alata u različitim pravcima (upoređenje RB1 i RB2 iz tabele 2). Kada se govori o izboru alata treba napomenuti da taj izbor u velikoj meri utiče na tačnost

obrade koja podrazumeva stepen podudarnosti odrađenog dela sa prethodno određenim etalonom, u ovom slučaju 3D modelom. U tabelama 2 i 3 je prikazano kako se veća podudarnost postiže upotrebom glodala manjeg prečnika, ali to dovodi do smanjenja režima rezanja, a samim tim do povećanja ukupnog vremena obrade. Zbog toga je potrebno izvršiti analizu dela i gde god je moguće izabrati glodalo većeg prečnika. Jedan od kriterijuma koji nije razmatran u ovom radu je kriterijum konstantnog otpora rezanja. On podrazumeva da sam softver vrši korekciju parametara rezanja i putanje alata kako bi otpor rezanja bio konstantan. Treba napomenuti da se neki nedostaci opisani u radu mogu izbeći upotrebom 5 – osne obrade.

5. LITERATURA

- [1] P. Bojanić: Generisanje putanje alata pri obradi skulptorskih površina na 3 – osnim CNC mašinama loptastim glodalom. Zbornik radova XXXIII Savetovanje proizvodnog mašinstva Srbije, Beograd 2009.
- [2] P. Bojanić, G. Mladenović: Generisanje putanje alata po kriterijumu izohrapavosti pri obradi skulptorskih površina na 3 – osnim CNC mašinama . Zbornik radova 36. Jupiter konferencije, Beograd, 2010.

Summary

The choice of CAD / CAM software has a profound effect on efficiency, and therefore cost of production. Commercial CAD / CAM softwares have possibility to choose of processing strategies. The paper presents the analysis of the strategy of machining of the same part to define criteria by which to be exercised in selecting the most most adequately optimization strategy.

Key words: *CNC machining*



Kovljenić B.,¹

ISTRAŽIVANJE MODELA ZA STANDARIZACIJU RAZMENE PODATAKA U DOMENU CAD/CAM-ERP INTEGRACIJE

Rezime

Istraživačko razvojne aktivnosti na problematici integracije CAD/CAM i ERP sistema su aktuelne više od dvadeset godina. Mnoga parcijalno primenljiva rešenja i koncepti su istraživani, razvijani i implementirani. S druge strane, opšta rešenja nezavisna od komercijalnih programskih paketa skoro da nisu uopšte istraživana, te tako danas ne postoji koncept univerzalnog modela integracije u ovom domenu. U radu je prikazan deo istraživanja ovakvog modela integracije koji bi bio nezavisan od pojedinačnih CAD/CAM i ERP programskih rešenja. Model bazira na jedinstvenoj bazi podataka za sve podatke koji se koriste kroz više različitih poslovnih aktivnosti. Pored teorijskih razmatranja predstavljena su i praktična istraživanja po ovom modelu, te deo eksperimentalne programske platforme koju autor koristi tokom istraživanja.

1. UVOD

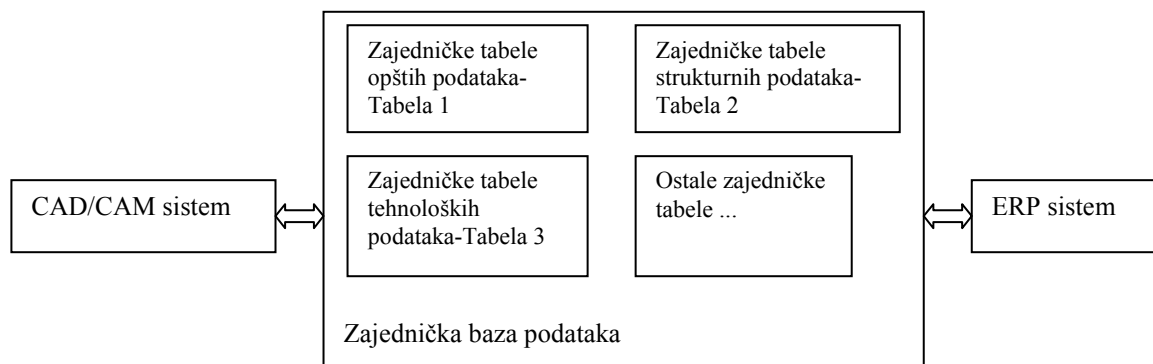
Tokom poslednjih trideset godina sa razvojem i uvođenjem IT (Information Technology) rešenja za pojedine proizvodno-poslovne aktivnosti došlo je do povezivanja i potpune integracije programskih rešenja u pojedinim segmentima poslovanja. Sa aspekta uspešnosti i kompletnosti ove integracije izdvojile su se dve grupe aktivnosti. Prvu čine aktivnosti projektovanja proizvoda i tehnologije integrisane kroz CAD/CAM (Computer Aided Design/Manufacturing) programska rešenja pri čemu se ova integracija bazira na jedinstvenom modelu proizvoda koga koriste i CAD i CAM sistem. Drugu grupu aktivnosti čine ekonomske, administrativne i logističke poslovne aktivnosti na realizaciji proizvoda i komercijalne dobiti, koje su integrisane kroz ERP (Enterprise Resource Planning) aplikativna rešenja sa bazama podataka u pozadini. Logička povezanost u okviru navedene dve grupe aktivnosti dovela je krajem prošlog veka do komercijalnog razvoja integrisanih programskih platformi za CAD/CAM sa jedne strane i ERP sisteme sa druge strane. Ovakav odvojeni razvoj rezultirao je mnogim neusaglašenostima i nerešenim problemima međusobne integracije programskih rešenja za navedene dve grupe aktivnosti.

Komercijalna rešenja za integraciju na nivou preduzeća razvijana su kao posebni programi za proširenja CAD/CAM sistema sa konstrukciono-tehnološke ravni ka širim aspektima životnog veka proizvoda, odnosno kao proširenja ERP sistema ka vizuelizaciji proizvoda i obradi podataka kroz kompletan životni ciklus proizvoda. Najčešći oblici ovih rešenja su PDM (Product Data Management) i PLM (Product Lifecycle Management) sistemi [5]. Ovi sistemi su doprineli uspešnosti integracije ali nisu rešili probleme parcijalnosti rešenja, podvajanja podataka i sl., a svojom kompleksnošću su uglavnom ekonomski neisplativi za mala i srednja preduzeća, pošto iziskuju velika ulaganja i značajne resurse za implementaciju i održavanje.

Kako su razvijana u dva smera, od jedne ka drugoj grupi aktivnosti, ova rešenja uglavnom dupliraju većinu potrebnih integracionih funkcija. Tako na primer kompanija PTC kao proizvođač Pro/Engineer CAD/CAM sistema je razvila svoj PLM sistem za integraciju sa SAP ERP sistemom (Windchill ESI, [6]), dok je SAP razvio svoj PLM sistem za integraciju sa Pro/Engineer-om (SAP PLM, [7]). Ovi sistemi podvajaju većinu integracionih funkcija između CAD/CAM i ERP sistema.

¹ Mr. Borislav Kovljenić, dipl. maš. ing., bkovljenic@gmail.com, PhD student, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Kraljice Marije 16, 11 120 Beograd 35

U širem istraživanju problema integracije CAD/CAM i ERP sistema, odnosno redefinisanja koncepta ovih sistema tako da bi i jedni i drugi implementirali univerzalne modele za upravljanje podacima, autor rada je istraživao standardizovan model za razmenu podataka između ovih sistema, slika 1. Na platformi sa jedinstvenom bazom podataka koja treba da omogući minimizaciju podataka i njihovog prenosa, te direktno korištenje i ažuriranje od strane oba sistema, identifikovan je skup zajedničkih podataka, te razvijeno programsko rešenja za praktičnu implementaciju.



Slika 1. Model integracije sa zajedničkom bazom podataka

2. POVEZANI RADOVI

Svi aktuelni radovi i istraživanja u posmatranoj oblasti baziraju na nekoliko osnovnih zajedničkih ideja od kojih se kao najbitnije izdvajaju sledeće dve [1]. Prva je potpuna digitalizacija i integracija svih aktivnosti u okviru proizvodnog sistema, najčešće formulisana kroz pojam digitalne fabrike. Druga je ideja standardizacije u domenu geometrijskog opisa proizvoda, gde se heterogenost CAD/CAM sistema uočava kao osnovni problem razmene digitalnih podataka o proizvodu.

Istraživanja u domenu interakcije CAD/CAM sistema i baza podataka nalaze se u radovima naučnika i istraživača pre više od petnaest godina, [2, 3]. Sreću se i razmatranja preslikavanja generičkih pristupa i standardizacije u informacionim tehnologijama, poput UML (Unified Modeling Language) i SQL (Structured Query Language) jezika, na posmatranu oblast. Ne postoje međutim značajnija istraživanja interakcije baza podataka i CAD/CAM sistema sa ciljem direktne integracije sa ERP sistemima. Imajući u vidu aktuelnost i neophodnost integracije CAD/CAM i ERP sistema [4], te permanentnu problematičnost integracije heterogenih programskih platformi, autor kao neminovnu uočava potrebu za redefinisanjem postojećih koncepta posmatranih sistema.

3. NOVI KONCEPT ZA CAD/CAM SISTEME

Zbog kompleksnosti potpune proizvodno poslovne integracije neophodne su promene postojećih koncepta CAD/CAM sistema i njihova strukturna proširenja ka komercijalno-poslovnim aspektima proizvoda. Kao moguće rešenje autor je istraživao nov način memorisanja digitalnog modela proizvoda koji ne bi zahtevao problematične izmene kod postojećih koncepta CAD/CAM i ERP sistema. Naime, savremeni CAD/CAM sistemi putem parametrizovanih digitalnih modela proizvoda pamte u određenom obliku većinu podataka koji se kasnije prenose u ERP sistem (opšti dimenzioni podaci, podaci o materijalu, strukturi proizvoda, kreatoru, verzijama, pripremcima, tehnološkim operacijama, alatima, i slično). Struktura memorisanja ovih podataka je međutim svojstvena svakom pojedinačnom CAD/CAM sistemu i kao tekva neupotrebljiva za direktnu integraciju u šire poslovno okruženje. U tom smislu autor je istraživao model za standardizaciju posmatrane razmene podataka.

Činjenica je da današnje poslovne sisteme pa tako i savremene proizvode karakteriše velika količina podataka te velik intenzitet njihove razmene i korištenja tokom životnog veka proizvoda. Baze podataka su jedini dokazani koncept koji sa uspehom obrađuje velike količine podataka i na kojem baziraju većina digitalno integrisanih sistema. Zato autor predlaže korištenje koncepta baza podataka za memorisanje minimalno onih podataka u okviru CAD/CAM sistema koji se koriste u ostalim segmentima poslovanja.

Njihova preglednost, dostupnost i univerzalnost pristupa u tom slučaju se podiže na najviši savremeni tehnološki nivo upravljanja podacima.

U odnosu na postojeće sisteme, nov koncept zahteva da se bar onaj deo podataka iz digitalnog opisa proizvoda bitnih za širu poslovnu integraciju memoriše u tabelarnom obliku svojstvenom bazama podataka. Na taj način bi CAD/CAM model proizvoda bio memorisan preko skupa geometrijskih podataka svojstvenih samo CAD/CAM sistemu i skupa podataka koji se razmenjuju i ažuriraju zajednički sa ERP ili drugim sistemima. Tako bi npr. struktura proizvoda bila zapamćena samo na jednom mestu odakle je mogu koristi CAD/CAM sistem za izgradnju modela i ERP sistem za planiranje i pripremu proizvodnje. Problematika istovremenog korištenja podataka, prava pristupa i slični problemi timskog rada su već uspešno rešeni u okviru CAD/CAM, ERP i mnogih drugih računarskih sistema. Predloženi koncept izdvajanja podataka koji se razmenjuju sa ERP sistemom ne isključuje mogućnost da kompletan CAD/CAM model bude memorisan u formi baza podataka.

4. CAD PODACI ZA POSLOVNU INTEGRACIJU

Prema izloženom konceptu, u nastavku su ukratko predstavljeni identifikovani skupovi integracionih podataka korišteni za modeliranje sistema, eksperimentalna istraživanja i kasniju praktiču realizaciju integrisanog CAD/CAM-ERP informacionog sistema. Prikazani skupovi podataka predstavljaju logički i procesno povezane grupacije podataka koji se razmenjuju u posmatranoj integraciji. Ovi skupovi podataka su memorisani u obliku tabela baze podataka odakle ih direktno koriste CAD/CAM i ERP sistem. Zbog opširnosti rada autor je pokušao izdvojiti i prikazati samo tipične zajedničke podatke iz domena istraživanja. Ceo razvijeni sistem obuhvata znatno više skupova podataka, odnosno zajedničkih tabela iz jedinstvene baze podataka.

Opšti podaci o sistemu, proizvodu, autoru, izmenama... U Tabeli 1. su prikazani skupovi podataka koji se odnosi na opšte podatke o proizvodu/modelu, te podatke o kreatoru proizvoda ili izmena (bilo da je ona urađena kroz CAD model ili ERP sistem). Pod proizvodom se podrazumeva svaki poseban materijalni subjekt u sistemu, bilo da je to standardni ugradni element, poluproizvod, materijal ili finalni proizvod. Svaka nova instanca za nov ili postojeći proizvod se pamti kao nova struktura u bazi podataka, bilo da je to nov proizvod, bilo da je nova verzija, iteracija ili alternativa postojećeg proizvoda.

Tabela 1. Opšti integracioni podaci

Opšti podaci:	Identifikacioni podaci	Klasifikacioni podaci	Autorski podaci	Podaci o izmenama
Sistem mernih jedinica Material Masa Gabaritne dimenzije Aktivan/Neaktivan...	Ident (ID broj) Naziv Serijski broj...	Klasifikacioni broj Tip proizvoda (material, stand. deo, poluproizvod/podsklop, finalni proizvod)...	ID autora Datum kreiranja...	Iteracija Datum Iteracije Verzija Datum verzije...

Podaci o strukturi proizvoda/sklopa, alternativama, ... U Tabeli 2. su prikazani identifikovani skupovi podataka koji se odnosi na strukturu proizvoda predstavljenu preko prvog nivoa sastavnih elemenata. Kompletna struktura proizvoda se dobija preko strukture sklopova/posklopova nižih nivoa. Strukturu pored klase sastavljenih proizvoda (sklopovi i podsklopovi) mogu imati i kupljeni proizvodi (npr. struktura rezervnih delova). Za kontrolu tekućih izmena i aktuelnosti strukture koriste se u ERP ili CAD/CAM ugrađene funkcije za kontrolu izmena. Za standardne ugradne elemente, poput standardnih mašinskih elemenata ili gotovih poluproizvoda koriste se posebne procedure za korištenje i kreiranje, definisane na nivou preduzeća.

Tabela 2. Skupovi strukturnih podataka

Identifikacioni podaci	Strukturni podaci	Podaci o izmenama	Autorski podaci	Podaci o alternativni
Identifikacioni podaci iz Tabele 1...	ID podsklopa/dela.. Količina.. Opis...	Iteracija Datum Iteracije Verzija Datum verzije...	ID autora Datum kreiranja...	Broj alternative Aktivna/Neaktivna...

Tehnološki skupovi podataka. U Tabeli 3. su prikazani zajednički skupovi podataka koji se odnosi na strukturu tehnološkog procesa izrade predstavljenu preko strukture operacija na nivou određenog identita. Model standardnih tehnoloških postupaka se implementira preko alternativnih tehnoloških sastavnica za svaki proizvod/deo. Struktura kompletnog tehnološkog procesa za proizvod se dobija preko tehnoloških strukture sklopova/posklopova nižih nivoa. Tehnološku strukturu pored klase sopstvenih proizvoda mogu da imaju i ostale klase. Prateće tehnološko-komercijalne kalkulacije se koriste i/ili realizuju kao posebni moduli iz CAD/CAM ili ERP sistema (kalkulacija mase, cene materijala i proizvodnih troškova i sl.)

Tabela 3. Skupovi zajedničkih tehnoloških podataka

Identifikacioni podaci	Opšti podaci za kalkulacije	Strukturni podaci	Podaci o resursima	Podaci o izmenama	Autorski podaci	Podaci o teh. alternativama
Ident (ID broj) Naziv teh. postupka...	Normirana vremena Cenovnici...	ID operacije. Količina. Opis...	ID resursa Količina...	Iteracija Datum Iteracije Verzija Datum verzije...	ID autora Datum kreiranja...	Broj alternative Aktivna/Neaktivna...

Ostali zajednički skupovi podataka. U Tabeli 4. su prikazani još neki tipični skupovi podataka korišteni pri modeliranju zajedničke baze podataka. Svi prikazani skupovi zajedničkih podataka se realizuju preko jedne ili više tabela u bazi podataka.

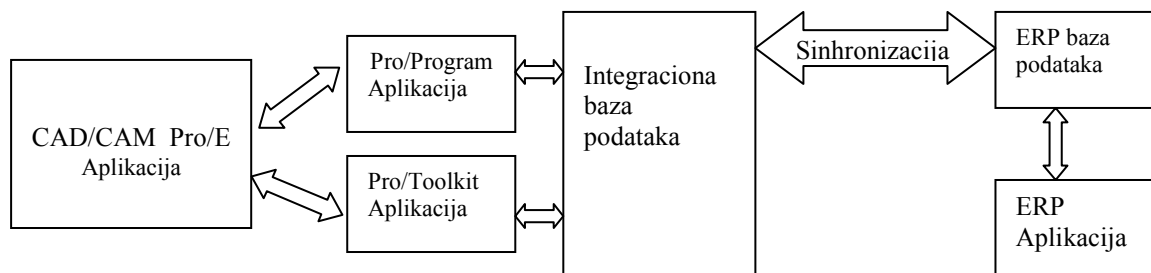
Tabela 4. Ostali identifikovani zajednički skupovi podataka

Podaci o zalihama i rezervacijama	Podaci o kapacitetima	Podaci o dokumentaciji	Podaci o korisnicima	Podaci o pravima pristupa	Sitemski podaci za ERP i CAD/CAM	Podaci o standardima...

5. PRAKTIČNA ISTRAŽIVANJA

Opisan koncept integracije i razmatranja izneta u prethodnim poglavljima deo su istraživanja autora na doktorskoj disertaciji, a praktična istraživanja su realizovana kroz nekoliko komercijalnih projekata. Jedan od njih je uspešna realizacija integrisanog programskog rešenja za konfigurator proizvoda. Cilj razvoja ovog sistema bio je skraćenje komercijalno konstrukciono tehnološkog ciklusa pripreme ponuda, a kroz razvoj mogućnosti za timski rad konstrukciono-tehnoloških i komercijalnih odeljenja. Kao programska osnova iskorišteni su postojeći CAD/CAM sistem Pro/Engineer, te ERP sistemi Pantheon i SAP, odnosno njihovi dodatni alati za programsku nadgradnju. Za praktičnu realizaciju iskorištena je otvorena arhitektura PTC Pro/Engineer platforme koja omogućava programsku nadgradnju CAD/CAM sistema. U konkretnom primeru sistem je realizovan preko dodatne integracione baze podataka sa kojom direktno komuniciraju CAD/CAM i ERP sistem, slika 2. Naime, zbog projektnog zahteva održanja nepromenljivosti postojeće informacione strukture integraciona baza podataka je realizovana odvojeno od baze podataka ERP sistema. Zbog tekućih istraživanja i autorskih prava detalji razvijenih rešenja nisu prikazani u ovom radu.

Za eksperimentalni razvoj i istraživanje autor koristi model sa jedinstvenom bazom podataka, odnosno sopstveno razvijeni ERP sistemom sa Oracle bazom podataka na koga su direktno povezani CAD/CAM sistem Pro/Engineer, odnosno specijalizovani CAD/CAM sistem razvijen kroz magistarski rad.



Slika 2. Realizovan model integracije sa integracionom bazom podataka

6. ZAKLJUČAK

U većim proizvodno-poslovnim sistemima u kojima je od posebnog interesa CAD/CAM-ERP integracija, proizvod je neophodno posmatrati kao centralni subjekt oko koga se generišu sve ostale aktivnosti. Zbog toga je CAD/CAM model proizvoda osnovni generator podataka za digitalnu poslovnu integraciju na nivou preduzeća i kroz ceo životni vek proizvoda. Konceptom sa jedinstvenom bazom podataka se redefiniše postojeći koncept memorisanja CAD/CAM modela i otvara prostor za šire redefinisane koncepta izgradnje geometrijsko-tehnološkog modela proizvoda kao generatora podataka za digitalnu integraciju na nivou poslovnog sistema. Preko jedinstvene baze podataka se stvaraju preduslovi za direktnu integraciju svih modela integrisanog digitalnog upravljanja podacima i informacijama na nivou preduzeća kao što su ERP, PDM, PLM i slični.

Predloženi koncept standardizovane komunikacije preko jedinstvene baze podataka bi rešio i navedene probleme integracije u domenu malih i srednjih preduzeća. Ovim konceptom bi se eliminisala potreba postavljanja kompleksnih integracionih platformi, edukacije za njihovo korišćenje, značajnih investicija u resurse [4] i sl. Kompleksnost integracije CAD/CAM i ERP sistema bi se značajno smanjila što bi doprinelo povećanju mogućnosti prilagođavanja ovih sistema specifičnostima primenama. Univerzalan model integracije te standardizacija u domenu struktura podataka i njihove razmene doprinela bi smanjenju proizvodnih troškova, a tako i produktivnosti, efektivnosti i konkurentnosti proizvodnih sistema. Korišćenje opšte prihvaćenih IT rešenja poput baza podataka povećala bi se aplikativno-poslovna konfigurabilnost i integrabilnost CAD/CAM sistema, posebno u domenu malih i srednjih preduzeća. Univerzalna platforma sa bazom podataka smanjila bi heterogenost sistema te omogućila lakšu izgradnju sistema otvorene arhitekture i implementaciju „Web-based“ poslovnih koneceptata.

6. LITERATURA

- [1] E. Westkämper, *Factories of the Future beyond 2013, A view from Research: The role of ICT*, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik Und Automatisierung (IPA), Stuttgart, Germany, 2008.
- [2] Ichiro Nakamura, Toshio Kojima, Yutaka Kugai, Fumihiko Kimura, *A CAD Database Interface Based on STEP*, IFIP Transactions; Vol. B-10, Proceedings of the IFIP TC5/WG5.10 Working Conference on Interfaces in Industrial Systems for Production Engineering, pages: 115 – 129, ISBN: 0-444-81496-5, 1993.
- [3] Junhwan Kim, Soonhung Han, *Manipulating Geometry in a STEP DB from Commercial CAD Systems*, Concurrent Engineering, Vol. 12, No. 1, pp.: 49-57., 2004.
- [4] *PLM (Product Lifecycle Management) Market: Key Research Findings 2010*, Yano Research Institute Ltd., 2-46-2 Honcho, Nakano-Ku, Tokyo 164-8620, Japan
- [5] T. Rohrlack, *The Digital Factory, From Concept to Reality*, A Bentley Solution Paper for Automobile Manufacturers, Bentley Systems, September 2008.
- [6] www.ptc.com
- [7] www.sap.com

INVESTIGATION OF STANDARDIZED MODEL FOR DATA EXCHANGE IN CAD/CAM-ERP INTEGRATION

Summary

In last twenty years, there are many investigation and research activity in field of CAD/CAM-ERP integration. Many particular solutions are studied, developed and implemented. However, there is no many work about general solutions and therefore there is no general integration model which is independent of commercial CAD/CAM and ERP programs. This paper represent part of author's investigation of independent general model with cumulative data base for all shared data. Theoretical analysis as well as practical investigations and solutions and experimental platform are described.



Suzana Polić-Radovanović¹, Mileša Srećković², Milan Milosavljević³

3D LASERSKO SKENIRANJE, CAD/CAM i CNC TEHNOLOGIJE U ZAŠTITI KULTURNE BAŠTINE

Apstrakt:

Savremene tehnologije nalaze veliku primenu u oblasti zaštite kulturne baštine. Posebno interesantno polje odnosi se na izradu „beskontaktnih“ replika umetničkih i arheoloških predmeta, kao i na restauraciju oštećenih spomenika kulture i industrijske baštine. U radu je predstavljeno istraživanje semantike primena tehnika 3D laserskog skeniranja, CAD/CAM i CNC tehnologija u zaštiti kulturne baštine u kontekstu postindustrijskog društva.

Ključne reči : CAD/CAM, 3D lasersko skeniranje, kulturna baština, postindustrijsko društvo

1. UVOD

Razvoj informacionih tehnologija obeležava zaštitu kulturne baštine na početku XXI veka u svim procesima koje možemo označiti kao proizvodnju, distribuciju-razmenu i percepciju-recepciju-potrošnju. Više savremenih tehnika, kao što su 3D lasersko skeniranje, CAD/CAM i CNC tehnologije, koje su izvorno razvijane za upotrebu u dominantno tehničkim problemima, početkom ovog milenijuma nalazi primene u savremenoj umetničkoj praksi i oblasti zaštite kulturne baštine. U okviru brojnih i raznovrsnih problema koje otvara primena ovih tehnika, posebno interesantno je pitanje izrade replika umetničkih i arheoloških predmeta, povezano sa složenim odnosima autorskog dela i autora, načina njegovog stvaranja i proizvodnja.

Recipijenti kulturnih sadržaja, čije je interesovanje za pristup originalnom primerku arheološkog ili umetničkog objekta primarno bilo motivisano informacijama o istorijskom pamćenju, u postindustrijskoj eri najčešće svoje interesovanje ispunjavaju na ekranu sopstvenog kompjutera, posmatranjem virtuelnih kopija, ne smatrajući uvek nužnim da predmet vide i u njegovom realnom muzejskom okruženju. Do takvih mogućnosti dovele su nove tehnike, primene 3D laserskog skeniranja, 3D rekonstrukcija, kao i različitih softverskih rešenja za dizajn virtuelnih muzeja i arheoloških lokaliteta. Laserske tehnike, u terminološkom pomeranju, koje stvara napredak tehnike, donosi termin *beskontaktno*, apostrofirajući time prirodu svetlosti, koja je u osnovi laserskog delovanja na objekte, čije se replike stvaraju primenom savremenih metoda.

CAD/CAM i CNC tehnologije omogućavaju materijalizaciju i masovnu proizvodnju replika umetničkih i arheoloških predmeta, što bitno utiče na promenu odnosa prema autentičnosti u postindustrijskom okruženju. Zahvaljujući novim tehnologijama, u isto vreme moguće je na različitim krajevima sveta, primenom istih parametara proizvesti identične replike svakog predmeta za koji je napravljen 3D model. To utiče na autorstvo umetnika, tehnologa, inženjera, IT stručnjaka, u vidu ambivalentnog i simultanog tehnološkog oslobodenja, ali i ugroženosti stvaralaštva u značenju koje je imalo u industrijskoj eri. U popularnoj i masovnoj kulturi, informacija dobija primat u odnosu na autentičnost, čime se virtuoznost jedinstvenog čina povlači pred industrijalizacijom umetničke ideje.

¹ Centralni institut za konzervaciju

² Elektrotehnički fakultet u Beogradu

³ Univerzitet u Beogradu

2. TEHNOLOGIJE U KONTEKSTU POSTINDUSTRIJSKOG DRUŠTVA

U istraživanju semantike primene tehnologija u zaštiti kulturne baštine, filozofija tehnike oslanja se na modernističku filozofiju Valtera Bendžamina, usmerenu na problem tehničkog reprodukovanja umetničkih dela u medijima, kao i posledica koje nastaju u odnosu na stvaraoce i recipijente umetnosti i kulture. I sa stanovišta uloge 3D laserskog skeniranja i primene CAD/CAM i CNC tehnologija u zaštiti baštine, od značaja je problematizovanje pitanja međudnosa oblasti mašingradnje, IT tehnologija i heritologije u kontekstu postindustrijskog društva, koje menja i uloge i pravce razvoja ovih tehnologija.

Bendžaminova filozofija, po kojoj "tehnika reprodukcije odvaja ono što je reprodukovano iz područja tradicije, menjajući jedinstvenu pojavu umetničkog dela masovnom, snažno uzdrnavajući ono što je preneto tradicijom" [6], odgovara stanju na početku ovog milenijuma, u kojem se problematizuje pitanje nematerijalne baštine u domenu tehničkih nauka. Savremena heritološka istraživanja artefakata iz različitih perioda, od praistorije, do industrijskog i postindustrijskog društva, pokazuju da način proizvodnje po sebi može imati kvalitet nematerijalnog kulturnog dobra, čija esencija leži u materijalnim vidovima baštine, zbog čije prolaznosti čovek iskazuje potrebu da ovlada tehnologijama izrada (proizvođenja) replika. Ova pozitivna ideja ima i svoj subverzivni pandan u industriji plagijata i obezvređivanja izvornih umetničkih i tehnoloških ideja.

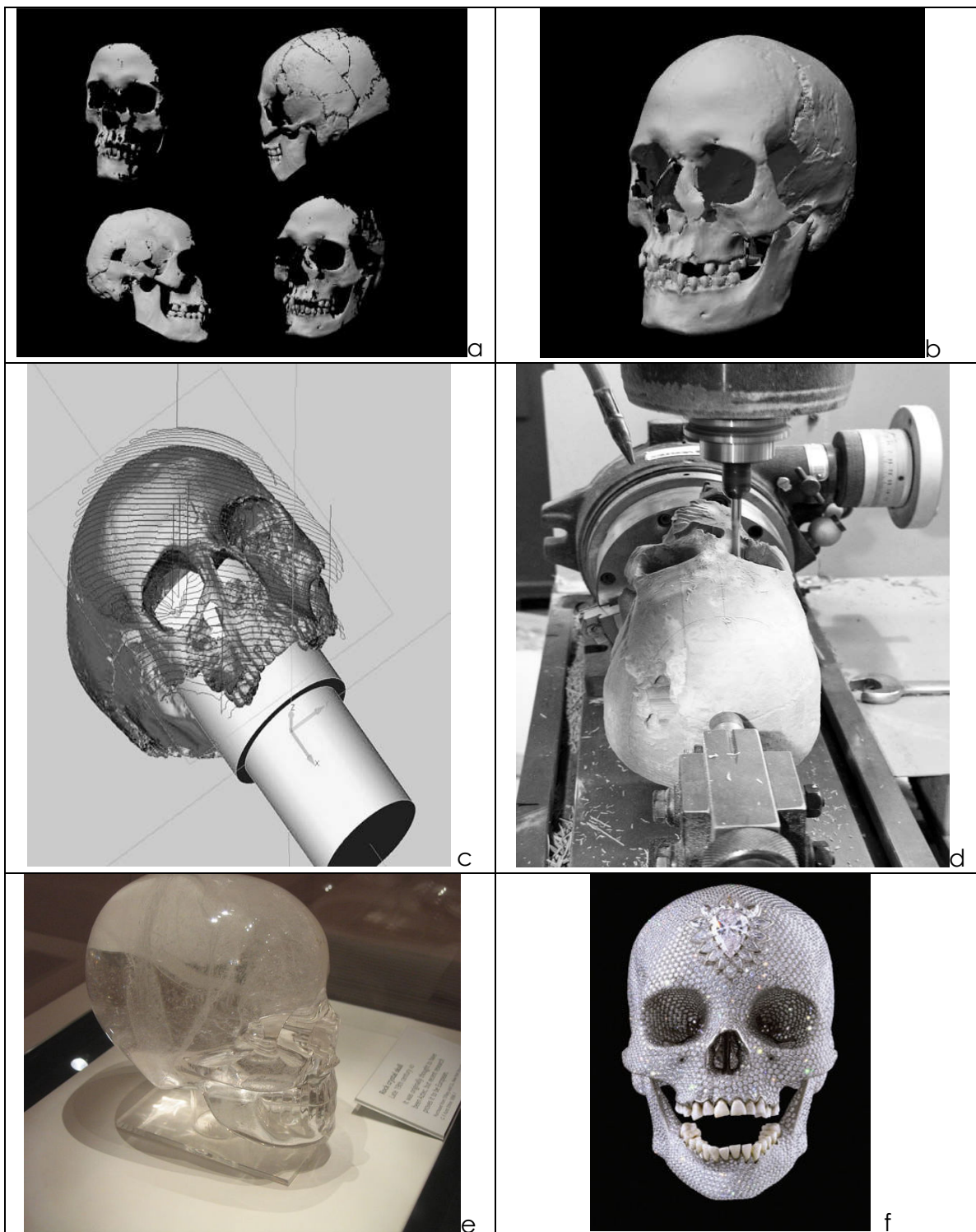
Proizvođenje, kao termin koji se retko vezivao za umetnost, dobilo je na ovom planu puni smisao od momenta uvođenja i preimenovanja industrijskog proizvoda u umetnički predmet 1917. godine u Dišanovom delu *Fontana*. Tada se otvara mogućnost, da se vrednovanje tehnike izrade dela sa polja manuelnog izvođenja (Sl. 1) u predindustrijskom vremenu, prenese na polje industrijskog kvaliteta u konceptualnom umetničkom viđenju tokom dvadesetog veka, sve do virtuelnog kvaliteta, koji je od značaja za IT muzejsku praksu i opštu teoriju baštine novog milenijuma.

Primena tehnologija u heritologiji odvija se u oblasti direktnih i indirektnih uticaja era fordističkog i postfordističkog modela proizvodnje na oblast konzervacije. Komparativna analiza ova dva modela u kontekstu primene novih tehnologija u zaštiti kulturne baštine omogućava situiranje tehnologija u okruženje postindustrijskog društva (Tabela 1.).

Tabela 1. Tehnologije u kontekstu postindustrijskog okruženja

Fordizam	Postfordizam
Niska tehnološka inovativnost	Ubrzana inovativnost
Fiksne proizvodne linije, dugi tokovi	Velika raznolikost proizvoda, kraći tokovi, masovna proizvodnja replika
Umetnost ne učestvuje u procesu reprodukcije kapitala	Kulturalna proizvodnja (intelektualni i umetnički rad u IT tehnologijama) bitno utiče na reprodukciju kapitala
Estetska esencija je na margini materijalne proizvodnje	Materijalna proizvodnja počiva na principima estetskog proizvođenja (virtuoznosti koja se ostvaruje primenom 3D laserskog skeniranja, CAD/CAM i CNC tehnologija)
Konzervacija kulturne baštine kao visoka zanatska i umetnička praksa	Konzervacija kulturne baštine kao nauka i visoko tehnološka praksa

Oblast zaštite kulturne baštine koristi 3D lasersko skeniranje za 3D rekonstrukciju [1] i izradu 3D modela arheoloških nalaza (Sl.1a,b), a CAD/CAM i CNC tehnologije u forenzičko-muzeološkoj rekonstrukciji različitih nalaza (Sl. 1 c, d). Umetnička praksa ove tehnike koristi za stvaranje originalnog dela, koje u sebi može da sadrži bitno valorizovani ekonomski aspekt, po čemu je svakako najpoznatija skulptura britanskog autora Damijena Hirsta iz 2007. godine, *For the Love of God*, izrađena od platine i 8 601 dijamanta, a čija cena prelazi sto miliona dolara (Sl.1f) [5] .



Slika.1. Komparativni pogled na tehnike izrade u predindustrijskom, industrijskom i postindustrijskom vremenu: a,b - 3D modeli arheoloških nalaza Etruske lobanje [2]; c,d- CAD/CAM i CNC tehnologije u forenzičko-muzeološkim analizama za realizaciju replika lobanje iz 17. veka [3]; e-kristalna lobanja ručne izrade iz Britanskog muzeja [4]; f- najskuplja skulptura savremenog doba : Damjan Hirst, *For the Love of God*, 2007. [5].

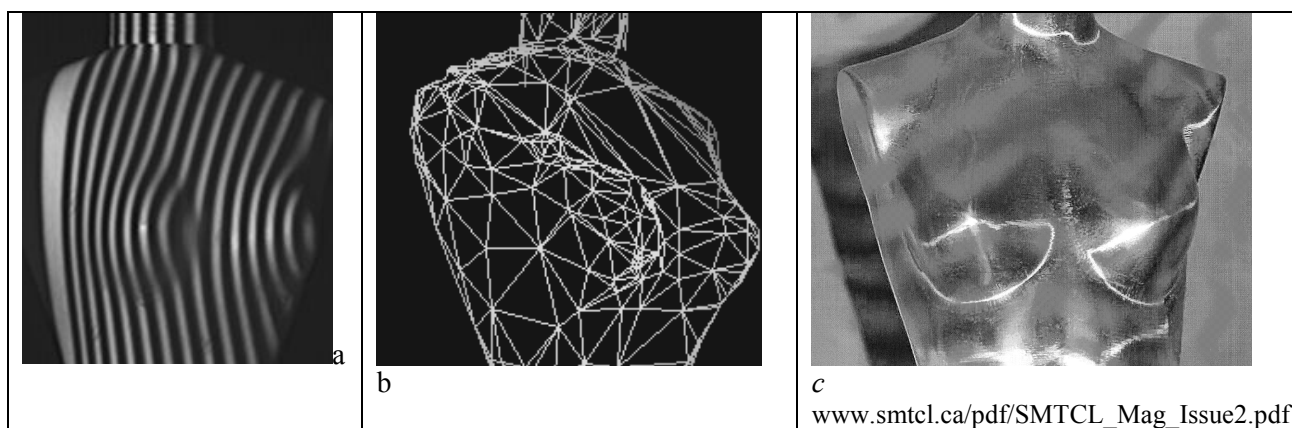
3. REPLIKA I PROBLEM TEHNIČKE REPRODUKCIJE

U istraživanju nematerijalne baštine, čin prenošenja putem tradicije ima osnovnu ulogu u identifikaciji kulturne vrednosti. *Tehnološko mišljenje*, kao termin, koji se u heritologiji koristi u valorizaciji tehnoloških postupaka primenjivanih od praistorije do danas, odnosno od manuelne proizvodnje unikatata, do 3D modelovanja i CNC izrade replika, upravo je ono što povezuje sve objekte, koji kroz vreme svedoče o

postanku čoveka, njegovom suočavanju sa istorijom i budućnošću, koju nagoveštavaju savremene tehnologije.

S druge strane, tehnološko mišljenje, osim horizontalnog kretanja ima i svoju vertikalnu u svakom svom tehnološkom trenutku, koji aktuelizuju napredne tehnike (Sl. 2). Tehnološko mišljenje na taj način nastaje kao presek tradicionalnog i savremenog, prenoseći vrednosti kroz vreme, komunicirajući sa publikom na njoj razumljiv tehnološki način. Sa tog stanovišta, 3D lasersko skeniranje, CAD/CAM i CNC tehnologije, samo su novi vid emanacije stvaralačkog procesa. U strukturi, koja radni proces kao odnos predmeta i radne snage, definiše od manuelnog realnog, do virtuelnog, 3D rekonstrukcija predmeta u kontekstu baštine, približava nas *dijalektičkoj napetosti* između tradicionalnog i novog, kako je vidi Adorno u delu „Estetička teorija“.

Međutim, savremena industrijska proizvodnja pokazuje i velike *kolateralne* štete od omasovljenja tehnološkog mišljenja u kulturi. Zato se mora napraviti diferencija u kretanju od originalnog umetničkog (arheološkog) dela, ka replici kao artefaktu i kulturnom proizvodu, na planu zaštite kulturne baštine i u industriji *popularne* kulture. Dok u zaštiti baštine, replika čuva istorijsko pamćenje i specifičnu estetsku vrednost, u oblasti kulturne industrije, ona može biti zlopotrebljena na način, koji omogućava nagomilavanje *kiča* i degradiranje javnog prostora. Savremena teorija tumači snažan uticaj takve industrije na stvaranje potrošačke kulture u kojoj nastaje *prividni tip ličnosti*, koji prema Kolnaju izbegava napetost otuđenja impulsivnim stapanjem i ubrzanom predajom, izbegavajući samotranscendenciju.



Slika 2. U smisaonoj vertikali tehnološkog trenutka: a,b- osvetljavanje uzorka i modelovanje mreže za 3D rekonstrukciju [7], c- rezultat primene CAD/CAM i CNC tehnologija u izradi savremene skulpture.

Posledice uvođenja tehnika 3D laserskog skeniranja, CAD/CAM i CNC tehnologija u sferu kulture, odnose se i na probleme originalnosti kao mita, koji pripada razdoblju modernizma. Imajući u vidu stanovište Argana da „istorijski tok svojstven modernoj umetnosti jeste *revival* koji u stvari isključuje svaki povratak na staro, ali potvrđuje da se staro ponovo rađa i potvrđuje u modernom“, tehnološko mišljenje, kao nematerijalna baština svake epohe, ne utiče na degradaciju ideje originalnosti do vremena postindustrijskog društva, u kojem je pitanje originalnosti dobilo sasvim nove konotacije. Otuda je veoma važno definisati semantiku uloge savremenih tehnologija u zaštiti kulturne baštine.

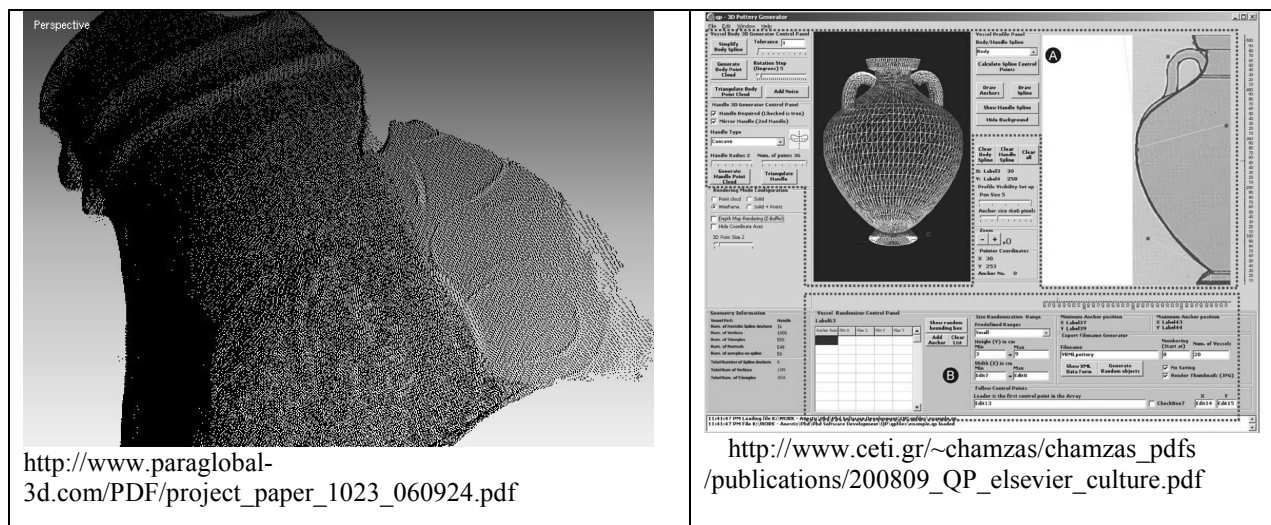
Osnovno pitanje, odnosi se na ulogu 3D laserskog skeniranja, CAD/CAM i CNC tehnologija u redefinisavanju same ideje i merila originalnosti. Odnosno, da li replika, koja predstavlja idealnu (u smislu virtuelnog izvođenja) kopiju nastalu na osnovu već postojećeg originalnog dela, narušava ideju novog, inovativnog i originalnog u sferi tehnološkog mišljenja?

Jedan od mogućih odgovora bio bi da, ako nema inovativnosti na predmetnom nivou, ona svakako postoji na meta-nivou, koji se onda stavlja u kontekst koncepta na nivou tehnološkog mišljenja o problemu i tehnološkog mišljenja unetog u proces mašinogradnje, kreiranja alata, kao i samog tehnološkog postupka obrade.

Uloga tehnologija u potpuno je drugom kontekstu, kada je reč o savremenoj umetničkoj produkciji, koja dozvoljava reciklažu, montiranje i postprodukciju različitih umetničkih ideja i samih industrijskih predmeta, prebacujući semantiku originalnosti na polje umetničkog konteksta, kao i u vreme Dišana, ali sa novim materijalima i tehnologijama. U tom smislu, 3D lasersko skeniranje, CAD/CAM i CNC tehnologije postaju sredstvo u realizaciji konteksta i njihova uloga sa meta-nivoa može biti dislocirana van konteksta originalnog, ukoliko se svodi samo na ulogu posredovanja od ideje do realizacije. Može se reći da estetizacija savremenog društva i njegove masovne kulture, širi polje primena novih tehnologija, upotrebljavajući ili zlopotrebljavajući njihovu originalnost.

Savremeni teorijski pogled, međutim, ovaj odnos novih tehnologija i predmeta i njegove replike vidi u sasvim drugom planu u kojem dominira zakonitost prava intelektualne svojine [8]. **Copyright** je još jedan od važnih termina postindustrijskog okruženja, koje definiciju kopije izražava kroz odnos strana koje imaju ili nemaju pravo da učestvuju u aktu kopiranja, jer se u digitalnom dobu kopija definiše aktom preuzimanja, kopiranja i pokretanja programa. To na drugi način kontekstualizuje tehnološko mišljenje kao nematerijalno kulturno dobro, koje obeležava jednu civilizaciju i prenosi kroz istorijsko pamćenje važne nematerijalne vrednosti.

Da li je virtuoznost tehnike uništila virtuoznost originalne ideje, pitanje je, koje u savremenom postindustrijskom društvu samo na jednom planu ima pozitivnu *kolateralnost*, a to je upravo na planu zaštite kulturne baštine. Osim virtuelnog prikazivanja objekata i artefakata, koji se mogu rekonstruisati u celini, primena 3D laserskog skeniranja, CAD/CAM i CNC tehnologija, izuzetno je važna zbog mogućnosti virtuelnog, a zatim i materijalnog *nadomeštaja* delova, objekata ili urbanih celina, koje se na osnovu dovoljnog sadržaja *oblaka tačaka* prilikom skeniranja, mogu rekonstruisati zahvaljujući kreiranju odgovarajućih softverskih rešenja (Sl.3).



Slika 3. a-*Oblak tačaka* dobijen laserskim skeniranjem fragmenta sa lokaliteta Santo António de Ferreirim in Lamego; b- model softverskog alata za poluautomatsko generisanje morfologije antičkih predmeta.

4. ZAKLJUČAK

Postindustrijsko okruženje, stvorilo je potrebu za razvojem novih paradigmi u oblasti primene 3D laserskog skeniranja, CAD/CAM i CNC tehnologija u zaštiti kulturne baštine. Tehnologija mašinstva, IT tehnologije i heritologija, nalaze se na istom zadatku stvaranja uslova za unapređenje zaštite kulturne baštine putem razvoja modela novih lasera, CNC mašina, alata i softvera za virtuelni i materijalni prikaz artefakata i objekata baštine. Tehnološko mišljenje, koje čini suštinu razvoja tehnologija i samih tehnoloških procesa, zavisno od konteksta i konceptualizacije same tehnike u izradi replika arheoloških i umetničkih predmeta i objekata, valorizuje se kao nematerijalna kulturna baština, koja se tumači u kontekstu složene semantike originalnosti u postindustrijskom okruženju.

5. LITERATURA:

- [1] S. Polić-Radovanovic, *3D reconstruction and the formulation of a new paradigm of archaeological spaces*, 15th International Conference on Cultural Heritage and New Technologies, Wien, 2010.
- [2] M. Andreetto, N. Brusco, G. M. Cortelazzo, *Automatic 3D modeling of archaeological objects*, www.vision.caltech.edu/marco/archive/ACVA03.pdf, april 2011.
- [3] M. J. Wachowiak, B. Karas, *3D scanning and replication for museum and cultural heritage applications*, www.si.edu/mci/ImagingStudio/papers/scanning_paper.pdf, april 2011.

- [4] <http://www.britishmuseum.org>, april 2011.
[5] <http://www.damienhirst.com/>, april 2011.
[6] W. Benjamin, *Umetničko delo u veku svoje tehničke reprodukcije*, Eseji, Nolit, Beograd, 1974.
[7] G. Sansoni, M. Trebeschi, F. Docchio, *State-of-The-Art and Applications of 3D Imaging Sensors in Industry, Cultural Heritage, Medicine, and Criminal Investigation*, Sensors, Vol.9, 2009, , pp. 568-601
[8] D. Thomas, *Innovation, Piracy and the Eros of new Media*, u: The New Media Book, ed. D. Harries, University of California Press, Berkeley, 2002.

3D LASER SCANNING, CAD / CAM AND CNC TECHNOLOGY IN THE FIELD OF CULTURAL HERITAGE

Suzana Polić-Radovanović¹, Mileša Srećković², Milan Milosavljević³

¹Central Institute for Conservation, ² School of Electrical Engineering in Belgrade,

³University of Belgrade

Abstract:

The modern technologies are widely applied in the field of cultural heritage. Particularly interesting field related to the production of "contactless" replicas of art and archaeological objects, as well as the restoration of damaged cultural monuments and industrial heritage. This paper presents the research of semantics of the application of research techniques 3D laser scanning, CAD / CAM and CNC technology to protect cultural heritage in the context of postindustrial society.

Keywords: CAD / CAM, 3D laser scanning, cultural heritage, postindustrial society



Anđelka Milosavljević¹, Suzana Polić-Radovanović², Sanja Petronić¹

CAD/CAM TEHNOLOGIJE I PRIMENA SUPERLEGURA U SAVREMENOM DIZAJNU

Apstrakt:

CAD/CAM tehnologije imaju značajnu ulogu u savremenoj umetničkoj praksi i dizajnu. U oblasti materijala, ovako sofisticirane tehnike nalaze kompatibilan odgovor u primeni superlegura, naročito u uslovima visokih temperatura i nepovoljnih radnih sredina. U ovom radu razmatra se uticaj tehnološkog okruženja CAD/CAM tehnologija i primena superlegura u razradi nekonvencionalnih rešenja, kao i metodologija u domenu konceptualnog dizajna različitih prostornih formi.

Ključne reči : CAD/CAM, superlegure, dizajn

1. UVOD

Sa aspekta heritologije kao opšte teorije baštine, uticaj CAD/CAM tehnologija u domenu konceptualnog dizajna, posmatra se u opsegu od relativno malih artefakata do monumentalne arhitekture. Bez obzira da li je reč o dizajnu industrijskih proizvoda ili umetničkim autorskim kolekcijama unikata, heritologija ih posmatra kao objekte kulturne baštine kojima istorijska distanca pruža objektivnu meru vrednosti.

Do ovakvog pogleda na dizajn došlo je u skladu sa promenama koje se poslednjih decenija događaju u sferi kulture u uslovima ekspanzije informacionih i drugih tehnologija i kapitala, zbog kojih je došlo do gubitka autonomije kulture kao discipline [1]. Njena infiltriranost u druge oblasti dovodi do toga da se subjekti proučavanja, nekada isključivo posmatrani kao tehnološki, sada razumeju i kao kulturni. Otuda se kultura posmatra kao sveobuhvatna teorija i praksa ljudskog iskustva, a heritologija proučava sve aspekte zaštite, uzimajući u fokus istraživanja budućnost tog kolektivnog iskustva [2].

Uklapajući se u tako formulisan širi kontekst, heritološka istraživanja prednost daju analizama metodologija, u odnosu na analize konkretnih industrijskih proizvoda i autorskih koncepata, a uticaj tehnološkog okruženja na mogućnost realizacije novih prostornih rešenja posmatra se i sa aspekta pitanja temporalne progresije [3]. Ubrzana moć invencije, kako se karakteriše jedna od posledica tehnološki razvijenog okruženja, izaziva sve suroviju stvaralačku tenziju koja konstituiše najprofitabilniju investiciju kapitala u metode, tehnike i tehnologije dizajnerske realizacije [4]. Otuda primena novih tehnologija i materijala, podstiče nove procese invencija, koje sagledavamo u kontekstu pragmatičnih IT metodologija i filozofije umetničkog dizajna.

CAD/CAM tehnologije danas presudno utiču i na jednu od najprofitabilnijih delatnosti u svetu– proizvodnju nakita. Imajući u vidu da je razvoj u oblasti superlegura u više pravaca značajno proširio mogućnosti produkcije konceptualnog dizajna, ovde ćemo razmatrati fenomenologiju kolateralnih uticaja CAD/CAM tehnologije i primene superlegura u odgovarajućoj dobiti ostvarenoj u domenu kulture prostora.

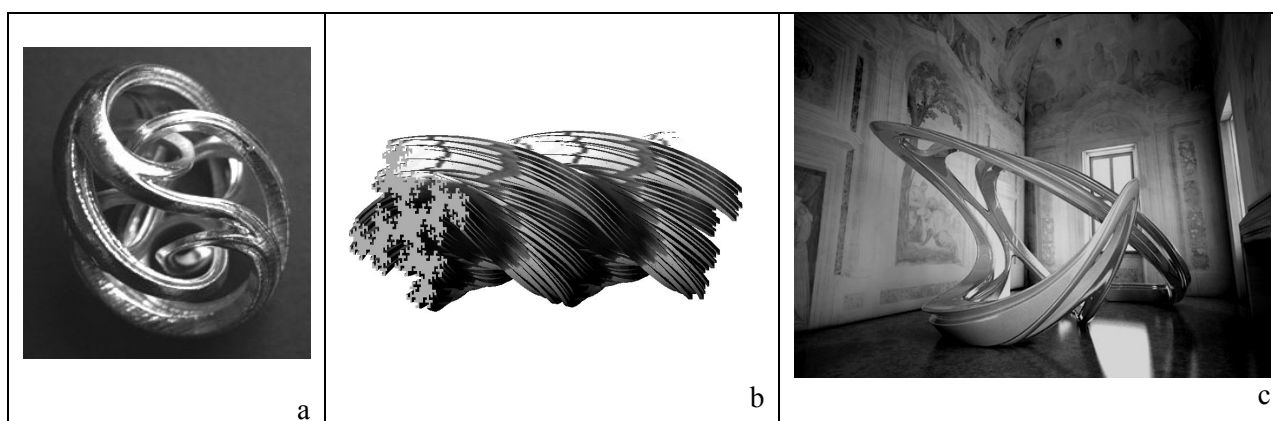
¹ Mašinski fakultet u Beogradu

² Centralni institut za konzervaciju u Beogradu

2. PROSTOR U CAD/CAM OKRUŽENJU

Imajući u vidu istoriju mišljenja i epistemoloških i metodoloških dilema o realnim i apstraktnim prostorima, od Leukipa, Platona, Aristotela, do Lajbnica, Njutna, Kanta i Hajdegera, kao i do Bergsona, Vitgenštajna i Lefevra, u informatičkom naučnom okruženju, mi sagledavamo prostor kao polivalentan, virtuelno moguć, u skladu sa 3D tehnološkim i naučnim interpretativnim formama. Na postojećim tradicijama mišljenja o prostoru, u CAD/CAM tehnološkom okruženju, u percepciju dominantno istorijskog i simboličkog prostora, uvodimo logički i geometrijski utemeljene strukture [5].

Projektovanje prostornih formi otuda se odnosi na korelaciju informacijskih sadržaja i strukturnih odnosa koji omogućavaju formiranje slike, sa zakonitostima prema kojima se konstituiše realni materijalni prostor (Sl. 1a,c). Ovi strukturni odnosi determinisani su unutar grafički interpretiranog geometrijskog konceptualnog okvira i logički utemeljenog sistema. U izražavanju prostornih struktura koje imaju vizuelni dinamički karakter, neophodno je da klasična geometrija sa klasično definisanom geometrijskom formom bude nadgrađena kompjuterskom grafikom koja omogućava prezentaciju procesa različitih geometrijskih provenijencija u cilju interpretacije kompleksnih prirodnih struktura i procesa (Sl. 1b).



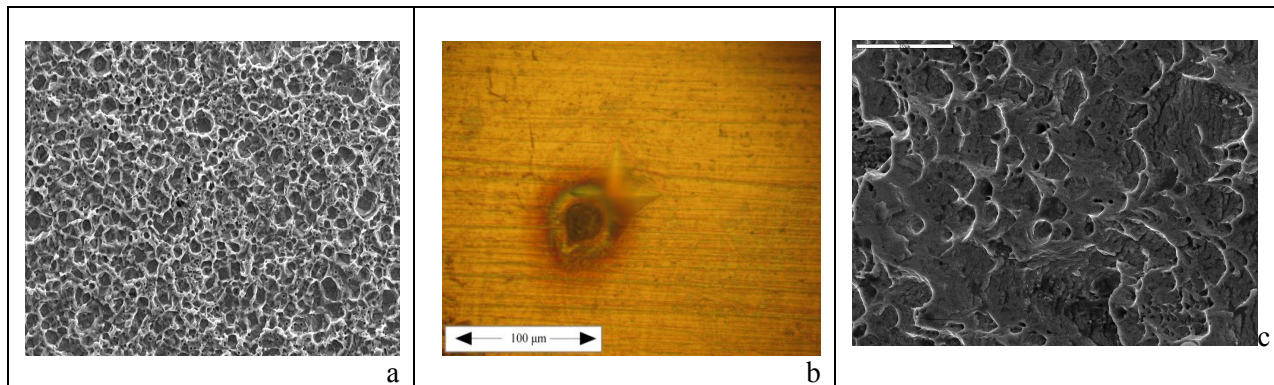
Sl. 1. a - Nakit dizajniran kao matematički objekat: Batsheba Grossman, „Noom.mgx“, MGX Evolution Collection; b- Unutrašnji izraz fraktalne geometrijske esencije; c- Makro manifestacija matematičko-umetničkog objekta - instalacija u prostoru Villa Foscari-La Malcontenta u Veneciji: Zaha Hadid i Patrik Schumache, „Aura“, 2009.

Savremeni dizajn pokazuje da se putem kompleksnih sistema, nelinearne dinamike i teorije haosa na nov način pristupa racionalizaciji i determinaciji forme kroz njenu geometrijsku apstrakciju, s intuitivnim kreativnim impulsima. Umetnici neretko imaju matematičko obrazovanje a svoj dizajnerski kredo neretko baziraju na Fibonačijevoj ideji da se sve oko nas može prikazati i razumeti putem brojeva. Krajem devedesetih godina prošlog veka, sa tradicionalnih metoda, matematičari-vajari pripadnici škole dizajnerskog mišljenja, koju je utemeljio Josef Albers, prelaze na CAD/CAM tehnologije i projektuju skulpture, uključujući vremenom metode galvanoplastike, stereolitografije uz direktno realizovanje metalnih prostornih struktura, sa laserskim graviranjem. Naučne ideje na taj način ulaze u umetnost, brišući granice između naučne slike i umetničke predstave nauke.

Odnos materijala i tehnologije menja se uvođenjem novih materijala koji imaju visoku čvrstoću i plastičnost, otpornost prema puzanju, zamoru i površinskoj degradaciji. Usavršavanje načina fabrikacije konstrukcijskih delova velikih dimenzija, koje je omogućilo dobijanje homogene mikrostrukture, posebno kada se primenjuje postupak dobijanja superlegura metalurgijom praha [6], omogućilo je i napredak u dizajnu prostornih instalacija u urbanom okruženju. Najčešće primenjivan austenitni čelik je Č 18/8 koji ima 18% Cr i 8% Ni. Ovaj materijal duguje svoju široku primenu odličnoj otpornosti na koroziju, kojoj doprinosi povećanje sadržaja nikla, dok se povećanjem sadržaja hroma povećava otpornost na intergranularnu koroziju.

Pri izboru odgovarajućeg tipa nerđajućeg čelika, osim otpornosti na koroziju, za inventivna dizajnerska rešenja prostornih formi, od značaja su i čvrstoća i duktilnost u radnim medijumima i temperaturama, pogodnost za različite proizvodne tehnike, stabilnost osobina, žilavost i otpornost na abraziju i eroziju, otpornost na mehaničko oštećenje površine, reflektivnost, oštrina (očuvanje ivica za sečenje) i krutost. Posebno je interesantno ponašanje materijala prilikom laserske površinske obrade (Sl. 2a), koja nije termalan već mehanički proces za metalne materijale, koji prate značajne promene u mikrostrukтури [6].

Hasteloy X je nikel-hrom-železo-molibden legura, koja poseduje izuzetnu kombinaciju otpornosti na oksidaciju, obradljivost i čvrstoću na visokim temperaturama (Sl.2b). To je veoma značajno i sa aspekta održavanja delova industrijske baštine, kao i konzervacije i restauracije skulptura čiju građu čini otpadni i reciklirani industrijski materijal. U oblasti industrijskog dizajna, značajna je i superlegura Nimonik 263 (Sl. 2c) dizajnirana u Rols Rojsu sa ciljem da se poboljša obradljivost i ostvari dobra duktilnost u zavarenim spojevima [7]. Oblast zavarivanja veoma je zastupljena u izradi savremene skulpture i prostornih urbanih instalacija.



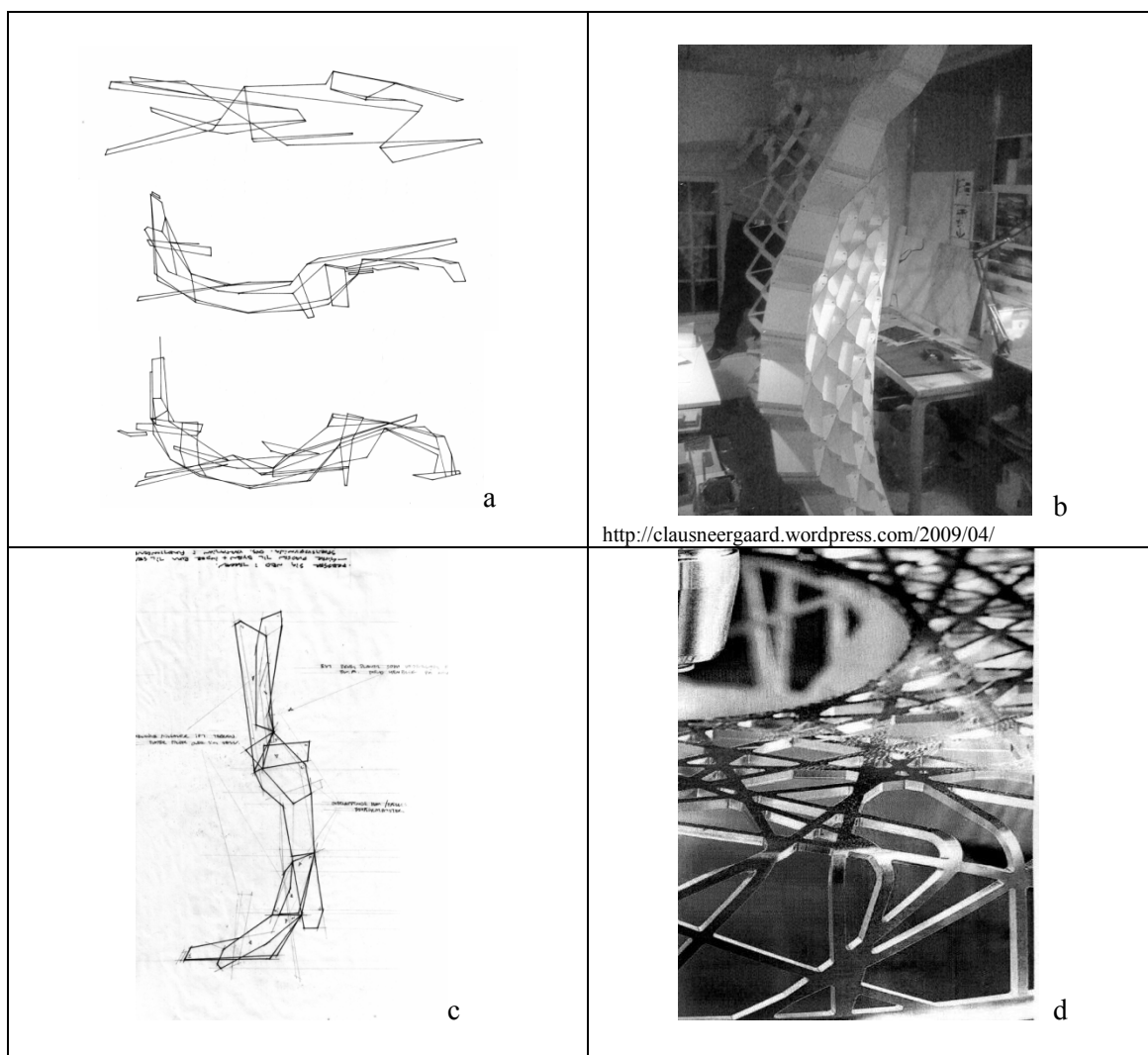
Sl. 2. Mikrostruktura materijala u kontekstu konzervacije objekata kulturne baštine:a-mikrostruktura austenitnog nerđajućeg čelika posle mehaničke obrade laserom; b-Snimak optičkom mikroskopijom ablacije na uzorku legure Hasteloy X posle merenja mikrotvrdoće; c- Izgled prelomne površine superlegure Nimonik 263 nakon termičke obrade.

3. CAD/CAM I FILOZOFIJA VIZUELNOG

Odnos između tehnologija i upotrebe savremenih materijala, izmešta se iz polja dominantno tehnoloških disciplina na polje filozofije onda kada rezultati primene tehnika i materijala prevaziđu isključivo tehnološko određenje i postanu značajni za rasvetljavanje širih fenomena, kao što je fenomen inovacija u produkciji prostornih formi. U tom kontekstu vidljivo je i da specifičan spoj CAD/CAM tehnologija i superlegura u oblasti dizajna aktuelizuje filozofski pristup Žila Deleza [3], koji metal i metalurgiju vidi kao eksplicitno modulatorne fenomene koji su u stanju da intuiciji predoče ono što je obično skriveno u drugim materijalnostima, opisujući takvo stanje sintagmom „metal je svest same materije“. Imajući u vidu da metalna materija, koja je veoma retko u svom čistom prirodnom stanju, mora da prođe kroz nekoliko nizova prelaznih stanja, pre nego što zadobije dizajnerski projektovanu formu, o metalurgiji se otuda ne razmišlja samo kroz model hilomorfizma.

Metal kao materija koja se definiše kroz kretanje u više faza, u procesima variranja, diferencijacije, distribucije i integracije, posmatran u kontekstu dizajna, u materijalnom i apstraktnom aspektu sasvim odgovara fenomenu koji je omogućen CAD/CAM tehnologijama (Sl. 3). Reč je o mogućnosti intervencija na brojnim parametrima koji se mogu varirati tokom CAD projektovanja. Ta mogućnost brze promene i inovacija u koje može biti uključen i kupac kao krajnji korisnik dizajna, sadrži ista obeležja dinamičkog procesa variranja, diferencijacije, distribucije i integracije.

Imajući u vidu navedene deskripcije, tehnika analize dizajna nastalog u CAD/CAM tehnološkom okruženju i primenom sofisticiranih materijala, može se konstituisati u sintezi materijalnih i apstraktnih prostornih obrazaca kao obrazaca kretanja ka realizaciji dizajnerske ideje, čiju esenciju takođe čine procesi mišljenja kao kretanja, variranja i modulacija mnoštva mogućih ishoda produkcije.

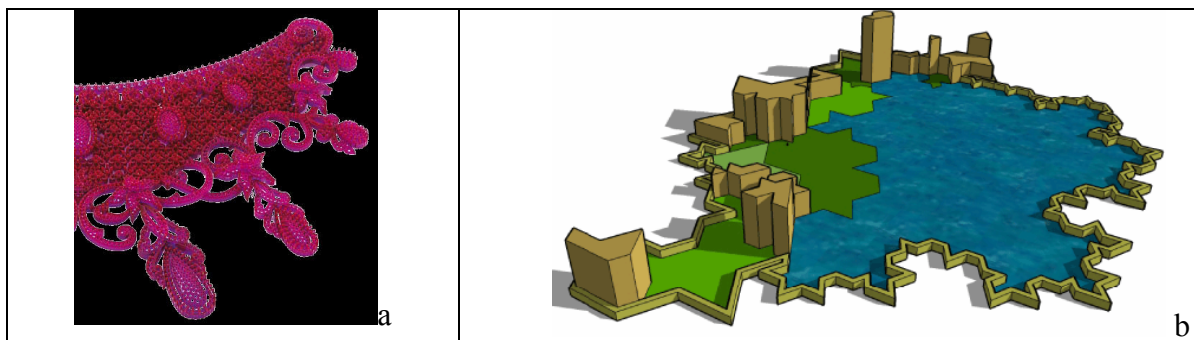


Sl. 3. Dinamički procesi variranja i njihove apstraktne i metrijalne prostorne forme : a –c, Claus Rytter Bruun de Neergaard, „Plansketchs“; d - CAD/CAM dizajn i realizacija metalne prostorne strukture

CAD/CAM tehnološko okruženje u kontekstu ontološkog razumevanja fenomena savremenog dizajna, upućuje na univerzalne vrednosti definisane različitim teorijama i naučnim disciplinama za koje se može vezati fenomen dizajna prostornih formi, od Euklidske geometrije, do Huserlove inteligibilne i nepromenljive *esencije*.

Ono što je do pojave CAD/CAM tehnologija izmicalo pokušajima preciznog definisanja u okvirima formalnih esencija i formiranih, čulno opažajnih predmeta, bio je takozvani idealni oblikovni kvalitet koji obuhvata probleme simetrije i preciznosti izrade. To se posebno odnosilo na sofisticiranost u dizajnu nakita (Sl. 4a), čije performanse, prema istraživanjima kognitivnih psihologa, ljudski mozak prepoznaje za manje od 150 milisekundi. Upravo na postojanju tako osetljivog estetskog čula, kapital gradi logiku daljeg investiranja u poboljšanje proizvodnje koja će dovesti do približavanja idealu oblikovnog kvaliteta.

U tome leži i fenomen uticaja CAD/CAM tehnologija na percepciju poželjnih prostornih formi u urbanom okruženju, a CAD/CAM tehnologije u kompleksu 3D pristupa virtuelizacije savremenog društva, imaju neosporno važan uticaj i na stvaranje vizuelnog identiteta (Sl. 4b). Razvoj velikog broja tehnologija i postupaka za brzu izradu prototipova (Rapid Prototyping -RP) doveo je i do toga da se danas njihovom pojedinačnom i kombinovanom upotrebom mogu ostvariti i brza izrada alata (Rapid Tooling – RT) i brza proizvodnja (Rapid Manufacturing – RM), što skraćuje vreme do pojave proizvoda na tržištu i istovremeno daje dodatno ubrzanje u potrebi za novim programima, modelima, prostornim rešenjima.



Sl. 4. Fraktal kao generativni obrazac u CAD/CAM dizajnu: a- detalj Wax modela ogrlice Imaginarium India ; b – Grad i njegova arhitektura u viđenju Maycon Ricardo Sedrez i Alice T. Cybis Pereira, http://arquitetura.eesc.usp.br/revista_risco/Risco9-pdf/02_art10_risco9.pdf

Modeli dobijeni putem jednostavnih aplikacija, postaju tako zahvaljujući CAD/CAM tehnologijama univerzalni za sve dinamičke procese dizajniranja prostornih formi. Time se apstraktni i prirodni organski i neorganski prostor povezuje u jedinstveni univerzum. Dizajn kao posledica tehnološki usavršenih mogućnosti predstavlja ravnotežu univerzalnog i individualnog kvaliteta u procesu kontinuirane transformacije u koegzistenciji različitih logičkih i drugih sistema bez kojih ovakav koncept ne bi mogao biti realizovan.

U tom smislu, pojam autorstva u savremenom dizajnu prostornih formi relativizovan je i pomeren iz klasičnog razumevanja pitanja originalnosti, jer u realizaciji autorske ideje stoji logistička softverska podrška koja takođe predstavlja originalni autorski doprinos, kao i autorstvo u dizajnu alata i mašina (Tab.1.) Na tim premisama u postindustrijskom društvu, zahvaljujući sprezi dizajna i mašinske industrije, nastao je i dinamično se razvija specifičan oblik tehnološke kulture, kao multidisciplinarnosti koja obuhvata različite naučne, tehnološke, društvene i umetničke discipline. U toj novoj multidisciplinarnosti, klasične tehničke discipline kao što su mašinogradnja i metalurgija, kao i brojne druge oblasti mašinske tehnike, pronalaze primene koje ih na različitim nivoima približavaju umetnosti i kulturi.

Tabela 1. Modeli mašina koji se najčešće primenjuju u industriji nakita

<ul style="list-style-type: none"> •HMC50 –horizontal machining center • HTC 2050 – slant bed lathe •STC 34100D – pipe threading lathe •VMC 0850B – vertical machining center • VMC 700B – vertical machining center •CAK 63285D – CNC lathe •CW 6180C/3000 - lathe •CA 6250B/1500 - lathe •CA 6250B/1500 - lathe • Z 3050X 16/II - radial arm drill • Z 3032X 10/I – radial arm drill 	 <p style="text-align: center;">http://www.imaginarium.co.in</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

4. ZAKLJUČAK

Heritološki pogled na uticaj CAD/CAM tehnologija i primene superlegura u domenu konceptualnog dizajna prostornih formi, bazira se na filozofiji nauke, koja spregu dizajna, savremenih tehnologija i materijala posmatra u svetlu stvaranja univerzalnih dinamičkih kategorija kojima pripada i domen autorskih ideja na različitim nivoima koje integrišu CAD/CAM tehnologije. U tom smislu, proces od ideje do industrijskog proizvoda predstavlja materijalizaciju generičkog tipa u domenu tehnološke kulture, u kojoj znanja u oblastima tehnologija i metalurgije, na nov način aktualizuju filozofski pristupi koji oblikuju dizajnersku inventivnost.

5. LITERATURA:

- [1] F. Jameson, *Postmodernism, or, The Cultural Logic of Late Capitalism*, Duke University Press, Durham, 1991.
- [2] T. Šola, *Heritology or a general theory of Heritage*, <http://bib.irb.hr/prikazi-rad?&lang=EN&rad=186609>, april 2011.
- [3] G. Deleuze, F. Guattari, *Mille Plateaux*, Editions de Minuit, Pariz, 1980.
- [4] S. Rolnik, *Life on the Spot*, <http://www.caosmose.net/suelyrolnik/index.html> (2008.).
- [5] S. Polić-Radovanovic, *3D reconstruction and the formulation of a new paradigm of archaeological spaces*, 15th International Conference on Cultural Heritage and New Technologies, Wien, 2010.
- [6] A. Milosavljević, S. Petronić, *Austenitni materijali, primena i ispitivanja*, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 2010.
- [7] S. Petronić, *Uticaj termičke i laserske obrade na promene u mikrostrukturi superlegura nikla*, doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Beograd 2010.
- [8] E. Husserl, *Ideas*, <http://www.archive.org/stream/IdeasPartI/Husserl-IdeasI#page/n7/mode/2up>, april 2011.

CAD / CAM TECHNOLOGY AND APPLICATION SUPERALLOYS IN CONTEMPORARY DESIGN

Anđelka Milosavljević¹, Suzana Polić-Radovanović², Sanja Petronić¹

¹Faculty of Mechanical Engineering in Belgrade

²Central Institute for Conservation in Belgrade

Abstract:

CAD / CAM technology have an important role in contemporary art and design practice. In the field of materials, such sophisticated techniques are compatible response in the application of superalloys, especially in conditions of high temperatures and adverse operating environment. This paper examines the impact of technological environment of CAD / CAM technology and use of superalloys in the development of unconventional solutions, and methodologies in the domain of conceptual design of different spatial forms.

Key words: CAD / CAM, superalloys, design

37. JUPITER KONFERENCIJA
sa međunarodnim učešćem

37th JUPITER CONFERENCE
with foreign participants

ZBORNİK RADOVA
PROCEEDINGS



33. simpozijum

NU * ROBOTI * FTS

Beograd, maj 2011.

NU – ROBOTI –FTS
NC - ROBOTS – FMS

Mladenović, C., Tabaković, S., Zeljković, M., Gatalo, R. VIRTUELNI MODEL KAO OSNOVA ZA KINEMATSKU ANALIZU MAŠINE ALATKE	3.1
Kvrgić, V., Bućan, M., Ilić, D., Trgovčević, S., Dimić, Z. ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ NOVE GENERACIJE VERTIKALNIH 5-OSNIH STRUGARSKIH OBRADNIH CENTARA - REKAPITULACIJA UKUPNIH REZULTATA NA PROJEKTU TR - 14026.....	3.7
Blanuša, V., Zeljković, M., Tabaković, S. AUTOMATIZOVANO PROGRAMIRANJE NU MAŠINA ZA NEKONVENCIONALNE POSTUPKE OBRADE	3.20
Petrović, P., Danilov, I., Lukić, N. NOVI PRISTUPI U PROJEKTOVANJU EKSTREMNO VARIJANTNIH PROIZVODA	3.26
Mikalački, Ž., Tabaković, S., Zeljković, M., Živković, A. PROJEKTOVANJE ZGLOBNIH PRENOSNIKA PRIMENOM SAVREMENIH PROGRAMSKIH SISTEMA.....	3.36
Petrašinović, N., Petrašinović, D., Posteljnik, Z., Svorcan, J. PRIMENA NAPREDNIH SOFTVERSKIH ALATA ZA RAZVOJ MLINSKOG KOLA OD KONCEPTA DO GOTOVOG PROIZVODA	3.42
Perović, M., Veljić, D. KARAKTERIZACIJA ZAVARENOG SPOJA RAZLIČITIH LEGURA ALUMINIJUMA FORMIRANOG POSTUPCIMA TOPLJENJEM I PLASTIČNOM DEFORMACIJOM.....	3.47
Milčić, D., Mijajlović, M., Anđelković, B., Đurić, S. RAZVOJ MODULA ZA PRORAČUN ZAVARENIH SPOJEVA	3.53
Komarov, D., Stupar, S., Simonović, A., Zorić, N. PARAMETRIZACIJA FAMILIJE AEROPROFILA ZA KORENI DEO LOPATICE VETROTURBINE	3.60
Marjanović, Z., Brzaković, R. SIMULACIJA HIBRIDNOG ELEKTRIČNOG VOZILA PRI VOŽNJI NA OTVORENOM PUTU	3.66
Petrović, M., Miljković, Z., Babić, B., Čović, N. VEŠTAČKE NEURONSKE MREŽE I AKSIOMATSKA TEORIJA PROJEKTOVANJA U KONCEPCIJSKOM PROJEKTOVANJU ROBOTIZOVANOG UNUTRAŠNJEG TRANSPORTA MATERIJALA.....	3.72
Kosarac, A., Zeljković, M., Gatalo, R., Trifković, S. PRIMJENA TEHNOLOGIJE VIRTUALNE REALNOSTI U FAZI PROJEKTOVANJA KONCEPCIONIH RJEŠENJA FLEKSIBILNIH TEHNOLOŠKIH	3.80
Lukić, D., Todić, V., Milošević, M., Jovičić, G., Vukman, J. PRIMENA VIŠEKRITERIJUMSKOG ODLUČIVANJA U IZBORU OBRADNOG SISTEMA.....	3.87
Petrović, M., Danilov, I., Lukić, N., Glavonjić, M., Kokotović, B. MEHANIŠTIČKA IDENTIFIKACIJA MODELA SILE PRI ORTOGONALNOM REZANJU	3.93
Radić, V. NEKI ASPEKTI SIMULACIJE OBLIKOVANJA EKSPLOZIJOM KORIŠĆENJEM METODE KONAČNIH ELEMENATA.....	3.103
Sredanović, B., Lakić-Globočki, G., Nedić, B., Čiča, Đ. NOVI PRISTUP DEFINISANJU UNIVERZALNE OBRADIVOSTI MATERIJALA PRI REZANJU	3.109
Pejić, V., Petković, Z., Mišić, B. KONCEPT SISTEMA ZA ODREĐIVANJE PARAMETARA REŽIMA REZANJA ZASNOVANOG NA WEB - TEHNOLOGIJAMA.....	3.115



Mladenović, C.¹, Tabaković, S.², Zeljković, M.³, Gatalo, R.⁴

VIRTUELNI MODEL KAO OSNOVA ZA KINEMATSKU ANALIZU MAŠINE ALATKE

Rezime: *Savremeni načini projektovanja mašina alatki podrazumevaju brzu i detaljnu analizu njihove kinematske strukture i dinamičkog ponašanja u eksploataciji. To, u novije vreme obuvata maksimalnu primenu teorijskih analiza virtuelnih modela kojima je opisana geometrijska i kinematska struktura mehanizama koji čine osnovu mašina alatki.*

*U radu je prikazan metod simboličkog modeliranja pri formiranju virtuelnog prototipa mašine alatke. Koristeći modul programskog sistema Matlab, SimMechanic, formiran je virtuelni model paralelnih mehanizama tipa **triglajd** i **ortotriglajd**, koji se mogu koristiti pri razvoju mašina alatki. Na ovim modelima izvršene su analize brzina i ubrzanja pojedinih elemenata mehanizma u cilju predikcije ponašanja ovakvih mašina alatki u eksploataciji.*

Ključne reči: *Virtuelni prototip, kinematska analiza, SimMechanic, simboličko modeliranje*

1.0 UVOD

Jedan od osnovnih ciljeva savremene industrije prerade metala je razvoj proizvoda zadovoljavajuće tačnosti, u najkraćem mogućem roku i uz najmanje troškove. Kako se kompleksnost proizvoda povećava a njihov životni vek skraćuje, izrada i ispitivanje više fizičkih prototipova postaje jedan od osnovnih problema i pri razvoju mašina alatki. Zbog toga, proizvođači mašina alatki umesto dosadašnjeg prilaza i izradi više fizičkih prototipova koji zahtevaju dug vremenski period razvoja i koji su skupi primenjuju savremeni pristup projektovanju koji se zasniva na računarskim analizama virtuelnih prototipova i izradi samo jednog fizičkog prototipa [1].

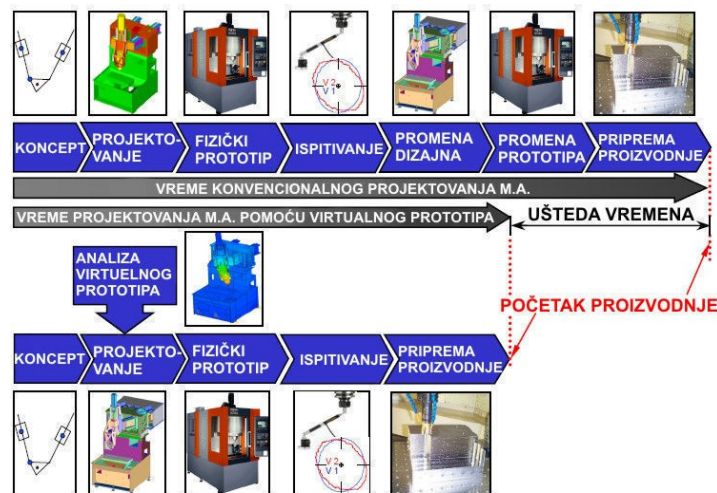
Virtuelni prototip (virtualni model) mašine alatke je računarski simuliran model fizičkog proizvoda koji može biti prezentovan, analiziran i ispitan kao stvarna mašina [1]. Ovakav model može biti formiran kao računarski generisan geometrijski model (CAD) ili kao simbolički opisan model koji matematičkim zakonitostima opisuje sve elemente fizičkog prototipa. U procesu optimizacije konstrukcionog oblika i karakteristika mašine alatke iterativnim promenama virtuelnog modela se dolazi do željenih rezultata. Na taj način se značajno smanjuje ukupno vreme i troškovi projektovanja mašine u odnosu na iterativne promene njenog fizičkog modela. Na slici 1. prikazana je razlika u vremenu projektovanja mašina alatki primenom virtuelnog prototipa u odnosu na konvencionalni način projektovanja.

¹ Cvijetin Mladenović, master inž. maš., Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, mladja@uns.ac.rs

² Doc. dr Slobodna Tabaković, dipl. ing., Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, tabak@uns.ac.rs

³ Prof. dr Milan Zeljković, dipl. ing., Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, milanz@uns.ac.rs

⁴ Prof. dr Ratko Gatalo, dipl. ing., Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, gatalora@uns.ac.rs



Slika 1. Poređenje vremena konvencionalnog načina projektovanja i projektovanja mašine alatke primenom virtuelnog modela [1]

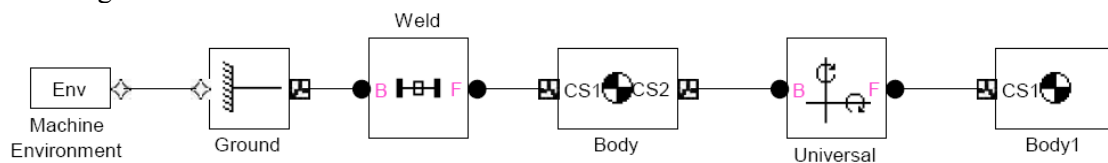
U radu je prikazan metod simboličkog opisivanja virtuelnog modela mašine alatke primenom modul programskog sistema Matlab, SimMechanic. Za potrebe poređenja i uporednih analiza formirani su virtuelni modeli paralelnih mehanizama tipa **trigljajd** i **ortotrigljajd**. Analizirane su brzina i ubrzanja pojedinih elemenata ovih mehanizma primenom virtuelnih modela.

2.0 OSNOVE DEFINISANJA VIRTUELNOG MODELA

Kao što je već navedeno, virtuelni model mašine alatke predstavlja njen model formiran primenom nekog od računarskih sistema, koji, između ostalog, omogućava simuliranje statičkog, kinematskog i dinamičkog ponašanje elemenata mašine i mašine alatke u celini. To podrazumeva simbolički opis modela, definisanjem fizičkih osobina elemenata (matrice inercije, matrice masa, koordinatnih sistema i sl.), veza između njih, trenja i uticaja okoline.

U Matlab SimMechanic-u se za formiranje virtuelnih modela koriste simbolički blokovi. Da bi blok predstavljao element stvarne mašine alatke, potrebno mu je zadati dimenzije, fizičke karakteristike i orijentaciju u prostoru. Veze između elemenata definišu se pomoću spojeva koji, u zavisnosti od zahteva, mogu biti tipa vodica, tipa zglobova i krute veze, i njima je moguće, na virtuelnom modelu, predstaviti bilo koju vezu između dva elementa mašine alatke. U cilju dobijanja što verodostojnijih rezultata u procesu analize virtuelnih modela potrebno je definisati i uticaj okoline na mašinu alatku, trenje i otpore između pokretnih elemenata, pogonske motore kojima se vrši pobuda, kao i segmente koji prikazuju dobijene rezultate.

Na slici 2. su prikazani neki od blokova koji se koriste u SimMechanic-u na primeru jednostavnog mehanizma koji se sastoji iz dva tela, od kojih je jedno fiksirano u prostoru, međusobno povezana univerzalnim zglobovom.



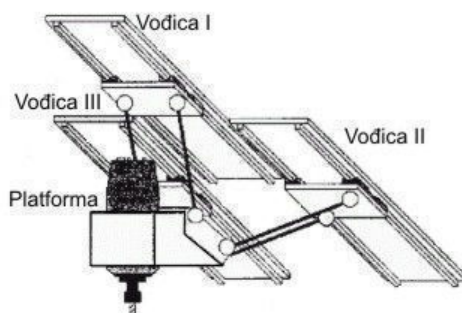
Slika 2. Primer mehanizma formiranog u Matlab SimMechanic-u

3.0 DEFINISANJE VIRTUELNOG MODELA PARALELNIH MEHANIZAMA TIPA TRIGLAJD I ORTOTRIGLAJD

Projektovanje paralelnih mehanizama kao osnove mašina alatki na konvencionalan način je dugotrajno i složeno pa se zbog toga često izvodi primenom virtuelnih modela. Projektovanje virtuelnog modela u Matlab SimMechanic-u je ilustrovano na primeru paralelnih mehanizma tipa trigljajd i ortotrigljajd. Izbor ovih mehanizama je rezultat njihove geometrijske sličnosti i mogućnosti poređenja rezultata dobijenih analizom brzina i ubrzanja njihovih pokretnih elemenata.

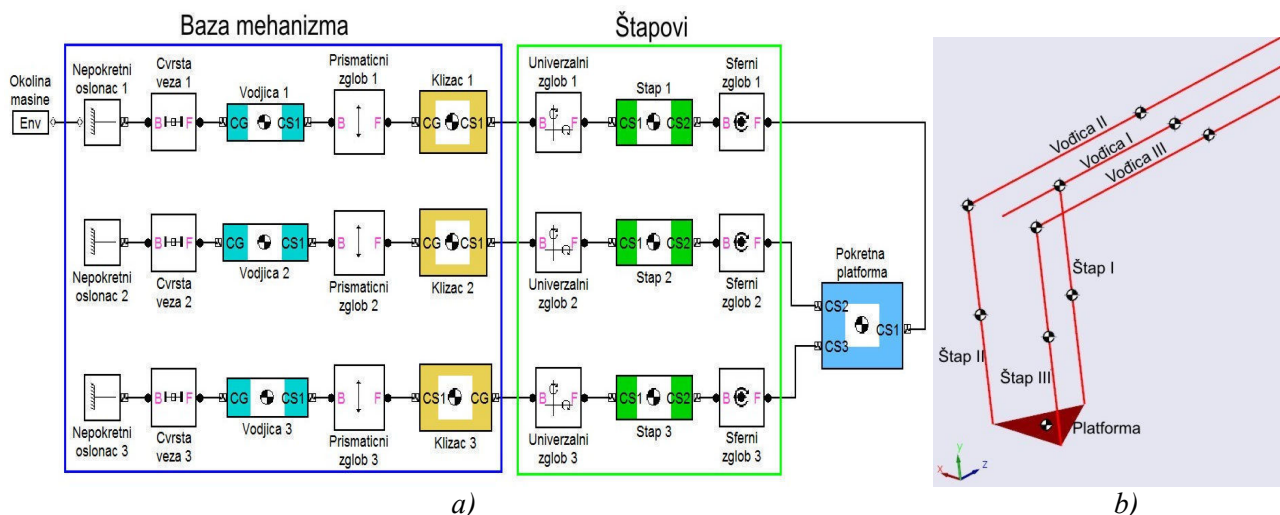
3.1 Paralelni mehanizam tipa *Triglajd*

Paralelni mehanizam tipa *triglajd* je razvijen u cilju eliminisanja određenih nedostaka klasičnog Stewart-ovog mehanizma vezanih za oblik i dimenzije radnog prostora, koji ne zadovoljavaju u potpunosti zahteve mašina alatki. Mehanizam se sastoji iz dva dela: nepokretnog dela (baze) i pokretnog dela (štapova i pokretne platforme). Bazu mehanizma čine tri odvojene paralelne vodice po kojima se kreću klizači koji su univerzalnim zglobovima vezani za štapove. Štapovi fiksne dužine su, sa druge strane, sfernim zglobovima vezani za pokretnu platformu. Kretanjem klizača po vodicama ostvaruje se kretanje pokretne platforme. Na slici 3 je prikazan primer paralelnog mehanizma tipa triglajd.



Slika 3. Mehanizam tipa *triglajd*

Generisanje virtuelnog modela triglajd mehanizma vrši se tako što se svaki element stvarnog mehanizma prezentuje odgovarajućim blok elementom modela koji definiše njegove fizičke karakteristike (masu, matricu inercije i orijentaciju u prostoru). Ovako definisani blokovi elemenata se povezuju odgovarajućim spojevima i formiraju šemu triglajd mehanizma koja, ustvari, predstavlja njegov virtuelni model. Virtuelni model mehanizma tipa triglajd je prikazan na slici 4a, a na slici 4b njegov VRML model.



Slika 4. Virtuelni model mehanizma tipa *triglajd* (a) i njegov VRML model (b) formirani u Matlab SimMechanic-u

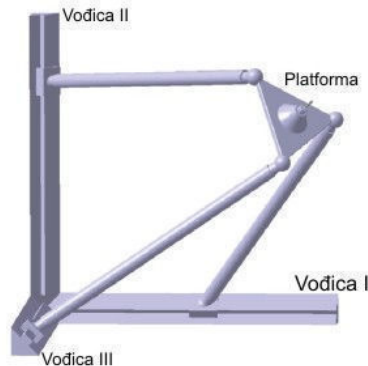
Na slici se mogu uočiti tri celine virtuelnog modela triglajd mehanizma. To su baza mehanizma, koju čine paralelne vodice i klizači, pokretna platforma i štapovi koji povezuju bazu i pokretnu platformu.

3.2 Paralelni mehanizam tipa *Ortotriglajd*

Konceptualno, mehanizam tipa ortotriglajd predstavlja izmenjenu varijantu mehanizma tipa triglajd koja je razvijena da bi se omogućilo kompleksno prostorno kretanje pokretne platforme linearnim kretanjem klizača u tri međusobno normalna pravca. Praktično to znači da se mogu iskoristiti kretanja po tri ose konvencionalnih numeričkih mašina za određena ispitivanja na fizičkim modelima mehanizma tipa ortotriglajd. Međutim, zbog svojih nedostataka, kao što je nepovoljan oblik radnog prostora i veliki broj singularnih tačaka, ovaj mehanizam nije našao primenu u industriji mašina alatki. Kao što je već navedeno,

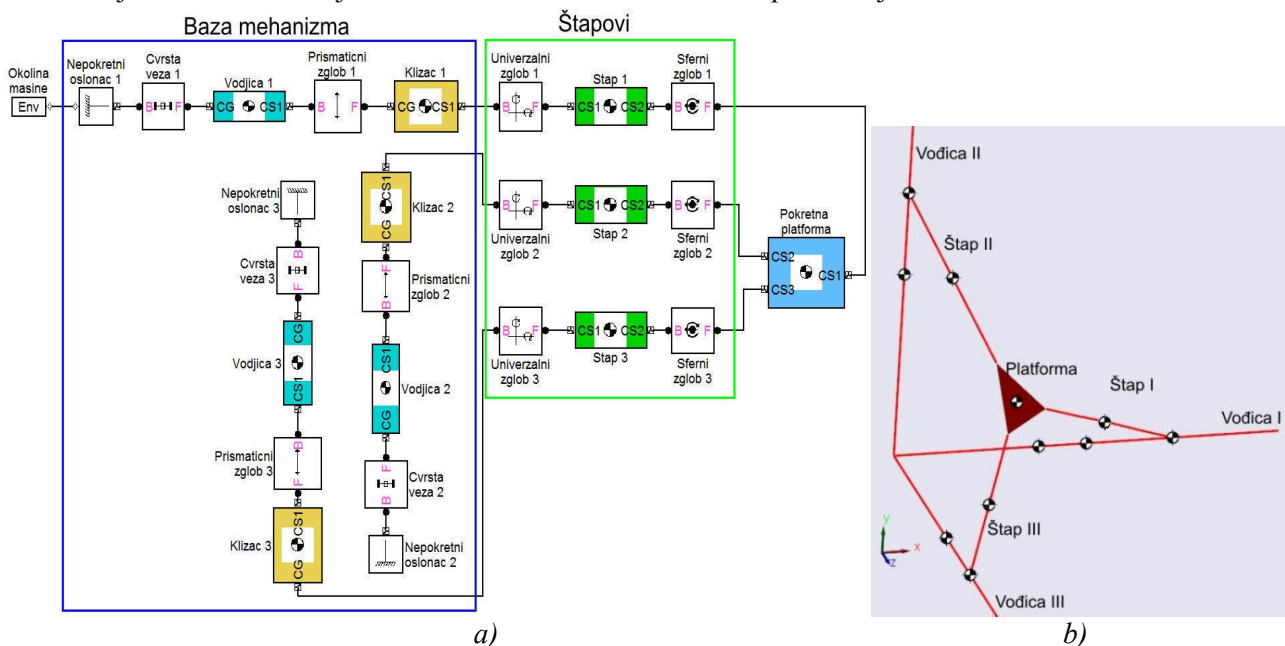
za ovaj mehanizam formira se virtuelni prototip zbog njegove geometrijske sličnosti sa triglajd mehanizmom imajući u vidu da je jedina razlika u koncepciji baze.

Mehanizam tip ortotriglajd se sastoji od tri ortogonalne vođice po kojima se linearno kreću klizači povezani štapovima fiksne dužine sa trougaonom pokretnom platformom. Veza između klizača i štapova ostvaruje se univerzalnim a veza između štapova i platforme sfernim zglobovima. Na slici 5 prikazan je paralelni mehanizam tipa ortotriglajd.



Slika 5. Paralelni mehanizam tipa ortotriglajd

Virtuelni model mehanizma tipa ortotriglajd se generiše na isti način kao i virtuelni model mehanizma tipa triglajd. Radi lakšeg poređenja ova dva mehanizma, pri modeliranju su korištene iste dimenzije elemenata paralelnih mehanizama. Virtuelni model mehanizma tipa ortotriglajd je prikazan na slici 6a, koji je u strukturalno veoma sličan virtuelnom modelu mehanizma tipa triglajd. Jedina razlika je položaj vođica koje su u ovom slučaju međusobno normalne. Na slici 6b prikazan je VRML model mehanizma.



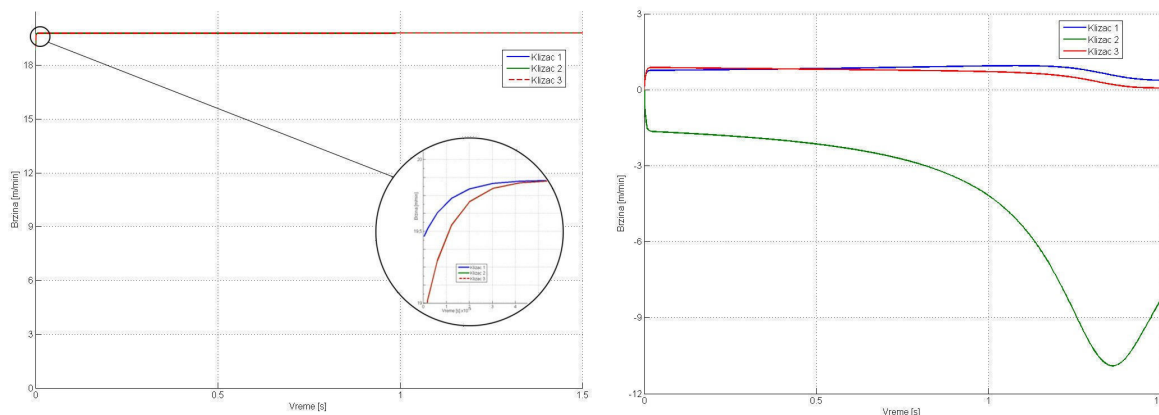
Slika 6. Virtuelni model mehanizma tipa ortotriglajd (a) i njegov VRML model (b) formirani u Matlab SimMechanic-u

Razvijeni virtuelni modeli se mogu koristiti za analizu statičkog, kinematskog i dinamičkog ponašanja navedenih mehanizama.

4.0 REZULTATI ANALIZA

Na osnovu razvijenih modela se može izvršiti više vrsta analiza koje pružaju uvid u ponašanje pojedinih elemenata, kao i celokupnog mehanizma u eksploataciji. To znači da se mogu dobiti informacije o kretanjima elemenata mehanizma posmatrajući direktan i inverzni kinematski lanac. Na osnovu rezultata ovakvih analiza može se analizirati radni prostor mehanizma kao i brzina i ubrzanja njegovih pojedinih elemenata. U nastavku su prikazani rezultati analiza brzina i ubrzanja klizača paralelnih mehanizama, koje su izvršene u cilju provere tačnosti virtuelnih modela.

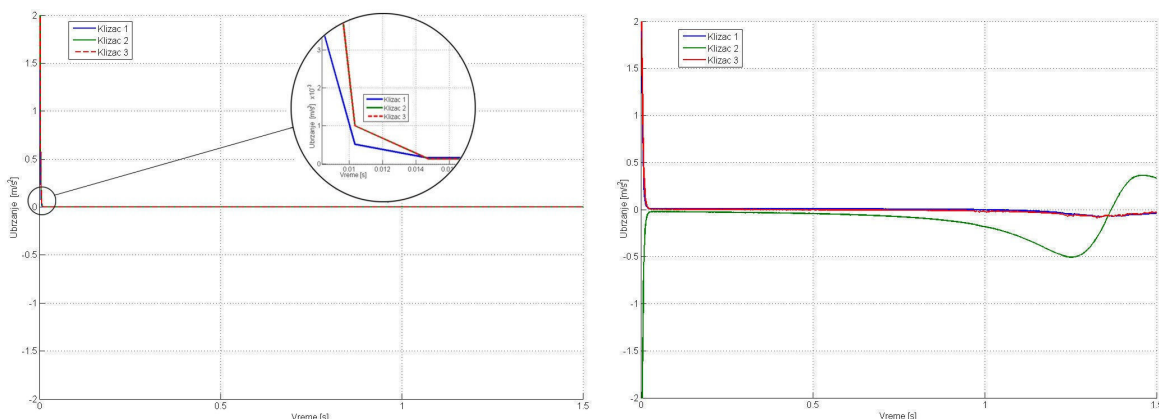
Pri analizi mehanizama pokretnoj platformi je zadata brzina od 20 m/min (uobičajena brzina brzog hoda u savremenim mašinama alatkama) u pravcu jedne od translatorskih osa (osa z). Pri tome je definisano trenje između klizača i vođica kao i trenje u sfernim i univerzalnim zglobovima. Na slici 7 su prikazane uporedne vrednosti brzina klizača na vođicama razmatranih mehanizama, uz napomenu da su pri analizi oba mehanizma definisani isti uslovi.



Slika 7. Brzine klizača za mehanizam tipa triglajd (levo) i ortotriglajd (desno)

Kao što se na slici može uočiti, za konstantnu brzinu pokretne platforme paralelnog mehanizma tipa triglajd dobijaju se ravnomerne brzine kretanja klizača u pravcu pojedinih vođica. Sa druge strane u slučaju mehanizma tipa ortotriglajd brzine kretanja su promenljive i podložne su stalnoj promeni smera i intenziteta što je nepovoljno za primenu u mašinama alatkama.

Na slici 8 su prikazane promene ubrzanja na klizačima posmatranih paralelnih mehanizama pri istoj, konstantnoj brzini kretanja pokretne platforme.



Slika 8. Ubrzanja klizača za mehanizam tipa triglajd (levo) i ortotriglajd (desno)

Rezultati analize ubrzanja ukazuju na intenzivne promene ubrzanja na klizačima paralelnog mehanizma tipa ortotriglajd koje rezultuju intenzivnim opterećenjima pojedinih elemenata ovog mehanizma. Sa druge strane, u slučaju paralelnog mehanizma tipa triglajd se mogu uočiti promene ubrzanja u početnom trenutku, zbog savladavanja trenja u pojedinim elementima, a zatim se ostvaruje ravnomerno pravolinijsko kretanje klizača.

5.0 ZAKLJUČAK

U radu je opisan metod simboličkog modeliranja pri formiranju virtuelnog prototipa mašine alatke. Primenom modula programskog sistema Matlab, SimMechanic, formirani su virtuelni modeli paralelnih mehanizama tipa triglajd i ortotriglajd i izvršena je kinematska analiza istih.

Cilj ovog rada je da se prezentuje mogućnost primene Matlab SimMechanic-a za modeliranje i analizu virtuelnog prototipa mašine alatke. Na primeru analize dva tipa paralelnih mehanizama je pokazano da se na ovaj način mogu analizirati i razvijati i novi tipovi paralelnih mehanizama.

Sagledavanjem rezultata dobijenih analizama brzina i ubrzanja klizača posmatranih mehanizama, konstatuje se da se kod mehanizma tipa triglajd klizači kreću ravnomernim brzinama koje su približne

očekivanim, teoretskim vrednostima, dok se kod mehanizma tipa ortotriglajd javljaju neravnomerne brzine koje bi za upravljački sistemi mašina alatke bile teško ostvarive. Upravo ova činjenica je navedena kao jedan od razloga zašto mehanizmi tipa ortotriglajd nisu našli primenu u industriji mašina alatki.

Modeli dobijeni u Matlab SimMechanic-u, pored prikazanih analiza, se mogu koristiti i za dinamičku analizu, analizu radnog prostora i analizu kretanja paralelnih mehanizama.

Pristup projektovanju mašina alatki prikazan u ovom radu je, u odnosu na konvencionalni, brži i jednostavniji. Međutim, treba navesti i to da je za razvoj virtuelnih modela potrebno posedovati zadovoljavajuće znanja iz projektovanja mašina alatki kako bi se na bazi razvijenih modela dobili verodostojni rezultati.

6.0 LITERATURA

1. Altintas, Y., Brecher, C., Weck, M., Witt, S.: Virtual Machine Tool, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol 54, Issue 2, pp. 115-138, 2005.
2. Mathworks, Inc. SimMechanics, Help, <http://www.mathworks.com/product/simmechanic>, 2011.
3. Rehsteiner, F., Neugebauer, R., Spiewak, S., Wieland, F.: Putting Parallel Kinematics Machines (PKM) to Productive Work, Annals of the CIRP, Vol 48, No. 1, pp.; 345-350, 1999., ISSN 1726-0604
4. Tabaković, S., Zeljković, M., Gatalo, R.: Methodology of workspace analysis of machinetools based on parallel mechanisms, Facta Universitatis Series: Mechanical Engineering Vol. 7, No 1, pp. 61 - 72, 2009.
5. Tabaković, S.: Razvoj programskog sistema za automatizovano projektovanje mašina alatki na bazi paralelnih mehanizama i optimalni izbor njihovih komponenti, doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2008.

***Napomena:** U radu je prikazan deo rezultata istraživanja na projektu "Savremeni prilazi u razvoju specijalnih rešenja uležištenja u mašinstvu i medicinskoj protetici" TR 35025, koji finansira Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije.*

VIRTUAL MODEL AS A BASE FOR MACHINE TOOLS KINEMATIC ANALYSIS

***Abstract:** Modern methods of designing of machine tools include quick and detailed analysis of their kinematic structure and dynamic behavior in exploitation. That, in recent years, includes the maximum use of theoretical analysis of the virtual models that describes the geometric and kinematic structure of mechanisms which present the basis of machine tool.*

This paper presents a method of symbolic modeling in the formation of virtual prototype of machine tools. Using the module of program system Matlab, SimMechanic, a virtual models of parallel mechanisms triglajd and ortotriglajd are formed, which can be used in the development of machine tools. A analyses of velocity and acceleration of certain elements of the mechanism have been preformed on these models, to predict the behavior of these machine tools in exploitation.

***Key words:** Virtual prototype, kinematic analysis, SimMechanic, symbolic modeling*



V. Kvrđić, M. Bućan, D. Ilić, S. Trgovčević, Z. Dimić, M. Vasić, V. Čarapić, V. Cvijanović¹⁾

ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ NOVE GENERACIJE VERTIKALNIH 5-OSNIH STRUGARSKIH OBRADNIH CENTARA - REKAPITULACIJA UKUPNIH REZULTATA NA PROJEKTU TR - 14026

Rezime:

U ovom radu daje se prikaz istraživanja koje ima za cilj razvoj nove familije vertikalnih 5-osnih strugarskih obradnih centara koji bi bili izvozni proizvodi domaće industrije mašina alatki namenjeni proizvođačima opreme za energetska postrojenja, avio industriju, vojnu industriju i mnoge druge primene.

Istraživanjem su obuhvaćena konceptualna rešenja vertikalnih jednostubnih i dvostubnih 5-osnih strugarskih obradnih centara za prečnike obrade od 1200 do 4000 mm, konstruktivna rešenja vitalnih sklopova mašina, konceptualna rešenja dvoosne glodačke glave, i 3D modeliranje i proračuni.

Deo istraživanja u okviru projekta odnosi se na razvoj upravljačke jedinice vertikalnih 5-osnih strugarskih obradnih centara, jer uvoz ovakvih upravljačkih jedinica ima velika ograničenja. Razvijen je i testiran nov algoritam upravljanja sa ugaonom glavom, kod koje se ose B i C mimoilaze, i koji elimiše uticaje temperaturskih dilatacija postolja mašine na tačnost obrade.

Proverena je usklađenost konceptualnih rešenja familije vertikalnih 5-osnih strugarskih obradnih centara sa zahtevima evropskih direktiva vezanih za bezbednost rada mašina.

Ključne reči: petoosni strugarski obradni centri, modeliranje, programiranje, algoritam upravljanja

1. UVOD

Projekat TR – 14026²⁾ koji je podržan od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije ima za cilj istraživanje i razvoj nove familije vertikalnih 5-osnih strugarskih obradnih centara koji bi bili izvozni proizvodi domaće industrije mašina alatki namenjeni proizvođačima opreme za energetska postrojenja, avio industriju, vojnu industriju i mnoge druge primene.

Posmatrajući globalne tokove u oblasti mašinogradnje i metaloprerađivačke industrije, a uz uvažavanje ekonomskih pokazatelja i predviđanja za naredni period, vidljivo je da postoji velika potreba za razvojem i proizvodnjom ovakvih tipova mašina. U prilog ovoj konstataciji ide dinamičan razvoj zemalja BRIC ekonomije kao i potreba za izgradnjom novih i održavanjem postojećih hidroenergetskih i drugih postrojenja čiji strukturni elementi zahtevaju složenu obradu na mašinama velikih gabarita što se ostvaruje korišćenjem petoosnih vertikalnih strugarskih obradnih centara.

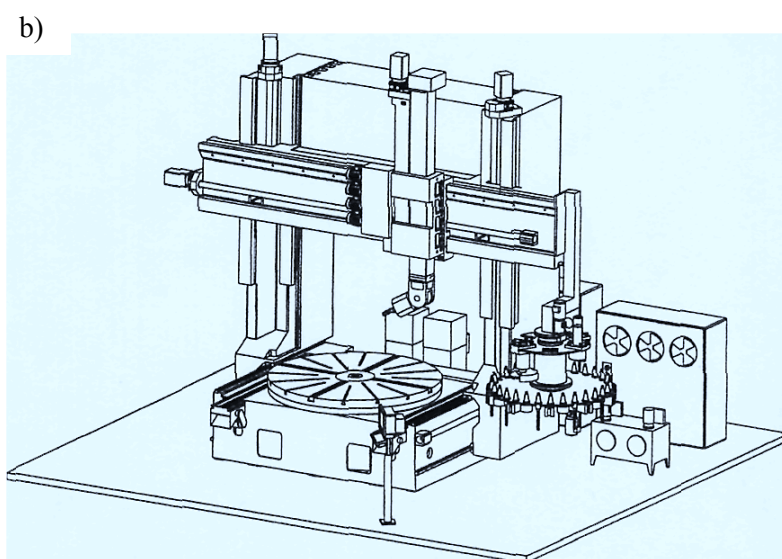
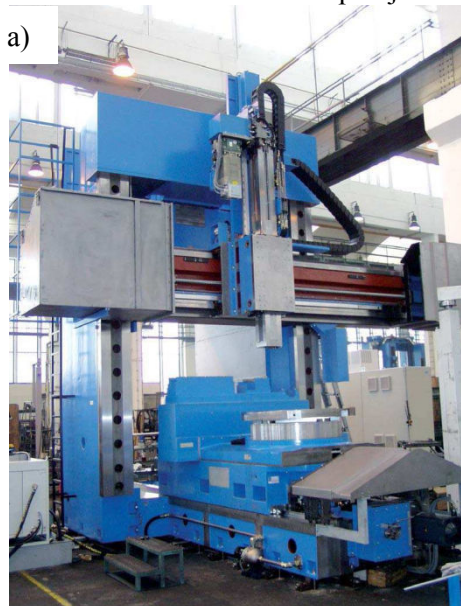
Raspodela funkcija na proizvodnju i projektovanje daje mogućnost naučno-istraživačkim institucijama da razvijaju nove programe i da ih kao takve plasiraju na tržište potencijalnim proizvođačima uz zadržavanje autorskih prava u smislu intelektualne svojine.

Kada je reč o tendencijama razvoja koje imaju svetski proizvođači mašina alatki, one se kreću u pravcu dodavanja Y-ose na vertikalni strug, čime on postaje vertikalna glodalica. Sa C-osom, koja se postavlja na translatorno pomerljiv obrtni sto, i jednoosnom glodačko bušačkom glavom dolazi se do 5-osnog vertikalnog

¹⁾ dr Vladimir Kvrđić, dipl.maš.inž, (vladimir.kvrgic@li.rs), dr Mirko Bućan, dipl.maš.inž, (mirko.bucan@li.rs), dr Dragomir Ilić, dipl.inž.org.rada, (dragomir.ilic@li.rs), Sanja Trgovčević, dipl.maš.inž, (sanja.trgovcevic@li.rs), Zoran Dimić, dipl.inž.el, (zoran.dimic@li.rs), Miroslav Vasić, dipl.maš.inž, (miroslav.vasic@li.rs), Vladimir Čarapić, dipl.maš.inž, (vladimir.carapic@li.rs), Vojkan Cvijanović, dipl.inž.inf, (vojkan.cvijanovic@li.rs), LOLA Institut, Kneza Višeslava 70a, 11030 Beograd, Srbija.

²⁾ U ovom radu je dat pregled istraživanja na projektu TR – 14026: **Istraživanje i razvoj nove generacije vertikalnih 5-osnih strugarskih obradnih centara**, koji je podržan od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije

strugarskog obradnog centra. Ovo rešenje zahteva vrlo robusnu konstrukciju obrtnog stola koji setranslatorno pomera po Y-osi. Primer ovakvog rešenja predstavljaju vertikalni strugovi POWERTURN Y, češke firme TOSHULIN, slika 1a. Drugo rešenje je zasnovano na portalnoj glodalici gde se umesto obrtnog stola sa C-osom kreće translatorsno kreće portal mašine Primer ove koncepcije je familija strugova VERTIMASTER nemačko-rusko-kineske kompanije SEDIN-SCHIESS, slika 1b.



Slika 1. a: POWERTURN Y, Toshulin; b: VERTIMASTER, Sedin-Schiess

Opremanje vertikalnih strugova C-osom i jednoosnom ugaonom glavom vrše mnogi proizvođači ovih mašina. Međutim, opremanje ovih mašina dvoosnim kontinualno upravljanim ugaonim glavama radi 5-osnog glodanja je nešto što, koliko je poznato, niko od proizvođača vertikalnih strugova u svetu nije uradio.

2. SADRŽAJ I CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Sadržaj istraživanja obuhvata konceptualna rešenja vertikalnih jednostubnih i dvostubnih 5-osnih strugarskih obradnih centara za prečnike obrade od 1200 do 4000 mm, konstruktivna rešenja vitalnih sklopova mašina, konceptualna rešenja dvoosnih glodačkih glava sa osama koje se seku i sa osama koje se ne seku, razvoj magacina alata i stanice za odlaganje ugaonih glava, i 3D modeliranje i proračune vitalnih delova obradnih centara.

Deo istraživanja u okviru projekta odnosi se na razvoj upravljačke jedinice vertikalnih 5-osnih strugarskih obradnih centara, jer uvoz ovakvih upravljačkih jedinica ima velika ograničenja. Razvijen je i testiran nov algoritam upravljanja sa ugaonom glavom, kod koje se ose B i C mimoilaze, i koji elimiše uticaje temperaturskih dilatacija postolja mašine na tačnost obrade.

Proverena je usklađenost konceptualnih rešenja familije vertikalnih 5-osnih strugarskih obradnih centara sa zahtevima evropskih direktiva vezanih za bezbednost rada mašina.

Osnovni cilj istraživanja je razvoj nove familije vertikalnih 5-osnih strugarskih obradnih centara koji bi bili izvozni proizvodi domaće industrije mašina alatki namenjeni proizvođačima opreme za energetska postrojenja, avio industriju, vojnu industriju i mnoge druge primene. Prema sadržaju projekta ostali ciljevi su: izrada i usvajanje konceptualnih rešenja za dvoosne glodačke glave viljuškastog tipa sa sopstvenim pogonima sa kontinualnim zakretanjem osa koje se seku i koje se ne seku čija bi se primena mogla proširiti i na ostale mašine alatke kao što su horizontalne bušilice-glodalice, portalne glodalice i sl., razvoj magacina alata i stanice za odlaganje ugaonih glava čija se primena takođe može proširiti na ostale tipove mašina, usvajanje i primena metoda za analizu krutosti, simulaciju kretanja, programiranja, razvoj nove upravljačke jedinice sa mogućnošću za implementaciju različitih algoritama upravljanja mašinama.

3. PREGLED REZULTATA ISTRAŽIVANJA

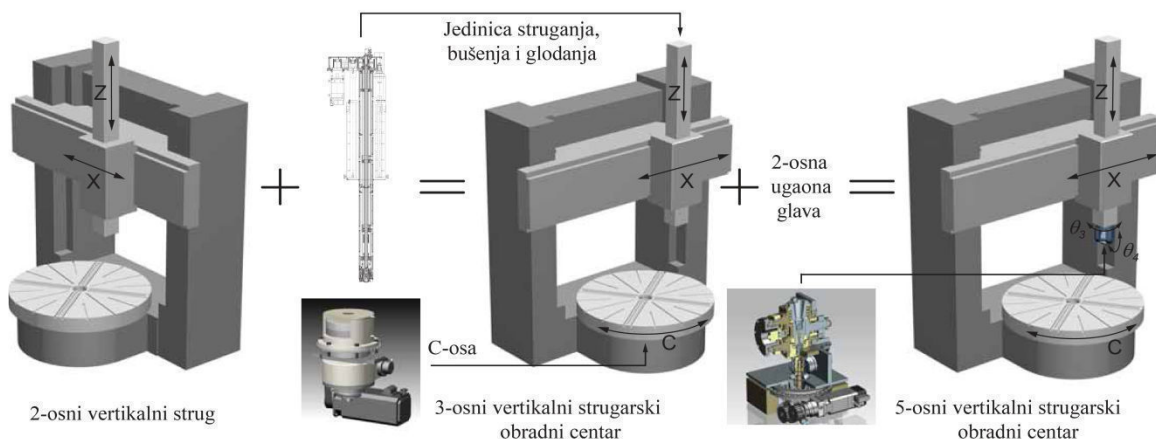
Pregled rezultata ostvarenih kroz aktivnosti na projektu su preuzeti delom iz izveštaja koji je rukovodilac projekta podneo Ministarstvu za nauku i tehnološki razvoj [1].

3.1 Nova konceptualna rešenja familija vertikalnih 5-osnih strugarских obradnih centara

Veoma je čest slučaj da je potrebno na istom radnom komadu izvršiti, pored strugarске obrade, i obradu glodanjem i bušenjem. U mnogim slučajevima je na radnim komadima kod kojih ima puno strugarске obrade potrebno obraditi i ravne površine glodanjem, izbušiti rupe, urezati navoje ili izvršiti neku sličnu obradu. Takvi delovi su na primer kućišta pumpi i ventila ili obrtni stolovi. Ukoliko strug ima i mogućnost bušenja i glodanja, onda je jednostavnije to uraditi na njemu. Za obradu prostornih površina delova kombinacija strugarске i 5-osne obrade glodanjem je u mnogim slučajevima najoptimalnije rešenje sa stanovišta vremena i kvaliteta obrade. Za takvu obradu je veoma povoljno imati vertikalne 5-osne strugarске obradne centre koji pored 2-osne strugarске obrade i rezanja navoja u osi stola mogu da vrše i 5-osna glodanja i bušenja pod različitim uglovima. Ovakve, danas u svetu najmodernije i najtraženije mašine alatke, su opremljene i magazinima iz kojih mogu automatski da se uzimaju različiti tipovi alata i stanicama za odlaganje glodačkih glava.

Klasični vertikalni strugovi služe za strugarску obradu okruglih delova velikih prečnika, najčešće 1.200 mm pa na više. Struganje se vrši tako što se radni deo, koji se nalazi na radnom stolu, obrće pogonjen motorom glavnog kretanja. Rezni alat se pomera u XZ ravni po zadatoj putanji, pogonjen motorima pomoćnog kretanja.

Mašine koje imaju mogućnost bušenja i glodanja, umesto nosača strugarског alata (pinole), imaju jedinice struganja, bušenja i glodanja. Kod bušenja i glodanja obrtanje reznog alata se ostvaruje motorom ove jedinice, koji je, u tom slučaju, motor glavnog kretanja. Raskida se veza motora glavnog kretanja obrtnog stola sa obrtnim stolom, pa se ovaj motor stavlja van funkcije. Uspostavlja se veza obrtnog stola sa motorom pomoćnog kretanja obrtnog stola. Slaganjem kretanja glodala po X osi i zakretanja obrtnog stola (C osa) po odgovarajućem zakonu dobija se kretanje ekvivalentno kretanju po pravougloj X'Y' koordinatnom sistemu, koji se zakreće zajedno sa obrtnim stolom. Na taj način se na strugu, uz kretanje reznog alata po Z osi, realizuje 2,5-D glodanje. Na ovaj način verikalni strug postaje i vertikalna glodalica, slika 2.



Slika 2. Transformacija vertikalnog struga

Nadogradnjom dvoosne glodačke glave na jedinicu struganja, bušenja i glodanja realizuje se funkcija 5-osnog glodanja. Za ovaj projekat je izabrana koncepcija 2-osne glave viljuškastog tipa. Prva osa glodačke glave je kolinearna osi Z mašine. Zakretanje glodačke glave oko ove ose za $\pm 180^\circ$ omogućava zakretanje reznog alata u pokretnoj X'Y' ravni. Druga osa glodačke glave omogućava zakretanje reznog alata u odnosu na vertikalnu osu. 5-osnom obradom se omogućava da osa glodala tokom obrade uvek bude upravna na površinu koja se obrađuje. Time se bitno povećava kvalitet i produktivnost obrađenih površina, pa se eliminiše potreba za njihovim ručnim poliranjem, što je obavezno kod 2,5D obrade.

Kod ostvarivanja funkcija glodanja programiranje putanje alata se vrši kao i kod portalne (vertikalne) glodalice.

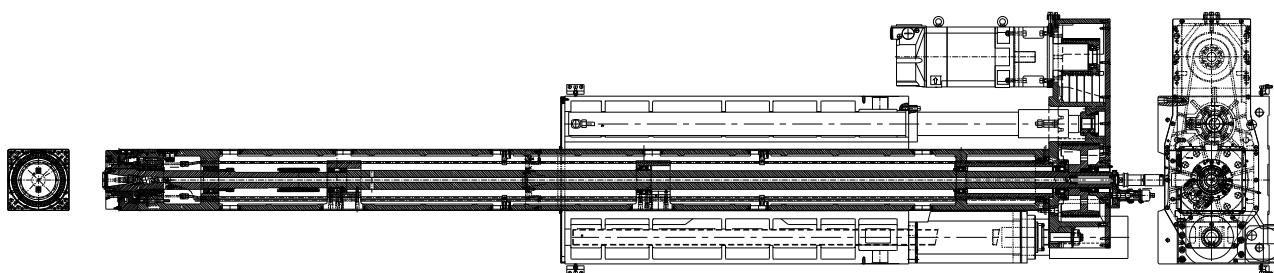
Vertikalni 5-osni strugarски obradni centri prečnika obrade 1.600 mm do 2.400 mm su koncipirani kao jednostubni, dok su ovakvi obradni centri prečnika obrade 2.800 i 4.000 mm koncipirani kao dvostubni.

3.2 Jedinica struganja, glodanja i bušenja

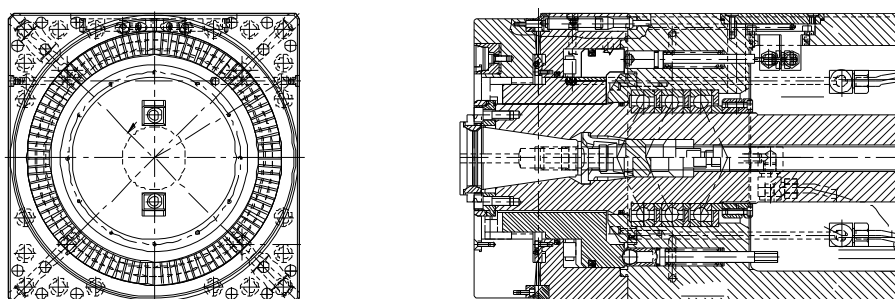
Zahvaljujući jedinici struganja, bušenja i glodanja moguće je pored struganja vršiti i operacije bušenja i rezanja navoja izvan vertikalne ose stola i glodanja. Jedinica ima svoj pogon glavnog kretanja koji se koristi za bušenje i glodanje. Radno vreteno jedinice ima mogućnost orjentisanog zaustavljanja, što omogućava rezanje zavojnica i automatsku izmenu alata. Razvijena je jedinica struganja, bušenja i glodanja ima tri mogućnosti rada:

- Kada se vrši struganje ona prihvata nosač strugarskog alata. Ovaj nosač je tako konstruisan da je blokirano obrtanje alata u ovoj jedinici.
- Kada se vrši 2,5-D glodanje ili bušenje ili rezanje navoja u horizontalnoj ravni, jedinica struganja, glodanja i bušenja prihvata odgovarajuće alate preko ISO konusa. Ovi alati se tada pogone motorom ove jedinice.
- Kod 5-osnog glodanja jedinica struganja, glodanja i bušenja automatski prihvata dvoosnu glodačku glavu koja se nalazi na stanici za odlaganje ovih glava.

Sklop jedinice, struganja i bušenja sa pogonom i prenosnikom dat je na slici 3, a detalj jedinice struganja, glodanja i bušenja sa adaptivnom pločom, "hirt" ozubljenjem i ISO konusom prihvata alata na slici 4.



Slika 3. Sklop jedinice struganja, glodanja i bušenja



Slika 4. Detalj jedinice struganja, glodanja i bušenja

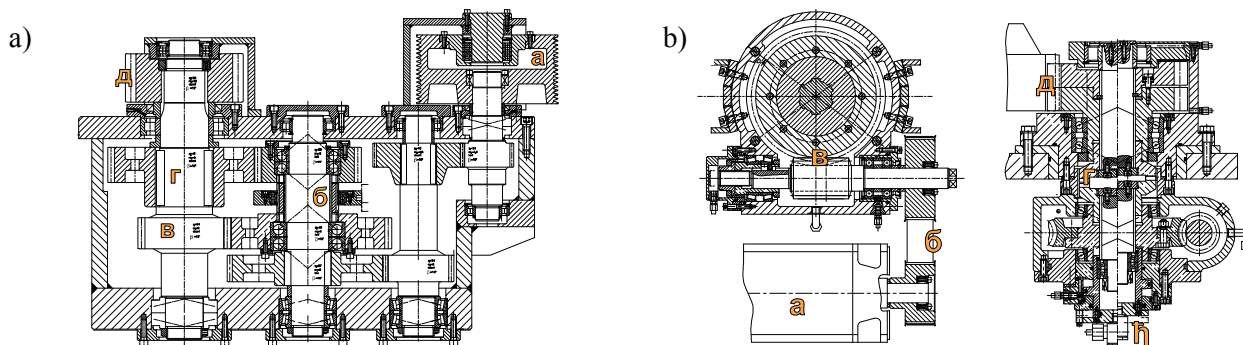
3.2 Obrtni sto sa C-osom

Urađeno je konstruktivno rešenje obrtnog stola sa C-osom koje se sastoji iz motora i prenosnika za glavno kretanje, motora i prenosnika za pomoćno kretanje C-ose i radne ploče. Pogon obrtnog stola vrši se preko prenosnika glavnog kretanja, kada se mašina koristi za obradu struganjem i prenosnika pomoćnog kretanja – pogona C-ose kada se mašina koristi za obradu glodanjem i bušenjem. Prenosnik za glavno kretanje je dvostepen sa mehanizmom kojim se vrši raskidanje/uspostavljanje veze motora glavnog kretanja i obrtnog stola. Prenosnik za pomoćno kretanje je izveden preko sinhronog remenog para i pužnog para sa DUPLEX ozubljenjem.

3.2.1 Prenosnik glavnog kretanja

Prenos obrtnog momenta sa motora glavnog kretanja do prenosnika glavnog kretanja je izveden sa Poly-V remenom (a). Mehanizam u prenosniku se sastoji od zupčaste spojnice (b) i elektro-hidrauličkog sistema kojim se vrši njeno pomeranje po ožljebljenom vratilu. Zupčasta spojnica može da zauzme tri položaja. U prvom položaju (b), ostvaren je niži stepen prenosa čime se dobija veći obrtni moment na radnom stolu (d)

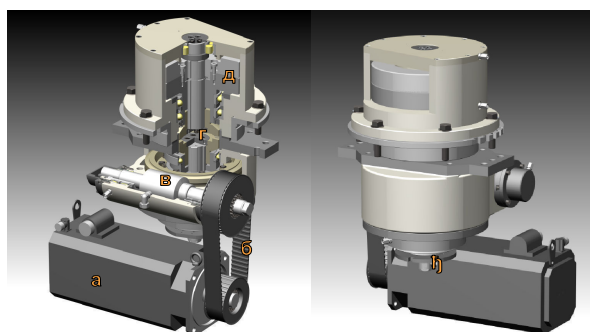
što je pogodno za grube obrade struganjem. U drugom položaju (r), ostvaren je viši stepen prenosa čime se postižu veće brzine rezanja. Treći ili neutralni položaj (б) zupčaste spojnice raskida vezu motora glavnog kretanja i obrtnog stola, pa se ovaj motor stavlja van funkcije, slika 5a.



Slika 5. a: prenosnik glavnog kretanja; b: pogon i prenosnik C-ose

3.2.2 Prenosnik pomoćnog kretanja – pogon C ose

Kod bušenja i glodanja se raskida veza motora glavnog kretanja obrtnog stola sa radnom pločom, pa se ovaj motor stavlja van funkcije. Uspostavlja se veza radne ploče obrtnog stola sa motorom pomoćnog kretanja obrtnog stola (C-osa). Ovaj motor, preko zupčastog prenosnika sa poništenim zazorima ostvaruje vrlo precizno zakretanje obrtnog stola malim brzinama. Prenos obrtnog momenta sa motora pomoćnog kretanja (a) na obrtni sto vrši se preko sinhronog remenog para sa T profilom (б), pužnog para sa DUPLEX ozubljenjem (B) i para zupčanika sa poništavanjem zazora (Д). Aksijalnim pomeranjem puža duž podužne ose zahvaljujući DUPLEX ozubljenju, u kom je zavojnica puža sa promenljivim korakom i profilom ozubljenja, vrši se precizno poništavanje zazora u pužnom paru. Veza prenosnika pomoćnog kretanja i obrtnog stola je takođe bezzazorna. To je postignuto sa dva zupčanika koja se nalaze na istom vratilu od kojih je jedan blago zakrenut u odnosu na drugi. Pri sprezanju sa zupčanicom obrtnog stola, usled naprezanja i elastičnih deformacija, njihovi profili se poklapaju. Uspostavljanje/raskidanje veze pogona C ose i obrtnog stola vrši se preko kandžaste spojnice koja se nalazi na krajevima ožljebljenih vratila i elektrohidrauličkog sistema. Kada se u mehanizmu prenosnika za glavno kretanje zupčasta spojnica nađe u neutralnom položaju tada se preko hidrocilindra u prenosniku za pomoćno kretanje vrši pomeranje ožljebljenog vratila, što dovodi do sprezanja kandžaste spojnice. Na taj način je omogućeno precizno zakretanje radne ploče obrtnog stola, slika 5b.



Slika 6. 3D model prenosnika pomoćnog kretanja: a) motor, б) sinhroni remeni par, в) DUPLEX pužni par, г) spojnica, д) pogonski zupčanik obrtnog stola, ђ) hidro cilindar

3.3 Konceptualna rešenja dvoosnih glodačkih glava

3.3.1 Tehnički opis koceptualnog rešenja 2-osne ugaone glave sa osama B i C koje se seku

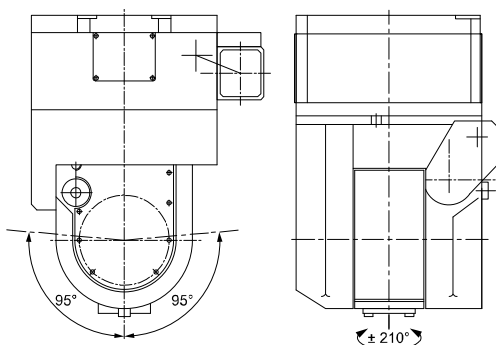
Koncept 2-osne ugaone glave je sa sledećim karakteristikama:

- Ose 1 i 2 se seku,
- Stezanje/otpuštanje nosača alata je automatsko,

- Za pogon glavnog vretena glave se koristi glavno vreteno jedinice struganja, bušenja, glodanja,
- Pogon osa je nezavisan.

- **Gabaritne dimenzije**

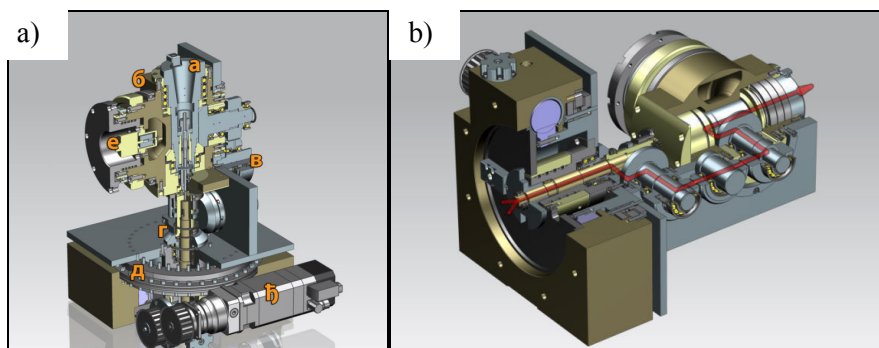
Dimenzije dvoosne ugaone glave su 430x430x690 mm, bez adapter ploče, slika 7. Veličina i dimenzije adapter ploče zavise od vrste mašine na koju se postavlja glava.



Slika 7. Dispozicija 2-osne glave sa osama B i C koje se seku

- **Ose**

Obe ose su pogonjene sopstvenim servo motorima sa planetarnim reduktorima (sa malim zazorima) u prvom stepenu. Drugi stepen je ostvaren pomoću pužnog para sa CAVEX profilom ozubljenja. Pužni venac obezbeđuje bezzazorno zakretanje osa zahvaljujući sistemu za poništavanje zazora sa radialnim primicanjem puža pužnom vencu. Vrednost zazora se podešava inicijalno zakretanjem uležištenja puža u ekscentričnoj čauri na zahtevanu vrednost. Tokom obrade, vrednost zazora je moguće menjati variranjem pritiska u hidrauličnom cilindru koji aktivno deluje na ekscentričnu čauru određujući prednaprezanja intenzitetom sile. Opseg zakretanja ose 1 je $\pm 210^\circ$ dok zakretanje ose 2 iznosi $\pm 95^\circ$. Maksimalne ugaone brzine koje ose mogu da ostvare su 11,54 min⁻¹ i 11,76 min⁻¹ respektivno.



Slika 8. a: 3D model razvijenog koncepta 2-osne glave: a) vreteno, b) kućište sa uležištenjem ose 2, e) prenosnik, z) uključno/isključna spojnica, d) uležištenje ose 1 sa mernim sistemom, h) servo motor-reduktor pogona ose 1, e) merni sistem ose 2; b: Uzdužni presek ugaone glave sa elementima za prenos pogona kroz obe ose na glavno vreteno

3.3.2 Tehnički opis konceptualnog rešenja 2-osne ugaone glave sa osama B i C koje se ne seku

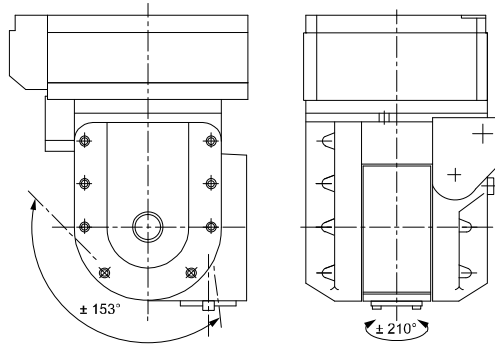
Dvoosna glodačka glava kod koje se ose B i C seku je pogodna za većinu obrada koje se vrše na ovim mašinama. Međutim, u nekim slučajevima je povoljnije koristiti 2-osnu glodačku glavu kod koje je osa B pomerena u odnosu na vertikalnu osu (osu C) glodačke glave. Za slučaj da je na ovaj način osa B postavljena na većem rastojanju od ose C u odnosu na centar stola, dobija se da je u većini položaja ugaone glave kod kojih je ugao B veći od nule rastojanje između reznog alata i ose C manje. To smanjuje obrtni moment koji tokom glodanja deluje na osu C, čime se omogućava povećanje produktivnosti mašine. Zbog toga što je ova glava sa jedne strane manja od glave kod koje se ose seku, njom je moguće prići bliže nekoj površini radnog komada, što joj daje veće mogućnosti obrade.

Koncept 2-osne ugaone glave je sa sledećim karakteristikama:

- Ose 1 i 2 se ne seku,
- Stezanje/otpuštanje nosača alata je automatsko,
- Za pogon glavnog vretena glave se koristi glavno vreteno jedinice struganja, bušenja, glodanja,
- Pogon osa je nezavisan.

- **Gabaritne dimenzije**

Dimenzije dvoosne ugaone glave su 430x430x690 mm, bez adapter ploče, slika 9. Veličina i dimenzije adapter ploče zavise od vrste mašine na koju se postavlja glava.



Slika 9. Dispozicija 2-osne glave sa osama B i C koje se ne seku

- **Prihvat, stezanje i otpuštanje alata**

Prihvat alata je sa SK 50 (DIN 2079) konusom. Stezanje i otpuštanje alata vrši se automatski. Hod potreban za stezanje se ostvaruje pomoću zavojnog vretena koje dobija pogon preko odgovarajuće uključno/isključne spojnice sa glavnog vretena. Pri stezanju se pogon isključuje sa vretena a vreteno blokira (uvek u istom položaju) pomoću hidrauličnog cilindra koji vrši i uključivanje spojnice za stezanje. Stezanjem se ostvaruje zahtevana sila prihvata alata.

- **Odlaganje ugaone glave**

Postavljanje glave na jedinicu struganja, bušenja i glodanja kao i odlaganje na stanicu za prihvat glava se ostvaruje automatski. Način prihvatanja glave određen je vrstom odgovarajuće adapter ploče koja zavisi od mašine. Tokom postavljanja bitno je obezbediti centričnost, deblokadu vretena pogona (kako bi konus za prihvat alata zadržao potrebnu orijentaciju) kao i odgovarajući priključak za napajanje motora, hidrauličnih sistema, sredstva za hlađenje i podmazivanje kao i mernih sistema.

- **Hlađenje kroz nosač alata i prirubnicu**

Da bi se obezbedilo dopremanje SHP kroz vreteno i na prirubnicu kroz dve obrtne ose, upotrebljeni su prstenasti obrtni razvodnici, zahvaljujući kojima je moguće koristiti SHP sa priključka na pinoli bez potrebe za dodatnim povezivanjem.

- **Podmazivanje sklopa**

Podmazivanje elemenata 2-osne glave je kombinovano. Svi elementi za prenos snage se podmazuju uljnom kupkom. Na mestima gde nije bilo potrebe ili nije bilo moguće ostvariti podmazivanje ležajeva uljem isti su trajno podmazani mašću.

- **Merni sistem**

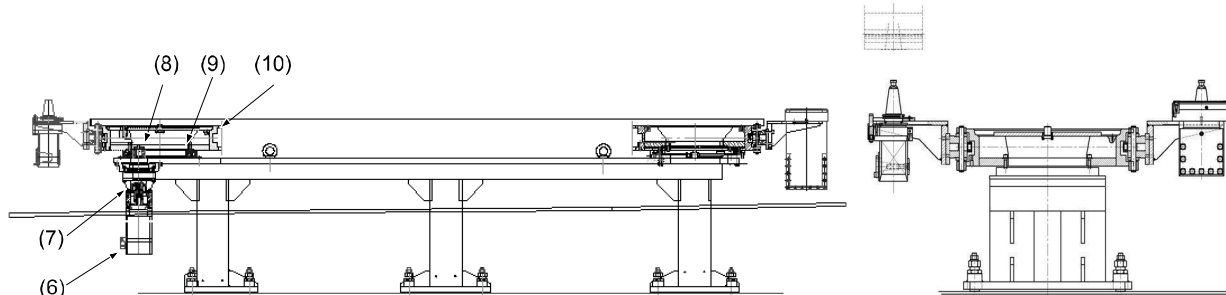
Kao merni sistem položaja ose 1 koristi se obrtni davač integrisan u YRTM (INA) ležaj koji formira uležištenje ose. Osa 2 koristi namenski apsolutni obrtni merni sistem.

3.4 Magacin alata i stanica za odlaganje ugaonih glava

Vertikalni 5-osni strugarski centar radi sa više raznih tipova reznih alata za struganje, bušenje i glodanje. Strugarske alate prihvata jedinica struganja, bušenja, glodanja. Nosači ovih alata imaju prihvat sa "hirt" ozubljenjem. Mogu biti teški nekoliko desetina kilograma i dugački do 900 mm. Nosači glodačkih i bušačkih alata su sa ISO 50 konusom. Njih prihvata i jedinica SBG i 2-osna glodačka glava. Za obradu nekog dela može se koristiti i nekoliko desetina ovakvih alata. Sama glodačka glava je teška preko 400 kg. Zbog svega ovoga su razvijeni magacin za prihvat raznih vrsta nosača alata i stanica za prihvat glodačke glave.

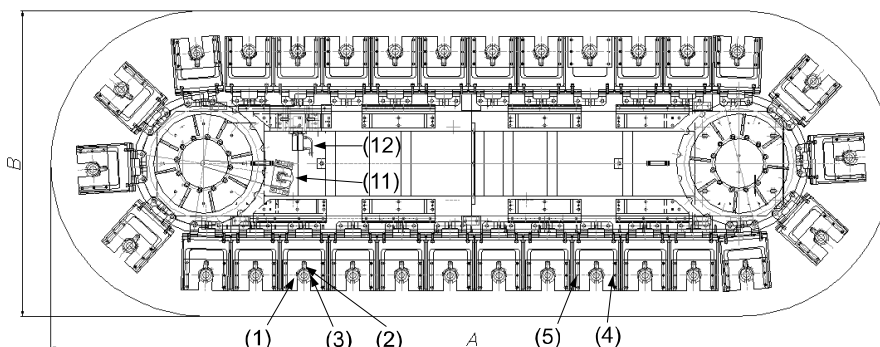
Pored mašine se nalazi magacin alata sa 30 mesta za alate. Na 29 mesta moguće je staviti strugarske alate kao i glodačke i bušačke alate sa ISO konusom. Jedno mesto u magacinu se razlikuje od ostalih (više je za 18mm) i ono služi za odlaganje adaptivne ploče. Rotacioni alati se sopstvenom težinom oslanjaju u ležištima

(1) a za njihovu pravilnu orijentaciju služe pločica (2) i čivija (3). Strugarski alati se oslanjaju sopstvenom težinom a za orijentaciju i držanje pri izmeni služe čivija (4)-(Ø12) i čivija (5)-(Ø10).



Slika 10. Dispozicija magacina alata – pogled sa strane

Pogon magacina alata vrši se motorom (6), preko jednostepenog i ciklo prenosnika (7), zupčanika (8) na zupčanik sa ležajem (9). Tako se pokreće lančanik (10) koji vuče lanac na kom se nalaze alati, a informaciju o položaju magacina daje davač broja obrtaja (11). Prenosni odnos prenosnika (7) je $i_c = 29 \cdot 2,4545 = 71,18$, a prenosni odnos zupčastog para (8) i (9) je $i = 67/15 = 4,466$ pa je ukupni prenosni odnos kod magacina alata $i = 71,18 \cdot 4,466 \cdot 3,75 = 1192,3$. Držanje alata u tačnoj poziciji za izmenu alata (automatsku ili ručnu) vrši se preko hidrocilindra (12) kojim se lanac fiksira pri izmeni alata. Unošenje alata na magacin alata se vrši kroz otvor na kabini mašine. Na tom otvoru postoje automatska vrata koje otvara ili zatvara pneumatski cilindar, a koji u sebi ima senzore za informaciju o tome da li su vrata magacina otvorena ili zatvorena.



Slika 11. Dispozicija magacina alata – pogled odozgo

3.5 Analiza krutosti

U cilju ostvarivanja funkcionalnih karakteristika urađena je analiza krutosti vitalnih delova mašine: postolja, stuba, poprečnog nosača, klizača pinole, pinole ramastog tipa i obrtnog stola. Pri projektovanju vitalnih komponenti razmatreni su svi aspekti, uključujući geometrijsku analizu, opterećenja, izbor materijala, početno geometrijsko definisanje, globalni i detaljni proračun napona, deformacija, sopstvenih oblika oscilovanja, dinamike, strukture na različite pobude, zamor, i drugo.

U projektu je prihvaćen metodološki prilaz, koji obuhvata formiranje i izbor pogodnih elemenata mreže, analizu ugiba i napona, kao i opšti prilaz određivanju dinamičkih karakteristika strukture.

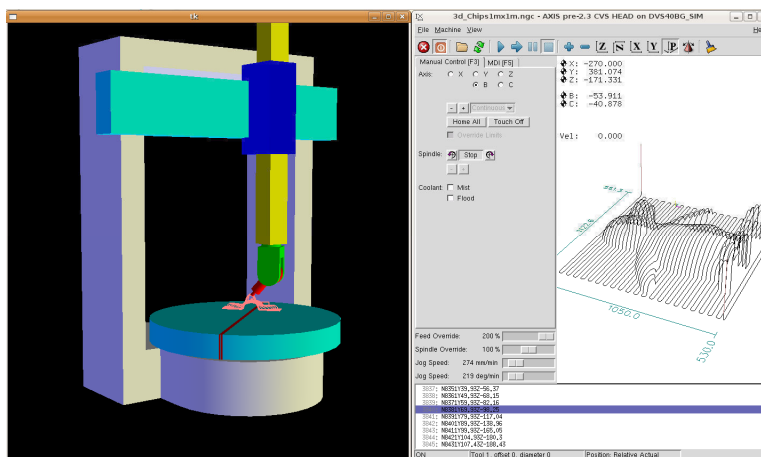
Nakon izvršenog proračuna usled statičkog opterećenja i sugestija od strane istraživača unete su promene geometrije vitalne noseće strukture. Izvedeno je poređenje rezultata proračuna početne i poboljšane varijante geometrije. Geometrija vitalne noseće strukture kod koje su najpovoljniji rezultati statičkog proračuna, je ulazni geometrijski oblik za proračun sa odgovarajućim dinamičkim opterećenjem. Takođe, dat je opis primenjene metodologije proračuna, sa prikazom karakterističnih tačaka i odgovarajućih rezultata.

Proračuni su urađeni metodom konačnih elemenata, korišćenjem softverskog paketa Siemens NX, odnosno NX Nastran. Proračuni su izvedeni sa osnovnim ciljem da se utvrdi deformaciona i naponska slika vitalne noseće strukture u svim varijantama statički zadatih vrednosti sila koje se očekuju tokom eksploatacije.

3.6 Razvoj nove upravljačke jedinice

Softverski orijentisani CNC je idealno rešenje koje u potpunosti zadovoljava zahteve otvorene arhitekture. Napretkom PC hardverske i softverske tehnologije, vremenski kritično jezgro CNC sistema može biti softverski realizovano na PC računaru uz podršku operativnog sistema Linux sa real-time ekstenzijom. Pa se hardverski orijentisano upravljanje transformiše u softverski orijentisani sistem. Softverski orijentisani CNC sistem na bazi EMC2 open-source softverskog paketa, čija je realizacija u toku, u potpunosti će zadovoljiti zahteve danas postavljene pred upravljačke sisteme mašina alatki. Sa druge strane, softverski sistem će biti tako koncipiran, da omogući laku integraciju sa postojećim PC hardverskim i softverskim tehnologijama u cilju ostvarivanja fleksibilnosti i mogućnosti lakog unapređenja, kako softvera, tako i hardvera. Interpolator putanje, servo petlje, PLC kao i drugi real-time kontrolni sistemi mašine alatke, su softverski realizovani i izvršavaju na PC hardverskoj platformi. To u mnogome redukuje cenu upravljačke jedinice i njeno održavanje u periodu eksploatacije, a povećava produktivnost mašine alatke.

Realizacija virtuelne mašine, u okviru ovog projekta, čini ovu upravljačku jedinicu jedinstvenom. Sa stanovišta upravljanja mašinom sa trivijalnom kinematikom, virtuelna mašina kao sredstvo za verifikaciju upravljačkog NC programa nema poseban značaj. Simulacija programa na virtuelnoj mašini dolazi do izražaja kada se NC program odnosi na mašine sa složenom kinematikom, kakvu ima 5-osni strugarski obradni centar. Virtuelna mašina je konfigurisana tako da se upravljački signali CNC-a sa realne mašine usmeravaju ka "aktuatorima" virtuelne mašine. Ovo omogućava vizuelnu simulaciju obrade, lako otkrivanje grešaka u upravljačkom programu i pravovermeno otkrivanje kolizione situacije pri izvršavanju programa u realnom vremenu.



Slika 12. Virtuelni strugarski obradni centar u EMC2 okruženju

3.7 Pronalaženje rešenja direktnih i indirektnih kinematičkih jednačina

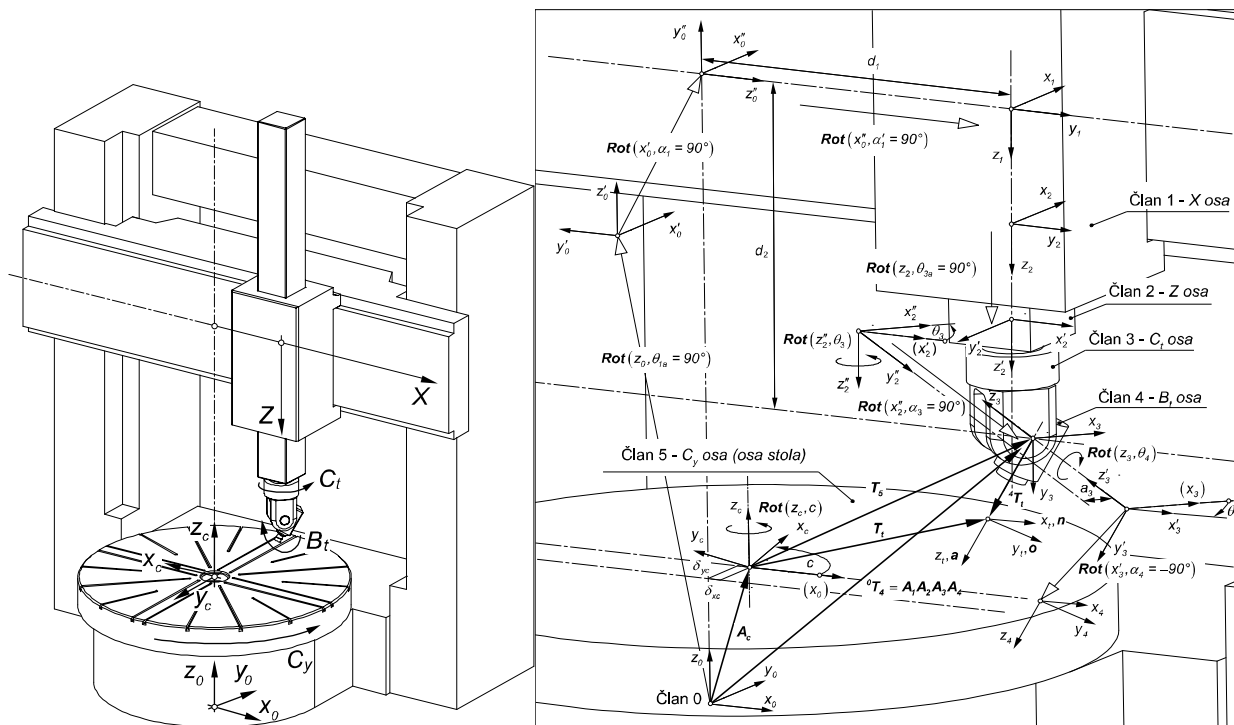
Mimoilaženje osa ugaone glave znatno usložava algoritam upravljanja strugarskog obradnog centra na kome se ona nalazi. Odgovarajući algoritam upravljanja je razvijen i implementiran u upravljački softver mašine.

Kada se struganje radnog komada vrši velikim brojem obrtaja dolazi do značajnog zagrevanja uležištenja radnog stola. Temperatura uležištenja se prenosi na postolje mašine, što izaziva njene temperaturske dilatacije. Iako se ove dilatacije postolja značajno smanjuju intenzivnim hlađenjem uležištenja stola, one postoje. Ovo prouzrokuje pomeranje ose obrtanja stola od po nekoliko desetih delova milimetra. I pored toga što je temperaturska dilatacija po X osi obično minimalna, jer se postolje izvodi tako da bude termosimetrično u odnosu na zamišljenu Y osu, ona se prilikom upravljanja mašinom mora uzeti u obzir. Pomeranje radnog komada u X pravcu prouzrokuje netačnost obrade struganja, što se mora uzeti u obzir. Pomeranje po Y osi praktično nema uticaj na tačnost struganja, jer se vrši po tangenti u odnosu na prečnik obrade, koji se tada minimalno menja. Za razliku od struganja, pomeranje radnog stola i po X i po Y osi ima uticaj na tačnost glodanja i bušenja. Da bi se eliminisali uticaji temperaturskih dilatacija postolja mašina na tačnost obrade potrebno je u realnom vremenu vršiti njihova merenja i korigovati algoritme upravljanja.

Razvijen je i testiran nov algoritam upravljanja vertikalnim 5-osnim strugarskim obradnim centrom kod koga se ose B i C ugaone glave mimoilaze i koji eliminiše uticaje temperaturskih dilatacija postolja mašine na tačnost obrade.

Upravljačka jedinica mašine je proširena tako da može da upravlja magacinom alata i da obezbedi automatsku promenu alata i ugaone glave.

Koordinatni sistemi članova vertikalnog petosnog strugarskog obradnog centra dati su na slici 13.



Slika 13. Koordinatni sistemi članova vertikalnog 5-osnog strugarskog obradnog centra

Rešenje direktnog kinematičkog problema daje položaj alata u odnosu na koordinate osnove mašine za poznate vrednosti položaja članova mašine. Ono je dato sledećom jednačinom:

$$\mathbf{T}_5 = \begin{bmatrix} n_{x5} & o_{x5} & a_{x5} & X_5 \\ n_{y5} & o_{y5} & a_{y5} & Y_5 \\ n_{z5} & o_{z5} & a_{z5} & Z_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_c c_{34} + s_c s_3 c_4 & c_c s_3 - s_c c_3 & -c_c c_3 s_4 - s_c s_{34} & X_5 \\ -s_c c_{34} + c_c s_3 c_4 & -s_c s_3 - c_c c_3 & s_c c_3 s_4 - c_c s_{34} & Y_5 \\ -s_4 & 0 & -c_4 & Z_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

gde je: $X_5 = c_c(d_1 + c_3 a_3 - \delta_{xc}) + s_c(s_3 a_3 - \delta_{ye})$, $Y_5 = -s_c(d_1 + c_3 a_3 - \delta_{xc}) + c_c(s_3 a_3 - \delta_{ye})$, $Z_5 = d_{1c} - d_2$.

Rešenje inverznog matematičkog problema koje daje položaje članova mašine za poznati položaj alata dato je jednačinama:

$$\begin{aligned} c_{90} &= a \tan 2(-p_x p_y - \delta_{ye} \sqrt{p_x^2 + p_y^2 - \delta_{ye}^2}, p_x^2 - \delta_{ye}^2) \\ X &= d_1 = c_c X_5 - s_c Y_5 - c_3 a_3 + \delta_{xc} \\ Z &= d_2 = d_{1c} - Z_5 \\ \theta_3 &= a \tan 2[(c_c \cdot o_{x5} - s_c \cdot o_{y5}), (s_c \cdot o_{x5} + c_c \cdot o_{y5})] \\ \theta_4 &= a \tan 2(-n_{z5}, -a_{z5}) \end{aligned} \quad (2)$$

Jednačine (1) i (2) su potrebne za realizovanje upravljanja vertikalnim 5-osnim strugarskim obradnim centrom.

3.8 Provera usklađenost projekta sa zahtevima evropskih direktiva, EN i ISO standarda

U okviru istraživanja bezbednosnih zahteva kod mašinskih obradnih centara čija su konceptualna rešenja u fazama projektovanja, proizvodnje i korišćenja usklađena sa bezbednosnim zahtevima EN i ISO standarda izvršena je prethodna analiza najvećeg broja problema iz oblasti ukupne bezbednosti i zdravlja na radu i drugih oblasti i disciplina koje tangiraju ove probleme.

U tom smislu prilikom istraživanja i utvrđivanja bezbednosnih zahteva kod predmetnih mašina nametnula su se brojna interdisciplinarna pitanja i problemi koje je trebalo rešavati. Okvirno, pitanja i problemi koje smo utvrdili sveli su se, uglavnom, u pet grupa i to:

I. Bezbednosni zahtevi koji su vezani za projektovanje i konstrukciju mašina i njihovih delova i sklopova (Direktiva 89/392 EEC, Standardi: EN 292-1, EN 292-2; ISO 12100-2:2003, EN 1050 i drugo).

II. Bezbednosni zahtevi koji su vezani za montažu, postavljanje i podešavanje mašina; (Standardi: EN 292-1, EN 292-2, EN 1050, EN 294, EN 349, EN 418, EN 50020, EN 60 204, ISO 447-1984 i drugo).

III. Bezbednosni zahtevi koji su vezani za korišćenje mašine u svim režimima rada; (Standardi: EN 1050, EN 294, EN 418, ISO 12100-2:2003, EN 60204-1, EN 292-1, EN 292-2 i drugo).

IV. Bezbednosni zahtevi koji su vezani za rukovoaoce-operatere mašina i lica koja ih održavaju i čiste; (Standardi: ISO-OHSAS 18001:2005; EN 1050, EN 614-1, EN 547-3, EN 294, EH 132, EN 60204-1, EN 292-1, EN 292-2 i dr).

V. Bezbednosni zahtevi vezani za uslove radne okoline (Direktive: 89/654/EEC, 80/1107/EEC, 89/392/EEC, Standardi: ISO 14001:2004 i EN ISO 14001:2004 i drugo.)

Sva ta pitanja i problemi su tretirana kompleksno i povezano. To je podrazumevalo sistemski pristup i nalaženje rešenja u celini i integritetu.

U tom smislu u ovoj oblasti stvorili smo osnove za realizaciju sistemskog projektovanja i proizvodnje predmetnih mašina. Time su se stekli preduslovi za: stvaranje bezbedne mašine, sigurniju, zdraviju i produktivniju, proizvodnju, sigurniji brži, zadovoljniji i motivisaniji rad rukovaoca, bolju usklađenost dokumentacije sa propisanim zahtevima i drugo.

Treba istaći i to da je za funkcionisanje koncepcije rada koju smo utvrdili neophodno postojanje odgovarajućeg integralnog informacionog sistema planiranja i upravljanja projektovanjem, proizvodnjom, održavanjem, sistemom menadžmenta kvaliteta i drugim poslovnim funkcijama. Takva koncepcija obuhvata i pronalaženje određenog profila kadrova i formiranje radnog tima za postavljanje, sprovođenje i korišćenje ovakvog koncepta i sistema.

U sklopu ovih aktivnosti predviđene su i odgovarajuće edukacije, stručna obrazovanja i usavršavanja svih ljudi koji su uključeni u navedene projekte.

4. ZAKLJUČAK

Realizacijom ovog projekta razvijen je vertikalni obradni centar koji može da vrši 5-osno glodanje sa virtualnom Y-osom. Dodavanjem izmenjive dvoosne glave koja je takođe razvijena u ovom radu ostvareno je 5-osno glodanje i bušenje, bez postojanja Y-ose po kojoj se kreće radni sto sa radnim komadom. Tako je vertikalni strug postao i portalna glodalica sa X, Cy, Z, B i C osama. Dobijena mašina je znatno lakša i jeftinija od kombinacije portalne glodalice i vertikalnog struga sa ugaonom glavom.

To je omogućeno bez postavljanja obrtnog stola na klizač Y-ose koji bi imao hod veći od maksimalnog prečnika obrade struga, odnosno bez pretvaranja vertikalnog struga u portalnu glodalicu sa X, Y, Z, B i C osama. Dobijena je znatno lakša, manja i jeftinija mašina, a obrada na njoj je znatno ekonomičnija sa stanovišta potrošnje energije, pošto se ovde radni sto sa radnim predmetom ne kreće translatorno po Y osi. Temelji ovakve mašine je manji i jeftiniji, a prostor koji ona zauzima u hali je dva puta manji.

Razvoj upravljačke jedinice na za ovu mašinu je omogućio:

- višestruko nižu cenu hardvera u odnosu na dosadašnje sisteme upravljanja,
- vrhunsku performansu upravljačke jedinice,
- transparentan pristup funkcijama za indirektnu i direktnu kinematiku,
- primenljivost i na druge sisteme, kao što su roboti i mašine sa paralelnom kinematikom,
- prilagodljivost korisničkog interfejsa.

5. LITERATURA

- [1] Godišnji izveštaj projekta TR-14026, materijal u formi elaborata za 2009. i 2010. godinu.
- [2] R.S. Lee, C.H. She (1997) Developing a postprocessor for three types of five-axis machine tools. Int J Adv Manuf Technol 13(9): 658–665.
- [3] K. Sørby, Inverse kinematics of five-axis machines near singular configurations. International Journal of Machine Tools & Manufacture 47 (2007) 299–306.

- [4] E.L.J. Bohez, Five-axis milling machine tool kinematic chain design and analysis, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 42 (2002) 505–520.
- [5] A. Lamikiz, L.N. López de Lacalle, O. Ocerin, D. Díez & E. Maidagan (2007) The Denavit and Hartenberg approach applied to evaluate the consequences in the tool tip position of geometrical errors in five-axis milling centres. *Int J Adv Manuf Technol* DOI 10.1007/s00170-007-0956-5.
- [6] L. Nawara, J. Kowalski, J. Sladek (1989) The influence of kinematic errors on the profile shapes by means of CMM. *CIRP Annals* 38(1):511–516.
- [7] M.A. Elbestawit, A.K. Srivasta, S.C. Veldhuis (1995) Modelling geometric and thermal errors in a five-axis CNC machine tool. *Int J Mach Tools Manuf* 35(9):1321–1337.
- [8] J.A. Soons, F.C. Theuws, P.H. Schillekens (1992) Modeling the errors of multi-axis machines: a general methodology. *Precis Eng* 14 (1):5–19.
- [9] S.H. Suh, J.J. Lee, S.K. Kim (1998) Multi-axis machining with additional-axis NC system: theory and development. *Int J Adv Manuf Technol* 14(12):865–875.
- [10] P.M. Ferreira, C.R. Liu (1989) An analytical quadratic model for the geometric errors of a machine tool. *J Manuf Syst* 5(1):51–63.
- [11] J.H. Cho, M.W. Cho, K. Kim (1994) Volumetric error analysis of a multi-axis machine tool machining a sculptured surface workpiece. *Int J Prod Res* 32(2):345–363.
- [12] W.T. Lei, Y.Y. Hsu (2002) Accuracy test of five-axis CNC machine tool with 3D probe-ball. Part II: errors estimation. *Int J Mach Tools Manuf* 42(10):1163–1170.
- [13] P.D. Lin, Ehmann KF (1993) Direct volumetric error evaluation for multi-axis machines. *Int J Mach Tools Manuf* 33(5):675–693.
- [14] Y. Lin, Y. Shen (2003) Modelling of five-axis machine tool metrology models using the matrix summation approach. *Int J Adv Manuf Technol* 21(4):243–248.
- [15] K. Fan, J. Lin, S. Lu (1996) Measurement and compensation of thermal error on a machining center. In *Proceedings of the 4th International Conference on Automation Technology*, Hsinchu, Taiwan, July 1996, pp 261–268.
- [16] M. Tsutsumi, A. Saito (2004) Identification of angular and positional deviations inherent to 5-axis machining centers with a tilting-rotary table by simultaneous four-axis control movements. *Int J Mach Tools Manuf* 44(12–13):1333–1342.
- [17] E.L.J. Bohez, B. Ariyajuny, C. Sinlapecheewa, T. M. M. Shein, D. T. Lap, G. Belforte, Systematic geometric rigid body error identification of 5-axis milling machines. *Computer-Aided Design* 39 (2007) 229–244.
- [18] A.K. Srivastava, S.C. Veldhuis, M.A. Ebestawit, Modelling geometric and thermal errors in a five-axis CNC machine tool. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 1995;35(9):1321–37.
- [19] L.N. López de Lacalle, A. Lamikiz, J.A. Sánchez, M.A. Salgado, Toolpath selection based on the minimum deflection cutting forces in the programming of complex surfaces milling. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 47 (2007) 388–400.
- [20] M. Pavlović, V. Kvrđić, D. Velašević, L-IRL: High Level Programming Language for Robots. In *Proceedings of the European Robotics and Intelligent Systems Conference*, Malaga, Spain, 1994.
- [21] R.S. Lee, Y.H. Lin, Development of universal environment for constructing 5-axis virtual machine tool based on modified D–H notation and OpenGL. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 26 (2010) 253–262.
- [22] R.P. Paul, *Robot manipulators: Mathematics, Programing and Control*, The MIT Press, Cambridge MA, 1984.
- [23] A. Affouard, E. Duc, C. Lartigue, J.M. Langeron, P. Bourdet, Avoiding 5-axis singularities using tool path deformation. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 44 (2004) 415–425.

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF THE NEW GENERATION FIVE AXIS VERTICAL TURNING CENTRES - RECAPITULATION OF RESULTS ON PROJECT TR-14026

Abstract:

This paper gives an overview of research that aims to develop a new family of vertical 5-axis turning centres that would be export products of domestic industry of machine tools designed for power plants equipment manufacturers, aerospace industry, military industry and many other applications.

The research mainly deals with conceptual solutions of vertical five axis single and double column 5-axial turning centres for machining up to diameters ranging from 1200 to 4000 mm, constructive solutions for vital parts of machines, the conceptual solution for two axis milling head, and 3D modelling and calculations.

Part of this project relates to the control unit development for vertical 5-axis turning centres, because import of such control units has major limitations. Developed and tested new algorithm with angular head, in which the axis B and C is passing, and which eliminates the influence of the temperature dilatation of the machine base to the accuracy of processing.

Conceptual solutions for family of vertical 5-axis turning centres are regulated with the European directives relating to safe operation of machinery.

Key words: *five axis turning centres, modelling, programming, control algorithm*



AUTOMATIZOVANO PROGRAMIRANJE NU MAŠINA ZA NEKONVENCIJALNE POSTUPKE OBRADNE

Rezime: Imajući u vidu da se u poslednje vreme broj mašina alatki za obradu nekonvencionalnim postupcima obrade znatno povećao, povećao se i broj razvijenih programskih sistema za njihovo programiranje.

Polazeći od prethodnog, u radu su opisani struktura i principi programiranja numerički upravljanih mašina alatki za obradu lima nekonvencionalnim postupcima obrade, na primeru dva programska sistema. Pri tome su principi programiranja mašina za obradu pločastih materijala laserom prikazani kroz programski sistem *cadman*, a za programiranje mašina za obradu vodenim mlazom kroz programski sistem *gems r4*. Oba programska sistema omogućavaju i definisanje upravljačkih programa za druge nekonvencionalne postupke obrade lima i pločastih obradaka kao što su postupci obrade: plazma rezanje, elektro eroziona obrada žicom itd. U radu je prikazan i opšti model savremenih CAD/CAM sistema sa prikazom specifičnosti koje se odnose na nekonvencionalne postupke obrade.

Ključne reči: *cadman*, *gems r4*, automatizovano programiranje, nekonvencionalni postupci obrade

1. UVOD

Razvoj numerički upravljanih mašina alatki za nekonvencionalne postupke obrade, poslednjih godina, je uslovio i razvoj odgovarajućih programskih sistema za njihovo programiranje. Primenom ovakvih programskih sistema se rukovaoc mašine oslobađa ručnog – direktnog programiranja koje, usled uslova rada, može biti izvor određenih grešaka u procesu obrade na mašini.

Imajući u vidu da se definisanje geometrijskih i tehnološki parametra obrade pri programiranju mašina alatki za obradu nekonvencionalnim postupcima, razlikuju od konvencionalnih [1], ovakvi programski sistemi se donekle razlikuju od CAD/CAM programskih sistema za programiranje mašina alatki za obradu rezanjem.

U radu su prikazana dva programska sistema koji se koriste za programiranje mašine alatke za obradu laserom Impuls 6020 4000W i za programiranje mašine za obradu vodenim mlazom NC 3525 B. Za programiranje mašine za obradu laserom Impuls 6020 4000W prikazana je primena programskog sistema *cadman* koji se može koristiti i za programiranje drugih mašina za nekonvencionalne postupke obrade kao što su mašine za obradu vodenim mlazom, mašine za obradu plazmom, mašine za elektro eroziju obradu itd. Za programiranje mašine za obradu vodenim mlazom NC 3525 B koristi se *gems r4* programski sistem koji se takođe može koristiti za programiranje različitih vrsta mašina za nekonvencionalne postupke obrade.

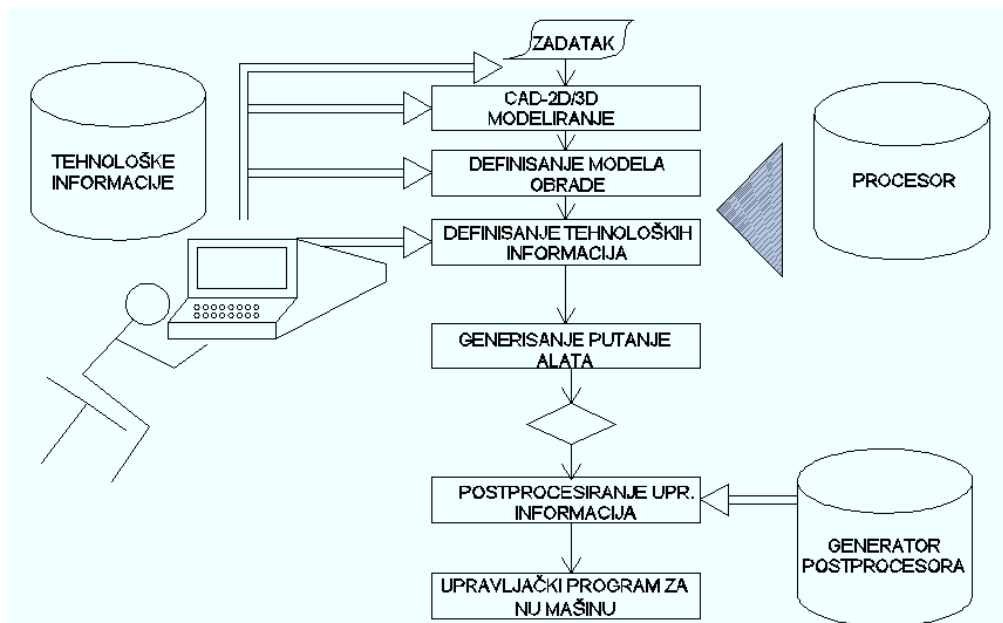
2. AUTOMATIZOVANO PROGRAMIRANJE NU MAŠINA ZA NEKONVENCIJALNE POSTUPKE OBRADNE

Model savremenih CAD/CAM sistema je prikazan na slici 1. Ulaz u sistem predstavlja crtež obradka na osnovu koga se definiše računarski model, a zatim i geometrijski model obrade. To u konkretnim slučajevima, predstavlja, izbor dimenzija table lima, njeno pozicioniranje na radni sto mašine i raspoređivanje obradaka na tabli.

¹ Vladimir Blanuša, dipl. ing.-master, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, blanusa@uns.ac.rs

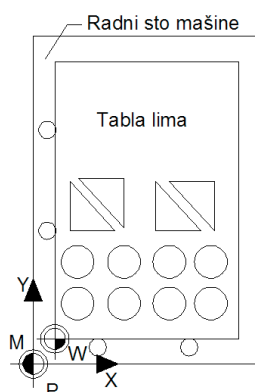
² Prof.dr. Milan Zeljković, dipl. ing., Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, milanz@uns.ac.rs

³ Doc. dr Slobodan Tabaković, dipl. ing., Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, tabak@uns.ac.rs



Slika 1. Model savremenih CAD/CAM sistema [7]

Primer definisanja modela obrade kod obradaka od lima je prikazan na slici 2. Na slici je prikazan slučaj kod kog se poklapaju referentna (nulta) tačka mašine M i početna tačka koordinatnog sistema definisanog od strane korisnika od koje se izvršava upravljački program P. Neophodno je još definisati referentnu tačku radnog predmeta (pripremk) W. *Plan stezanja* predstavlja pozicioniranje pripremk (table lima) na radni sto mašine. Raspoređivanje obradaka po tabli lima i redosled obrade predstavlja *plan obrade*. *Plan alata*, slično kao i kod tehnologija obrade rezanjem, predstavlja definisanje (izbor) alata za svaki zahvat obrade.

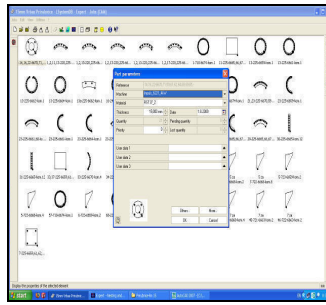


Slika 2. Postavljanje i pozicioniranje table lima na radni sto mašine

Definisanje tehnoloških parametara, tačnije izbor mašine za obradu, izbor vrste materijala, debljine materijala, brzine rezanja itd., u interaktivnom načinu radu između projektanta i sistema vrši se nakon definisanja modela obrade. Sledeći korak u procesu programiranja NU mašina za obradu nekonvencionalnim postupcima predstavlja generisanje putanje alata (u automatskom režimu rada) i na kraju postprocesiranje ili prevođenje geometrijsko-tehnoloških podataka i parametara u upravljački program.

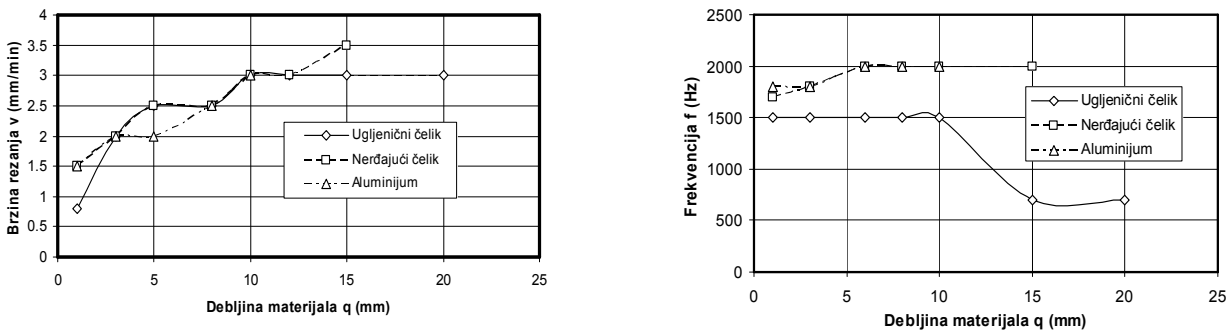
2.1. Programski sistem – *cadman*

Programski sistem *cadman* omogućava automatizovano definisanje upravljačkih informacija uz dijalog sa korisnikom – programerom korišćenjem grafičkog interfejsa za komunikaciju. Segment grafičkog interfejsa za komunikaciju koji se odnosi na izbor tipa mašine, vrste i debljine materijala, datum, broj obradaka na pripremk i prioritet izrade prikazan je na slici 3. Specifičnost ovog programskog sistema predstavlja mogućnost uspostavljanja prioriteta izrade delova putem postavljanja odgovarajućih oznaka.



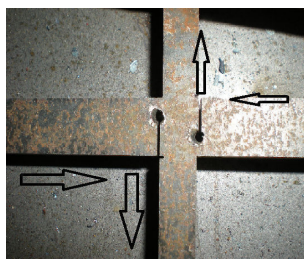
Slika 3. Segment grafičkog interfejsa za izbor mašine, vrste i debljine materijala

Nakon zadavanja prethodnih parametara definišu se i ostali tehnološki parametri za obradu laserom. Izbor tehnoloških parametara se može izvesti ručno ili automatski. Ručni izbor tehnoloških parametara koristi se kada korisnik sistema želi da izmeni parametre koje je programski sistem definisao. Potrebno je definisati sledeće parametre: brzinu rezanja, vrstu i pritisak gasa (za rezanje ugljeničnog čelika koristi se kiseonik, a za rezanje aluminijuma i nerđajućeg čelika koristi se azot), rastojanje mlaznice od materijala, rastojanje tačke fokusiranja od površine i frekvenciju. Na slici 4 su prikazane zavisnosti brzine rezanja i frekvencije od debljine materijala za obradu ugljeničnog i nerđajućeg čelika i aluminijuma, srednjim kvalitetom obrade. Definisane tehnoloških parametara u upravljačkom programu vrši se pomoću sistemskih promenljivih.

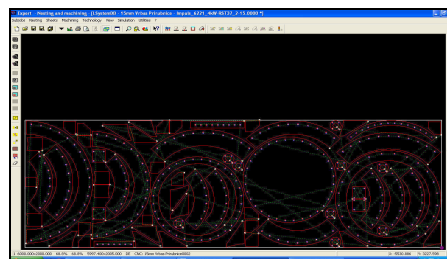


Slika 4. Dijagram zavisnosti brzine rezanja i frekvencije od debljine materijala

Rastojanje početne tačke rezanja od radnog predmeta (reference) prikazano je na slici 5a, a raspored obradaka na tabli lima (pripremu), što predstavlja *plan obrade*, je dat na slici 5b. Raspored obradaka na tabli lima se može vršiti automatski ili ručno. Najčešće se vrši automatski koristeći odgovarajuće optimizacione procedure ugrađene u programski sistem koji u većini slučajeva rezultuje većom iskorišćenošću materijala. Samo u izuzetnim slučajevima korisnik sam raspoređuje obradke na tabli lima i to, najčešće, kad se obrađuje manji broj obradaka.



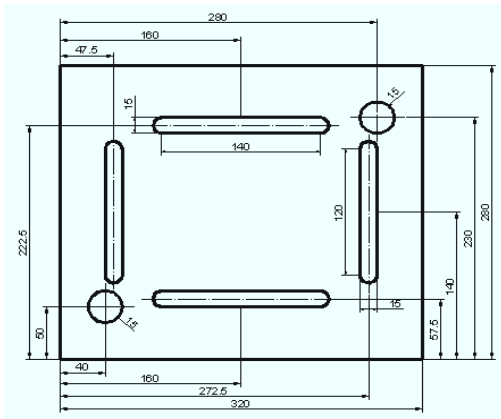
a)



b)

Slika 5. Rastojanje početne tačke rezanja od radnog predmeta. a) i raspored obradaka na tabli lima b)

Nakon definisanja svih geometrijsko – tehnoloških parametara i automatskog generisanja putanje alata, primenom postprocesora dobija se upravljački program za navedenu mašinu. Deo upravljačkog programa, za konkretan obradak, je prikazan na slici 6, a na slici 7 je prikazana mašina za obradu laserom Impuls 6020 4000W.



04000 Sistemska promenljiva
 #512=1 (MACH-MM)
 #128=0 (ENGRAVING)
 M98 P8010 Dodatne funkcije
 G920 X0 Y0 Funkcije postupka
 G520 X10 Y10
 N10 G65 P7550 X280 Y230 R15
 N20 G65 P7550 X40 Y50 R15
 N30 G65 P7552 X160 Y57,5 A140 B15
 N40 G65 P7552 X160 Y222,5 A140 B15
 N50 G65 P7553 X47,5 Y140 A 15 B120
 . . .
 M30

Slika 6. Izgled obradka sa segmentom upravljačkog programa

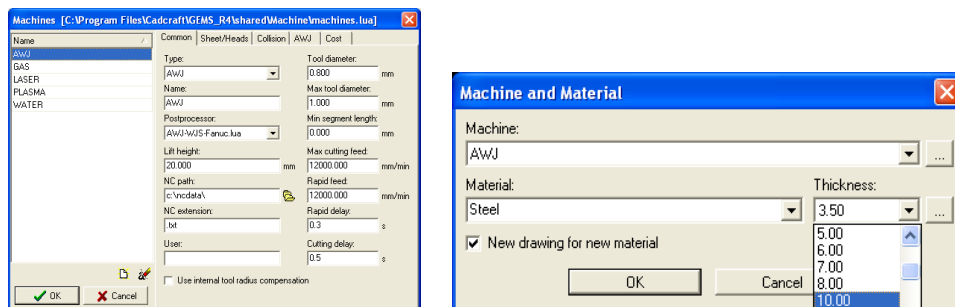


Slika 7. Mašina za obradu laserom Impuls 6020 4000W [3]

2.2. Programski sistem gems r4

I primenom programskog sistema **gems r4**, kao ulaz u sistem za automatizovano programiranje, je potrebno nacrtati obradak u AutoCAD-u ili iz drugog sistema izvesti u odgovarajući format. Nakon učitavanja crteža programski sistem vrši automatsko definisanje upravljačkih informacija kroz dijalog sa korisnikom primenom grafičkog interfejsa, slično kao i kod programskog sistema **cadman**.

U nastavku se ilustruje definisanje geometrijskih i tehnoloških parametara obrade kroz odgovarajuće segmente korisničkog interfejsa. Bez obzira na način kako je definisan crtež obradka, dimenzije obradka treba prekontrolisati i postaviti u razmeru 1:1. Prvi segment grafičkog interfejsa se odnosi na izbor mašine, postprocesora itd. Izgled segmenta grafičkog interfejsa za komunikaciju u slučaju izbora mašine, definisanja materijala i debljine obradka je prikazan na slici 8.

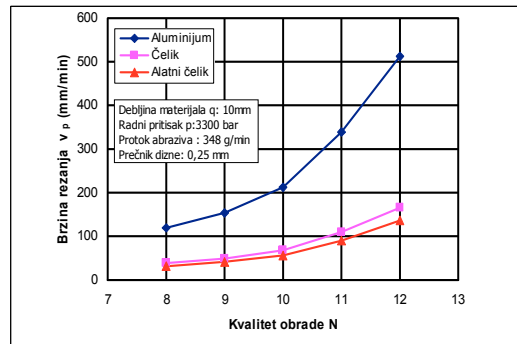
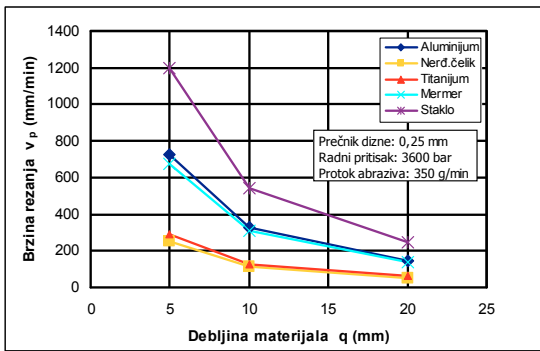


a) izbor mašine i postprocesora

b) izbor materijala obradka

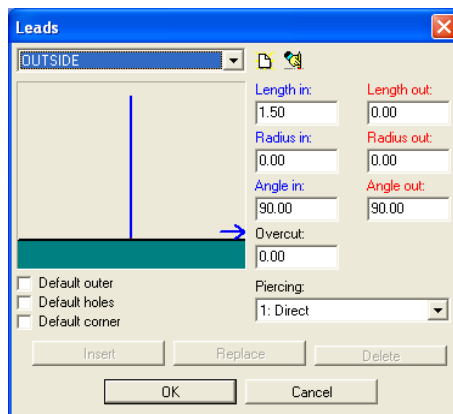
Slika 8. Segment grafičkog interfejsa za komunikaciju primenom **gems r4**

Nakon prethodnog potrebno je definisati i sledeće parametre obrade: kvalitet i maseni protok abraziva, radni pritisak i prečnik mlaznice. Na slici 9 su prikazane zavisnosti brzina rezanja - debljina materijala i brzina rezanja - kvaliteta obradene površine za navedeni postupak obrade vodenim mlazom. I ovde se definisanje tehnoloških parametara u upravljačkom programu vrši sistemskim promenljivim.



Slika 9. Zavisnosti određenih tehnoloških parametara

Pre početka obrade potrebno je odrediti način ulaska i izlaska alata u prostor obrade i definisati visinu mlaznice od obradka, a posle toga izvršiti izbor početka rezanja i ugla bušenja što je ilustrirano na slici 10. Početak obrade se odnosi na definisanja početne tačke rezanja za svaki obradak.



Slika 10. Segment grafičkog interfejsa za izbor početka rezanja i ugla bušenja

Kao i kod programskog sistema *cadman* nakon definisanja svih geometrijsko – tehnoloških parametara, i generisanja putanje alata, primenom postprocessora dobija se upravljački program za konkretnu mašinu.

Poslednju fazu u procesu programiranja predstavlja komunikacija između računara i upravljačke jedinice mašine. To predstavlja distribuciju upravljačkog programa koji operater koristi za obradu. Deo upravljačkog programa i izgled mašine je prikazan na slici 11.

```

%
O6126(NAME:OSNOVA 1 02)
N10 (MTR:Steel)
N12 (thk:10000)
N14 (HPR:3500 BAR)
N16 (ABR:GMA Garnet 80)
N18 (ABG:350 G/MIN)
N20 (ORF:0.25)
N22 (TUB:0.76)  _  Sistemska promenljiva
N24 #501=0.5(DELAY NOZZLE ON)
N58 M3 M7 (TYPE1)  Dodatne funkcije
N60 G4 X#501  _  Funkcije postupka
N62 G1 F48 G41 X40.833 Y86.541
N64 G3 X43.973 Y87.486 I-0.833 J8.459

```



Slika 11. Segment upravljačkog programa i izgled mašine za obradu vodenim mlazom [4]

3. ZAKLJUČCI

Automatizovano programiranje ima značajnu ulogu u širenju primene mašina za nekonvencionalne postupke obrade. Do sada je razvijen veći broj programskih sistema za automatizovano programiranje mašina alatki za nekonvencionalne postupke obrade koji imaju određene prednosti i nedostatke. Ovi programski sistemi omogućuju projektantu da na veoma jednostavan i efikasan način programira mašine alatke za nekonvencionalne postupke obrade. Pri tome sam korisnik može da podešava tehnološke parametre ili će prihvatiti određene predloge programskog sistema.

Nedostatak programskog sistema *cadman*, koji je prikazan u ovom radu, je što se kvaliteti obrađene površine ne definišu po klasama površinske hrapavosti već postoje samo tri kvaliteta obrađene površine (nizak, srednji i visok), za razliku od programskog sistema *gems r4* koji kvalitete obrađene površine definiše po klasama površinske hrapavosti. Određenim nedostatkom razmatranih programskih sistema se još može smatrati i segment grafičkog interfejsa za modeliranje obradka koji ima skromnije mogućnosti od CAD programskih sistema.

Na kraju se može konstatovati da su programski sistemi za programiranje mašina za nekonvencionalne postupke obrade razvijeni po istoj koncepciji kao CAM programski sistemi za programiranje konvencionalnih mašina alatki sa numeričkim upravljanjem, uz uvažavanje razlika u načinu definisanja tehnoloških informacija.

4. LITERATURA

- [1] Dahotre, N., Harimkar S.: Laser Fabrication and machining of Materials, Springer science, New York, 2008
- [2] Gostimirović, M.: Nekonvencijalni postupci obrade, Fakultet tehničkih nauka, (autorizovana predavanja), Novi Sad, šk. godina 2006/2007.
- [3] Katalog, LVD, Laser cutting machines, 2007.
- [4] Katalog, Water Jet Sweden AB, Water cutting machines of the Future, 2005.
- [5] Kief, H., Roschiwal, H.: NC/CNC Handbuch 2007/2008, Hanser, 2007/2008
- [6] Milikić, D.: Nekonvencijalni postupci obrade, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2002.
- [7] Zeljković, M.: Računarom integrisana proizvodnja (CIM), Fakultet tehničkih nauka, (autorizovana predavanja), Novi Sad, šk. godina 2008/2009.
- [8] Zeljković, M., Borojević, Lj., Tabaković, S., Antić, A., Živković, A.: Programiranje numerički upravljanih mašina alatki za obradu rezanjem, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2010.
- [9] Laser cutting, IDcreation, <http://www.lvdgroup.com/us/metalworking-tools.aspx>, Pristupljeno: 15.03.2011

AUTOMATED PROGRAMMING NU MACHINE FOR UNCONVENTIONAL TREATMENT PROCESS

Abstract –*Bearing in mind that in recent years the number of machine tools for processing unconventional treatment processes has increased considerably, increased the number of software systems for their programming.*

This paper describes structure and principles of programming numerically controlled machine tools for sheet metal using unconventional methods to two software systems for automated programming of machine processing is unconventional. At the same principles of programming machines to process based on laser processing panel materials described by cadman a programming system for programming machine for water jet gems R4 software systems. Both described, the software systems include the definition of drivers for other operations, unconventional, sheet and plate processing workpieces such as by working: water jet, plasma cutting, electro erosive processing of wire of and so on. This paper presents a general model of modern CAD/CAM systems with a description of specifics relating to unconventional machining processes.

Key words: *cadman, gems r4, semi automatic programming, unconventional process machining*



Petar B. Petrović¹, Ivan Danilov², Nikola Lukić³

NOVI PRISTUPI U PROJEKTOVANJU EKSTREMNO VARIJANTNIH PROIZVODA

Rezime

U ovom radu je predstavljen novi pristup projektovanju proizvoda koji se nameće kao odgovor na sve izraženije zahteve tržišta za velikom varijantnošću, uključujući i ekstremni slučaj unikatne proizvodnje, kada se zahteva projektovanje proizvoda za svakog potencijalnog korisnika posebno. Dosadašnja istraživanja u ovom pravcu i uspostavljene metode odnose se na rekonfigurabilnost i kastomizaciju proizvodnog sistema i procesa upravljanja proizvodnjom. Koncept predložen u ovom radu fokusira se na najraniju fazu stvaranja proizvoda – projektovanje, sa ciljem da se u tom procesu primenom savremenih metoda i tehnika obezbedi mogućnost agilnog stvaranja masovno personalizovanih proizvoda. Praktična primena ovog koncepta data je na primeru realizacije CNC obradnog sistema za rezanje čeličnih ploča plazmom. Ostvareni rezultati pokazuju da je primena ovakvog koncepta opravdana, kao i da su dalja unapređenja moguća, kako na konkretnom primeru, tako i u konceptualnom smislu.

Ključne reči: *diverzifikivan proizvod, masovna personalizacija, parametarsko modeliranje*

1. UVOD

Trend kojim se u fokus stavlja realizacija proizvoda prema individualizovanim zahtevima, uključujući i slučaj unikatne proizvodnje, gde se proizvodi realizuju po specifičnim zahtevima konkretnog kupca, danas sve više dobija na značaju. U ovom kontekstu, kroz uvođenje nove paradigme proizvodnih tehnologija, definiše se pojam masovne kastomizacije, odnosno masovne personalizacije proizvoda, koja je po tehnološkoj efikasnosti i po troškovima proizvodnje ekvivalentna konceptu masovne proizvodnje [1]. Za brzu reakciju na nove zahteve kupaca, pored fleksibilnosti u tehnološkoj ravni na nivou proizvodnog pogona, neophodno je obezbediti fleksibilnost u svim fazama realizacije proizvoda, počevši od rane faze razvoja i procesa projektovanja.

Koncept masovne personalizacije (*mass personalization, customization*) proizvoda se analizira i istražuje sa različitih aspekata. U [2] se kao osnova za zadovoljavanje različitih zahteva kupaca predlaže modularna arhitektura proizvoda. Bez detaljne analize principa modularne gradnje u fokus se stavlja odabir optimalnog odnosa između performansi proizvoda i cene njegove proizvodnje. Uspostavljanje ovakvog odnosa u [2] se rešava metaheurističkim pristupom, i to sekvencijalno, u dva nivoa. U okviru [3], u kontekstu globalne konkurencije, čestih i nepredvidivih promena zahteva tržišta, akcenat se stavlja na rekonfigurabilnost procesa planiranja proizvodnje. Ovde se zaključuje da primarne karakteristike procesa razvoja i realizacije proizvoda jesu odzivnost i adaptibilnost proizvodnog sistema. U okviru [4] navodi se koncept za smanjenje vremena odziva i cene koštanja razvoja i realizacije proizvoda kroz integrisanu primenu DFM (*Design For Manufacturing*) i DFA (*Design For Assembly*) tehnika. Za konkretan primer standardizacije, unifikacije i smanjenja broja elemenata veze, u ovom radu je izložen pristup baziran na integraciji delova koji se izrađuju deformisanjem lima. Podsklopovi izrađeni od lima se zamenjuju jednim delom koji se izrađuje rezanjem. Ova metoda se sastoji iz ukupno sedamnaest koraka u tri nivoa (analiza postojećih delova i podsklopa, integracija delova, analiza mogućnosti i opravdanosti izrade integrisanog dela). Analizama je pokazano da se ovakvim pristupom ubrzava proces realizacije proizvoda i smanjuju troškovi. U [5] su predstavljeni

¹ **Dr Petar B. Petrović**, redovni profesor, Katedra za proizvodno mašinstvo, Univerzitet u Beogradu - Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16, 11120 Beograd, e-pošta: pbpetrovic@mas.bg.ac.rs

² **Ivan Danilov**, dipl. maš. inž., student prve godine doktorskih studija, Univerzitet u Beogradu - Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16, 11120 Beograd, e-pošta: idanilov@mas.bg.ac.rs

³ **Nikola Lukić**, dipl. maš. inž., student prve godine doktorskih studija, Univerzitet u Beogradu - Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16, 11120 Beograd, e-pošta: nlukic@mas.bg.ac.rs

rekonfigurabilni tehnološki sistemi (RMS), kao sistemi koji mogu da odgovore na dinamične zahteve tržišta. RMS se definišu se kao nova klasa proizvodnih sistema, koji kombinuju masovnu proizvodnost namenskih proizvodnih linija i fleksibilnost klasičnih fleksibilnih proizvodnih sistema. U [6], kao i u [5], predstavljeni su rekonfigurabilni proizvodni sistemi u svetlu nove paradigme sa ciljem postizanja isplativosti i mogućnosti brzih izmena sistema u skladu sa promenljivim potrebama. Ovde je navedeno da RMS uključuju principe modularnosti, integrabilnosti i fleksibilnosti.

U ovom radu se definiše nov pristup projektovanju ekstremno varijantnih proizvoda zasnovan na parametarskom modeliranju i konsekventnoj primeni principa aksiomske teorije projektovanja. Nakon uvodnih napomena, u drugom poglavlju ovog rada opisana je primena aksiomske teorije projektovanja u okvirima relevantnim za tematske okvire ovog rada. Pored toga, predstavljeni su ostali koncepti, principi i tehnike koje se primenjuju sa ciljem realizacije ekstremno varijantnih proizvoda. U trećem poglavlju primena ovih metoda data je na primeru projektovanog i realizovanog proizvoda – CNC obradnog sistema za rezanje plazmom. Na kraju rada se daju zaključne napomene i smernice za dalja istraživanja.

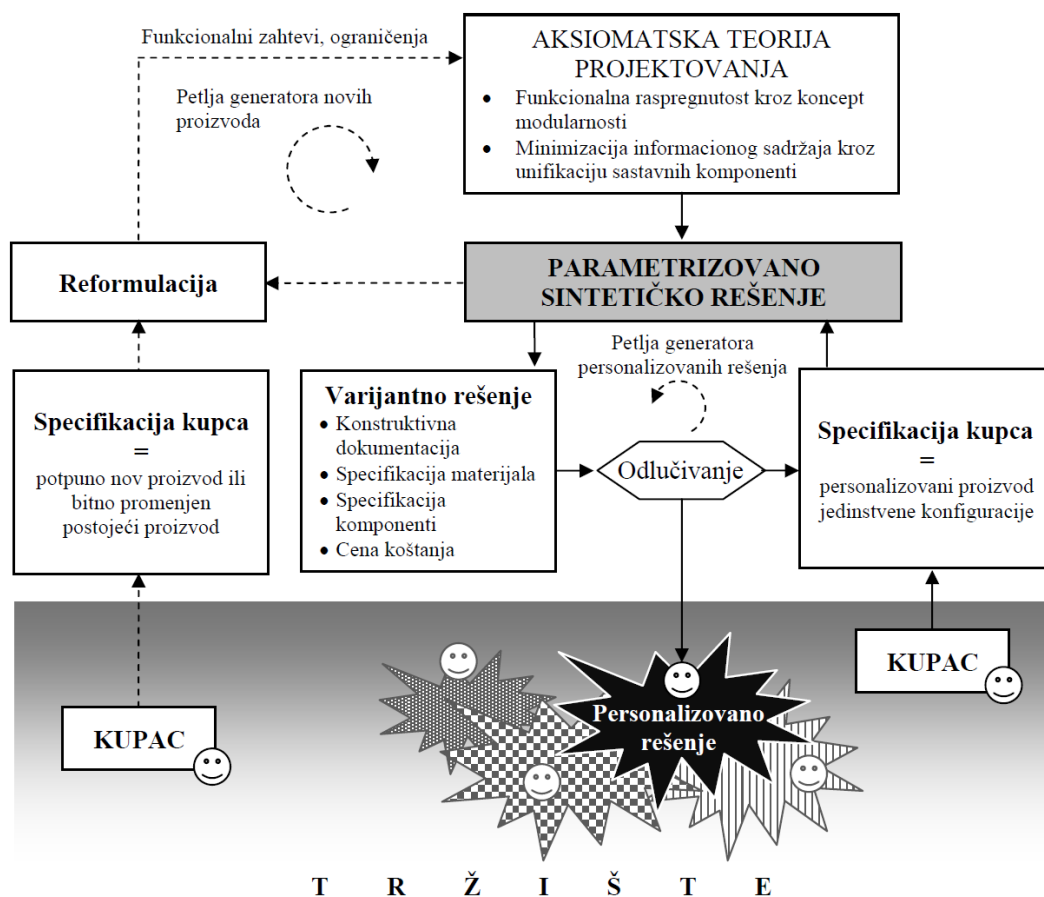
2. METODE ZA OSTVARIVANJE NOVOG PRISTUPA PROJEKTOVANJU PROIZVODA

Za prethodno definisan savremeni pristup realizaciji proizvoda, gde je neophodan dinamičan odziv na zahteve tržišta, kao osnova na koju se dalje mogu nadovezivati različiti koncepti i metode, nameće se primena aksiomske teorije projektovanja [7]. Primena ove teorije podrazumeva praćenje odnosno ispunjenje aksioma na kojima se ona zasniva. Pre nego što u fokus stavimo aksiome, njihovo značenje i mogućnost ispunjenja zahteva koji su u njima sadržani, veoma je važno napomenuti da ulazne informacije za primenu ove teorije projektovanja dolaze iz domena tržišta, odnosno budućih korisnika proizvoda.

Aksiome projektovanja obezbeđuju principe kojima se proces projektovanja čini upravljivim i konvergentnim. Prva aksioma odnosi se na postavljanje nezavisnih funkcionalnih zahteva budućeg proizvoda, tj. na definisanje istih tako da se generiše raspregnuto projektno rešenje. Pri ovome, neophodno je težiti da se zadovolji samo esencijalni skup funkcija, kako bi se kompleksnost rešenja svela na minimum. Ispunjenje zahteva iz prve aksiome u velikoj meri moguće je obezbediti primenom principa modularne gradnje. Ovime se postiže da ugradbeni moduli i podsistemi, koji sa aspekta primene aksiomske teorije predstavljaju parametre projektovanja, budu međusobno nezavisni, ali nezavisni i od nekih osnovnih karakteristika kompletnog proizvoda, kao što su na primer gabaritne mere, ili veličina radnog prostora. Druga aksioma ukazuje na to da informacioni sadržaj procesa projektovanja mora biti minimalan. Informacioni sadržaj definiše se kao mera potrebnog znanja da se zadovolji dati funkcionalni zahtev na određenom nivou hijerarhije funkcionalnih zahteva. Zahtev iz ove aksiome može se ispuniti unifikacijom delova pri projektovanju kompletnog proizvoda, kao i maksimalnom primenom standardnih elemenata, posebno elemenata veze. Na ovaj način obezbeđuje se da cilj koji želimo da ostvarimo, a to je mogućnost brzih izmena nekih od parametara proizvoda na osnovu želje kupca, ima implikacije već na najraniju fazu realizacije – projektovanje. Uz primenu gore navedene aksiomske teorije projektovanja, savremeni pristup projektovanja neophodno je bazirati na CAD alatima i novim proizvodnim tehnologijama uz CAE, CAM i CAPP sadržaje.

U kontekstu prethodnog, posebno je značajan pristup baziran na parametrizaciji projektnog rešenja. Dakle, ostvarivanjem funkcionalnih zahteva i minimizacijom informacionog sadržaja formiraju se moduli i podsistemi koji uz unifikaciju komponenata omogućuju da proizvod bude parametrizovan. S druge strane, primenom savremenih CAD alata obezbeđuje se da informacioni sadržaj o konstrukciji proizvoda i specifikaciji njegovih sastavnih komponenata bude strukturiran, jednostavno izmenljiv promenom uspostavljenih parametara i kao takav stalno dostupan projektantu za nove analize i unapređenja. Pored toga, još jedna bitna karakteristika CAD alata je mogućnost vizuelizacije proizvoda pre početka realizacije, čime se postiže da kupac unapred ima uvid u izgled proizvoda čije je karakteristike specificirao, tako da može potvrditi svoje zahteve ili eventualno izraziti nove želje.

Veoma je značajno uočiti da se parametarskim projektovanjem i primenom principa modularnosti postiže i to da se na osnovu želje kupca proces projektovanja ne vraća na početak, već samo u određene završne faze koje su uz primenu savremenih CAD paketa automatizovane. Opisana procedura i primenjene metode za novi pristup projektovanju u sprezi sa tržištem prikazani su na slici 2.1.



Slika 2.1: Procedura novog pristupa projektovanju za realizaciju ekstremno varijantnih proizvoda uz brz odgovor na zahtev kupca, u sprezi sa tržištem

Primena navedenog pristupa omogućuje da se projektovanje mašine ostvari već u fazi razgovora sa kupcem. To znači da se na osnovu zahteva kupca, koji se unose kao inicijalni parametri konstrukcije, proces projektovanja konkretnog (*customized*) rešenja realizuje potpuno autonomno do nivoa specifikacije standardnih komponenti i dokumenata za izradu konstruisanih delova - praktično sve što je potrebno za lansiranje proizvodnje i procenu cene koštanja konkretne mašine. Na ovaj način, proizvodnja mašine po zahtevu, bez obzira na njenu tehničku složenost može da se ostvari za 2-4 nedelje od trenutka definisanja finalne specifikacije kupca, uz minimalne troškove projektovanja personalizovanog rešenja. Ovakvom brzinom reagovanja na želje kupca praktično se uspostavlja novi pristup za efikasnu i efektivnu realizaciju proizvoda – *rapid to market* koncept. Pored toga, vrlo značajan momenat je i minimizacija prostora za stvaranje greške eliminacijom čoveka iz procesa projektovanja i formiranja specifikacija sastavnih komponenti – *zero defect production*.

3. PRIMER PROJEKTOVANJA CNC OBRADNOG SISTEMA ZA REZANJE ČELIČNIH PLOČA PLAZMOM

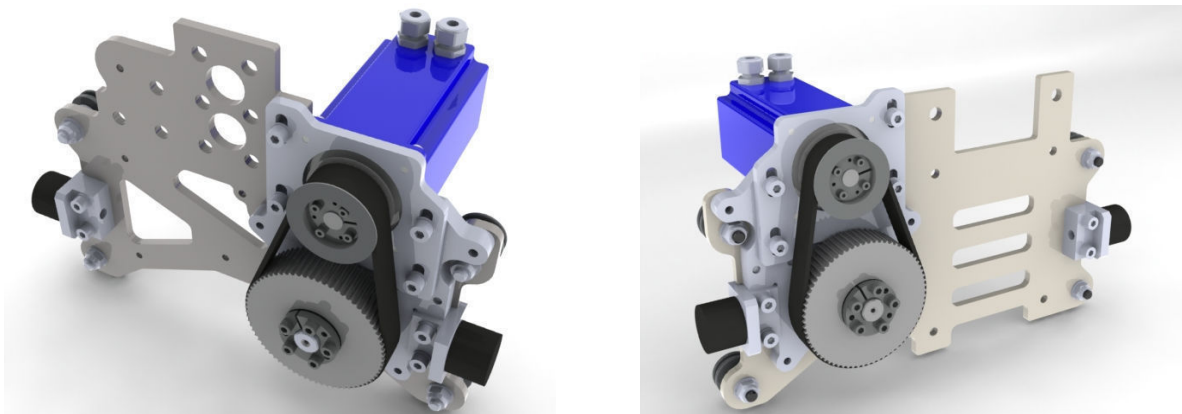
Definisani pristup projektovanju kao i metode, tehnike i različiti koncepti koji se prepliću u okviru realizacije proizvoda zasnovane na novim principima, se u ovom radu prikazuju na primeru CNC obradnog sistema za rezanje plazmom [8]. Ostvarenje mogućnosti da se mašina, pored zadržavanja svoje osnovne funkcije – rezanje proizvoljnih ravanskih kontura plazmom, može realizovati u različitim varijantama promenom karakteristika na osnovu zahteva kupca ovde se pre svega odnosi na izmenu dužine radnih hodova X i Y-ose, tj. izmenu veličine efektivnog radnog prostora. Na taj način se postiže zahtevana varijantnost.

3.1 Opis projektovanog sistema i prikaz ugradbenih modula

Projektno rešenje je praktično generička mašina iskazana u parametarskom obliku, iz koje se zadavanjem početnih parametara na potpuno automatski način kreira konkretno rešenje, sa kompletnom proizvodnom dokumentacijom i specifikacijom standardnih komponenti. Projektant zadaje samo veličinu radnog prostora

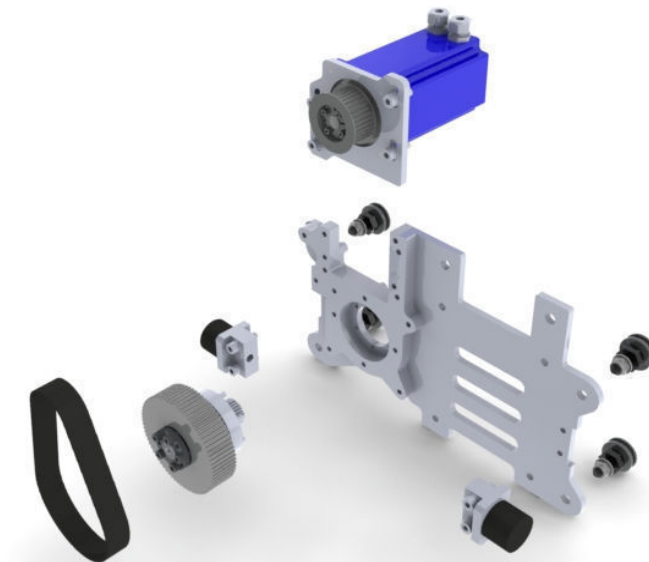
kao osnovnu funkcionalnu veličinu kojom je za konkretnu klasu obradnog sistema sve ostalo u potpunosti određeno, uzimajući u obzir i složene parametarske zavisnosti koje su prisutne na pojedinim pozicijama (nelinearna parametrizacija). Celokupan sistem se sastoji iz (1) postolja sa translatorno pokretnim radnim stolom, izvedeno primenom čeličnih kutijastih profila kao zavareni sklop, (2) servoupravljanog prostornog mehanizma sa 3 servo ose, izveden primenom ekstrudiranih aluminijumskih profila, sa modulima X-ose, Y-ose (traverza) i Z-ose, (3) plazma agregata i (4) CNC upravljačkog sistema sopstvenog razvoja izvedenog u Open CNC tehnologiji.

Radi predstavljanja definisanih principa na konkretnom, opisanom primeru, u nastavku ovog rada fokus će biti stavljen na parametrizaciju servoupravljanog prostornog mehanizma, dok će na kraju ukratko biti predstavljen celokupan sistem u realizovanoj varijanti. Ugradbeni moduli, koji su nezavisni od izmenljive, parametrizovane karakteristike mašine – veličine radnog prostora, u ovom slučaju su moduli klizača X i Y-ose, i modul Z-ose. Moduli klizača prikazani su na slici 3.1 i 3.2, a modul Z-ose na slici 3.3.



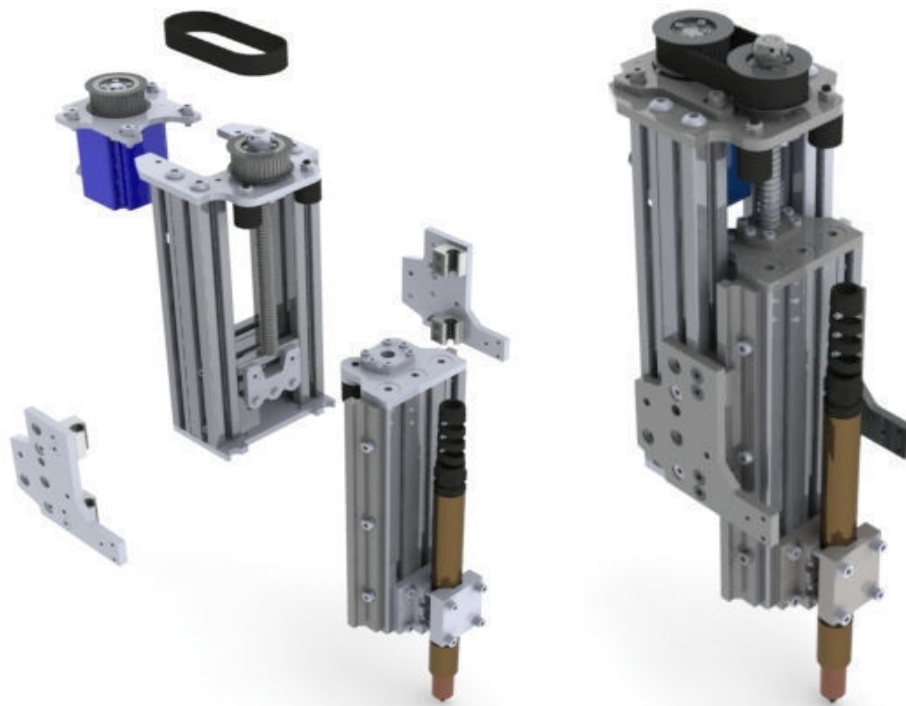
Slika 3.1: Moduli klizača X i Y-ose

Primena principa modularnosti prožima sve nivoe izgradnje obradnog sistema, koji se ovde predstavlja kao primer visoko diverzifikovanog proizvoda. U prilog ovome idu detalji na slikama 3.1 i 3.2, gde se iz primera rastavljenog prikaza modula klizača jasno uočava da su moduli na nižim nivoima ugradnje praktično identični za klizače X i Y-ose.



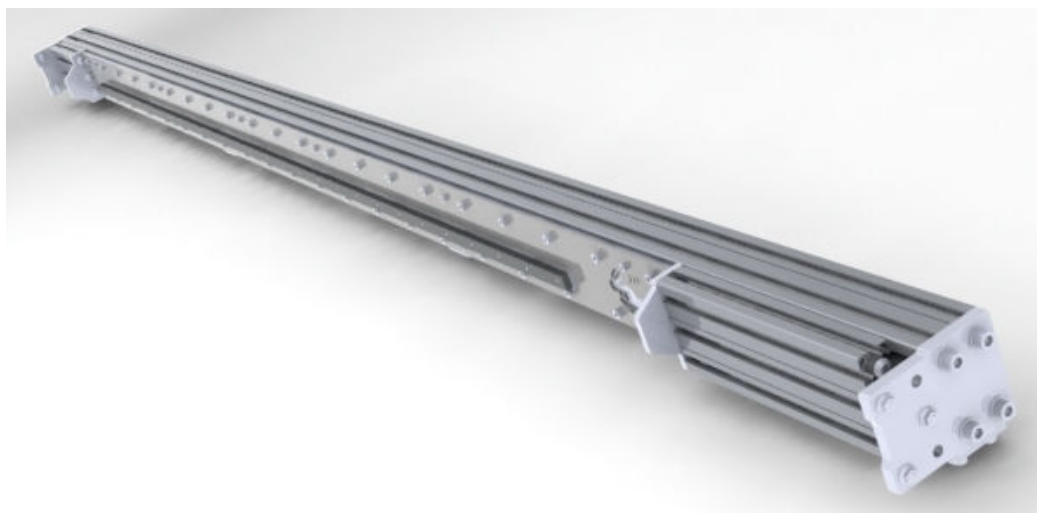
Slika 3.2: Rastavljeni prikaz modula klizača Y-ose

Ugradbeni moduli nižeg nivoa koji se mogu uočiti na slici 3.2 su: podsklop motora sa kaišnikom i pločom za fiksiranje, podsklopovi graničnika i točkova za kretanje duž vodica, i uležištenje zupčanika sa kaišnikom. U ovom segmentu opisa realizovanog sistema ističe se i primena principa unifikacije sastavnih delova. Unifikacija se prepoznaje upravo kroz sličnost, odnosno identičnost delova, podsklopova i modula na nižim ugradbenim nivoima. Ovo za posledicu ima minimizaciju informacionog sadržaja projektnog rešenja, a u krajnjoj instanci ubrzanje procesa realizacije proizvoda prema željama budućeg korisnika.



Slika 3.3: Modul Z-ose sa rastavljenim sklopnim prikazom

Sklop Z-ose takođe je izveden modularno, što se vidi sa slike 3.3, gde se uočavaju nepokretni podsklop sa uležištenjem zavojnog vretena i gonjenog kaišnika, pokretni podsklop sa ugrađenom navrtkom, vodicama i nosačem mlaznice kao završnog uređaja plazma agregata, zatim su tu podsklopovi bočnih ploča sa klizačima i podsklop motora sa pogonskim kaišnikom. Na ovaj način, agregatiranjem ugradbenih delova i podsklopova modula, pojednostavljuje se proces montaže kao jedna od faza realizacije celokupne mašine.



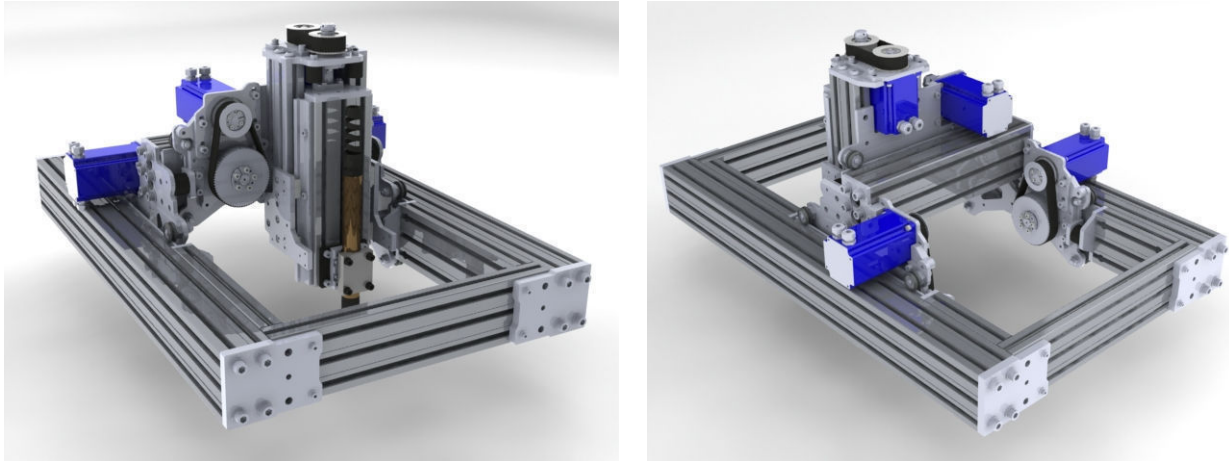
Slika 3.4: Modul vođice X-ose

Modul vođice X-ose koji je prikazan na slici 3.4, kao i modul vođice Y-ose predstavljaju parametrizovane elemente mašine, odnosno servoupravljanog prostornog mehanizma.

3.2 Integracija ugradbenih modula kroz koncept mašine nultog hoda i parametrizacija projektnog rešenja

Servoupravljeni prostorni mehanizam mašine izveden je kao mosna konstrukcija. U takvoj izvedbi između dva modula klizača X-ose (Slika 3.1) se postavlja traverza (most). Na traverzu se dalje postavlja modul klizača Y-ose, a na njega modul Z-ose. Parametrizacijom radnog hoda projektovanog obradnog sistema, na način koji će u ovom konkretnom primeru biti predstavljen, se dolazi do pojma minimalne mašine, odnosno do koncepta mašine nultog hoda (Slika 3.5). U ovom slučaju mašina nultog hoda je servoupravljeni prostorni

mehanizam koji sadrži sve sastavne module, ali bez mogućnosti izvođenja bilo kakvog kretanja duž X i Y-ose. Kao takva, mašina nultog hoda, predstavlja minimum koji svaki projektovani sistem mora sadržati, bez obzira na zahteve budućeg korisnika, što je još jedna od performansi ovakvog pristupa projektovanju, jer direktno utiče na brzinu izračunavanja nominalne cene koštanja i realizacije proizvoda. Iz mašine nultog hoda, kao polazne osnove, uz primenu savremenih CAD tehnika, definisanjem željenog radnog prostora, automatski se generiše projektno rešenje prema zahtevima kupca.



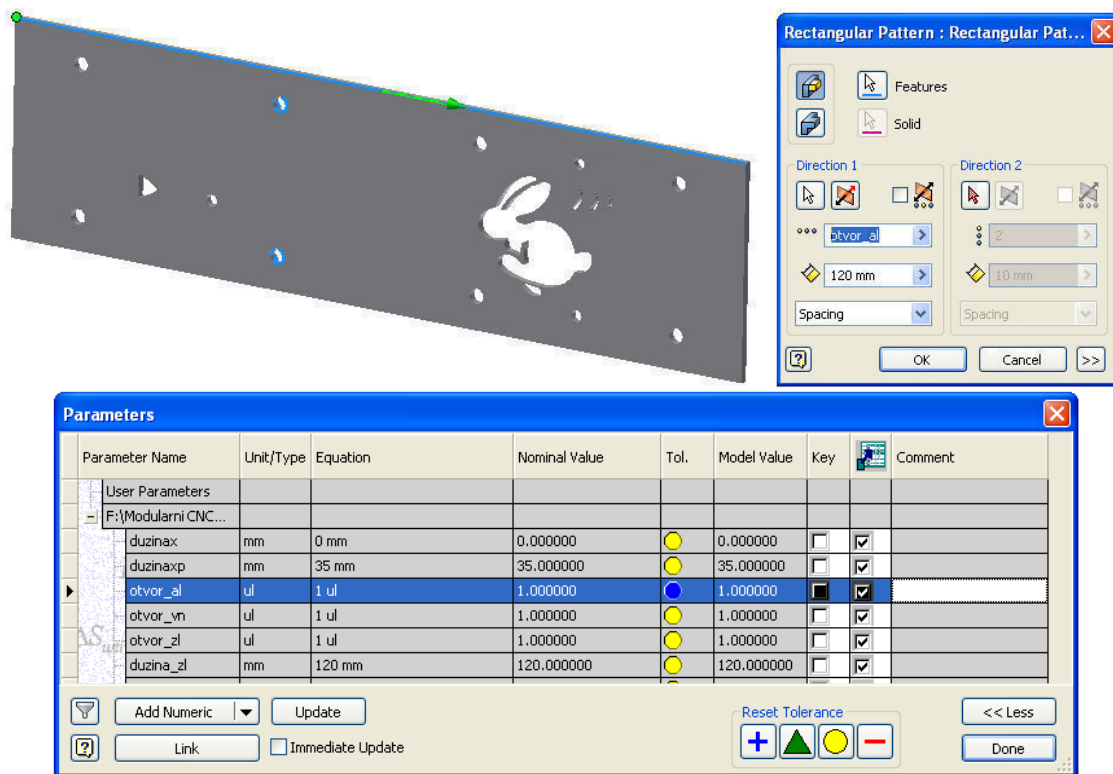
Slika 3.5: Minimalna konfiguracija projektovanog proizvoda – mašina nultog hoda

Metodologija parametrizacije projektnog rešenja je postupak koji mora sprovesti čovek – projektant, i taj postupak ne zavisi od primenjenog CAD softvera. Ovo obuhvata prepoznavanje, zatim definisanje karakteristika pogodnih za parametrizaciju i uspostavljanje složenih zavisnosti između njih. Sa druge strane, CAD softver koji se koristi u ovom postupku predstavlja sredstvo kako bi se proces izračunavanja automatizovao, a generisani proizvod vizuelizovao i proverila njegova struktura sa statičkog i dinamičkog aspekta. U konkretnom primeru, parametrizacija projektnog rešenja je izvedena u *Autodesk INVENTOR* softverskom paketu. Specifičnost primene ovog CAD softvera sastoji se u korišćenju *Excel* tabele kao eksternog izvora za izračunavanje parametrizovanih relacija. Kada se ova tabela formira, uneti podaci se povezuju sa svakim od modela sastavnih delova u *INVENTOR*-u. Nakon toga se formiranju podsklopovi, a njihovom integracijom formira se parametrizovan sklop koji je takođe povezan sa *Excel* tabelom.

Konstrukciona karakteristika servoupravljanog mehanizma koja se ukazala kao pogodna za parametrizaciju jeste rastojanje između elemenata veze duž modula za vođenje (Slika 3.4), kojim se vođica preko oslonog elementa fiksira za noseći aluminijumski profil. Projektovano rastojanje između ovih elemenata veze je 120 mm i ta veličina je usvojena kao parametar, odnosno inkrement dužine radnog hoda, koji može biti specificiran od strane svakog potencijalnog kupca mašine posebno. Dužina distantnih elemenata na krajevima modula vođica X-ose zbog funkcionalnih i konstrukcionih karakteristika mašine je neizmenljiva odnosno fiksna. Važno je napomenuti da se dužina hoda Z-ose takođe ne parametrizuje, već je stalna, a razlog su specifične funkcije koje su vezane za inicijalizaciju procesa rezanja plazmom.

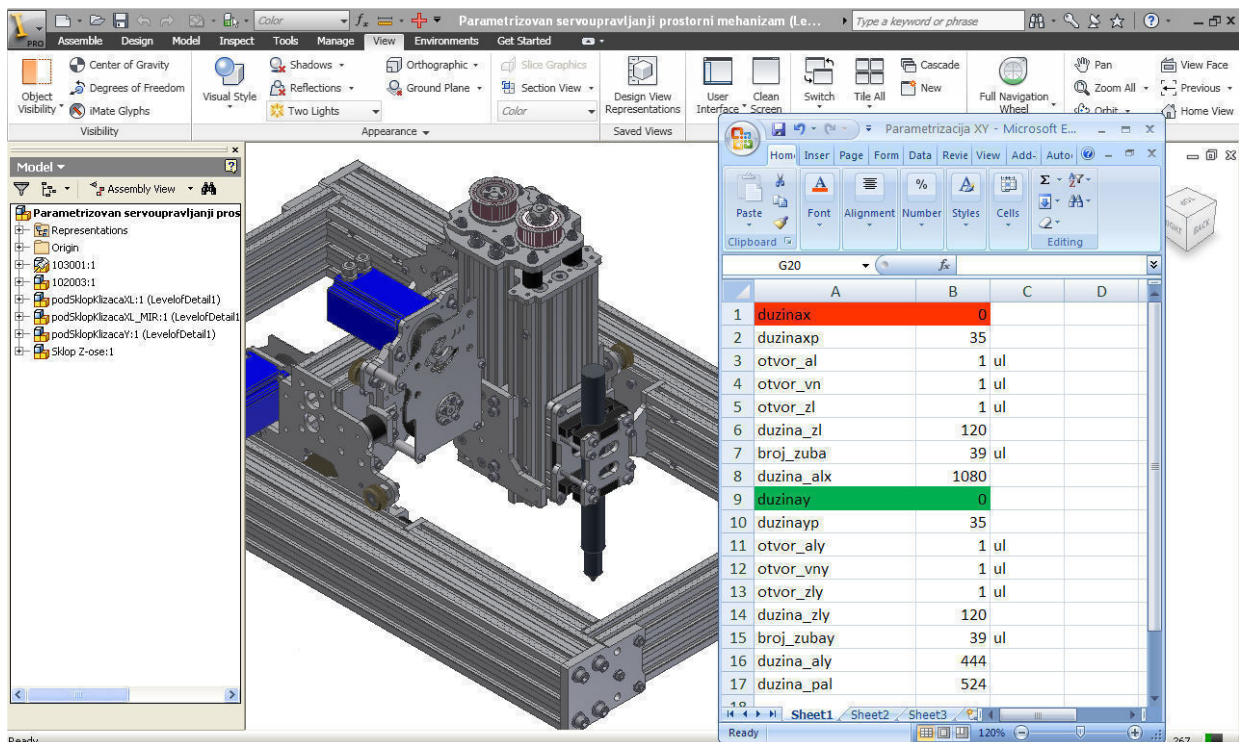
Automatizovanom procedurom u *Excel* tabeli izračunava se osnovna veličina (parametar) kojom se, uz neizmenljive konstrukcione karakteristike nosećeg aluminijumskog profila, vođice, oslone ploče vođice, zupčaste letve i njenog oslonog dela, ovim elementima definiše ukupna dužina. U zavisnosti od dužine se izračunava potreban broj otvora za vezu vođice i oslone ploče, zatim za vezu vođice preko oslone ploče sa nosećim profilom i broj otvora za vezu zupčaste letve preko oslonog dela za vođicu. Takođe, izračunava se broj zuba zupčaste letve sa unapred definisanom geometrijom.

U skladu sa opisanom procedurom u *Autodesk INVENTOR*-u, na slici 3.6, jednim primerom prikazan je način povezivanja parametrizovanih relacija iz tabele sa karakteristikama modeliranih komponenti. Na ovom primeru se uočava da je umesto numeričke vrednosti u interaktivni prozor unet parametar pod nazivom *otvor_al*. Ovaj parametar predstavlja broj otvora za vezu vođice preko oslone ploče za noseći aluminijumski profil. Na slici su označeni ovi otvori uz strelicu koja predstavlja pravac njihovog prostiranja. Takođe, prikazana je i tabela *Parameters*, koja je sa jedne strane povezana sa eksternim izvorom (*Excel* tabelom), a sa druge sa modelom dela, odnosno specifikacijom njegovih karakteristika.

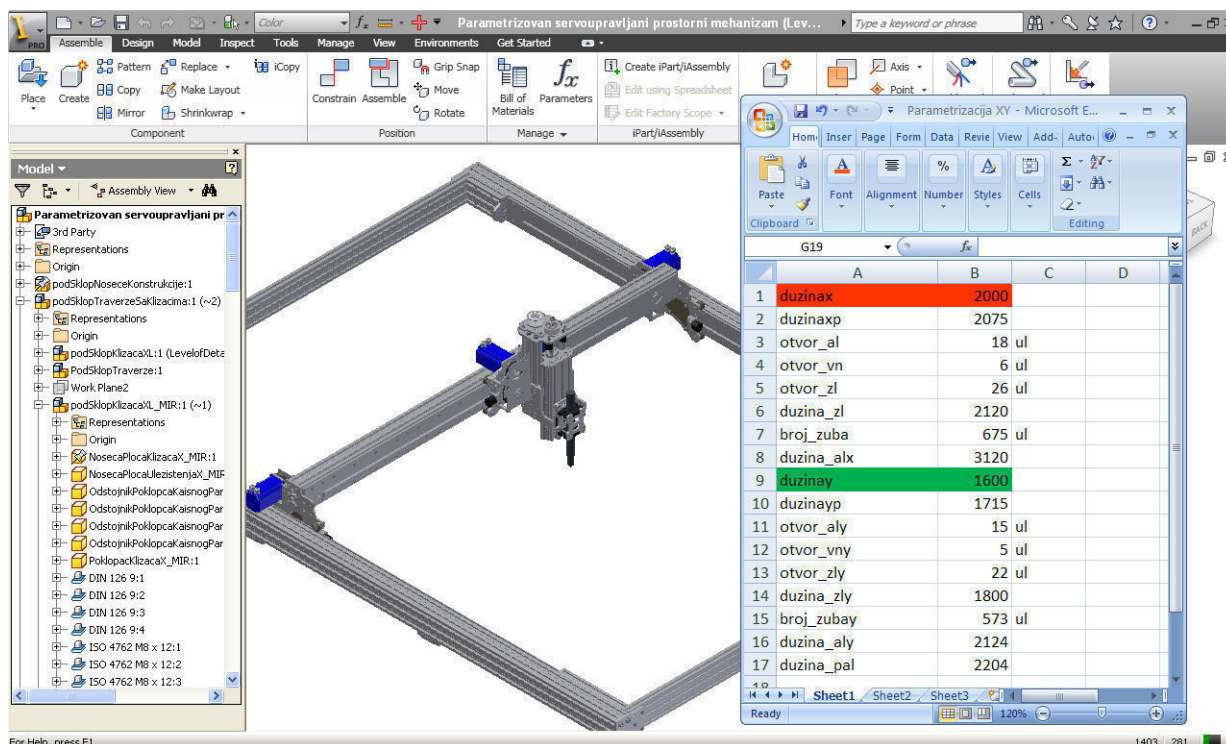


Slika 3.6: Primer povezivanja parametara iz table sa karakteristikama modela

Na način predstavljen na slici 3.6 povezuju se svi izračunati parametri sa karakteristikama sastavnih delova parametrizovanih modula. Definisanjem željenog radnog hoda u *Excel* tabeli, automatski se vrše izračunavanja parametara, a u CAD segmentu *INVENTOR*-a se generiše struktura konkretnog projektnog rešenja. Ova procedura ilustrovana je sa dva uzastopna primera. Na slici 3.7 prikazan je primer sa definisanim nultim hodom u tabeli, što za rezultat u grafičkom prikazu konkretnog proizvoda daje minimalnu mašinu. U narednom primeru, na slici 3.8, zadat je radni hod mašine za varijantu koja je realizovana u prototipskoj verziji [8] i prikazan je servoupravljeni mehanizam za tako definisane parametre.



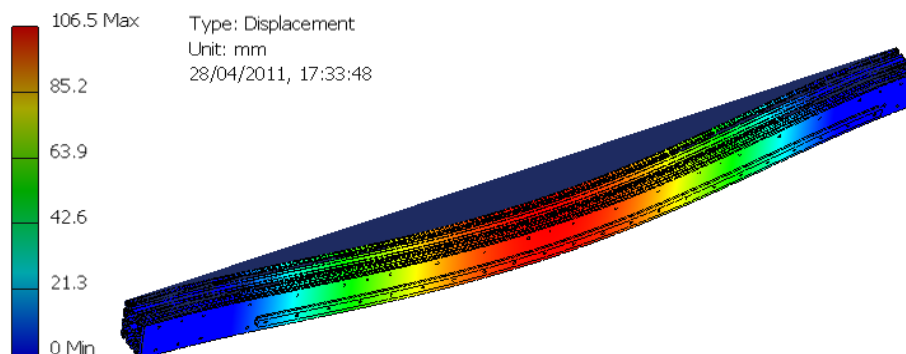
Slika 3.7: Primer izračunatih parametara u *Excel* tabeli za zadatu nultu vrednost radnog hoda i automatski generisana odgovarajuća struktura servoupravljanog mehanizma u *INVENTOR*-u



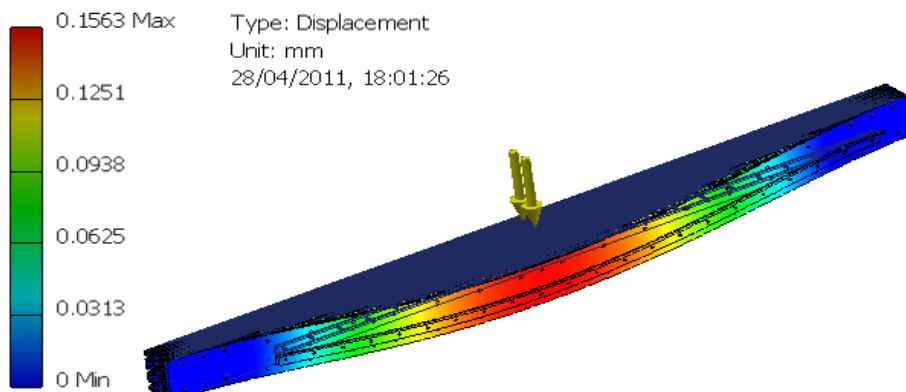
Slika 3.8: Primer generisane strukture servoupravljanog mehanizma varijante mašine realizovane u prototipskoj verziji, za zadatu vrednost radnih hodova

3.3 Provera generisanih varijanti proizvoda primenom metode konačnih elemenata

Pored ostali opisanih prednosti CAx tehnika, jedna od veoma važnih u celokupnom procesu projektovanja je proračun varijantnog rešenja sa statičkog i dinamičkog aspekta primenom metode konačnih elemenata. Rezultati proračuna dati su na primeru traverze realizovane mašine i to: prvi od tri oblika oscilovanja (Slika 3.9) i traverza pod statičkim opterećenjem svoje težine i težine podsklopova koje nosi (Slika 3.10)



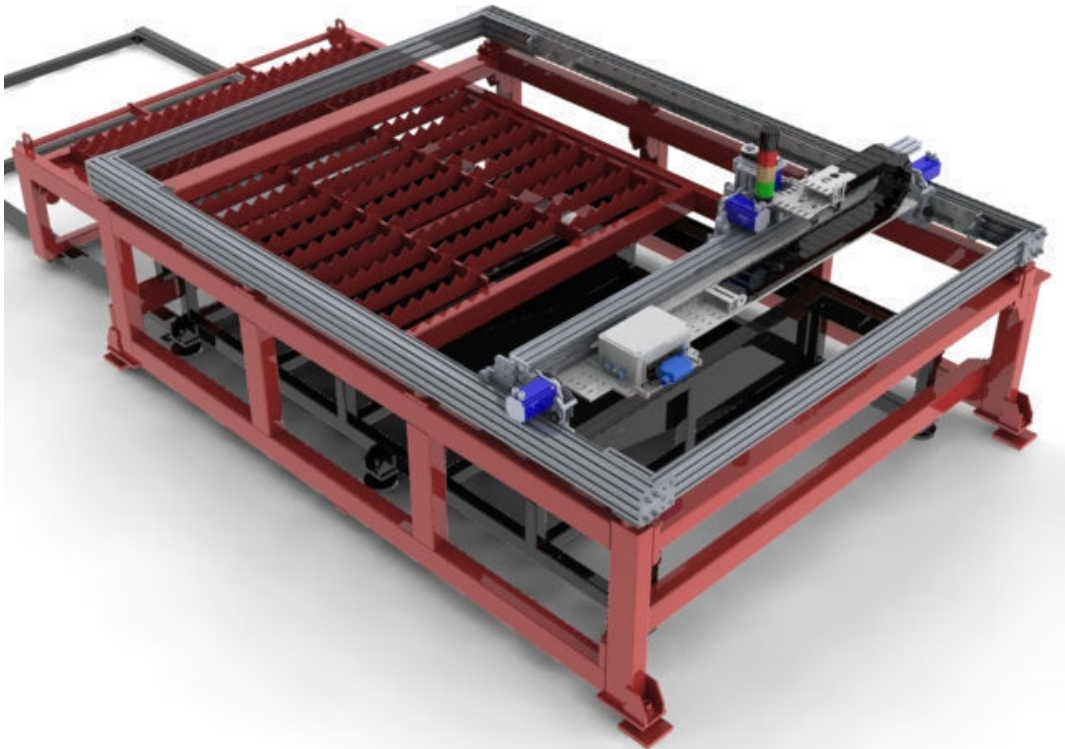
Slika 3.9: Prvi oblik oscilovanja modula traverze na 110.92 Hz



Slika 3.10: Pomeraji traverze pod statičkim opterećenjem od sopstvene i težine podsklopova koje nosi

3.4 Opis varijante mašine realizovane u prototipskoj verziji

Kao što je predstavljeno, definisanjem željene dužine radnih hodova X i Y-ose generisanše se konkretno projektno rešenje. Jedan ovakav sistem, prikazan na slici 3.6, razvijen je u okviru projekata MA14035 i zatim dalje razradjivan u okviru projekta TR35007 Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj, koji je u prototipskoj verziji realizovan za potrebe kompanije Velpan iz Kikinde i u eksploataciji se nalazi od jula meseca 2010. godine, [8].



Slika 3.6: Fotorealističan prikaz prototipske verzije CNC obradnog sistema za rezanje plazmom

Performanse i karakteristike realizovanog obradnog sistema su sledeće: može da reže proizvoljnu ravansku konturu u čeličnom limu debljine do 20 mm, visokog kvaliteta reza i brzinom rezanja koja varira od debljine (za lim debljine 10mm brzina rezanja je oko 2000 mm/min, dok je za lim debljine 20mm brzina rezanja 600 mm/min); maksimalna projektovana brzina pomoćnog kretanja sistema je 250 mm/sec, a rezolucija 0.083mm; radni prostor mašine je 1600x2000mm. Sa slike 3.6 uočava se da, kao što je to na početku trećeg poglavlja navedeno, kompletan mehanički sklop CNC obradnog sistema za rezanje plazmom, pored servoupravljanog prostornog mehanizma sadrži modul postolja za njegovo oslanjanje, zatim modul stola sa komorama za odsisavanje nusprodukata procesa rezanja i translatorno pokretnim modulom za postavljanje priprema.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljen je novi pristup projektovanju sa ciljem brze realizacije ekstremno varijantnih proizvoda. Novi pristup razvijen je u skladu sa dinamičnim promenama zahteva koji dolaze iz domena kupca, odnosno sa tržišta. Ovakvi zahtevi uzrokuju potrebu prelaska iz klasičnog koncepta masovne proizvodnje prema novom konceptu masovne personalizacije proizvoda. Predstavljeni koncept se odnosi na najraniju fazu realizacije proizvoda – fazu projektovanja. Princip na kome se novi koncept bazira u osnovi je primena aksiomske teorije projektovanja, na koju se dalje nadovezuju principi modularnosti, unifikacije sastavnih delova i ugradbenih modula, zatim primena standardnih delova dostupnih na tržištu, parametrizacija projektog rešenja, kao i primena savremenih CAD, CAM i CAE metoda. Cilj primene navedenih CAx metoda odnosi se na dodatne analize proizvoda, struktuiranje informacionog sadržaja, automatizovanje određenih faza projektovanja, razvoj koncepta virtuelne montaže, statički i dinamički proračun metodom konačnih elemenata, itd.

Primena definisane procedure novog pristupa projektovanju za realizaciju ekstremno varijantnih proizvoda, uz brz odgovor na zahtev kupca, demonstrirana je na primeru CNC obradnog sistema za rezanje čeličnih ploča plazmom. Ovde su rezultati primene navedene teorije, koncepta i principa najpre predstavljeni kroz

prikaz ugradbenih modula X, Y i Z-ose koji su nezavisni od parametrizovane karakteristike proizvoda, u ovom slučaju veličine radnog prostora. Zatim je prikazan modul vođice, kao sastavni podsklop servoupravljanog prostornog mehanizma, čija je parametrizacija detaljno objašnjena. Nakon toga usledila je integracija predstavljenih modula, i to kroz koncept mašine nultog hoda koja praktično predstavlja minimalnu konfiguraciju svakog obradnog sistema koji treba da bude realizovan na osnovu zahteva budućeg korisnika. Na taj način, uz primenu CAx metoda, postiže se automatizacija određenih faza projektovanja prezentovanog proizvoda, pri čemu je efikasnost i efektivnost odgovora na zahtev kupca maksimalna. Jedan ovakav CNC obradni sistem za rezanje čeličnih ploča plazmom praktično je realizovan, i ovde je takođe ukratko predstavljen. Rezultati iz eksploatacije ove mašine ukazuju na visoku robusnost, pouzdanost i stepen iskorišćenja ovako projektovanog sistema, a samim tim i na opravdanost primene predstavljenog koncepta realizacije proizvoda.

Unapređenja razvijenog i primenjenog koncepta, u opštem slučaju, trebalo bi da se kreću ka višoj sinhronizaciji implementiranih principa modularnosti i pojma parametrizacije. Takođe veliki prostor postoji u iskorišćenju dodatnih benefita koje nude savremene CAD tehnike. Posebnu pažnju tu treba obratiti kada je u pitanju identifikacija i eliminacija eventualnih grešaka nastalih u ranijim fazama projektovanja, zatim na pojam virtuelne montaže proizvoda, kao i na već primenjene mogućnosti automatskog generisanja dokumentacije, specifikacije sastavnih delova, itd. U konkretnom primeru najveći prostor za unapređenja ostavljen je na parametrizaciji ostalih ugradbenih modula mašine, pored parametrizovanog servoupravljanog prostornog mehanizma.

A NEW APPROACH TO DESIGN OF HIGHLY DIVERSIFIED PRODUCTS

Abstract

This paper presents a new approach of product design as a response to dynamic changes of every potential customer request. Previous analyses and theory in this research area were based on reconfiguration and customization of manufacturing system and process in order to meet the diversified customer requirements. The concept presented in this paper is focused on earliest product realization phase – the design. The objective of this concept is to empower the mass customization manufacturing using contemporary design methods and techniques. Practical application of this concept is presented using CNC plasma cutting system as an example. Achieved results show that the use of proposed concept and principles is justified, and also that improvements are possible.

Keywords: *diversified product, customer requirements, mass customization, parametric modeling*

LITERATURA

- [1] Jovane, F., Koren, Y., Boer, C. R., **Present and Future of Flexible Automation: Towards New Paradigms**, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 52: 543-560, 2003.
- [2] Olivares-Benitez, E., Gonzalez-Velarde, J. L., **A metaheuristic approach for selecting a common platform for modular products based on product performance and manufacturing cost**, Journal of Intelligent Manufacturing, 19: 599-610, 2008.
- [3] ElMaraghy, H., **Reconfigurable Process Plans For Responsive Manufacturing Systems**, DIGITAL ENTERPRISE TECHNOLOGY, Part 1: 35-44, 2007.
- [4] Selvaraj, P., Radhakrishnan, P., Adithan, M., **An integrated approach to design for manufacturing and assembly based on reduction of product development time and cost**, THE INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY, 42:13-29, 2008.
- [5] Deif, A., ElMaraghy, M., **ADVANCES IN DESIGN**, Springer Series in Advanced Manufacturing, Part 4: 219-228, 2006.
- [6] ElMaraghy, H., **Flexible and reconfigurable manufacturing systems paradigms**, INTERNATIONAL JOURNAL OF FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEMS, 17: 261-276, 2006.
- [7] Suh, N. P., **The Principles of Design**, Oxford University Press, 1990.
- [8] **Razvoj i realizacija rekonfigurabilnog CNC sistema za 2D konturno rezanje čeličnih limova** - interna projektna dokumentacija, Projekti Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj MA14035 i TR35007, rukovodilac prof. dr Petar B. Petrović.

PROJEKTOVANJE ZGLOBNIH PRENOSNIKA PRIMENOM SAVREMENIH PROGRAMSKIH SISTEMA

Rezime: Pri razvoju proizvoda danas se koristi čitav niz savremenih prilaza kao što je razvoj virtualnih proizvoda, konkurentno projektovanje, brza izrada prototipa itd. U radu je prikazan jedan od savremenih prilaza u projektovanju proizvoda baziran na modeliranju i analizi računarskih modela primenom odgovarajućih programskih sistema (Pro/ENGINEER i ANSYS), na primeru projektovanja zglobnih prenosnika. Opisane su osnovne karakteristike zglobnih (kardanskih) prenosnika. Primenom modula za modeliranje delova dat je prikaz tehnike za kreiranje složenih površina na primeru evolventnog profila zuba. Prikazan je modelirani sklop zglobnog prenosnika i opisan način i rezultati kinematske analize prenosnika primenom modula Pro/Mechanism. Analizirano je i opisano statičko ponašanje sklopa univerzalnog zgloba (krstastog elementa) primenom programskih sistema Ansys i Pro/Mechanica.

Ključne riječi: Zglobni (kardanski) prenosnici, Kinematska analiza, Statičko ponašanje, Pro/Engineer, Pro/Mechanism, Pro/Mechanica, Ansys,

1. UVOD

Savremeni razvoj proizvoda se ne može da zamisli bez primene programskih sistema koji u velikoj meri automatizuju procese projektovanja i proizvodnje. Uvođenje ovakvih sistema i informacionih i komunikacionih tehnologija uopšte u proizvodne pogone, čija intenzivna primena pruža osnovu, kako za organizovanje, eksploataciju i upravljanje intelektualnom svojinom, tako i uvećanje profita kroz efikasno ispunjavanje tržišnih zahteva na brz, kvalitetan i ekonomski opravdan način kao i konkurentsku sposobnost predstavlja neminovnost [1].

Među programske sisteme koji pružaju visok stepen integracije pri razvoju i projektovanju proizvoda spadaju Pro/Engineer i Ansys, koji svojim karakteristikama i modulima, bibliotekama i mogućnostima ispunjavaju zahteve koji se postavljaju pred njih. U radu su ilustrovane mogućnosti ovih sistema u razvoju proizvoda na primeru zglobnog (kardanskog) prenosnika.

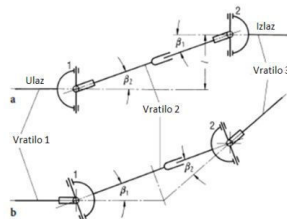
2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE ZGLOBNIH PRENOSNIKA

Zglobni prenosnici služe za prenos kretanja između vratila sa ukrštenim osama, odnosno čije su ose postavljene pod uglom jedna u odnosu na drugu, s'tim da se taj ugao u toku eksploatacije može stalno menjati. Ovi prenosnici moraju ispuniti sledeće zahteve:

- da nemaju poprečnih oscilacija i bacanja vratila u svim opsezima brojeva obrtaja,
- da omogućavaju ravnomernost obrtanja vratila,
- da imaju visok stepen korisnog dejstva i pri velikim vrednostima ugla među vratilima.

Mogu se podeliti na: a) zglobove nejednakih ugaonih brzina (asinhroni); b) zglobove jednakih ugaonih brzina (sinhroni);

Na slici 1. je prikazan potreban za uslov jednakih ugaonih brzina ulaznog i izlaznog vratila.



Slika 1. Uslov jednakih ugaonih brzina ulaznog i izlaznog vratila $\omega_3 = \omega_1 = \text{const}$ [3]

¹ Mikalački Živa, dipl. ing., CIMOS-Livnica Kikinda, Kikinda

² Doc. dr Slobodna Tabaković, dipl. ing., Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, tabak@uns.ac.rs

³ Prof. dr Milan Zeljković, dipl. ing., Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, milanz@uns.ac.rs

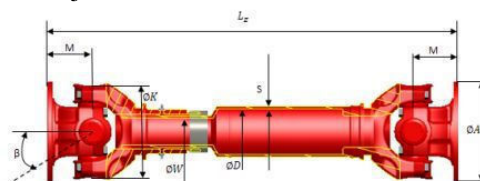
⁴ Mr Aleksandar Živković, dipl. ing., Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, aco@uns.ac.rs

Međutim, nejednake ugaone brzine se javljaju na vratilu 2 i njihova neravnomernost se može opisati izrazima:

$$\begin{aligned}\omega_{2\min} &\leq \omega_2 \leq \omega_{2\max} \\ \omega_{2\min} &= \omega_1 \cdot \cos \beta_1 \\ \omega_{2\max} &= \frac{\omega_1}{\cos \beta_1}\end{aligned}$$

Postavljanje vratila 3 u određene položaje, kao što je prikazano na slici 1., otklanja neravnomernost koja se javlja na vratilu 2 i na taj način omogućuje široku primenu ovih prenosnika. Najrasprostranjeniju primenu imaju u automobilske industriji kod putničkih, teretnih, terenskih i vojnih vozila. Navedeni prenosnici se takođe primenjuje kod radnih mašina, uređaja za samoistovar, lokomotiva, vetro-generatora, mašina alatki itd.

Zglobni prenosnik razmatran u ovom radu služi za prenos kretanja kod teretnih vozila. Značajna karakteristika zglobnih prenosnika koji se primenjuju u vozilima jeste mogućnost promenljive dužine (kompenzacije) koja se ostvaruje izradom vratila 2 iz dva dela. Kardanska vratila se izrađuju od tankozidnih čeličnih cevi i na taj način imaju manju masu i mimiji rad. Prikaz preseka aksijalno pomerljivih vratila kao i osnovnih veličina zglobnog prenosnika je dat na slici 2.



Slika 2. Osnovne veličine zglobnog prenosnika

3. MODELIRANJE ELEMENATA ZGLOBNOG PRENOSNIKA PRIMENOM ROGRAMSKOG SISTEMA PRO/ENGINEER

Modeliranje elemenata primenom programskog sistema Pro/Engineer predstavlja detaljan opis proizvoda u vidu primitiva - osnovnih prostornih oblika čijim kombinovanjem se mogu dobiti složeniji oblici. Pro/Engineer pruža mogućnost parametarskog modeliranja i time oslobađa korisnika potrebom za primenom analitičke geometrije koja se u svakodnevnoj upotrebi pokazali kao određena prepreka. U radu je, samo kao primer, prikazan način definisanja evolventnog profila za unutrašnje ozubljenje primenom parametara i jednačine koje ga opisuju.

Procedura za kreiranje evolventnih profila ozubljenja:

1. Postavljanje parametara za ključne promenljive: osnovni prečnik, temeni prečnik, početni ugao (slika 3.)



Slika 3. Postavljanje parametara za promenljive

2. Definisane koordinatnog sistema i ravni da bi se definisala pozicija evolventnog profila krive
3. Definisane jednačine evolvente primenom pomoćnog geometrijskog oblika za definisanje krivih linija (datum curve)
4. Formiranje oblika pojedinačnog zuba komandom-Extrude/Cut
5. Kreiranje preostalih zuba zupčanika umnožavanjem predhodno formiranog oko ose zupčanika

U okviru trećeg koraka potrebno je definisati jednačinu evolvente. U programskom sistemu Pro/Engineer, jednačina krive se definiše uvođenjem promenljive t koja ima vrednosti od 0 do 1.

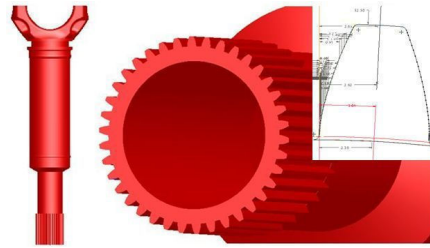
$$\begin{aligned}\gamma &= \left(\sqrt{R_o^2 - R_i^2}\right) \cdot t \\ R &= \left(\sqrt{\gamma^2 + R_i^2}\right) \\ \theta &= \text{start_angle} + \left(\frac{\gamma}{R_i} \cdot \left(\frac{360}{2 \cdot \pi}\right)\right) - \left(\tan^{-1}\left(\frac{\gamma}{R_i}\right)\right)\end{aligned}$$

gde je: γ - promenljiva koja bazira na S_R , S_R - linija tangentne duži pri bilo kojoj tački X,Y na evolventnoj krivi, R_o - temeni prečnik, R_i - osnovni prečnik, θ - ugao od početka evolvente do bilo koje tačke na evolventi između R_o i R_i , start_angle (početni ugao) – ugao od horizontalne ose do početka evolvente. Na kraju je potrebno uneti odgovarajuće relacije kojima se omogućava parametrizacija oblika i dimenzija evolventnog profila a samim tim i pojedinačnih zuba. (slika 4).

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
rel.ppt - Notepad
File Edit Format View Help
/* For cylindrical coordinate system, enter parametric equation
/* in terms of t (which will vary from 0 to 1) for r, theta and z
/* For example: for a circle in x-y plane, centered at origin
/* and radius = 4, the parametric equations will be:
/*
/* r = 4
/* theta = t * 360
/* z = 0
-----
solve
gamma=t*(sqrt((major_dia/2)^2-(base_dia/2)^2))
for gamma
r=sqrt(gamma^2+(base_dia/2)^2)
theta=start_angle+gamma*(360/(2*pi*(base_dia/2)))-atan(gamma/(base_dia/2))
z=0

```



a).....b)

Slika 4. Unošenje relacija za evolventu i model kardanske vile sa nastavkom i prikazom evolventnog profila zuba ožljebljenog spoja

4. SIMULACIJA RADA ZGLOBNOG PRENOSNIKA

Projektovanje mehanizama, primenom modula programskog sistema Pro/Engineer-Mechanism Design, omogućava virtualnu simulaciju i analizu mehanizama. U nastavku su prikazani rezultati kinematske analize prenosnika sa elementima koji imaju zadatak manipulisanja radnog opsega mehanizma u zavisnosti od uglova β , β_1 i β_2 . Nakon kreiranja svih elemenata unose se komponente i zadaju veze mehanizma koje prenose obrtno kretanje. Na slici 5. su prikazani pogledi mehanizma zglobnog prenosnika za slučaj jednakih ugaonih brzina. Pre kinematske simulacije definiše se pogon mehanizma i odaberu se geometrijske i kinematske veličine koje će se pratiti u toku analize. Deo rezultata analiziranih veličina dobijenih pri simulaciji mehanizma prikazani su u Tabeli 1. Za $\omega_2 = \omega_1 = const.$

Analizirana veličina	Maksimalne vrednosti za rad mehanizma bez kolizije
Ugao prelamanja zgloba [°]	19,25
$\beta / \beta_1 / \beta_2$ [°]	1) 19,25/0/0 2) 0/19,25/0 3) 13,7/13,7/0
Teleskopiranje [mm]	57,45
Pozicija izlazne kardanske vile (visina/širina) [mm]	1) 338,74/0 2) 0/338,74 3) 243,4/243,4

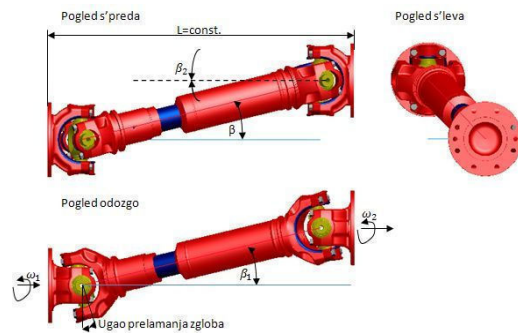
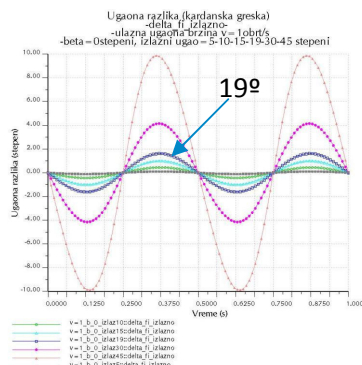


Tabela 1. Maksimalne vrednosti za rad zglobnog prenosnika bez kolizije (zadiranja) - konstrukciono ograničenje

Slika 5. Zglobni prenosnik sa prikazom uglova za manipulaciju

Slika 6. prikazuje analizu uticaja promene izlaznog ugla za 5°, 10°, 15°, 19°, 30° i 45° u odnosu na osu ulazne kardanske vile i ugaone razlike, tkz. kardanske greške $\Delta\varphi$. Sa slike se uočava da uglovi veći od 19° dovode do većih razlika koje rezultuju, neravnomernošću ugaonih brzina u radu, što utiče na primenljivost prenosnika.

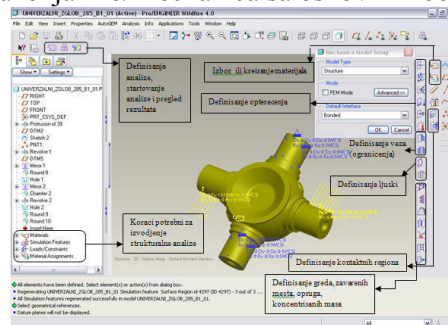


Slika 6. Ugaona razlika $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$

5. ANALIZA STATIČKOG PONAŠANJA KRSTASTOG ELEMENTA PRIMENOM PROGRAMSKOG SISTEMA PRO/MECHANICA

Mogućnost strukturalne analize primenom određenog modula programskih sistema Pro/Engineer može se smatrati jednim od važnijih karakteristika ovog programskog sistema. Da bi se uspešno izvršila analiza

statičkog ponašanja sklopa, neophodno je obaviti određene aktivnosti koji prethode fazi izračunavanja: a) diskretizacija, definisanje materijala modela i mreže konačnih elemenata; b) definisanje opterećenja; c) definisanje ograničenja i oslonaca. Početni korak analize predstavlja definisanje geometrijskih karakteristika kroz „uvoz“ modela formiranog u modulu za 3D modeliranje a zatim i izbor odgovarajućeg sistema mera. Na slici 7. je prikazano radno okruženje Pro/Mechanica sa osnovnim obeležijima.



Slika 7. Radno okruženje Pro/Mechanica

S'obzirom da se opterećenje prenosi preko rukavca krstastog elementa i igličastih ležaja, prethodno je izvršen proračun radi dobijanja kontaktne površine, kako bi se dobili precizniji rezultati statičke analize.

$$2e = 3,04 \sqrt{\frac{F \cdot \rho}{E \cdot I}} \text{ gde je :}$$

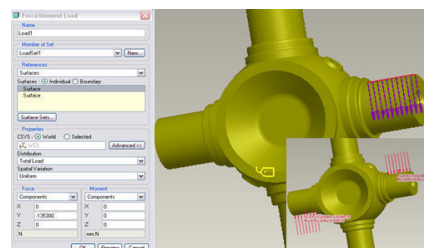
$$E = \frac{2E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2} - \text{ekvivalentni modul elastičnosti,}$$

$$\rho = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} - \text{ekvivalentni radijus krivine,}$$

$$\rho_1 = 4,5 \text{ mm} ; \rho_2 = 25,75 \text{ mm} ; E_1 = E_2 = 200000 \text{ N/mm}^2$$

$$2e = 3,04 \sqrt{\frac{135300 \cdot 8,88}{200000 \cdot 48}} = 0,706 \cong 0,7 \text{ mm}$$

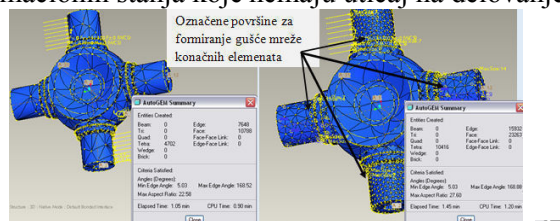
Prema proračunu se kreira površinski region, nakon čega se definišu opterećenja od $F=135300$ [N] upravno na kreirane kontakte, slika 8.



Slika 8. Definisane opterećenja na rukavcima krstastog elementa

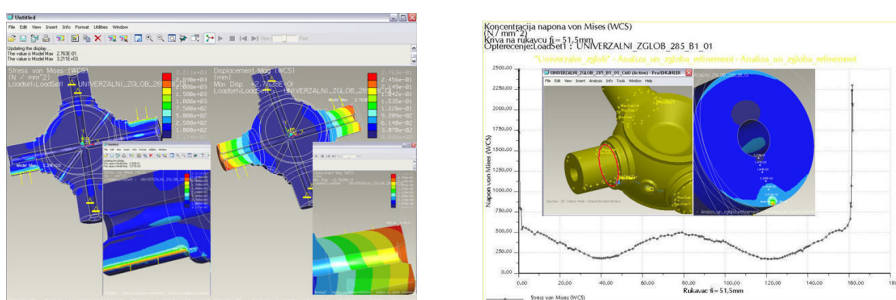
Na suprotna dva rukavca krstastog elementa kardanskog zgloba se uvode ograničenja, u ovom slučaju uklještenje. Nakon toga se definišu konačni elementi, njihov tip i veličina tj. gustina raspoređenosti po modelu za koju je potrebna adekvatna analiza radi što optimalnijeg odnosa broja konačnih elemenata, vremena rešavanja sistema numeričkih jednačina i preciznosti zahtevanih rezultata analize. Broj i veličina konačnih elemenata se mogu definisati i ručno ukoliko se automatskim postupkom ne dobija zadovoljavajući broj elemenata za dovoljno preciznu simulaciju naponskog i deformacionog ponašanja modela (slika 9.).

Diskretizacija konačnim elementima se može izvršiti na površinama, određenim zapreminama i linijama (krivama), gde se može takođe kontrolisati veličina konačnog elementa (preko broja čvorova, minimalne dužine na ivici, dužine ivice konačnog elementa preko krive i maksimalne veličine konačnog elementa). Takođe postoji mogućnost da se izdvoje tačke, linije, krive, površine, zapremine i komponente iz izračunavanja naponskih i deformacionih stanja koje nemaju uticaj na delovanje modela ili ga remete.



Slika 9. Formiranje konačnih elemenata

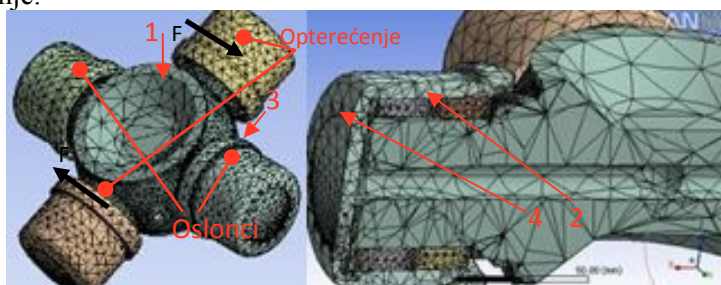
Pri izboru tipa analize izabrana je statička analiza pri čemu su u radu prikazani rezultati obuhvatili tri metoda proračuna (solvera): Quick Check, gde je maksimalni napon Von Mises iznosi $\sigma_{\text{VM,max}}=3799,39\text{N/mm}^2$ i maksimalna deformacija $\delta_{\text{VM,max}}=0,271\text{mm}$, Single-Pass Adaptive gde je $\sigma_{\text{VM,max}}=3738,06\text{N/mm}^2$ i $\delta_{\text{VM,max}}=0,2708\text{mm}$ i Multi- Pass adaptive metoda, $\sigma_{\text{VM,max}}=3210,7\text{N/mm}^2$ i $\delta_{\text{VM,max}}=0,276\text{mm}$. Poslednja metoda je najzahtevnija i najpreciznija i metoda koja se uzima kao konačna za analizu rezultata. Quick Check metoda se uzima radi brze provere i ispravnosti definisanog sistema za dati model i kao preventivna metoda, dok sa Single-Pass Adaptive metodom se dobijaju traženi rezultati u dovoljno preciznom obliku. Pro/Mechanica pruža korisnicima širok opseg mogućnosti za pregled i detaljnu analizu dobijenih rezultata. Rezultati analize prikazani u vidu preseka i grafika koncentracije napona na prelazu sa rukavca na radijus da bi se uočile kritične tačke i mesta na kojima se mogu pojaviti prva habanja, oštećenja, zamor materijala i sl. su predstavljeni na slici 10.



Slika 10. Vizuelna analiza kritičnih preseka i prikaz grafika sa koncentracijom napona na prelazu sa rukavca na radijus

6. ANALIZA STATIČKOG PONAŠANJA SKLOPA KRSTASTOG ELEMENTA PRIMENOM PROGRAMSKOG SISTEMA ANSYS

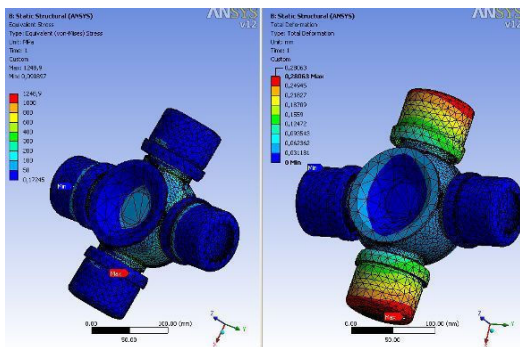
Programski sistem koji je u okviru istraživanja korišćen za analizu sklopa krstastog elementa univerzalnog zgloba je programski sistem Ansys. Analizirani sklop (slika 11.) se sastoji iz krstastog elementa (1), igličastog ležaja (2), kućišta igličastog ležaja (3) i podloške (4) dok uticaji ostalih elemenata nije uziman u razmatranje.



Slika 11. Diskretizovanje sklopa krstastog elementa univerzalnog zgloba

Materijal svih elemenata sklopa je čelik. Pri diskretizaciji je korišćen zapreminski konačni element SOLID 92 (izoparametarski tetraedar) pri čemu se navedeni sklop sastoji od 224722 konačnih elemenata i 401809 čvora. Definisane optimalne mreže konačnih elemenata je jedan od važnih faktora za pravilnu analizu. Uticaj ovog faktora je dat u tabeli 2. Sklop se sastoji iz 680 kontaktnih parova. Postavljeni su fiksni oslonci na površinama kućišta igličastih ležaja. Opterećenja koja su postavljena pri analizi su radijalne sile raspoređene na površinama intenziteta $F=135300$ [N].

Na slici 12. dat je grafički prikaz rezultata statičke analize sklopa krstastog elementa. Prikazano je poređenje rezultata statičke analize pri promeni mreže konačnih elemenata (Tabela 2). Iz tabele 2. uočljivo je da postoji razlika između rezultata koji uzimaju u obzir dodatnu promenu i usitnjavanje mreže konačnih elemenata na određenim delovima modela. Uočava se da se kod finije mreže KE dobijaju veće vrednosti ali i tačniji rezultati. Ovo uslovljava potrebu da se model segmentiše na optimalan broj konačnih elemenata koji daje dovoljno precizne rezultate uz što kraće vreme za njegovo numeričko rešavanje.



Slika 12. Naponsko i deformaciono stanje sklopa krstastog elementa

	Varijanta	Parametar promjenu	Br. čvorova kom. elem.	Br. konačnih elemenata	Velik. napona σ_{max} (MPa)	Velik. deformacije δ_{max} (mm)
UNIVERZALNI ZGLOB	I	Bez promjene	16621	9309	941,61	0,24972
	II	Mreža kon. el.	60813	30942	1248,9	0,25163
IGLIČASTI LEŽAJ	I	Bez promjene	741(1k)	130(1k)	597,81	0,26139
	II	Mreža kon. el.	1350(1k)	757(1k)	471,71	0,25675
KUCIŠTE LEŽAJA	I	Bez promjene	26266(1k)	15579(1k)	233,27	0,26878
	II	Mreža kon. el.	25840(1k)	15312(1k)	233,89	0,28063
PODLOŠKA 285 B1 02	I	Bez promjene	1439(1k)	714(1k)	293,2	0,27126
	II	Mreža kon. el.	2709(1k)	1339(1k)	620,82	0,26668
SKLOP UNIVERZALNOG ZGLOBA	I	Bez promjene	251929	96321	941,61	0,27126
	II	Mreža kon. el.	401809	224722	1248,9	0,28063

Tabela 2. Uticaj mreže konačnih elemenata

7. ZAKLJUČCI

U radu je prikazan savremen prilaz u projektovanju proizvoda primenom programskih sistema i njihov doprinos brzom, kvalitetnom i ekonomski opravdanom razvoju. Prikazana je tehnika za unapređenje i automatizacija procesa modeliranja primenom parametarskih promenljivih. Pri definisanju sklopa korišćen je „Bottom-up“ pristup modeliranja od prethodno modeliranih komponenata. Primenom modula za projektovanje i analizu mehanizama (Pro/Mechanism) definisane su eksploatacione mogućnosti zglobnog prenosioca. Analizirano je statičko ponašanje krstastog elementa primenom programskog sistema Pro/Mechanica, dok je analiza statičkog ponašanje njegovog sklopa urađena programskim sistemom Ansys. Prikazani su rezultati i uticaj gustine mreže konačnih elemenata na rezultate proračuna. Osnovne prednosti izloženih programskih sistema za projektovanje i razvoj proizvoda predstavljaju parametričnost, asocijativnost kao i mogućnost analize kompleksnih sklopova sa velikim brojem elemenata složenog geometrijskog oblika.

8. LITERATURA

- [1]. Devedžić, G., Stefanović, M.: ICT Kompetencije u distribuiranim proizvodnim sistemima, Asocijacija za kvalitet i standardizaciju Srbije- Festival kvaliteta 2006, Kragujevac, 2006.
- [2]. Filipović, M.: Motori i motorna vozila, Mašinski fakultet, Tuzla, 2006.
- [3]. H. Chr. Seher–Thoss, Schmelz, F., Aucktor, E.: Universal Joints and Driveshafts, translated by J. A. Tipper and S. J. Hill, Printed in Germany, Berlin, 2006.
- [4]. Marselek, D: Creating Gears and Splines in WF2.0, <http://www.profilesmagazine.com/p33/index.html>, Pro/Files Magazine, 2005.
- [5]. Petrović, B.: Razvoj proizvoda, FTN – Institut za industrijske sisteme, IIS – Istraživački i tehnološki centar, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1997.
- [6]. SAS IP, Inc.: Ansys Relise 10.0 - 1st Edition, Canonsburg, 2005.
- [7]. Zeljković, M.: Računarom integrisana proizvodnja – CIM, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, autorizovana predavanja, šk. godina 2006/07.

Napomena: U radu je prikazan deo rezultata istraživanja na projektu "Istraživanje i razvoj kotrljanih ležajnih sklopova i njihovih komponenti" TR 14048, koji je finansiralo Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

JOINT TRANSMISSION DESIGN USING MODERN PROGRAMMING SYSTEMS

Abstract - This paper presents a modern approach to designing products using the software system Pro/Engineer and Ansys. Described the basic characteristics of joint (cardan) transmissions. The application modules for modeling components provided an overview of techniques for creating involute tooth profile. The paper gives an overview of modeled joint transmission assembly and described way and the results of kinematic analysis of joint (cardan) transmission using module Pro / Mechanism. Analyzed and described the static behavior of the universal joint assembly using the ANSYS program system and some parts with Pro/Mechanica.

Key words: Joint (cardan) transmissions, Static Behavior, Pro/Engineer, Pro/Mechanism, Pro/Mechanica, Ansys,



Nikola Petrašinović, Danilo Petrašinović, Zorana Posteljnik, Jelena Svorcan ¹

PRIMENA NAPREDNIH SOFTVERSKIH ALATA ZA RAZVOJ MLINSKOG KOLA OD KONCEPTA DO GOTOVOG PROIZVODA

Rezime

Mlevenje je tehnološka operacija u kojoj se vrši usitnjavanje sirovina do željene veličine. Mlinsko kolo opisano u radu funkcioniše na principu mlinskog kamena. U prvoj fazi projekta primenjen je naj napredniji CAD softver za modeliranje osnovnih delova mlinskog kola. Poseban akcenat je stavljen na modeliranje pritisne ploče koja se koristi u proizvodnji mlinskog kamena. U radu je prikazana metodologija razvoja proizvoda od koncepta do realizacije koja je rezultirala značajnim povećanjem kapaciteta i kvaliteta mlevenja, kao i produženjem radnog veka u odnosu na postojeće rešenje.

1. UVOD

U prehrambenoj industriji koriste se mlinovi različitih konstrukcija, kao što su mlinski valjci, mlinski kamen, čekićari, koloidni, igličasti mlinovi i drobilice [1]. Analizom postojećih mlinskih kola koja se koriste u industriji za mlevenje pečenog kikirikija, zaključeno je da je potrebno razviti mlinsko kolo koje povećava kapacitet i kvalitet mlevenja uz produženje radnog veka celokupnog mašinskog sklopa. To se može postići adekvatnim izborom materijala koji neizbežno podrazumeva kompromis između faktora kao što su snaga, elastičnost, tvrdoća, žilavost, habanje, otpornost na koroziju, otpornost na zamor i jednostavnost izrade, kao i dostupnost i cenu. Mlinsko kolo sa mlinskim kamenom ima sličnu konstrukciju kolu sa metalnim noževima, gde su noževi zamenjeni tvrdim kamenom [2] i koristi se za mlevenje mekših materijala, kao što je u ovom slučaju kikiriki. Ovakva kola se još nazivaju i frikciona mlinska kola i imaju široku primenu u prehrambenoj industriji kako za suvo mlevenje, tako i za mlevenje vlažnih sirovina [4]. Mlinsko kolo opisano u radu se sastoji od aluminijumskog kućišta unutar koga se saosno nalaze dva diska (kamena) od kojih se jedan okreće na određenom rastojanju u odnosu na drugog. Promenom rastojanja između kamenova se reguliše veličina mlevenih čestica [3]. Na dodirnoj površini kamena nalaze se žlebovi čiji oblik, broj i dubina određuju kvalitet mlevenja, kao i potrebnu ulaznu snagu. Na kvalitet proizvoda mlevenja utiče i meljivost [5], koja predstavlja sposobnost mlevenja i zavisi od sastava, tvrdoće i vlažnosti materijala. Sa takvim svojstvima, meljivost se mora uzeti u obzir u fazi projektovanja mlinskog kamena.

¹ Nikola Petrašinović dipl. inž., Mašinski fakultet Beograd, tel. 3302-345, e-mail: npetrasinovic@mas.bg.ac.rs
mr Danilo Petrašinović dipl. inž., Mašinski fakultet Beograd, tel. 3302-345, e-mail: dpetrasinovic@mas.bg.ac.rs
Zorana Posteljnik dipl. inž., Mašinski fakultet Beograd, tel. 3302-345, e-mail: zposteljnik@mas.bg.ac.rs
Jelena Svorcan dipl. inž., Mašinski fakultet Beograd, tel. 3302-345, e-mail: jsvorcan@mas.bg.ac.rs

2. MLINSKI KAMEN

Postoje različita rešenja mlinskih kamenova, koja su izrađena od različitih materijala. Ugled za razvoj novog mlinskog kola jeste postojeće rešenje čiji su elementi za mlevenje izrađeni od prirodnog vodeničarskog kamena. Na slici 1. prikazan je prirodni mlinski kamen. Karakteristike takvog kamena jesu žlebovi male dubine, loša otpornost na vlagu, visok stepen trošenja, niska tvrdoća kao i krupna struktura samog materijala. Zbog pomenutih loših karakteristika, u novom kolu razvijen je kamen od silicijum-karbida sa magnezitnim vezivom. Silicijum-karbid (SiC) dobija se zagrevanjem kvarcnog peska pomešanog sa koksom u elektro peći na 2000⁰C. U čistom stanju to su bezbojni kristali po tvrdoći gotovo jednaki dijamantu. Tehnički SiC je tamne boje zbog neizbežnih primesa. U mašinskoj industriji se od silicijum-karbida, zbog njegove velike tvrdoće, proizvode tocila i brusevi. Zbog ovakvih karakteristika materijala mlinski kamen ima visoku otpornost na habanje, vlagu, kao i primenu u širokom temperaturnom opsegu. Na slici 2. prikazan je mlinski kamen na kome se vide duboki žlebovi sa oštrim ivicama. Kako se kod mlinskog kola sila smicanja koristi za smanjivanje veličine zrna [4], ovakav oblik žlebova se pokazao kao najefikasniji, što zbog kvaliteta mliva, tako i zbog izlazne temperature i finoće. Sa dubinom žlebova se povećava i kapacitet mlevenog kikirikija. Treba napomenuti da ovakvi mlinovi spadaju u kategoriju mlinova koji se koriste u prehrambenoj industriji za srednje i srednje sitno mlevenje sirovina.



Slika 1. Prirodni mlinski kamen

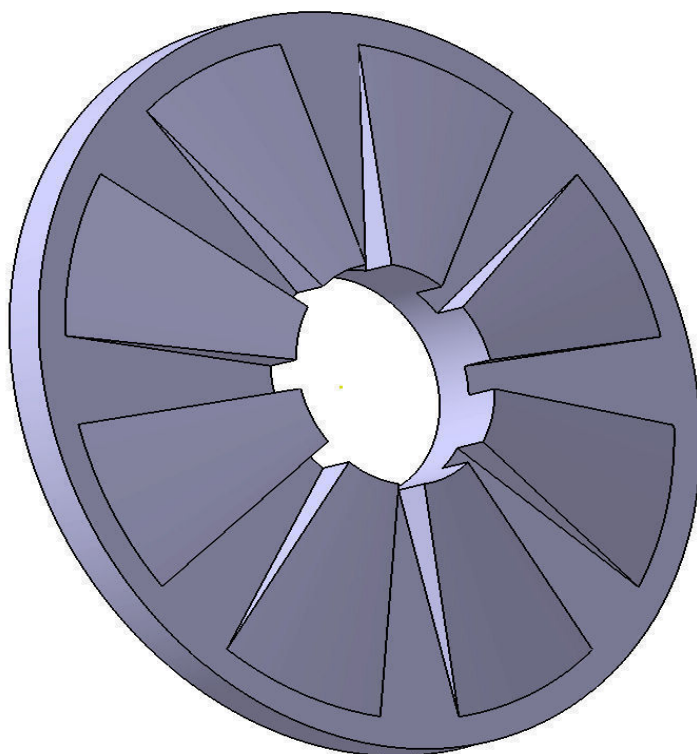


Slika 2. SiC mlinski kamen

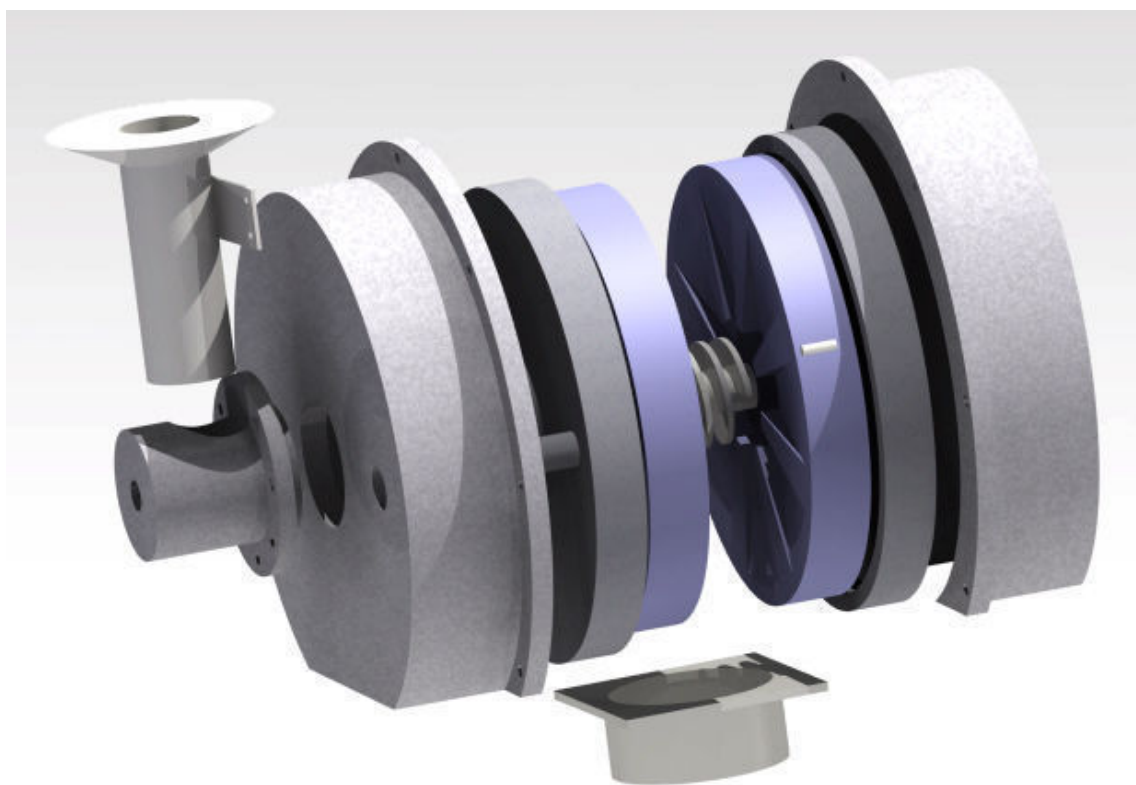
3. MODELIRANJE OSNOVNIH ELEMENATA MLINSKOG KOLA

Primena CAD softvera značajno olakšava razvoj novih i rekonstrukciju postojećih proizvoda. U ranim fazama projektovanja moguće je uočiti i ukloniti različite probleme na modelu, vizuelno analizirati model, kao i napraviti radioničke crteže. U radu je korišćen programski paket CATIA v5. Korišćeni su moduli za modeliranje delova i sklopova. Na slici 4. prikazani su modelirani elementi mlinskog kola. Poseban akcenat je stavljen na modeliranje pritisne ploče koja se koristi u proizvodnji mlinskog kamena. Projektovanje pritisne ploče je veoma bitno, jer njene karakteristike direktno utiču na kvalitet mlinskog kola. Ta svojstva su broj, oblik, dubina i širina žlebova.

Pritisna ploča predstavlja otisak koji se utiskuje u matricu od silicijum-karbida. U matrici se nalazi magnezitno vezivo, koje posle 15 dana pečenja na 2200⁰C homogenizuje masu. Pritisna ploča je izrađena od čelika i obrađena na glodalici. Na slici 3. prikazan je model pritisne ploče.



Slika 3.-CAD model pritisne ploče



Slika 4.-Osnovni delovi mlinskog kola

4. OD KONCEPTA DO GOTOVOG PROIZVODA

Na osnovu radioničkih crteža, prethodno izmodeliranih elemenata kola, prelazi se na izradu. Materijali koji se koriste za izradu procesne opreme koja se koristi u prehrambenoj industriji moraju da zadovolje sledeće zahteve: mehaničku čvrstoću, lakoću izrade, lakoću reparacije, otpornost na koroziju, higijenska i poželjno dobra termička svojstva [5].

Kako se predmetno mlinsko kolo koristi u prehrambenoj industriji svi elementi su projektovani i izrađeni od materijala koji zadovoljavaju odgovarajuće standarde. Tako su elementi kućišta, nosači kamenova, nos kola i koturovi za štelovanje granulacije izrađeni od aluminijuma, dok su nasipni koš, levak, lula, spirala, postolje i čistači izrađeni od nerđajućeg čelika. Za izradu aluminijumskih delova se prave modeli, na osnovu kojih se procesom livenja, izlivaju polufabrikati. Oni se potom obrađuju na strugu i glodalici, prema zadatim dimenzijama. Nakon obrade, mlinski kamenovi se specijalnim dvokomponentnim lepkom lepe za nosače kamenova, slika 5. Nakon lepljenja, dodirna površina kamenova se obrađuje industrijskim dijamantom do idealne upravnosti u odnosu na nosač. Kada su svi elementi pripremljeni, povezuju se sa elektromotorom. Na slici 6. prikazano je izrađeno mlinsko kolo sa usipnim košem za kikiriki.



Slika 5.-Mlinski kamen sa nosačem



Slika 6.- Mlin

OSNOVNE KARAKTERISTIKE MLINA		
prečnik kamena	500	mm
snaga	11	kW
kapacitet	400	kg/h
granulacija	0.2-5	mm

Kapacitet i granulacija mlevenja su u direktnoj sprezi. Smanjenjem zazora između kamenova smanjuje se granulacija mliva a samim tim i protok mlevenog kikirikija. Samim smanjenjem zazora povećava se i temperatura koja je direktni proizvod trenja između kamenova. Kako se ovakva kola koriste za srednje i srednje fino mlevenje granulacija ne bi trebala da bude ispod 0.2 mm, tabela 1.

Tabela 1.

5. ZAKLJUČAK

Razvoj novog mlinskog kola doneo je mnoga poboljšanja u procesu mlevenja. Za isti prečnik i gabarite mlinskog kola kapacitet, na koji utiču dubina i broj žlebova mlinskog kamena, je povećan za 60% u odnosu na mlinsko kolo sa prirodnim mlinskim kamenom koje ima malu dubinu žlebova. Kvalitet mliva je znatno poboljšan, samom činjenicom da se ovakvim mlinskim kamenom temperatura pri mlevenju znatno smanjila. Kako je aluminijumsko kućište ojačano u odnosu na postojeće, garantuje duži radni vek. Dinamičkim uravnoteženjem kamenova osiguran je duži radni vek ležaja pogonskog elektromotora.

LITERATURA:

1. George D. Saravacos, Zacharias B. Maroulis, Food Process Engineering Operations, ISBN 978-1-4200-8353-8, Taylor & Francis group, LLC, 2011
2. D.G.Rao, Fundamentals of food engineering, ISBN 978-81-203-3871-5, Asoke K. Ghosh, New Delhi
3. S. Suzanne Nielsen, Food Analysis third edition, ISBN 0-306-47495-6, Kluwer Academic/Plenum Publisher, New York, 2003
4. Gustavo V. Barbosa-Canavas, Enrique Ortega-Rivas, Pablo Juliano, Hong Yan, Food Powders- Physical Properties, Processing, and Functionality, ISBN 0-306-47806-4, Kluwer Academic/Plenum Publisher, New York, 2005
5. George D. Saravacos, Athanasios E. Kostaropoulos, Handbook of food processing equipment, ISBN 0-306-47276-7, Kluwer Academic/Plenum Publisher, New York, 2002

APPLICATION OF ADVANCED SOFTWARE DEVELOPMENT TOOLS FOR MILL-WHEEL -FROM CONCEPT TO FINISHED PRODUCT

Abstract

Grinding is a technological operation in which raw materials are ground to preferred size. Mill-wheel described in this paper works on the principle of a millstone. In the first phase of the project advanced CAD software was used to model the main parts of the mill-wheel. Special emphasis is placed on modeling pressed board used in the production of a millstone. This paper presents a methodology for product development from concept to finished product that resulted in a significant increase in capacity and quality of milling, as well as life extension compared to existing solution.

M. Perović¹, D. Veljić²**KARAKTERIZACIJA ZAVARENOG SPOJA RAZLIČITIH LEGURA ALUMINIJUMA
FORMIRANOG POSTUPCIMA TOPLJENJEM I PLASTIČNOM DEFORMACIJOM**

Rezime: U radu se analiziraju makro i mikrostrukturalna obilježja i mehaničke karakteristike spoja legure aluminijuma za livenje EN AC 4032 (AlSi12) i legure aluminijuma za gnječenje EN AW 6061 (AlMg1SiCu) zavarenih MIG postupkom pulsirajućim lukom i trenjem miješanjem u čvrstoj fazi. Cilj istraživanja je da ukaže na prednosti zavarivanja plastičnom deformacijom u odnosu na procese konstituisanja zavarenog spoja topljenjem osnovnog i dodatnog materijala. Ovo je posebno značajno što dalje proširenje područja primjene ovih legura prvenstveno zavisi od njihovih sposobnosti da ostvare spojeve bez poroznosti i toplih prslina svojstvenih konvencionalnim metodama spajanja električnim lukom. To je razlog zbog kojeg je implementacija inovativnog postupka FSW u inženjersku praksu označila novo razdoblje u razvoju zavarenih konstrukcija.

1. UVOD

Povećanje nosivosti i proširenje kapaciteta korisnog tereta kod svih vrsta transportnih sredstava, kroz smanjenje njihove mase i uštedu energenata, rezultiralo je osvajanjem proizvodnje legura aluminijuma dovoljno visoke čvrstoće, zahtijevane korozione postojanosti i prihvatljive otpornosti na zamor i naponsku koroziju. Iz familije takvih legura aluminijuma su i legure klase Al-Mg-Si-Cu i Al-Si. Iako različitog hemijskog sastava, tehnoloških sposobnosti i postupaka proizvodnje, česti su primjeri njihove zajedničke upotrebe u izgradnji nosivih struktura građevinskih objekata i vozila različitih namjena.

Dvokomponentne legure AlSi pripadaju grupi livačkih legura, osrednjih mehaničkih osobina u nemodifikovanom stanju i sa odličnim svojstvima livkosti radnih komada složene geometrije. Aluminijske legure faznog sastava Al-Mg-Si-Cu su iz klase hladnootvrdnjavajućih legura sa izraženom plastičnošću i deformabilnom sposobnošću na povišenim temperaturama.

2. EKSPERIMENTALNA PROBA**2.1 Karakteristike osnovnog materijala**

Legura aluminijuma dvokomponentnog faznog sastava Al-Si ima veoma mali porast čvrstoće bez obzira na primijenjeni mehanizam termičkog taloženja. Ona prema strukturi predstavlja nadeutektoidnu leguru koja se sastoji od igličastog grubog eutekiuma (Al +Si) i kristala čistog silicijuma. Međutim, dodatkom malih količina natrijuma dolazi do njenog modifikovanja, promjene strukture i osobina. Ona postaje podeutektička i čine je zrna aluminijuma i sitnozrnastog eutekiuma. U ovakvom stanju podesna je da sa malim dodacima Cu, Mg i Mn, kao što je ovdje slučaj, značajno poveća mehaničke osobine [1]. Hemijski sastav legure AlSi12 prikazan je u tabeli 1, njene mehaničke osobine u tabeli 2, a prikaz mikrostrukture na slici 1.

Tabela 1. Analiza hemijskog sastava uzorka legure EN AC 4032 (AlSi12), mas %

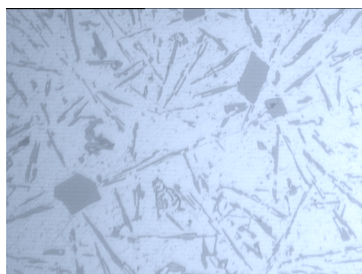
Legura	Elementi								
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
EN AC 4032-AlSi12	10.9	0.34	0.36	0.45	0.28	0.09	0.01	0.1	ost.

¹ Milenko Perović, Privredna komora Crne Gore, Podgorica, +382 20 20 30 30, E-mail: mperovic@pkcg.org² Darko Veljić, IHIS – Tehnološki park, Zemun, +381 11 34 3 7069, E-mail: veljic.darko@gmail.com

Tabela 2. Statičke karakteristike uzorka legure EN AC 4032 (AlSi12)

Legura	Mehaničke osobine		
	Napon tečenja $R_{p0,2}$, MPa	Zatezna čvrstoća R_m , MPa	Izduženje A, %
EN AC 4032- AlSi12	128	262	8.7

Uzorci za metalografsku analizu makro i mikro strukture pripremljeni su na standardima propisani način.



x300

Slika 1. Izgled mikrostrukture legure EN AC 4032 (AlSi12)

Četvorna legura faznog sastava Al-Mg-Si-Cu, posle homogenizovanog žarenja, kaljenja i starenja pri sobnoj temperaturi, posle nekoliko dana dostiže najveću jačinu. One pokazuju povećanu sklonost prema obrazovanju prslina i padu mehaničkih osobina u ZUT tokom zavarivanja. To je posledica prisustva lakotopljivog trojnog eutektikuma, kao i eutektikuma AlMg₂Si i Al Si koji šire interval čvrsto-tečnog stanja [2].

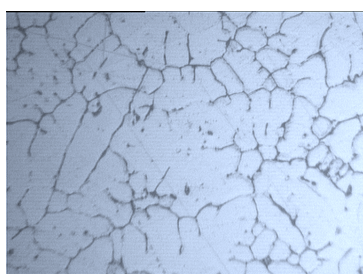
Hemijski sastav uzoraka legure EN AW 6061 (AlMg1SiCu) prikazan je na tabeli 3, mehaničke karakteristike u tabeli 4, a mikrostruktura na slici 2.

Tabela 3. Analiza hemijskog sastava uzorka legure EN AW 6061 (AlMg1SiCu), mas %

Legura	Elementi								
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
EN AW 6061	0.64	0.31	0.27	0.06	0.84	0.21	0.09	0.01	ost.

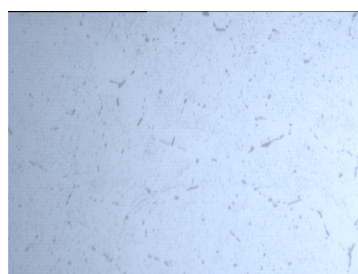
Tabela 4. Mehaničke karkteristike legura EN AW 6061 (AlMg1SiCu) u stanju T6

Legura	Mehaničke osobine		
	Napon tečenja $R_{p0,2}$, MPa	Zatezna čvrstoća R_m , MPa	Izduženje A, %
EN AW 6061-T6	274	305	13.8



x300

a)



x300

b)

Slika 2. Izgled mikrostrukture uzorka legure AlMg1SiCu, a) liveno b) homogenizovano

2.2. Priprema uzoraka za zavarivanje

Uzorci za zavarivanje legure EN AC 4032 (AlSi12) izrađeni su od priprema u obliku „malog“ ingota. Postupkom vodenog mlaza isječeni su uzorci dimenzija 185mm x 70mm x 6mm kako bi se spriječio uticaj toplote koja se oslobađa drugim postupcima rezanja na strukturu uzoraka. Jedan uzorak dimenzija 180mm x 65mm x 4mm obrađen je glodanjem bez pripreme grla žljeba za zavarivanje, dok je na drugom izvršeno skošenje duže ivice pod uglom od 30° C. Na isti način urađena je priprema uzoraka i od legure EN AW 6061-T6 koja je prethodno dobijena polukontinualnim livenjem klasičnim DC (*Direct chill*) postupkom u obliku trupca prečnika 280 mm. Nakon termičke homogenizacije trupci se sijeku na određene mjere (između 350 mm i 850 mm), a potom ekstrudiraju kroz profilisani alat na temperaturi od 480° C. Dobijeni profili se potom kale i vještački stare u pećima na temperaturi od 180° C u trajanju od 8 časova [3]. Obje legure su iz proizvodnog programa Kombinata aluminijuma Podgorica

2.3 Zavarivanje uzoraka

Uzorci se prilikom zavarivanja jednim i drugim postupkom postavljaju u posebno dizajniranu podložnu ploču od čelika visoke čvrstoće.

Njena uloga je da kod MIG postupka sa pulsirajućim lukom bude podloga za formiranje korjenog zavara a kod FSW da obezbijedi stabilnost procesa usled dejstva vertikalne sile i momenata otpora deformaciji.

Kao dodatni materijal kod MIG postupka sa pulsirajućim lukom korišćena je puna elektrodna žica prečnika 1,2 mm tip Al 4043 A (ISO 18273 – 01). Hemijski sastav žice dat je u tabeli 5, a njene mehaničke karakteristike u tabeli 6.

Tabela 5. Hemijski sastav dodatnog materijala za zavarivanje Al 4043 A, mas% [4]

Dodatni materijal	Elementi							
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al
Al 4043 A	4.7	0.3	0.01	0.01	0.004	0.002	0.01	ost.

Tabela 6. Mehaničke osobine dodatnog materijala Al 4043 A [4]

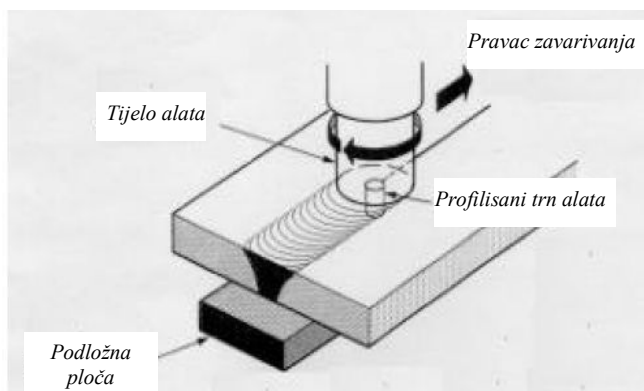
Dodatni materijal	Mehaničke osobine		
	Napon tečenja R _{p0,2} , MPa	Zatezna čvrstoća R _m , MPa	Izduženje A, %
Al 4043 A	100	160	15

Parametri procesa zavarivanja prikazani su u tabeli 7. Zavarivanje je izvedeno na uređaju Fronius TPS 2700.

Tabela 7. Parametri zavarivanja MIG postupkom sa pulsirajućim lukom

Parametri procesa								
Jačina struje, A	Napon luka, V	Brzina zavarivanja, mm/min	Zaštitini gas	Protok gasa, l/min	Vrsta struje	Broj prolaza	Tip spoja	Položaj zavarivanja
110	18	150	Ar99,998	12	DC+	3	BW	PA

Shematski prikaz postupka zavarivanja trenjem miješanjem prikazan je na slici 3, a parametri zavarivanja u tabeli 8. U pitanju je postupak koji se u svim ciklusima odvija na temperaturi koji je oko 0,8 T_{top} osnovnog materijala, odnosno u čvrstoj fazi. Kao mašina za zavarivanje može se koristiti univerzalna vertikalna glodalica ULG 200. Alat je prikazan na slici 4.



Slika 3. Shema zavarivanja trenjem miješanjem (FSW)



Slika 4. Alat za zavarivanje

Tabela 8. Parametri zavarivanja trenjem miješanjem

Parametri procesa								
Prečnik tijela alata, mm	Prečnik podnožja trna alata, mm	Prečnik vrha trna alata, mm	Ugao nagiba alata, °	Ugao konusa alata, °	Dubina penetracije alata, mm	Brzina zavarivanja, mm/min	Broj obrtaja alata, min ⁻¹	Radijusi alata r, mm
21	4	7.6	3	10	0.2	125	1250	1

Izgled zavarenih spojeva legura aluminijuma EN AC 4032 (AlSi12) i EN AW 6061 (AlMg1SiCu) –T6 prikazani su na slici 5.



Slika 5. Prikaz zavarenih uzoraka

- a) MIG postupkom pulsirajućim lukom odmah nakon zavarivanja
 b) zavarivanje trenjem miješanjem nakon isijecanja početka i kraja uzorka

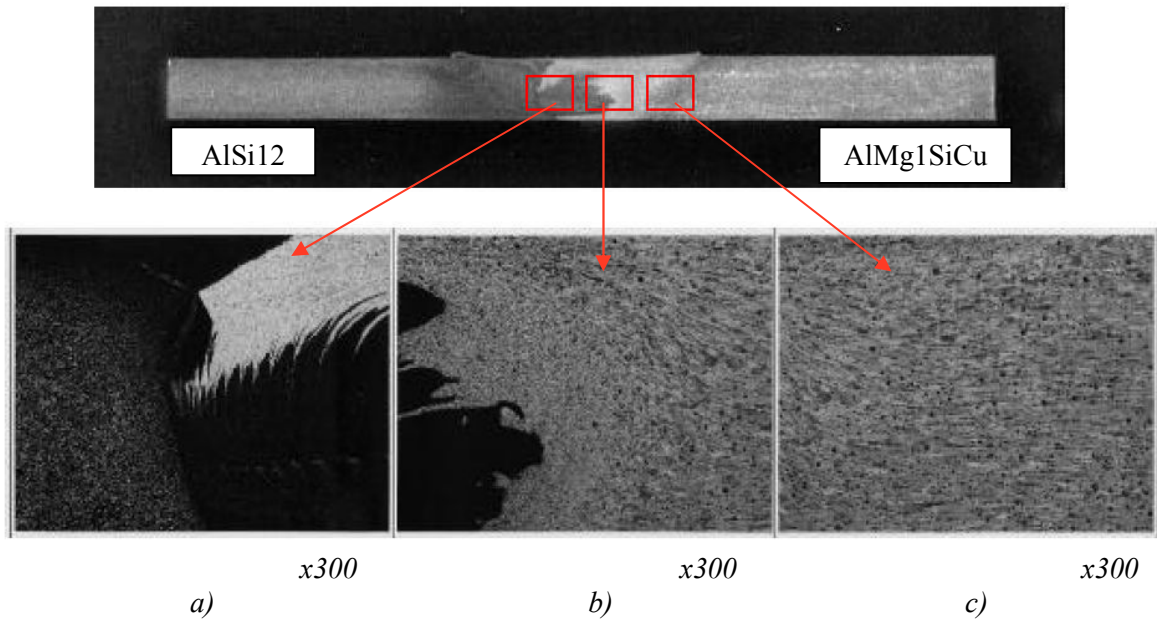
3. REZULTATI EKSPERIMENTA

Zavarene ploče podvrgnute su ispitivanjima makro i mikrostrukture, mjerenju tvrdoće u različitim strukturnim sadržajima šava i mehaničkim ispitivanjima. Makro i mikrostruktura poprečnog presjeka zavarenog spoja formiranog plastičnom deformacijom prikazana je na slici 6, a MIG postupkom sa pulsirajućim lukom na slici 7. Mehaničke karakteristike zavarenog spoja prikazane su u tabeli 9.

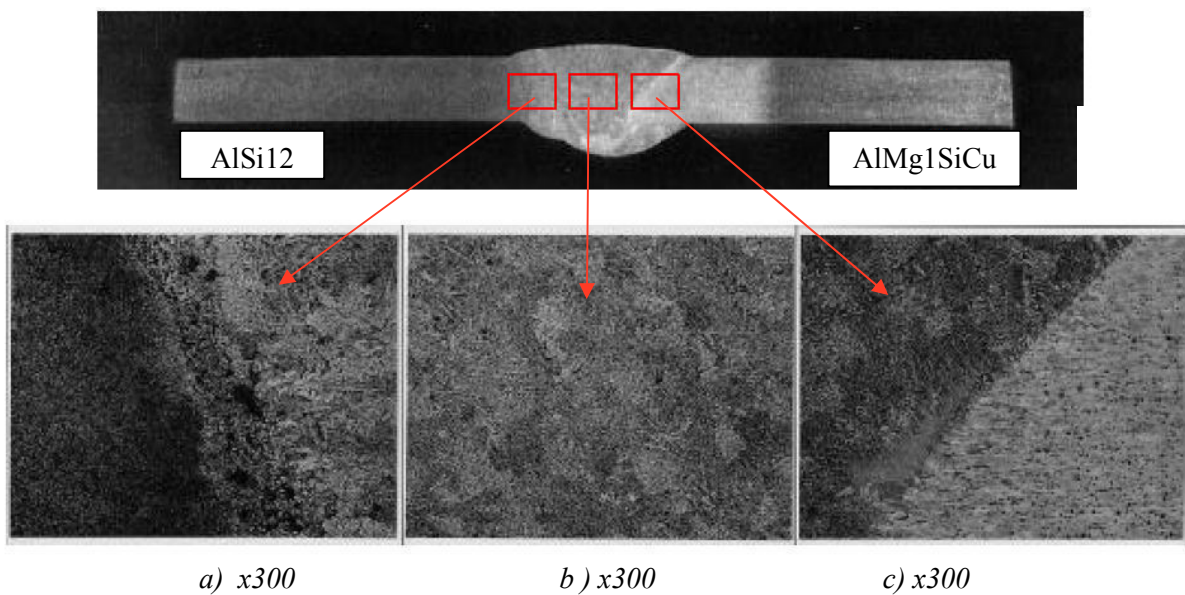
Tabela 9. Parametri probe zatezanjem zavarenog spoja legura EN AC 4032 i EN AW 6061- T6

Postupak zavarivanja	Napon tečenja $R_{p0,2}$, MPa	Zatezna čvrstoća R_m , MPa	Izduženje A , %
MIG-LC	111	166	1.7
FSW	134	252	6.9

Često se u istraživanjima analiziraju prelazne zone kao što je to slučaj i na primjerima prikazanim na slikama 6 i 7.

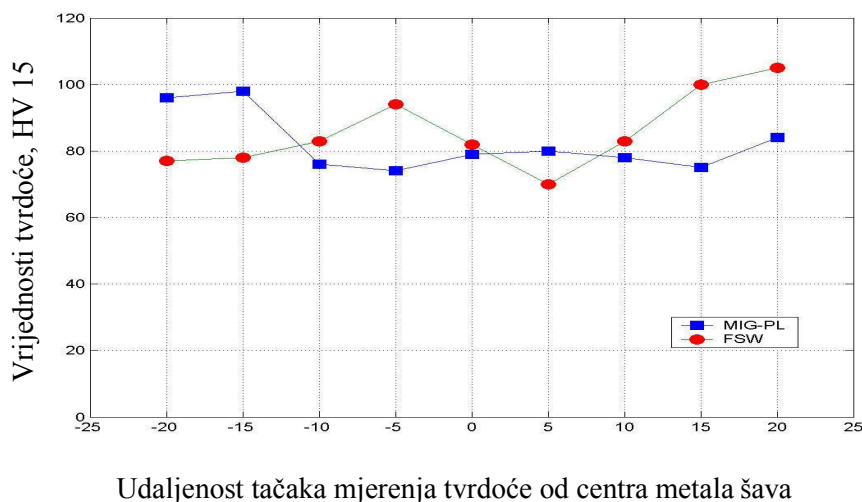


Slika 6. Makro i mikrostrukture zavarenog spoja formiranog trenjem miješanjem (a – zona uticaja toplote, b- prelazna oblast između zone uticaja toplote, zone termo mehaničkog uticaja i grumena i c – transfer zona između grumena i zone termomehaničkog uticaja).



Slika 7. Makro i mikrostrukture zavarenog spoja formiranog MIG postupkom sa pulsirajućim lukom (a- prelazni region između osnovnog materijala i zone uticaja toplote, b – zona metala zavara i c – linija spajanja između metala zavara i zone uticaja toplote).

Distribucija vrijednosti tvrdoće sačinjena je na osnovu mjerenja u različitim mjestima od centra zavarenog spoja. Na slici 8 prikazan je dijagram raspodjele tvrdoće po sredini poprečnog presjeka uzoraka.



Slika8. Dijagram raspodjele tvrdoće kod uzorka zavarenog MIG sa pulsirajućim lukom uzorka zavarenog i trenjem miješanjem pomoću alata

4. DISKUSIJA REZULTATA I ZAKLJUČAK

Eksperiment je pokazao da je zavarivanje legura aluminijuma trenjem miješanjem pouzdaniji način njihovog spajanja od postupaka topljenjem. Ovaj zaključak zasniva se na sledećim činjenicama:

- za razliku od postupaka topljenjem koji za posledicu imaju formiranje grubozrnaste strukture, zavarivanje trenjem miješanjem generiše sitnozrnu strukturu sa pravilno raspoređenim ekviosnim granulama,
- kod postupaka topljenjem osnovnog i dodatnog materijala neizbježno se javlja pad mehaničkih osobina u zoni uticaja toplote, a posebno na liniji stapanja sa osnovnim materijalom,
- mjesto loma eptuvete kod testa zatezanjem nalazi se u metalu zavara kod MIG postupka zavarivanja, a kod FSW u zoni uticaja toplote, što je posljedica drugačijeg načina formiranja i razvoja mikrostrukture
- zatezna čvrstoća zavarenog spoja epruveta spojenih MIG postupkom za 26% je manja od zatezne čvrstoće trenjem miješanjem zavarenog spoja koja je 83% zatezne čvrstoće osnovnog materijala.

Očigledno je da je budućnost zavarivanja aluminijuma i njegovih legura u zavarivanju trenjem miješanjem zbog veoma velikog broja prednosti koje ima u odnosu na sve do sada poznate komercijalne postupke zavarivanja.

LITERATURA

- [1] Welding Alcoa Aluminium, Aluminium Company of America, New York, 2008.
- [2] E. Hadžić, Mašinski materijali, Instiutu za metalurgiju, Zenica, 2005.
- [3] Elaborat: Proizvodnja legura za ekstruziju, KAT, Titograd, 1977.
- [4] Katalog: Dodatni materijali za zavarivanje, Linkoln Elektric, Novi Zeland, 2009.

CHARACTERISATION OF WELDED JOINT OF DIFFERENT ALUMINUM ALLOYS FORMED BY THE PROCESS OF MELTING AND PLASTIC DEFORMATIONS

Abstract: This paper deals with macro and micro-structural features and mechanic characteristics of welded joint of aluminum alloy for casting AlSi12 and aluminum alloy for crumpling AlMg1SiCu, welded by MIG process of pulsating arc and by friction stir welding in the solid phase. The aim of the research is to denote the advantages of the welding by the plastic deformations over the processes of welded joint constituting by melting of parent and additional material. This is especially important because the further broadening of application of these alloys depends on their abilities to accomplish joints without porosities and hot cracks that are attributive to the conventional methods of joining by the electrical arc. This is the reason that the implementation of innovative FSW process in engineering practice has marked a new era in the development of welded structures.



Dr Dragan Milčić¹, Miroslav Mijajlović¹, dr Boban Anđelković¹, Sava Đurić²

RAZVOJ MODULA ZA PRORAČUN ZAVARENIIH SPOJEVA

Rezime: Na Mašinskom fakultetu u Nišu razvijen je integrisani programski sistem za konstruisanje prenosnika snage – PTD. Programski sistem čine tri podsistema koji omogućavaju automatizaciju proračuna elemenata za prenos snage, za obrtno kretanje i mašinskih spojeva. U okviru podsistema za proračun mašinskih spojeva razvijen je modul ProVar, koji omogućava automatizaciju proračuna zavarenih spojeva i potrošnje dodatnih materijala. Razvoj ovog modula predviđa i automatizaciju izrade tehnoloških postupaka zavarivanja (WPS/STZ listi), vođenje evidencije o zavarivačkim kadrovima, vođenje evidencije o kvalifikaciji tehnologija zavarivanja, proračun troškova zavarivanja itd.

Ključne reči: tehnološki postupak, automatizacija, projektovanje, zavarivanje, zavareni spoj, osnovni materijal dodatni materijal, STZ, lista

1. UVOD

Tržište stalno postavlja sve složenije zahteve u pogledu produktivnosti, kvaliteta i brzine osvajanja novih proizvoda. Intenzivan tehnološki razvoj dovodi do porasta projektno - konstrukcijskih zadataka kao i do uslozljavanja sistema koji se razvijaju. Danas se u inženjerskoj praksi kao imperativ nameće primena računara u svim fazama procesa razvoja proizvoda. Osnovni pravci primene računara u procesu razvoja proizvoda vezani su za zadatke: reprezentovanja i modeliranja, procesiranja i upravljanja podacima i informacijama, dokumentovanja, analiza i zaključivanja, proračuna i simulacija, pretraživanja, optimizacije, dijagnostike, procesiranja i upravljanja znanjem, sinteze, tj. generisanja koncepcije proizvoda.

Efekti primene računara u razvoju proizvoda su: kraće vreme ciklusa dizajniranja i smanjenje vremena do pojave proizvoda na tržište, smanjenje ukupnih troškova, poboljšanje kvaliteta, povećanje kompleksnosti proizvoda, povećanje broja dizajniranih varijanti, dislocirano konstruisanje, proizvodnja i održavanje. Ovi efekti su mogući zahvaljujući: povećanju snage računara sa aspekta hardvera i komunikacija, povećanim sposobnostima softvera, povećanoj kompjuterskoj osposobljenosti dizajnera i inženjera, metodama koje omogućuju integrisanje CAx alata (Computer Aided X Tools), virtuelnom procesu razvoja proizvoda.

Kraće vreme ciklusa dizajniranja i smanjenje vremena do pojave proizvoda na tržištu je moguće zahvaljujući: automatskom dobijanju crteža iz virtuelnih modela, skraćanju vremena do dobijanja konačne tehničke dokumentacije, automatizaciji zadataka koji se ponavljaju, simulacijama, validaciji, automatizovanom kontrolisanju i validaciji projekata, integrisanom razvoju proizvoda, manjem broju zahteva za izmenama konstrukcije, skraćanju vremena za unošenje izmena u konstrukciji.

Smanjenje troškova je moguće zahvaljujući: smanjenju inženjerskih troškova, smanjenju troškova vezanih za izradu fizičkog prototipa i testiranje, smanjenju troškova proizvodnje proizvoda, smanjenju garancijskih troškova.

¹ Prof. dr Dragan Milčić, dipl.inž.maš., vanredni profesor, e-mail: milcic@masfak.ni.ac.rs, Miroslav Mijajlović, dipl.inž.maš., IWE, e-mail: mijajlom@masfak.ni.ac.rs, dr Boban Anđelković, docent, e-mail: bandjel@masfak.ni.ac.rs, Mašinski fakultet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14

² Sava Đurić, dipl.inž.maš., Institut IMK „14.oktobar“ u Kruševcu, Jasički put 2, telefon: 037/421-502, e-mail: svdjuric@gmail.com

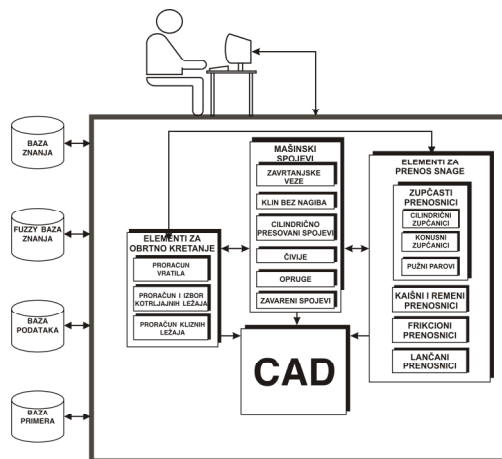
Iz svih ovih razloga, koji su napred navedeni, na Mašinskom fakultetu u Nišu se razvija programski sistem za konstruisanje prenosnika snage - PTD. Programski sistem za konstruisanje prenosnika snage PTD je vrlo složene i heterogene strukture. Sistem je razvijen na modularnom principu koji omogućava izvršavanje pojedinih aktivnosti i zadataka konstruktora uz pomoć računara. Ovaj programski sistem je deo inteligentnog integrisanog sistema za konstruisanje zupčastih prenosnika snage razvijenog na Mašinskom fakultetu u Nišu. Osnovni zadatak ovog sistema je da omogući integrisanu primenu različitih programskih modula i sistema razvijenih od strane autora i različitih firmi, a koji su namenjeni automatizaciji pojedinih aktivnosti u konstruisanju prenosnika snage. Zbog toga se softverska platforma razvijenog sistema, oslanja na maksimalnu primenu svih raspoloživih standarda u oblasti razmene podataka, komunikacija i računarstva. Integrisani programski sistem za konstruisanje prenosnika snage PTD, čija je arhitektura data na slici 1, čine tri celine:

1. programski moduli za proračun elemenata za prenos snage,
2. programski moduli za proračun elemenata za obrtno kretanje,
3. programski moduli za proračun mašinskih spojeva.

Prvom celinom programskog sistema PTD, koja se odnosi na proračun elemenata za prenos snage, obuhvaćeni su programski moduli za proračun cilindričnih, konusnih i pužnih zupčanika, frikcionih, lančanih, kaišnih i remenih prenosnika.

Drugom celinom obuhvaćeni su programski moduli za proračun vratila, kliznih i kotrljajnih ležajeva, a trećom celinom obuhvaćeni su programski moduli za proračun klinova, žlebnih veza, cilindričnih presovanih spojeva, zavrtnajskih veza, opruga, čivija i zavarenih spojeva.

Novi programski modul u okviru programskog sistema PTD je namenjen za proračun zavarenih spojeva.



Slika 1. Arhitektura programskog sistema PTD

2. ZAVARENI SPOJEVI

Zavareni spojevi spadaju u grupu nerastavljivih veza i upotrebljavaju se pre svega za spajanje nosećih mašinskih delova i konstrukcija. Zavarivanje je spajanje metalnih, ili nemetalnih delova, sa ili bez dodavanja nekog dodatnog materijala. Spoj nastaje topljenjem osnovnih i dodatih materijala, ili pritiskanjem omekšanih osnovnih materijala. Područje u kojem nastaje spoj naziva se zavar. Zavar i delovi koji se zavaruju predstavljaju zavareni spoj. Delovi koji se zavaruju su obično od istih ili srodnih materijala, koji imaju približno jednaku temperaturu topljenja, ali mogu biti i iz raznorodnih materijala. Primena zavarenih spojeva kod izrade mašinskih delova i metalnih konstrukcija stalno raste, jer postupci zavarivanja postaju sve bolji i danas je već moguće postići da mehanička svojstva zavarenih spojeva budu jednaka svojstvima osnovnog materijala, a ponekad čak i bolja. Pored čelika, pod posebnim uslovima, mogu se zavarivati bakar i bakarne legure, aluminijumove legure, plastične mase itd.

Prednosti zavarenih spojeva su: u poređenju sa ostalim spojevima, nosivost zavarenih spojeva može biti približno jednaka nosivosti osnovnog materijala; visoka nosivost se postiže pravilnim odabirom dodatnog materijala i parametra zavarivanja, kao i dobijanjem zavarenog spoja bez signifikantnih grešaka; u odnosu na livene, kovane i zakovane konstrukcije, zavarene konstrukcije imaju tanje zidove i do 30 % manju težinu; za manji broj proizvoda, zavareni spojevi su najekonomičniji.

Nedostaci zavarenih spojeva su: zavarivanjem se bez problema spajaju samo materijali koji imaju jednak ili približni kvalitet i sastav i koji su dobro zavarljivi; na mestu spajanja dolazi do lokalnog zagrevanja i neravnomernog rastezanja i skupljanja, što prilikom hlađenja uzrokuje zaostala naprezanja..

Zavareni spojevi se dele na: sučeone zavarene spojeve, slika 2a i 2b; ugaone zavarene spojeve, slika 2c i 2d; posebne zavarene spojeve, slika 2e i 2f.



Slika 2. Vrste zavarenih spojeva

Zavisno od debljine delova koji se zavaruju, postupka zavarivanja, načina zavarivanja, zahteva i mogućnosti, topljenjem se zavaruju: *bez žleba* (bez pripreme ivica) – sučeoni spojevi tankih limova i delova; *u prirodnom žlebu* s međusobnim naleganjem delova (bez posebne obrade ivica) – obični ugaoni zavareni spoj; *u posebno oblikovanom žlebu* (posebno obrađene ivice pre zavarivanja)- debeli delovi odnosno zavari s posebnim zahtevima za veća opterećenja.

3. SOFTVER ZA PRORAČUN ZAVARENIH SPOJEVA

Proračun zavarenih spojeva je zahtevan i kompleksan posao koji se može značajno ubrzati uz primenu odgovarajućih aplikativnih softvera. Svrha izrade jednog takvog programa, kao i sama prednost njegove upotrebe je da pojednostavi i ubrza aktivnosti kod projektovanja i izvođenja zavarenih sastava.

Na Mašinskom fakultetu u Nišu razvija se u okviru programskog sistema PTD programski modul za proračun zavarenih spojeva **ProVar**. U okviru ovog programskog modula, trenutno su dva programa, gde je prvi namenjen za proračun potrošnje dodatnog materijala pri zavarivanju E postupkom, dok drugi modul obuhvata proračun zavarenih spojeva, u zavisnosti od poznatih ulaznih podataka, sa aspekta određivanja: potrebne dužine zavara l , potrebne debljine zavara a , izračunavanje maksimalne dozvoljene sile F , ili stepena sigurnosti zavarenog spoja S .

3.1. MODUL ZA PRORAČUN POTROŠNJE DODATOG MATERIJALA PRI REL POSTUPKU ZAVARIVANJA

Osnova za proračun potrebne količine dodatog materijala jeste površina poprečnog preseka žleba i njegova dužina (Slika 3). Budući da šav ima zadebljanje na licu, to se vrednost teorijske mase dodatog materijala povećava za 10 % pa je:

$$M = 1,1 \cdot A \cdot l \cdot \rho \quad (1)$$

gde je:

A – površina preseka žleba u m^2 ,

l – dužina žleba u m,

ρ – gustina dodatog materijala u kg/m^3 .

U ovom programskom modulu softver nudi mogućnost izbora željenog oblika žleba iz baze standardnih žlebova: I, U, J, 2U, 2J, V, 1/2V, X, K, kao i specijalnih slučajeva cirkularnih-kružnih žlebova.

Pri E-zavarivanju elektrode se ne mogu potpuno iskoristiti, jer se 8%÷15% mase gubi sagorevanjem i rasprskivanjem, a 6%÷10% mase ostaje u držaču elektrode. Zbog toga se mora računati s tim da se iskoristi samo oko 75 % jezgra elektrode. Budući da ukupna masa deponovanog materijala u žlebu treba da odgovara masi svih utrošenih elektroda to sledi da je teorijski broj potrebnih elektroda: $n = \frac{M}{m}$, gde je m – masa jezgra jedne elektrode.

Zbog navedenih gubitaka elektrodne žice (jezgra), koji iznose oko 25 %, stvarni broj potrebnih elektroda je:

$$n = 1,25 \frac{M}{m} = 1,25 \frac{1,1 \cdot A \cdot l \cdot \rho}{\frac{d^2 \cdot \pi}{4} L \cdot \rho} = 1,75 \frac{A \cdot l}{d^2 \cdot L} \quad (2)$$

gde je:

A – površina preseka žleba,

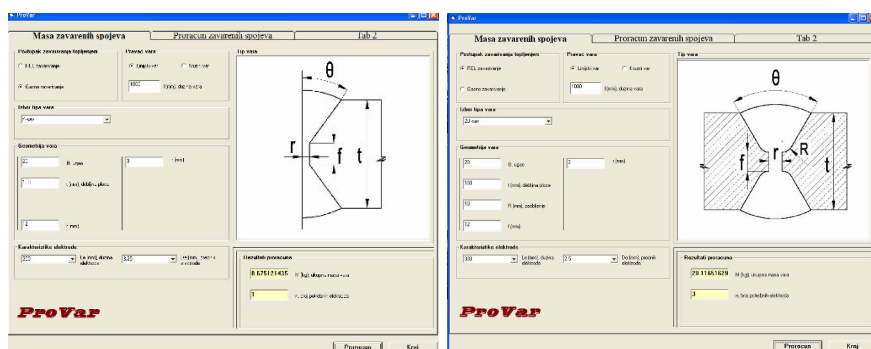
d – prečnik odabrane elektrode,

L – dužina elektrode,

l – dužina žleba.

Kod gasnog zavarivanja potrošnja dodatog materijala se računa slično, s tim što su ukupni gubici 15 %, pa je potreban broj žica:

$$n = 1,6 \frac{A \cdot l}{d^2 \cdot L} \quad (3)$$



Slika 3. Korisnički interfejs modula za proračun potrošnje dodatog materijala pri zavarivanju

Budući da šav nastaje difuzijom rastopljenog materijala elektrode i delova koji se zavaruju, materijal elektrode se bira na osnovu osnovnog materijala, tako da je materijal šava po sastavu blizak osnovnom materijalu, odnosno gustina $\rho \approx \rho_{om}$ gde je:

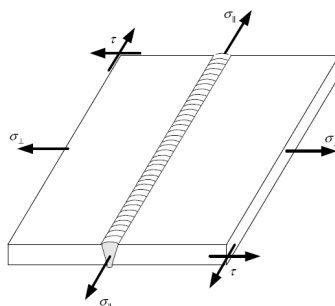
ρ_{om} – gustina osnovnog materijala

3.2. MODUL ZA PRORAČUN ZAVARENIH SPOJEVA

Radni naponi u zavarenim spojevima određuju se na osnovu obrazaca iz otpornosti materijala i predstavljaju nominalnu vrednost napona koji odgovara površini poprečnog preseka šava. Za nominalne odnosno radne napone zavarenih spojeva, karakteristično je da spoljne opterećenje prenose šavovi. Pri tome se upoređuju radna naprezanja s dopuštenim naprezanjima u zavaru. Proračun zavarenih spojeva u opštoj mašingradnji nije propisan standardom.

Proračun se sprovodi prema izrazima iz nauke o čvrstoći, pri tom poštujući sledeće pretpostavke: Lokalni vrhovi naprezanja koji proističu iz uobičajenih konstrukcijskih oblika ne uzimaju se u obzir; Zaostali naponi se ne uzimaju u obzir; Ekvivalentni napon σ_{ekv} određuje se prema hipotezi maksimalnog deformacijskog rada (HMH – Huber, Mises, Henkijeva teorija).

$$\sigma_{ekv} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \sigma_{\parallel}^2 - \sigma_{\perp}\sigma_{\parallel} + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq k\sigma_{doz} \quad (3)$$



Slika 4. Naponi u sučeonom zavarenom spoju

Eksperimenti su pokazali veliku složenost naponskog stanja kod ugaonih spojeva: U ugaonim spojevima vladaju višeosna naponska stanja; Naponi su neravnomerno raspodeljeni po preseku i po dužini zavara; U zavarima postoje vrlo visoki i različiti zaostali naponi; U raznim stupnjevima opterećenja vrši se pregrupisanje stanja naprezanja.

Novija istraživanja su pokazala da teorija HMH ne odgovara kod ugaonih spojeva iz razloga što postoje i drugi maksimalni normalni naponi i maksimalni tangencijalni naponi.

Ekvivalentni napon kod ugaonih spojeva se računa prema ISO preporukama:

$$\sigma_{ekv} = \sqrt{\sigma^2 + k\tau^2} \quad (4)$$

Odnosno

$$\sigma_{ekv} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \sigma_{\parallel}^2 - \sigma_{\perp}\sigma_{\parallel} + k(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \quad (5)$$

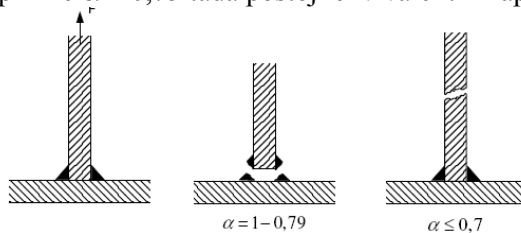
gde se uzima za $k=1,8$.

Neki eksperimenti su pokazali da napon σ_{\parallel} ne utiče na moć nošenja ugaonih spojeva te ostaje dilema da li uopšte ekvivalentni napon računati sa σ_{\parallel} ili ne.

Kod sučeonog zavara jačina zavara jednaka jačini osnovnog materijala, kod kutnih zavara postoji odnos:

$$\alpha = \frac{F_{mat}}{F_{zav}} \quad (6)$$

Slika 5 prikazuje iznos odnosa α za slučaj kada nastaje lom u zavaru, odnosno lom u osnovnom materijalu. Kad je ovaj odnos otprilike $\alpha \approx 0,75$ tada postoji ekvivalentni napon zavara i preseka štapa.



Slika 5.

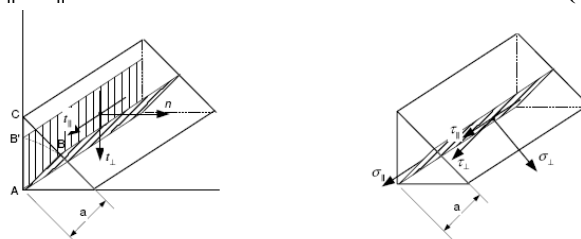
Prilikom proračuna ugaonih zavara radi pojednostavljenja naprezanja u ravni AB projektuju se na ravan AC, odnosno AB' (slika).

Izmenu veličina u ravni pravog položaja AB i zakrenutoj ravni AC (odnosno AB') važe sledeće jednakosti:

$$\sigma_{\perp} = \frac{1}{2}n = \tau_{\perp} \quad (7)$$

$$\tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}}t_{\perp} = \sigma_{\perp} \quad (8)$$

$$\tau_{\parallel} = t_{\parallel} \quad (9)$$



Slika 6. Naponi u ugaonom zavaru

Nosivost ugaonog zavara zavisi i od debljini ugaonog zavara a (slika 6). Nosivost zavara različite debljine obuhvaćeno je u propisima za zavarene čelične konstrukcije koeficijentom:

$$\beta = 0,8 \left(1 + \frac{1}{a} \right) \quad (10)$$

Iz ovog slijedi da je dozvoljeni napon u ugaonom zavaru

$$\sigma_{z,doz} = \beta \cdot \sigma_{doz} \quad (11)$$

Pri čemu treba biti zadovoljen uslov

$$\sigma_{ekv} \leq \sigma_{z,doz} \quad (12)$$

Propisima je takđe regulisana debljina nosećeg ugaonog zavara i ona iznosi od $a = 3 \text{ mm}$ do najviše $a_{max} = 0,7\delta_{min}$ (samo izuzetno se odobrava i $a_{max} = \delta_{min}$).

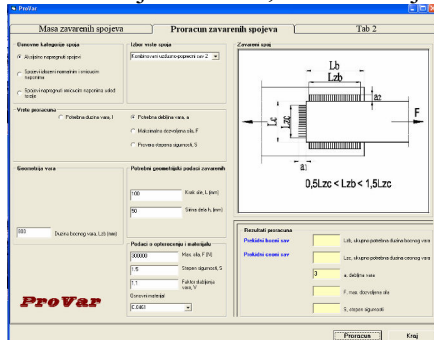
Objašnjenje oznaka za napone na slici 6 su: n – zatezni ili pritisni napon u ravni gde je merodavni presek zaokrenut; t_{\perp} – tangencijalni napon upravan na dužinu zavara u ravni AB'; t_{\parallel} – tangencijalni napon u pravcu dužine zavara u ravni AB'; σ_{\perp} – zatezni ili pritisni napon na zavar upravno na presek u svom pravom položaju; τ_{\perp} – tangencijalni napon upravan na dužinu zavara u ravni pravog položaja AB; τ_{\parallel} – tangencijalni

napon paralelan sa dužinom zavora u ravni pravog položaja AB; σ_{II} - normalni napon koji deluje duž zavora; σ_{ekv} - ekvivalentni napon; $\sigma_{z,dop}$ - dopušteni napon zavora

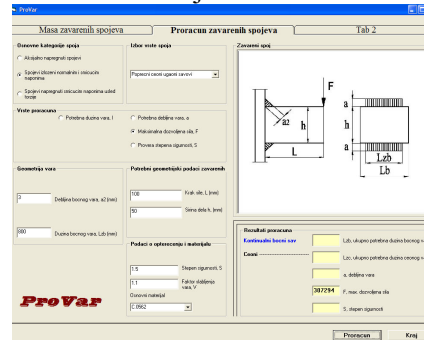
Softverom su uzeti u obzir različiti slučajevi proračuna zavarenih spojeva:

1. **Dimenzionisanje aksijalno opterećenih ugaonih šavova:** Spoj izveden bočnim ugaonim šavovima; Spoj izveden čeonim ugaonim šavovima; Slučaj kosih čeonih šavova; Kombinovani spojevi uzdužnih i poprečnih ugaonih šavova.
2. **Dimenzionisanje šavova opterećenih normalnim i smičućim naponima:** Uzdužni čeonu ugaoni šavovi; Poprečni čeonu ugaoni šavovi.
3. **Dimenzionisanje šavova opterećenih smičućim naponima usled torzije:** Dva uzdužna ugaona šava; Dva čeonu ugaona šava.

Programom su obuhvaćene četiri vrste proračuna: Određivanje potrebne dužine zavora; Određivanje potrebne debljine zavora, Određivanje maksimalne dozvoljene sile i Provera stepena sigurnosti.



Slika 7. Korisnički interfejs modula za proračun aksijalno napregnutoz zavarenog spoja



Slika 8. Korisnički interfejs modula za proračun ugaonih zavarenih spojeva

4. BUDUĆI PRAVCI RAZVOJA SOFTVERA

Kako je ranije navedeno, zavarivanje predstavlja tehnologiju kojom se veoma brzo i efikasno spajaju metalni delovi, vrše popravke ili saniraju greške nastale tokom obrade metala. Sa tolikim dijapazonom poslova i mogućnosti, veliki broj aktivnosti tokom postupaka zavarivanja postaje rutiniran te je potrebno maksimalno skratiti vreme potrebno za ponavljanje istih. Sa ciljem proširenja primene softvera, planirani razvoj softvera vezanog za procese spajanja zavarivanjem je vezan za razvoj više modula: Razvoj softvera za evidenciju zavarivačkog kadra u regionu, kao i za izdavanje sertifikata o poznavanju tehnologije itd; Razvoj modula za proračun cene koštanja projekta zavarivanja – počev od najnižeg nivoa troškova koji obuhvata troškove materijala, električne energije, potrošnog materijala, do nivoa razvoja tehnologije (intelektualna svojina); Razvoj modula za proračun i izbor parametara postupka zavarivanja za izabrane materijale (napon, jačina struje, tip elektrode, termička obrada i delimična kontrola); Razvoj specijalnog modula za postupak zavarivanja trenjem – Friction Stir Welding (zavarivanje trenjem sa mešanjem). Modul obuhvata izbor parametara zavarivanja, proračun količine generisane toplote, temperature osnovnog metala i alata, izbor oblika i dimenzija alata koji se koristi za zavarivanje itd.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu napred navedenog može se zaključiti sledeće: Primena CA tehnologija, u našim preduzećima, u procesu razvoja proizvoda je neminovna u sve većoj meri; Uvođenjem CAx tehnologija kao podrška procesu razvoja proizvoda dobijaju postizu se višestruki efekti (Vreme izvođenja procesa konstruisanja se skraćuje. Cena procesa konstruisanja se snižava u odnosu na manuelno konstruisanje od 10% pa čak do 90%. Kvalitet rezultata konstruisanja je značajno viši. Preduzeće je svojim proizvodom postaje konkurentno na domaćem i svetskom tržištu.); Sastavni deo integrisanog programskog sistema za konstruisanje prenosnika snage-PTD, koji se razvija na Mašinskom fakultetu u Nišu, je programski modul za proračun zavarenih spojeva; Programski modul za proračun zavarenih spojeva, koji je u procesu razvoja, olakšava i ubrzava aktivnosti projektovanja i konstruisanja zavarenih konstrukcija koje sprovode inženjeri zavarivanja. Dalji pravci razvoja programskog sistema je razvoj programskih modula za projektovanje tehnologije zavarivanja, koji će obuhvatati: izradu redosleda zavarivanja (redosled proizvodnih i kontrolnih aktivnosti), izradu PQR i WPS dokumenata, normiranje zavarivanja (kalkulacija vremena potrebnog za zavarivanje).

LITERATURA

- [1] Bogner, M., Borisavljević, M., Matović, V., Bogner, M.M.: Zavarivanje, 2007.
- [2] Milčić, D. „Integrirani programski sistem za konstruisanje prenosnika snage – veza sa CAD sistemom“, IMK-14 Istraživanje i razvoj, Časopis instituta IMK “14. Oktobar” Kruševac, Godina XIV, Broj (28-29), 1-2. 2008., s. 91-98.
- [3] Miltenović, V. „Mašinski elementi, oblici, proračun, primena“, Mašinski fakultet Niš, 2009.
- [4] Jovanović, M., Adamović, D., Lazić, V.: „Priručnik za tehnologiju zavarivanja“, Kragujevac 1995.
- [5] Cary, Howard B; Scott C. Helzer: Modern Welding Technology. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Education. ISBN 0-13-113029-3, 2005.
- [6] Weman, Klas, Welding processes handbook. New York, NY: CRC Press LLC. ISBN 0-8493-1773-8, 2003.
- [7] Vukićević M., Đurić S., Đorđević Lj., Projekat tehnologije zavarivanja važan faktor kvaliteta zavarenih konstrukcija, Casopis “IMK-14 Istraživanje i razvoj”, broj (18-19) 1-2/2004, Institut IMK “14.oktobar” Kruševac, 2004, Kruševac.
- [8] Milčić, D., Anđelković, B.: Autorizovana predavanja na Kursu za međunarodne inženjere i tehnologe zavarivanja IWE i IWT, Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet Niš, 2009.

DEVELOPMENT OF MODULUS FOR CALCULATION OF WELDED JOINTS

Summary: *In mechanical engineering Faculty in Nis, it has been developed integrated program system for designing of power transmission device – PTD. This program system consists of three sub-systems witch enable automation for calculation of elements for power transmission, for revolving motion and for machinery connections. In subsystem for calculation of machinery connection it has been developed modulus ProWar witch enables automation for calculation of welded joints as well as additional material demand. Development of this modulus includes also automation of making of welding process specification (WPS / STZ lists), managing records of welding personal, welding technology qualification, and welding costs calculations.*

Key words: *technological process, automation, designing, welding, welded joint, basic material, additional material*



Dragan Komarov, Slobodan Stupar, Aleksandar Simonović, Nemanja Zorić¹

PARAMETRIZACIJA FAMILIJE AEROPROFILA ZA KORENI DEO LOPATICE VETROTURBINE

Rezime

Specifičnosti strujanja oko rotora vetroturbina, kao i specifični strukturalni zahtevi i ograničenja, ukazuju na potrebu za projektovanjem aeroprofila koji su posebno prilagođeni za lopatice vetroturbina. Aeroprofil se mogu optimizovati za određene radne parametre u smislu aerodinamičke efikasnosti i opterećenja rotora. Parametrizacija aeroprofila značajno utiče na proces optimizacije i kvalitet rešenja, kao i na formiranje kvalitetnog CAD modela potrebnog za kasnije faze projektovanja i proizvodnje. U radu su predstavljene metode parametrizacije aeroprofila i mogućnosti primene u CAD sistemima.

1. UVOD

Geometrija većine dostupnih aeroprofila u literaturi je data u obliku odgovarajućeg broja tačaka potrebnih za geometrijsko reprodukovanje gornjake i donjake aeroprofila. U ovom slučaju, svaka od definisanih tačaka sa svojim parom koordinata predstavlja stepen slobode ukoliko bi se pomenuti podaci koristili za optimizaciju oblika prema zadatim funkcijama cilja. Iako se nametanjem odgovarajućih ograničenja može redukovati domen u kome se optimizacija vrši, veliki broj stepeni slobode značajno utiče na kvalitet optimizovanog rešenja, kao i na broj iteracija koji je potreban za proračun optimalnog rešenja, što je posebno značajno kod aerodinamičke optimizacije. Stoga je potrebno definisati efikasan način parametrizacije oblika sa dovoljnim brojem parametara za definisanje aeroprofila, a koji će biti znatno manji od početnog broja tačaka koji definišu aeroprofil. Izbor metoda parametrizacije mora biti takav da je parametrima moguće opisati što veći broj poznatih aeroprofila uz postizanje dobre osnove za efikasnu optimizaciju kojom će biti generisana rešenja koja imaju fizičkog smisla.

S obzirom na specifičnosti strujanja oko rotora vetroturbina, kao i specifične strukturalne zahteve i ograničenja, aeroprofil projektovani za vazduhoplove i druge namene ne mogu uvek u potpunosti ispuniti postavljene zahteve [1]. U cilju povećanja odnosa aerodinamičke efikasnosti i opterećenja rotora, za određene radne parametre potrebno je projektovati posebno prilagođene aeroprofile. Imajući u vidu nizak priraštaj snage korenog dela lopatice, oblik aeroprofila u ovom segmentu lopatice je najvećim delom određen kriterijumima vezanim za čvrstoću, pri čemu treba uzeti u obzir širok spektar radnih režima i uslova u kojima vetroturbina radi. Povećanjem debljine se poboljšavaju svojstva u pogledu čvrstoće, smanjuje se mahanje lopatice, ali se negativno utiče na aerodinamičke karakteristike. Potrebno je naći optimalno rešenje koje uzima u obzir navedene suprotstavljene zahteve, kao i specifične radne uslove.

Tokom devedesetih godina otpočeo je razvoj familija aeroprofila u zavisnosti od tipa i snage vetroturbine. Na primer, vetroturbine male i srednje snage, regulisane slomom uzgona koriste aeroprofile sa niskim maksimalnim koeficijentom uzgona. Kod vetroturbina velikih snaga povećanje prečnika rotora utiče na cenu sa eksponentom 2.4, dok je energija proporcionalna kvadratu prečnika. Stoga je potrebno da aeroprofil u korenu budu veće debljine, ali i koeficijenta uzgona, kako bi se redukovala masa lopatice i njena cena uz održavanje efikasnosti.

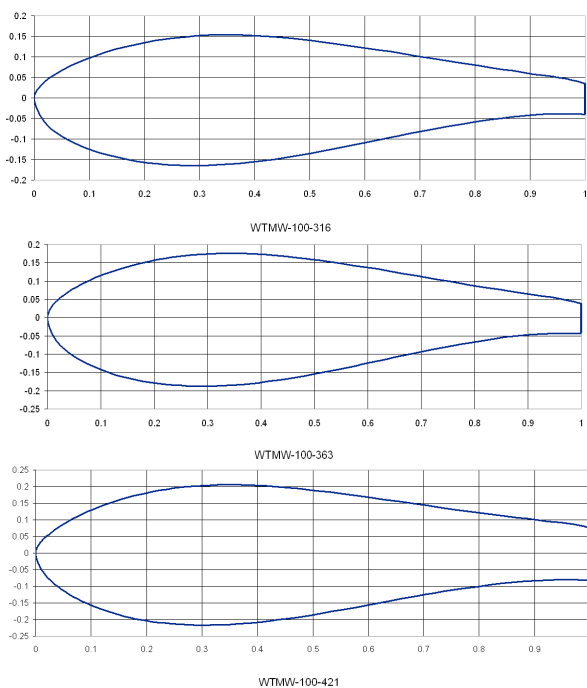
¹ mr Dragan Komarov dipl. inž., Mašinski fakultet Beograd, tel. 3302-345, email: dkomarov@mas.bg.ac.rs
prof. dr Slobodan Stupar dipl. inž., Mašinski fakultet Beograd, tel. 3302-242, email: sstupar@mas.bg.ac.rs
doc. dr Aleksandar Simonović dipl. inž., Mašinski fakultet Beograd, tel. 3302-345, email: asimonovic@mas.bg.ac.rs
ass. Nemanja Zorić dipl. inž., Mašinski fakultet Beograd, tel. 3302-345, email: nzoric@mas.bg.ac.rs

Koreni aeroprofilu za vetroturbine velikih snaga su relativnih debljina između 25% i 40%. Velika relativna debljina, kao i pojava zaprljanosti napadne ivice rezultuju pojavom ranog odvajanja turbulentnog graničnog sloja, smanjenjem maksimalnog koeficijenta uzgona i finese aeroprofila. Projektovanje u velikoj meri zavisi od zahteva vezanih za čvrstoću konstrukcije. Relativna debljina gornjake se minimalno povećava zbog smanjenja osetljivosti na pojavu nečistoća na lopatici vetroturbine. Aerodinamički zahtevi su vezani za visoku vrednost maksimalnog koeficijenta uzgona pri relativno velikim napadnim uglovima.

Koreni aeroprofilu za vetroturbine predmet su razvoja nekih od vodećih istraživačkih institucija u oblasti vetroenergetike. Institut Risoe je razvio više familija aeroprofila za rotore snaga preko 600 kW. Glavni problem vezan za pojavu osetljivosti aerodinamičkih karakteristika aeroprofila na nečistoće delimično je otklonjen na aeroprofilima Risoe-P i Risoe-B1 [2]. TU Delft je razvio više od 15 aeroprofila namenjenih vetroturbinama [3]. Relativne debljine ovih aeroprofila se kreću između 15% i 40%, a koriste se na rotorima prečnika između 29 m i 100 m, što odgovara vetroturbinama snaga između 350kW i 3.5MW. Devedesetih godina dvadesetog veka TU Delft je razvio tri aeroprofila koji su predstavljali zamenu za do tada korišćene NACA aeroprofile. Ispitivanjem i podacima iz eksploatacije zatim su razvijeni aeroprofilu, za koje su polazna osnova bili aeroprofil za koreni deo lopatice DU 97-W-300. U grupu aeroprofila relativne debljine preko 30% spadaju DU 00-W-350 i DU 00-W-401 relativnih debljina 35%, odnosno 40%. Maksimalni koeficijent uzgona za DU 00-W-350 iznosi 1.43 pri napadnom uglu 10.5°. Aeroprofil DU 00-W-401 ima maksimalni koeficijent uzgona u oblasti napadnih uglova većih od 17°, čija vrednost iznosi oko 1.25.

SANDIA je izvršila ispitivanje aeroprofila sa tupom izlaznom ivicom koji su namenjeni korenom delu lopatica vetroturbina. Aeroprofilu su ispitivani pri niskim Rejnoldsovim brojevima (330000 i 660000). Aeroprofilu su dobijeni od inicijalnog FB3500-0050 maksimalne relativne debljine 35%, tako što je povećana dužina izlazne ivice. Na taj način su dobijeni aeroprofilu FB3500-0875 i FB3500-1750 sa relativnim dužinama izlazne ivice 8.75%, odnosno 17.5% [4].

Pri projektovanju familije aeroprofila za koreni deo lopatice vetroturbine velike snage potrebno je maksimizovati finesu aeroprofila za radni interval napadnih uglova, obezbediti dovoljnu čvrstoću lopatice i smanjiti uticaj nesavršenosti tehnologije izrade u predelu napadne ivice koja ima veliki uticaj na aerodinamičke karakteristike aeroprofila. Imajući u vidu prethodno pomenute razvijene aeroprofile i prethodno definisane zahteve i ograničenja, projektovani su aeroprofilu koji imaju tupu izlaznu ivicu čime su poboljšane strukturalne karakteristike uz minimalan uticaj na aerodinamičke performanse (slika 1). Ove aeroprofile je dalje moguće optimizovati za specifične rotore i resurse vetra. U tom cilju, kao i u cilju očuvanja podataka o geometriji za proces proizvodnje lopatica potrebno je izvršiti parametrizaciju.



Slika 1. Familija aeroprofila za koreni deo lopatice

2. PARAMETRIZACIJA AEROPROFILA

Razvoj računara u protekloj deceniji, napredak metoda za analizu konstrukcija i šira implementacija poznatih metoda optimizacije značajno utiču na metodologiju konceptualnog razvoja novih proizvoda i njihovih elemenata, kao i usavršavanje postojećih konstrukcija. Postoje velike mogućnosti za istraživanje pogodnosti različitih konfiguracija konstrukcija, pri čemu je moguće ostvariti multidisciplinarnu analizu i pronalaženje konstruktivnih rešenja koja će optimalno ispuniti različite zahteve, kao što su na primer strukturalni, aerodinamički i tehnološki zahtevi vezani za projektovanje lopatica vetroturbina. Prvi korak ka postizanju kvalitetnog konstruktivnog rešenja korišćenjem dostupnih numeričkih alata za modeliranje i analizu konstrukcija je adekvatna parametrizacija. U slučaju lopatica vetroturbina potrebno je izabrati skup parametara koji će jednoznačno odrediti konfiguraciju lopatice i svih njenih delova. Tako je potrebno odrediti parametre koji će definisati geometriju aerodinamički profilisanih površina lopatice.

Pri definisanju parametara za opis geometrije konstrukcije potrebno je da se promenom parametara obezbedi generisanje realnih oblika bez diskontinuiteta, da broj parametara bude dovoljan za opisivanje određenog broja različitih geometrija koje se mogu analizirati u cilju optimizacije, da parametri omogućavaju jednostavno definisanje i modifikovanje početnog oblika i da, ukoliko postoje mogućnosti, parametri budu u vezi sa bitnim merama parametrizovanog oblika. Na primer, u slučaju aeroprofila, postoji mogućnost ostvarivanja veze parametara koji matematički definišu geometrijski oblik i geometrijskih karakteristika aeroprofila kao što su poluprečnik napadne ivice, relativna debljina aeroprofila, ugao diedra na izlaznoj ivici itd.

Parametrizacija aeroprofila može se zasnivati, između ostalog, na primeni krivih, kao što su Beziijeove krive, b-splajnovi ili neuniformni racionalni b-splajnovi (NURBS) [5]. NURBS krive predstavljaju opšti oblik krive definisane polinomima. B-splajn krive čine podskup NURBS krivih, dok su Beziijeove krive specijalan slučaj b-splajn krivih. Jedan od poznatijih načina parametrizacije aeroprofila je korišćenje Hiks-Heneovih baznih funkcija [6]. Ova metoda parametrizacije je pogodna za variranje poznatog – baznog oblika aeroprofila u cilju aerodinamičke optimizacije. Oblik aeroprofila definisan je na sledeći način:

$$y_{gor}(x) = y_{gor,b} + \sum_{i=1}^5 a_i f_i(x)$$

$$y_{donj}(x) = y_{donj,b} + \sum_{i=1}^5 b_i f_i(x)$$
(1)

gde su $y_{gor}(x)$, $y_{donj}(x)$ jednačine gornjake i donjake respektivno, $y_{gor,b}$ i $y_{donj,b}$ ordinate početnog (baznog) aeroprofila, a_i i b_i parametri, a bazne funkcije su definisane jednačinom $f_i(x) = \begin{cases} x^{0.25}(1-x)e^{-20x}, & i=1 \\ \sin^3(\pi x^{s(i)}), & i>1 \end{cases}$ i

$$s(i) = \frac{\log 0.5}{\log x_i}$$

Nedavno predložena metoda parametrizacije CST (Class-Shape function Transformation) [8] posebno je pogodna za primenu pri definisanju aeroprofila sa tupom izlaznom ivicom kakvi su projektovani aeroprofilu za koreni deo lopatica vetroturbina. Oblik aeroprofila je u tom slučaju definisan na sledeći način:

$$y = C(x)S(x) + x\Delta y_{TE}$$
(2)

gde su $C(x)$ funkcija klase, $S(x)$ funkcija oblika – bazne funkcije, a Δy_{TE} debljina izlazne ivice. Funkcija klase definiše oblik geometrije i oblika je:

$$C(x) = x^{N_1}(1-x)^{N_2}$$
(3)

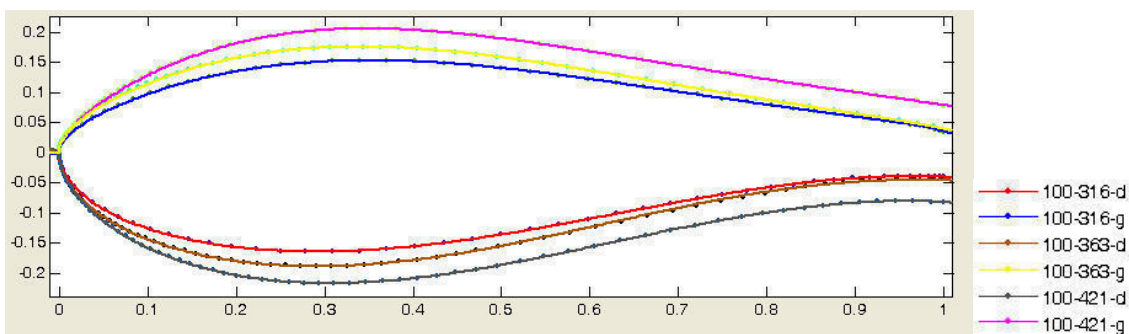
Kada su koeficijenti $N_1=0.5$ i $N_2=1$, geometrija odgovara obliku aeroprofila.

Funkcija klase je u opštem slučaju proizvoljna, ali se obično uzimaju poznate analitičke funkcije koje odgovaraju nameni (matematički opis krivih i parametrizacija). U primeni za aeroprofile, funkcije oblika su najčešće ponderisani Bernštajnovi polinomi:

$$S(x) = \sum_{i=0}^n [b_i J_{i,n}(x)] = \sum_{i=0}^n \left[b_i \binom{n}{i} x^i (1-x)^{n-i} \right] \quad (4)$$

gde je $\binom{n}{i} = \frac{n!}{i!(n-i)!}$.

Pri parametrizaciji korišćen je četvrti red Bernštajnovog polinoma, odnosno korišćeno je pet parametara koji su određivani metodom najmanjeg kvadrata za poznate koordinate aeroprofila. U određenim slučajevima su uvedena dodatna dva parametra koji su u izvornoj CST metodi konstantne vrednosti (N_1 i N_2), čime je postignuta dodatna fleksibilnost parametrizovanih krivih i bolja aproksimacija zadatih aeroprofila. Parametrizovani aeroprofile prikazani su na slici 2.



Slika 2. Parametrizovana familija aeroprofila za koreni deo lopatice vetroturbina

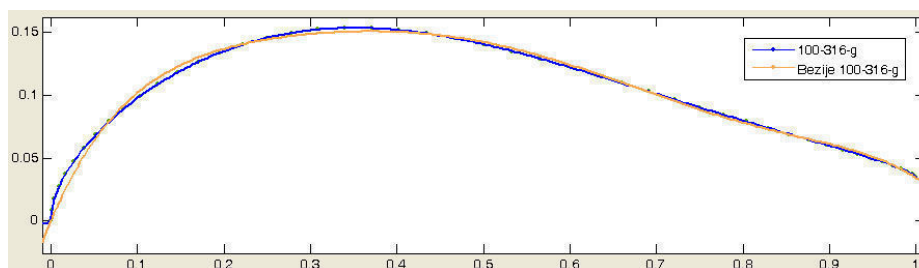
Za potrebe poređenja rezultata sa CST metodom, prikazana je parametrizacija gornjake aeroprofila WTMW-100-316 primenom Bezijeove krive koja je definisana na sledeći način:

$$y(x) = \sum_{i=0}^n B_i J_{n,i} \quad (5)$$

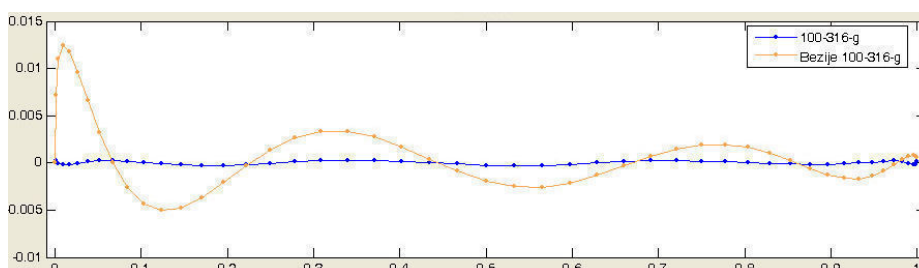
gde su B_i parametri, a $J_{n,i}(t)$ bazne funkcije (Bernštajnovi polinomi i -tog reda):

$$J_{n,i}(x) = \binom{n}{i} x^i (1-x)^{n-i} \quad (6)$$

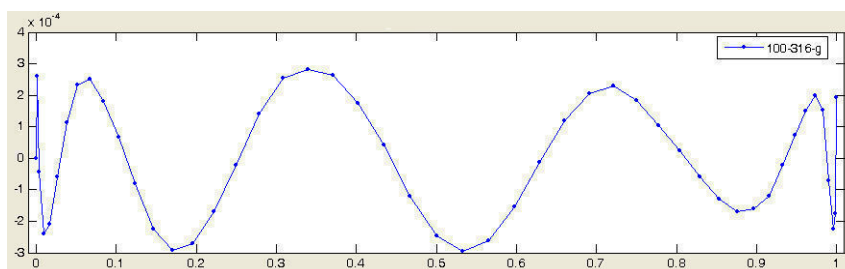
Pri parametrizaciji gornjake Bezijeovom krivom korišćeno je sedam parametara, parametri su određeni metodom najmanjeg kvadrata. Na slikama 3 i 4 prikazani su uporedni rezultati parametrizacije gornjake aeroprofila WTMW-100-316 CST metodom i Bezijeovom krivom, kao i greške parametrizacije koja je definisana kao razlika vrednosti parametarske funkcije i y koordinate aeroprofila u tačkama kojima je aeroprofil prvobitno definisan. Može se primetiti da definisani oblik aeroprofila nije moguće uspešno aproksimirati Bezijeovom krivom sa sedam parametara, dok je parametrizacija CST metodom za manji ili jednak broj parametara znatno preciznija, red veličine greške parametrizacije je 10^{-4} , slika 5.



Slika 3. Parametrizovana gornjaka aeroprofila WTMW-100-316 (CST parametrizacija i Bezijeova kriva)



Slika 4. Uporedni prikaz greške parametrizacije gornjake aeroprofila WTMW-100-316 (CST parametrizacija i Bezijeova kriva)



Slika 5. Greška aproksimacije pri parametrizovanju gornjake aeroprofila (CST parametrizacija)

3. ZAKLJUČAK

Parametrizacija aeroprofila ima značajnu ulogu kako u fazi konceptualnog dizajna, tako i u kasnijim fazama, koje se odnose na potrebne proračune i optimizaciju. Kvalitetna parametrizacija aeroprofila predstavlja osnov za razvoj trodimenzionalnih modela aerodinamičkih površina vazduhoplova ili vetroturbina, a samim tim ima veliki uticaj i na kvalitet geometrijskog modela koji se koristi u pripremi podataka za proizvodnju. Predstavljene metode parametrizacije moguće je implementirati u postojeće CAD/CAM sisteme korišćenjem opcija za definisanje parametarskih krivih, kako bi se razlike proizvedenog dela i geometrijskog modela koji je upotrebljen u procesu analize i funkcionalne optimizacije svele na najmanju moguću meru. Parametarske krive u programskom paketu CATIA v5 je moguće definisati u Generative Shape Design ili Freestyle moduču. Za primenu određenih tipova parametrizacije u CATIA-i v5 koje ne pripadaju grupi b-splajn ili NURBS krivih, a ukoliko je potrebno postići potpuno preslikavanje geometrije definisane proizvoljnom matematičkom funkcijom, neophodno je pisanje dodatnih rutina korišćenjem paketa za kreiranje sopstvenih funkcija u okviru CATIA okruženja.

CST metoda parametrizacije daje relativno dobre rezultate za aeroprofile sa tupom izlaznom ivicom, što se može objasniti funkcijom oblika u kojoj poslednji član ima direktan uticaj na oblik izlazne ivice i koji se može parametrizovati. Jednostavna veza parametara i bitnih geometrijskih karakteristika [7,8] pruža mogućnosti za definisanje skupa izvodljivih, realnih rešenja pri aerodinamičkoj optimizaciji. U poređenju sa

parametrizacijom aeroprofila primenom Bezijevih krivih, CST metoda daje znatno bolje rezultate sa manjim brojem parametara ukoliko se aproksimira aeroprofil čiji je oblik definisan nizom tačaka. CST parametrizacija primenjena na aerodinamičke oblike se po kvalitetu može uporediti sa parametrizacijom pomoću NURBS krivih koje predstavljaju standard za definisanje složenih geometrijskih oblika u velikom broju komercijalnih CAD sistema.

LITERATURA

1. Tangler J. L., Somers D. M. NREL Airfoil Families for HAWT. American Wind Energy Association, 1995
2. Fuglsang P., Bak C. Development of the Risoe Wind Turbine Airfoils, Wind Energy 2004; 7:145-162
3. Timmer W. A., van Rooij R. Summary of the Delft University Wind Turbine Dedicated Airfoils, AIAA-2003-0352, AIAA Journals, 2003
4. Timmer W. A., van Rooij R. Roughness Sensitivity Considerations for Thick Rotor Blade Airfoils, Transactions of the ASME Vol. 125, 2003
5. A. Sobester, T. Barrett, The quest for a truly parsimonious airfoil parameterization scheme, ICAS 2008 Congress including the 8th AIAA 2008 ATIO Conference
6. R. Hicks, P. Henne. Wind design by numerical optimization, Journal of aircraft vol. 15, no. 7, 1978
7. M. Ceze, M. Hayashi, E. Volpe. A study of the CST parameterization characteristics, 27th AIAA Applied Aerodynamics Conference, 2009
8. B. Kulfan. Universal parametric geometry representation method, Journal of aircraft, vol. 45, no. 1, 2008

PARAMETERIZATION OF AIRFOIL FAMILY FOR ROOT SECTION OF WIND TURBINE

Abstract

Specifics of the flow around the wind turbine rotor, as well as specific structural requirements and limitations, indicate the need to design airfoils that are specially adapted for wind turbine blades. Airfoil can be optimized for specific operating parameters in terms of aerodynamic efficiency and load of the rotor. Airfoil parameterization significantly affect the process of optimization and quality of solutions, as well as the constitution of high-quality CAD models required for later phases of design and production. The paper presents the airfoil parameterization methods and potential applications in CAD systems.

Zoran Marjanović¹, Radomir Brzaković²

SIMULACIJA HIBRIDNOG ELEKTRIČNOG VOZILA PRI VOŽNJI NA OTVORENOM PUTU

Rezime: U ovom radu prikazan je primer kompjuterske simulacije hibridnog električnog vozila. Ovaj primer pokazuje mnogostruko područje rada simuliranog hibridnog električnog vozila. Hibridno električno vozilo je kombinovanog tipa, slično kao u automobilima Toyota Prius. Ovo hibridno električno vozilo ima dve vrste pogonske snage: elektromotor i motor SUS, da bi se uvećao stepen korisnog dejstva pogonskog sklopa i smanjilo zagađenje vazduha. Hibridno električno vozilo udružuje prednosti elektromotornog pogona (nema zagađenja i velika raspoloživa snaga pri malim brzinama) i prednosti motora SUS (visoke dinamičke performanse i malo zagađenje pri velikim brzinama). Pri simulaciji hibridnog električnog vozila korišćen je SimPowerSystems™ i SimDriveline™ (Matlab 7).

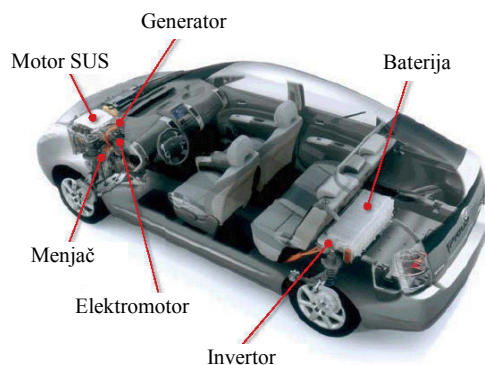
Ključne reči: modeliranje, kompjuterska simulacija, hibridno električno vozilo, matlab

1. UVOD

Hibridni sistem predstavlja pogon koji u sebi objedinjuje dva ili više raznorodna motora koji rade u sadejstvu (najčešće se kombinuje motor sa unutrašnjim sagorevanjem i elektromotor). Jedan primer hibridnog električnog vozila (HEV) je Toyota Prius (slika 1), pa smo tehničke karakteristike ovog vozila koristili pri simulaciji kombinovanog HEV u ovom radu. Kompletan pogonski sistem HEV sačinjavaju: motor SUS, elektromotor, generator, energetski pretvarač (inverter), menjač (transmisija) i akumulatorska baterija.

Smisao postojanja hibridnog električnog vozila (HEV) se nalazi u činjenici da ova vozila nemaju problema sa radijusom kretanja jer koriste fosilno gorivo za pogon motora SUS i istovremeno su ekološki čistija (spadaju u vozila sa niskom emisijom štetnih gasova, LEV–Low Emission Vehicles) i efikasnija u odnosu na klasična vozila jer koriste pogodnosti električnog pogonskog sistema.

HEV znatno prevazilazi zahteve Euro IV standarda u pogledu izduvne emisije. Prema Tojotinim podacima, njihov Prius za oko jednu tonu smanjuje emisiju CO₂ na godišnjem nivou u poređenju sa klasičnim automobilom iste klase. Takođe je sadržaj ugljovodonika za 80%, a azotnih oksida za 87,5% manji od vrednosti zahtevanih prema EURO IV za benziske motore.



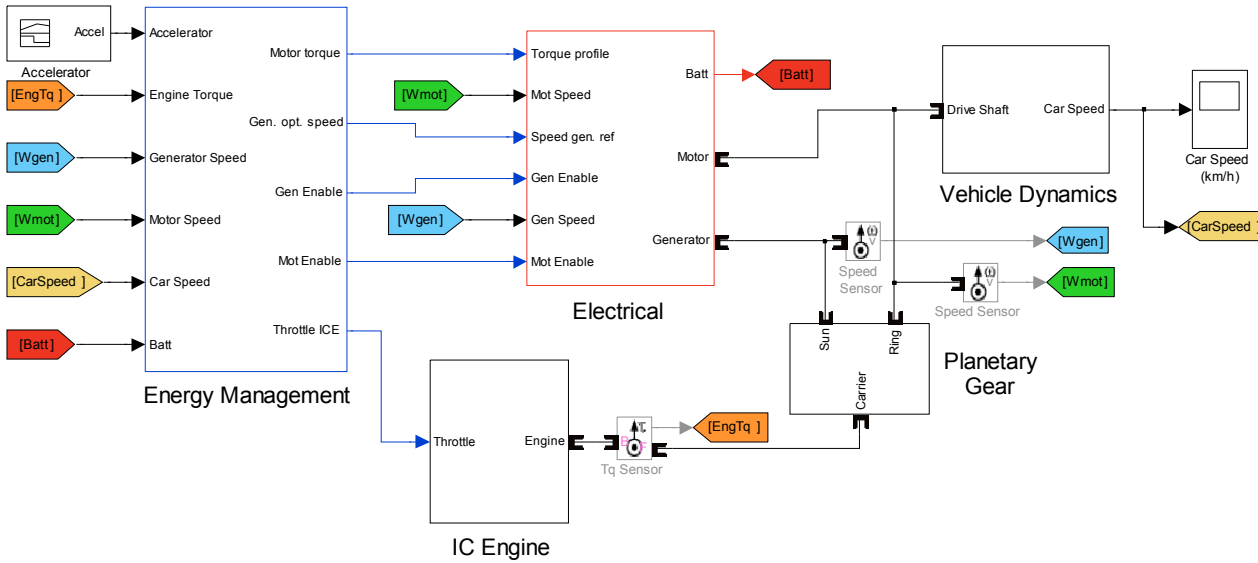
Slika 1. Toyota Prius

¹ mr Zoran Marjanović, dipl. maš. ing., z.marjanovic74@yahoo.com

² Radomir Brzaković, dipl. inf., Fiat automobili Srbija, 034/325220-lokal 49-61, brzijax@yahoo.com

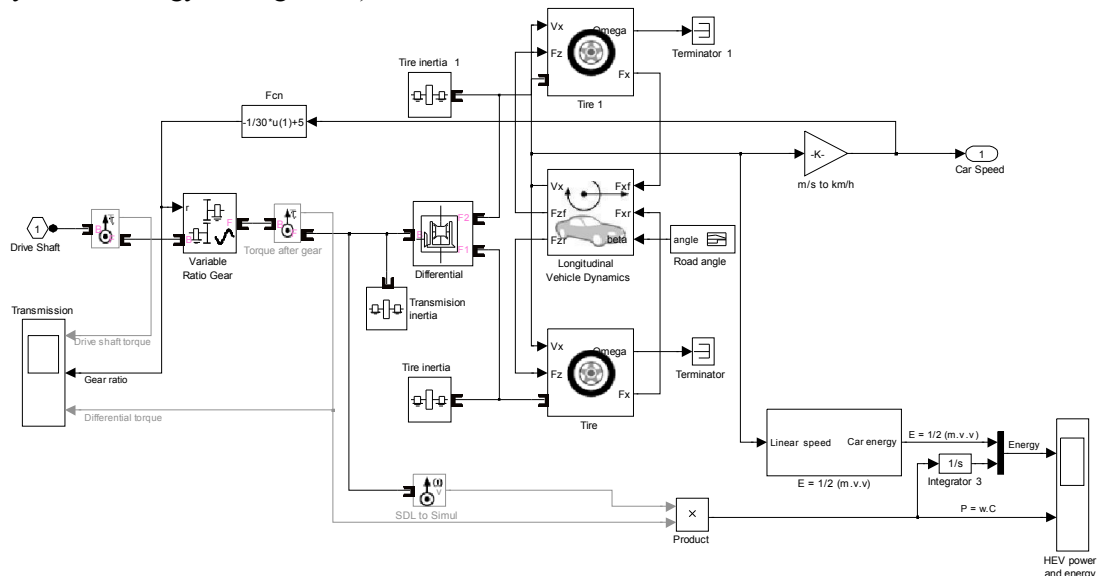
2. SIMULACIJA KOMBINOVANOG HEV PRI VOŽNJI NA OTVORENOM PUTU

Na osnovu šeme kombinovanog HEV, urađen je simulacioni model u simulinku Matlaba 7 za kombinovano HEV, slično kao u automobilima Toyota Prius (slika 2).

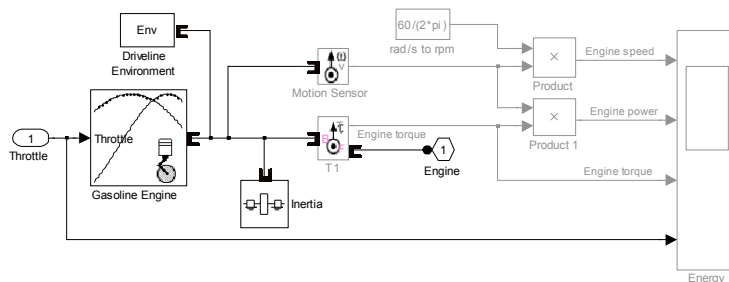


Slika 2. Simulaciona šema kombinovanog HEV

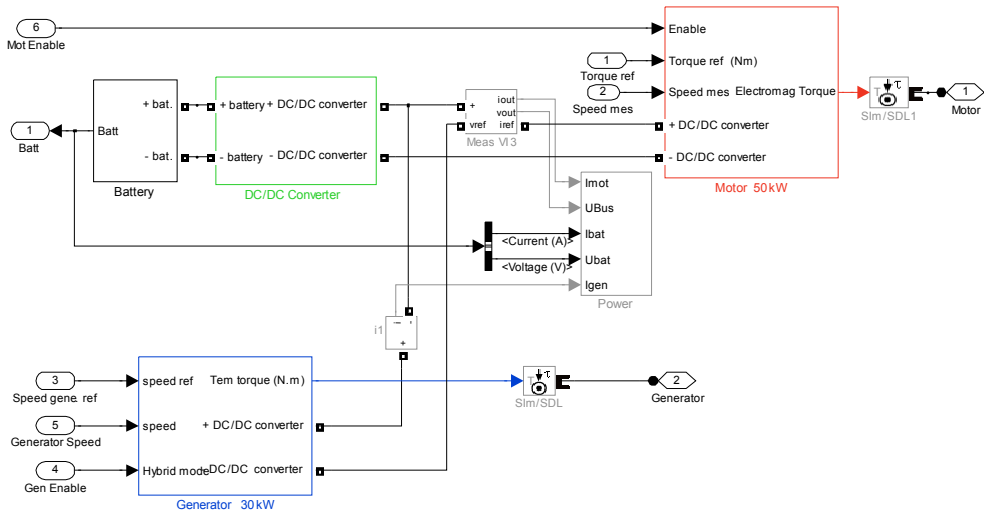
Ulaz u ovoj simulacionoj šemi koji možemo menjati i od njega zavisi brzina simuliranog HEV (CarSpeed) je pedala gasa (Accelerator). Možemo takođe, pomoću promenljive nagib puta (Road angle) u bloku Vehicle Dynamics (slika 3) simulirati različite uspone i padove puta za ceo tok simulacije. Takođe, na slikama 4, 5, 6 i 7 prikazani su ostali glavni blokovi simulacione šeme kombinovanog HEV (IC Engine, Electrical, Planetary Gear i Energy Management).



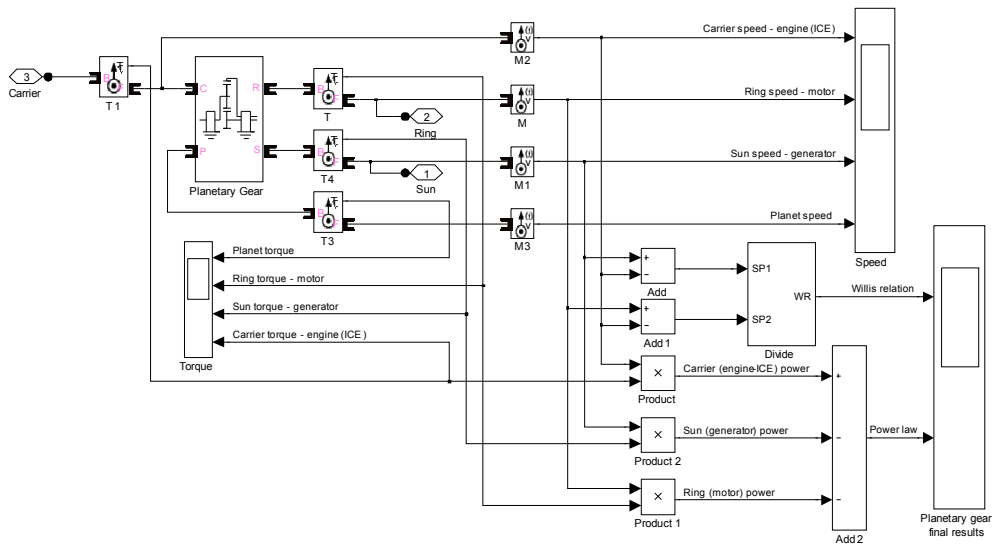
Slika 3. Blok Vehicle Dynamics



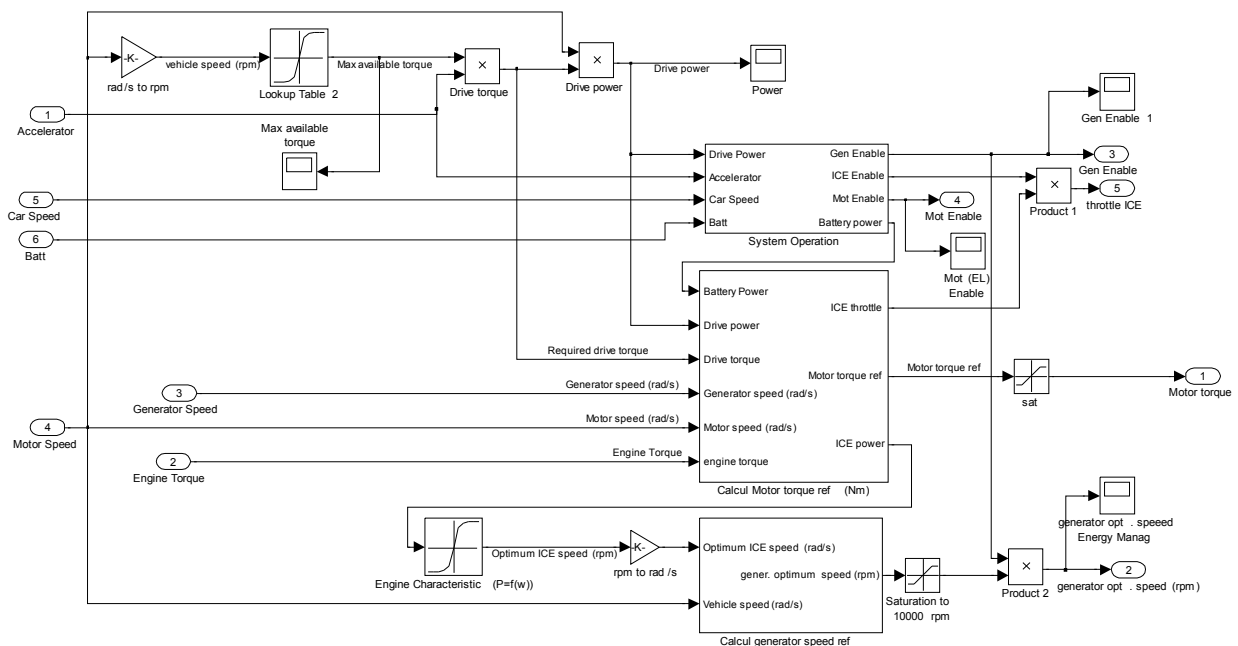
Slika 4. Blok IC Engine



Slika 5. Blok Electrical

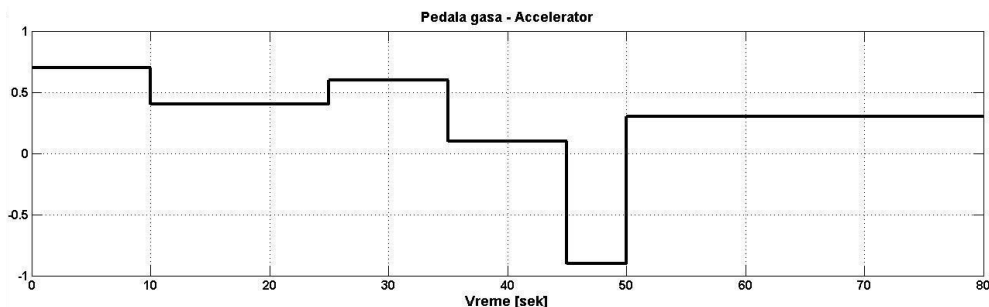


Slika 6. Blok Planetary Gear

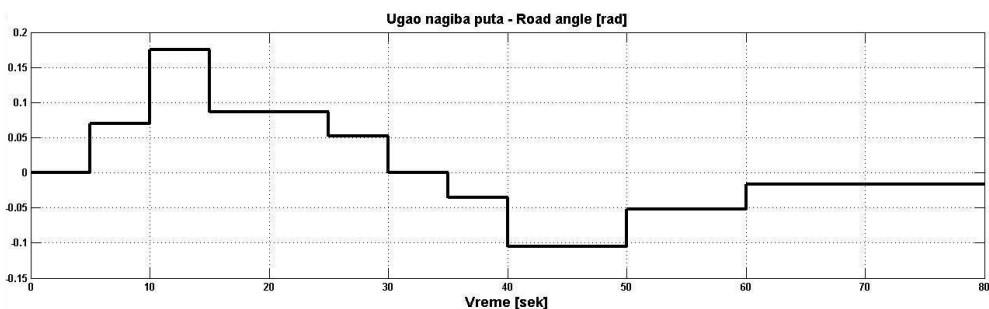


Slika 7. Blok Energy Management

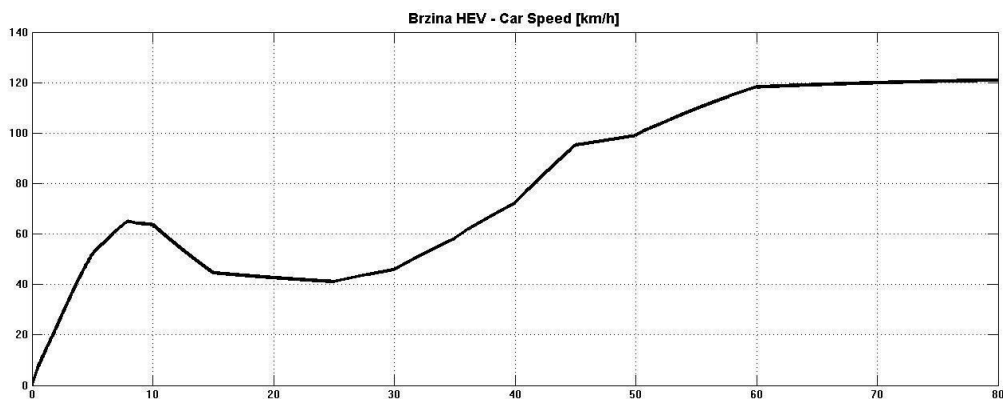
Simulacija kombinovanog HEV pri vožnji na otvorenom putu urađena je za pedal gasa Accelerator kao na slici 8 i za ugao nagiba puta – Road angle dat na slici 9. Pri ovako zadatom ulazu maksimalna brzina HEV je 120 km/h (slika 10), što odgovara vožnji na autoputu. Svi zadati i dobijeni dijagrami su u funkciji vremena simulacije, a vreme trajanja ove simulacije je 80 sekundi.



Slika 8. Dijagram pedale gasa – Accelerator

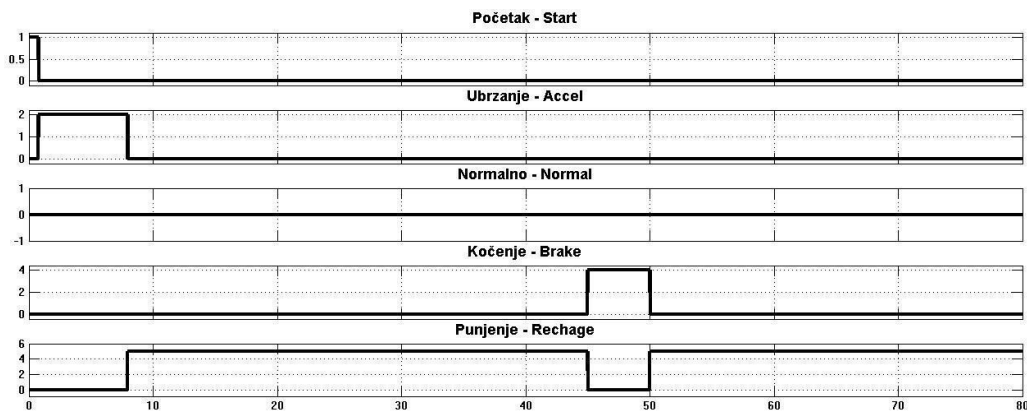


Slika 9. Dijagram ugla nagiba puta – Road angle



Slika 10. Dijagram brzine HEV – Car Speed

Na slici 11 prikazani su režimi rada HEV pri vožnji na otvorenom putu.



Slika 11. Dijagram kompletnog ciklusa (režima) HEV

Sa slike 11 vidimo da su prelazni režimi ove simulacije u vremenima: $t_1=0,77$ s; $t_2=8$ s, $t_3=45$ s i $t_4=50$ s.

U $t_0=0$ s, HEV se pokreće pritiskom na pedalu gasa od 70% (prvih deset sekundi). Sve dok je potrebna snaga HEV manja od 15 kW i brzina manja od 20 km/h, HEV se pokreće elektromotorom napajanim iz baterije. Tada, generator i motor SUS su isključeni (ne daju snagu HEV). Tada je HEV u start režimu.

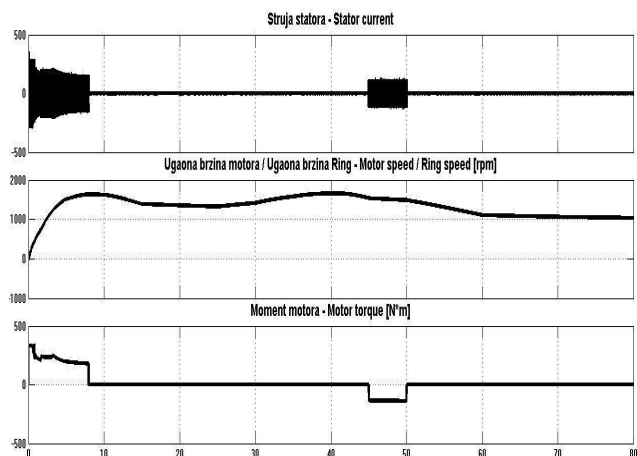
U $t_1=0,77$ s potrebna snaga HEV postaje veća od 15 kW, što zahteva hibridni način rada (snaga HEV dolazi iz SUS motora i elektromotora koji se napaja iz baterije). HEV je u režimu ubrzanja. Snaga generatora tada je negativna, što znači da generator radi kao motor i obezbeđuje potrebnu snagu za start motora SUS. Ugao nagiba puta za prvih pet sekundi je 0 rad.

U $t_2=8$ s stanje napunjenosti baterije – SOC postaje manje od 40% (na početku simulacije je bilo 42,52%), pa bateriju treba napuniti i HEV radi u režimu punjenja. Tada elektromotor ne radi, a snaga motora SUS se deli između diferencijala (koji pokreće točkove) i generatora (koji puni bateriju). U ovom režimu, snaga baterije je negativna, što znači da baterija prima neku snagu iz motora SUS, preko generatora, i puni se za vreme kretanja HEV. Od pete do tridesete sekunde simulirano je kretanje HEV po usponu sa različitim uglom nagiba puta, pa zbog toga smanjujemo pritisak na pedalu gasa na 40% (jer tako snižavamo i stepen prenosa) kako bi HEV savladao zadati uspon.

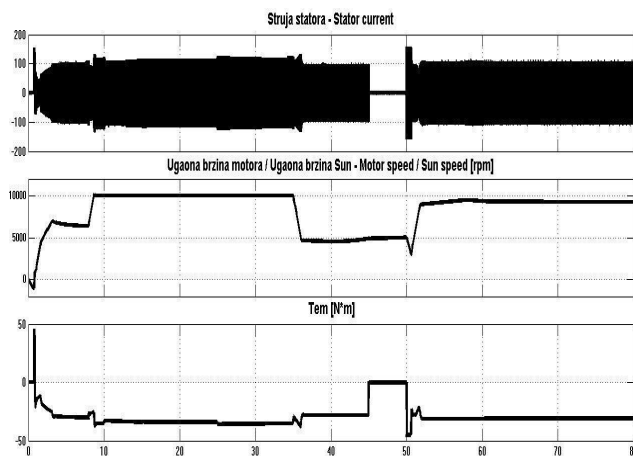
U $t_3=45$ s simulirano je regenerativno kočenje, HEV radi u režimu kočenja (kočenje je zadato u ovoj simulaciji negativnom vrednošću pedale gasa od -90%). Kako je od 35-te sekunde pa do kraja simulacije simulirano kretanje HEV na nizbrdici sa različitim uglom nagiba puta, kočenjem u trajanju od pet sekundi nije smanjuje brzina kretanja HEV već je samo zaustavljen njen nagli rast (brzina je povećana za oko 5 km/h). Tada su motor SUS i generator isključeni, radi samo elektromotor (čija snaga je negativna jer radi kao generator) koji električnom energijom nastalom od kočenja puni bateriju (zato je i snaga baterije negativna).

U $t_4=50$ s nastavlja se punjenje baterije strujom iz generatora sve do kraja simulacije, jer trenutna napunjenost baterije je 57% (manja od 80% - pune napunjenosti baterije), pa HEV radi u režimu punjenja. Tada elektromotor ne radi, a snaga motora SUS se deli između diferencijala (koji pokreće točkove) i generatora (koji puni bateriju). Pedala gasa se do kraja simulacije drži konstantno na 30% i ostvaruje se brzina od 120 km/h koja je konstantna od 60-te sekunde pa do kraja simulacije.

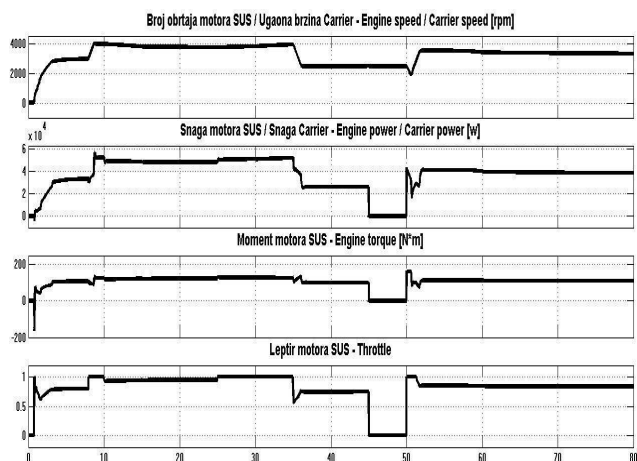
Na narednim slikama dati su karakteristični rezultati simulacije HEV (tj. njegovih komponenti).



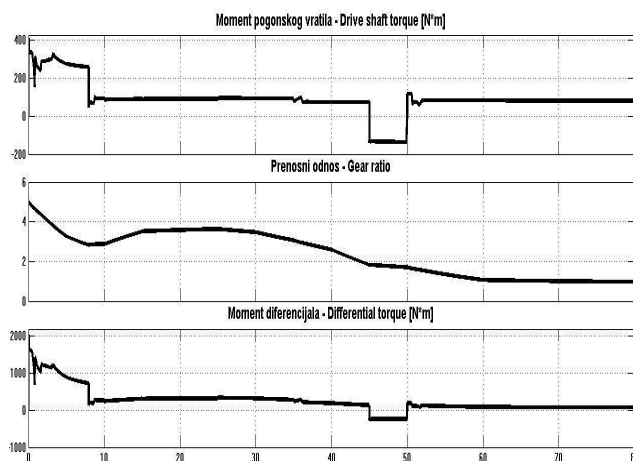
Slika 12. Dijagrami za elektromotor



Slika 13. Dijagrami za generator



Slika 14. Dijagrami za motor SUS



Slika 15. Dijagrami za transmisiju HEV

3. ZAKLJUČAK

U ovom radu rezultati simulacije modela kombinovanog HEV verno opisuju vozilo Toyota Prius pri gradskoj vožnji. Takođe, simulacija HEV pruža mogućnost praćenja izlaznih parametara HEV (brzine, ubrzanja, snage, broja obrtaja, stanje napunjenosti baterije...) zavisno od promene ulaznih parametara (pedale gasa i ugla nagiba puta). Ova mogućnost simulacije može da proizvede značajne finansijske uštede u automobilske industriji, jer smanjuje potrebu za laboratorijskim ispitivanjima vozila u fazi njegovog razvoja i pruža mogućnost simuliranja različitih varijanti vozila sve do izbora one najbolje.

4. LITERATURA

- [1] MATLAB Documentation – Version 7: The Math Works Inc, Natick, 2008,
- [2] Marjanović Z.: Tehnički, bezbedonosni i ekonomski aspekt primene alternativnog pogona kod drumskih vozila u Srbiji, doktorska disertacija u izradi (odobrena), Mašinski fakultet, Kragujevac, 2008,
- [3] Su-Ming F. B.: Modeling and simulation of a hybrid electric vehicle using MATLAB/Simulink, Master thesis, University of Waterloo, Canada, 2007,
- [4] Beckers J.: Matlab Simulink modelling of a hybrid vehicle, Master Thesis, Technical University, Eindhoven, 2005,
- [5] Chao C.: Optimal gear ratio design for a gearbox used in hybrid vehicles, Master thesis, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 2005,
- [6] Gökce C.: Modeling and Simulation of a Series-Parallel Hybrid Electrical Vehicle, Master Thesis, Technical University, Istanbul, 2005.

SIMULATION OF A HYBRID ELECTRICAL VEHICLE WHILE HIGHWAY DRIVING

***Abstract:** In this paper shows an example computer simulation of a hybrid electric vehicle. This example shows a multi-domain simulation of a hybrid electric vehicle. The hybrid electric vehicle is of the complex type, such as the one found in the Toyota Prius car. This hybrid electric vehicle has two kinds of motive power sources: an electric motor and an internal combustion engine, in order to increase the drive train efficiency and reduce air pollution. It combines the advantages of the electric motor drive (no pollution and high available power at low speed) and the advantages of an internal combustion engine (high dynamic performance and low pollution at high speeds). Simulation of a hybrid electric vehicle using SimPowerSystems™ and SimDriveline™ (Matlab 7).*

***Key words:** modelling, computer simulation, hybrid electric vehicle, matlab*



Милица Петровић¹, Зоран Миљковић², Бојан Бабић³, Небојша Човић⁴

ВЕШТАЧКЕ НЕУРОНСКЕ МРЕЖЕ И АКСИОМАТСКА ТЕОРИЈА ПРОЈЕКТОВАЊА У КОНЦЕПЦИЈСКОМ ПРОЈЕКТОВАЊУ РОБОТИЗОВАНОГ УНУТРАШЊЕГ ТРАНСПОРТА МАТЕРИЈАЛА⁵

Резиме

У раду је представљен метод концепцијског пројектовања роботизованог унутрашњег транспорта материјала, базиран на аксиоматској теорији пројектовања и вештачкој интелигенцији. Метод комбинује примену алгоритама за генерисање путања кретања интелигентног мобилног робота и вештачке неуронске мреже за предикцију стања технолошког процеса и машинско учење транспортних путева материјала сходно пројектованим производним процесима. Симулација технолошког процеса, обучавање вештачких неуронских мрежа, као и реализација управљачког кода извршена је у софтверском пакету Matlab. Експериментални резултати на систему мобилног робота Khepera II показују да мобилни робот планира, учи и остварује оптималну путању кретања.

Кључне речи: интелигентни технолошки системи, концепцијско пројектовање, аксиоматска теорија пројектовања, вештачке неуронске мреже, мобилни робот

1. УВОД

Интензиван развој крајем осамдесетих и током деведесетих година 20. века, који је дефинитивно успоставио и нову област истраживања у производном инжењерству - *Интелигентне технолошке системе*, указује на позитиван тренд у правцу остваривања нових производних технологија у 21. веку. У времену када је аутоматизација производње достигла свој максимум, технолошка миграција од флексибилних ка интелигентним технолошким система и задовољавање све већих потреба глобалног тржишта остварује се новим, мултидисциплинарним приступом. Овакав приступ подразумева и примену напредних - интелигентних технологија 21. века, од којих су неке дате у [1].

Почев од средине осамдесетих година, па све до данас, велики број принципа, теорија и методологија пројектовања је предложено и развијано, а њихов преглед и добијени резултати дати су у раду [2]. У домену пројектовања интелигентних технолошких система, теорија и методологија аксиоматског пројектовања широко је саопштавана и објављивана у часопису CIRP Annals, који издаје међународна академија производног машинства. Према резултатима претраживања приказаним у [2], књига из ове области, дата у списку литературе под [3], једна је од најцитиранијих у домену развоја и примене теорије пројектовања у инжењерству. Поред познавања теорије пројектовања, савремен приступ пројектовању интелигентних технолошких система базира се на познавању и примени компјутерски интегрисаних технологија и техника вештачке интелигенције. Истраживање и развој нових генерација интелигентних технолошких система у домену унутрашњег транспорта материјала оријентисано је ка увођењу интелигентних мобилних робота који, захваљујући

¹ Милица Петровић, студенткиња докторских студија, Универзитет у Београду - Машински факултет, Краљице Марије 16, 11120 Београд 35, 011/3302-414, e-mail: mmpetrovic@mas.bg.ac.rs

² Др Зоран Миљковић, редовни професор, Катедра за производно машинство, Универзитет у Београду - Машински факултет, Краљице Марије 16, 11120 Београд 35, 011/3302-468, e-mail: zmiljkovic@mas.bg.ac.rs

³ Др Бојан Бабић, редовни професор, Катедра за производно машинство, Универзитет у Београду - Машински факултет, Краљице Марије 16, 11120 Београд 35, 011/3302-274, e-mail: bbabic@mas.bg.ac.rs

⁴ Др Небојша Човић, научни сарадник, Компанија ФМП д.о.о – Београд, Лазаревачки друм 6, 11030 Београд, 011/3052-053, e-mail: nebojsa.covic@fmp.co.rs

⁵ Рад је настао у оквиру истраживања на пројекту „Иновативни приступ у примени интелигентних технолошких система за производњу делова од лима заснован на еколошким принципима“ (евид. бр. TP-035004) Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије.

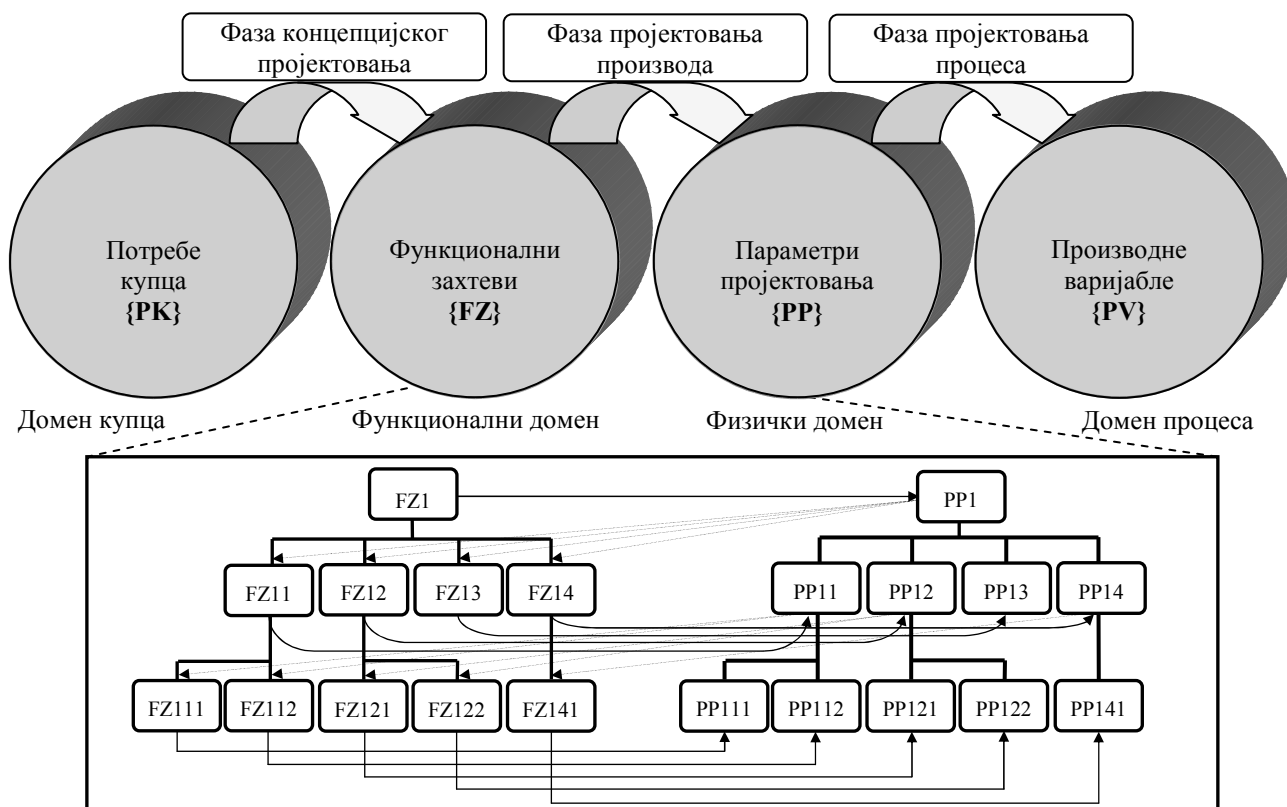
вештачким неуронским мрежама, као једној од парадигми вештачке интелигенције, разумеју технолошки задатак и окружење у којем се налазе. Поред учења транспортних токова у познатим технолошким окружењима, за интелигентан транспорт материјала потребно је решити и проблем управљања кретањем интелигентног агента - мобилног робота. За проблем генерисања и планирања путање кретања мобилног робота у литератури [4] су приказани различити алгоритми претраживања.

Садржај овог рада је организован у шест поглавља. Након уводног поглавља и кратког прегледа истраживања у свакој од тематских целина, у другом поглављу се даје аксиоматски приступ у домену концепцијског пројектовања интелигентног унутрашњег транспорта материјала. Треће поглавље обухвата развој модула за одређивање положаја мобилног робота у расположивом лабораторијском моделу технолошког окружења. Такође, приказани су усвојени и развијени алгоритми за симулацију технолошког процеса и генерисање оптималне путање кретања мобилног робота, као и машинско учење транспортних токова материјала засновано на примени система вештачких неуронских мрежа. У четвртном поглављу су представљени добијени експериментални резултати развијеног концепта на систему мобилног робота *Khepera II* спроведени у лабораторијском моделу технолошког окружења [7]. На крају рада дат је закључак са основним резултатима истраживања и назначеним правцима будућих истраживања.

2. КОНЦЕПЦИЈСКО ПРОЈЕКТОВАЊЕ ИНТЕЛИГЕНТНОГ УНУТРАШЊЕГ ТРАНСПОРТА

Аксиоматска теорија пројектовања представља покушај синтезе основних принципа пројектовања у различитим инжењерским областима [5] и свим фазама пројектовања. Ова методологија пројектовања се заснива на идентификацији потреба купаца и претварању тих потреба у коресподентне функционалне захтеве у физичком домену, а све у циљу развијања минималног скупа захтева који остварују захтеване функције пројектовања. Према [3], пресликавање се постиже кроз процес тзв. мапирања, у фазама концепцијског пројектовања, пројектовања производа и пројектовања процеса. Даље се процес пројектовања остварује кроз итеративно пресликавање и непрекидно преплитање између функционалних захтева (ФЗ) у функционалном домену и параметара пројектовања (ПП) у физичком домену, на сваком од хијерархијских нивоа.

Процес пројектовања система за интелигентни унутрашњи транспорт материјала почиње успостављањем ФЗ у функционалном домену и параметара пројектовања помоћу којих се остварују постављени функционални захтеви у физичком домену. На слици 2.1 приказане су фазе, домени као и хијерархијска структура ФЗ и ПП.



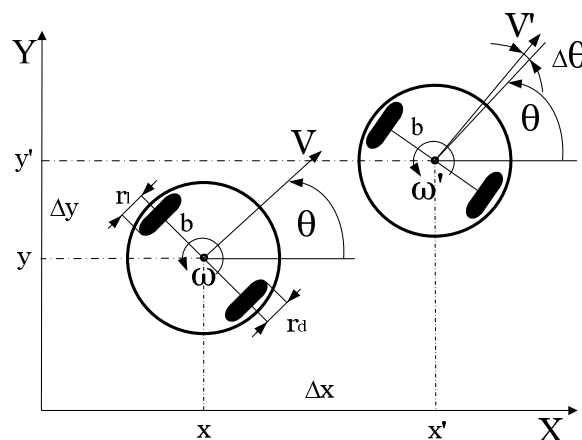
Слика 2.1: Фазе пројектовања, домени и хијерархијска структура ФЗ и ПП

3. МОБИЛНИ РОБОТ У ТЕХНОЛОШКОМ ОКРУЖЕЊУ

3.1 Модул за одређивање положаја мобилног робота

Сходно аксиоматској теорији пројектовања интелигентног унутрашњег транспорта материјала, први функционални захтев (FZ11) на другом хијерархијском нивоу пројектовања подразумева одређивање положаја (позиције и оријентације) мобилног робота, при раванском кретању кроз задато технолошко окружење.

Позиција и оријентација мобилног робота у Декартовом координатном систему, са прираштајима компонената вектора стања, $x_t=(x,y,\theta)$, за два узастопна положаја робота у тренуцима t и t' , где је $t'>t$, приказани су на слици 3.1. Будући да је у питању диференцијални погон точкава мобилног робота (два мотора независно покрећу сваки точак [4]), математичка формулација модела кретања на основу пређеног пута точкава извршена је као у [6]. Поред управљачких величина x , y и θ , на слици 3.1 је приказано и растојање између точкава, означено са b , док су полупречници десног и левог точка означени са r_d и r_l , респективно.



Слика 3.1: Два узастопна положаја мобилног робота у тренуцима t и t'

3.2 Модул за планирање путање кретања мобилног робота

3.2.1 Анализа транспортних токова материјала у производно-монтажном погону

Један од фактора који директно утиче на ефикасност извођења технолошких операција у погонима технолошких система је и уређење производног простора. Према [7], позната су два критеријума за уређење производног простора. У предузећу „МОНТПРОЈЕКТ“, чији је пројектовани *layout* (диспозициони план) [7] искоришћен за лабораторијски модел технолошког окружења, а технолошки процеси као основ за симулацију и планирање путање кретања мобилног робота, примењен је други критеријум уређења производног простора. То значи да се репроматеријал, обраци и делови кроз технолошки систем крећу секвенцијално истим путем. За анализу производног тока унутар поменутог предузећа, према [5], неопходни су следећи подаци о машинама (напомена: у даљем тексту се увек мисли на машине алатке) и деловима:

За анализу производног тока унутар поменутог предузећа, према [5], неопходни су следећи подаци о машинама (напомена: у даљем тексту се увек мисли на машине алатке) и деловима:

- број и опис машина које се користе унутар технолошког система;
- број различитих (репрезентативних) делова који се обрађују;
- величина серије за сваки део;
- технолошка путања за сваки део.

У табели 3.1 приказан је списак машина у разматраном производно-монтажном погону, а у табели 3.2 дат је списак репрезентативних делова који се обрађују на датим машинама. Технолошка путања за сваки део, према [5], одређена је редоследом операција у виду машине потребне за извођење операције и временом трајања операције. Након усвајања података о машинама и деловима, неопходно је успоставити квантитативну зависност између њих. У општем случају, ова зависност се може представити матрицом међузависности M_{DM} [8], која се на основу

матрица M (3.1) и D (3.2) дефинише на следећи начин (3.3):

Машина	Опис (Тип) машине
M1	Маказе за сечење
M2	CNC машина за пробијање и просецање
M3	CNC хидраулична апкант преса
M4	Машина за исецање профила
M5	Стубна бушилица
M7	Кружна тестера
M8	Оштрилица алата
M9	Линија за обраду делова од бакра

Део	Опис
Део 1	Transport fuse
Део 2	Mainbusbar support
Део 3	Support d800
Део 4	Busbar 2 L1

$$M = [m_1 \ m_2 \ \dots \ m_{NM}] \quad (3.1)$$

$$D = [d_1 \ d_2 \ \dots \ d_{ND}]' \quad (3.2)$$

$$M_{DM} = D \cdot M = \begin{bmatrix} d_1 \\ M \\ d_{ND} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_1 & L & m_{NM} \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

$$M_{DM} = \begin{bmatrix} p_{11} & L & p_{1j} & L & p_{1NM} \\ M & O & L & L & M \\ p_{i1} & L & p_{ij} & L & p_{iNM} \\ M & L & L & O & M \\ p_{ND1} & L & p_{NDj} & L & p_{NDNM} \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

$$T_{DM} = \begin{bmatrix} t_{11} & L & t_{1j} & L & t_{1NM} \\ M & O & L & L & M \\ t_{i1} & L & t_{ij} & L & t_{iNM} \\ M & L & L & O & M \\ t_{ND1} & L & t_{NDj} & L & t_{NDNM} \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & L & r_{1j} & L & r_{1m} \\ M & O & L & L & M \\ r_{i1} & L & r_{ij} & L & r_{im} \\ M & L & L & O & M \\ r_{m1} & L & r_{mj} & L & r_{mm} \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

где је: M - вектор машина; D - вектор делова; M_{DM} - квантитативна матрица међузависности; ND - број различитих делова које треба обрадити; NM - број различитих машина у погону; p_{ij} - елемент матрице M_{DM} који има вредност 1 уколико део посећује машину и вредност 0 уколико део не посећује машину.

Ако се у успостављену матрицу међузависности делови-машине M_{DM} уместо параметра p_{ij} замени време трајања операције сваког дела на одговарајућим машинама изражено у секундама, добија се матрица времена T_{DM} , која је приказана са (3.5). У том случају, t_{ij} је елемент матрице T_{DM} који има вредност различиту од 0 уколико део посећује машину и вредност 0 уколико део не посећује машину.

У циљу одређивања оптималне путање кретања мобилног робота, дефинише се и матрица растојања R , која је квадратна матрица формата $(m \times m)$ и дата је схемом (3.6).

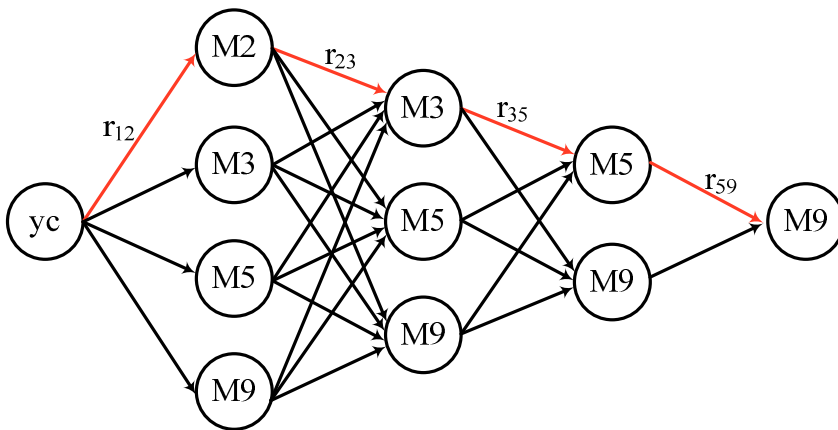
Сходно постулатима који се наводе у теорији графова, а у случају да грана графа повезује један исти чвор, тежински однос те гране је тада једнак нули. На основу тога и својства симетричности, за елементе матрице R важе следеће релације, представљене са (3.7) и (3.8):

$$r_{ij} = r_{ji} \quad (3.7)$$

$$r_{ii} = 0; r_{jj} = 0 \quad (3.8)$$

3.2.2 Алгоритми за планирање путање кретања

За задатак планирања путање кретања мобилног робота, који је представљен другим функционалним захтевом (FZ12) на другом хијерархијском нивоу, развијена су три алгоритма. Први је A^* алгоритам претраживања, који је коришћен за проналажење најкраће путање између почетне и циљне тачке у одређеном окружењу [6]. Настаје као резултат синергијског дејства два алгоритма - *Dijkstra* и *best-first search* алгоритма, при чему сваки од њих користи различите критеријуме претраживања. *Dijkstra* алгоритам врши претраживање сходно критеријуму најкраћег пута и на основу њега дефинисане цене помераја, док *best-first search* алгоритам користи хеуристички прихватљиве процене за естимацију вредности цене помераја. Развој A^* алгоритма је дат је у [3], а имплементација у [6].

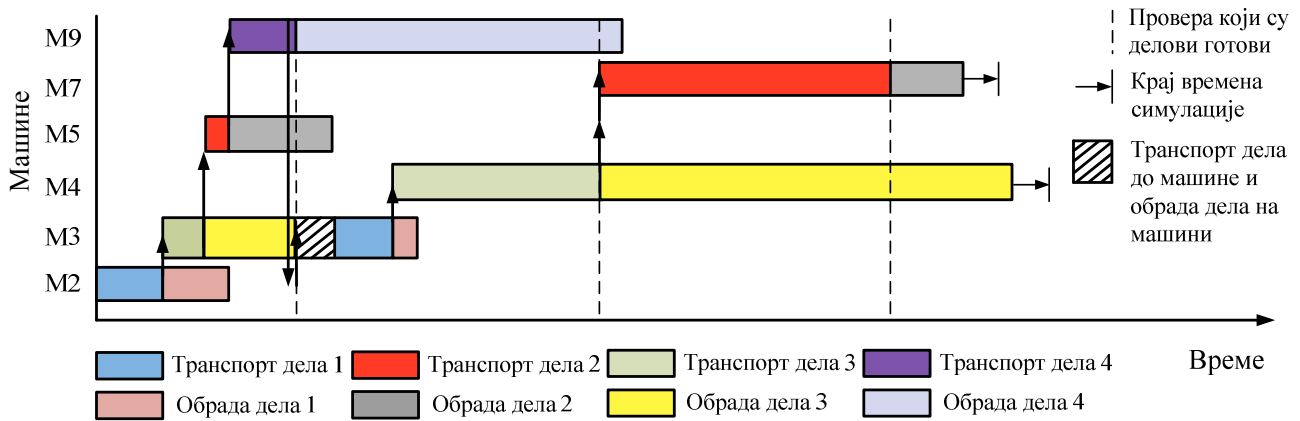


Слика 3.2: Графички приказ и резултат претраживања другог алгоритма

Други алгоритам (слика 3.2) се користи за одређивање редоследа машина по приоритету које робот посећује при транспорту четири репрезентативна дела на машине за прву операцију. На основу матрице делови-машине (M_{DM}), познате су машине (чворови графа) на којима се обавља прва операција сваког од репрезентативних делова. Одабир чворова врши се на сваком нивоу графа алгоритма, на основу минималног растојања као критеријума.

Овај алгоритам, такође, припада групи *breadth-first search* алгоритама, што значи да се у сваком кораку алгоритма врши претраживање чворова који припадају истом нивоу.

Алгоритам за одређивање редоследа чворова по приоритету при планирању путање кретања мобилног робота сходно технолошком поступку представља трећи развијени алгоритам. Овај алгоритам генерише карактеристичне временске параметре технолошког процеса (трајање операције на машини) и временске параметре везане за транспорт делова до машина (време кретања мобилног робота између машина). На слици 3.3 дат је упоредни приказ времена транспорта сваког од репрезентативних делова до машина и времена обраде делова на машинама.



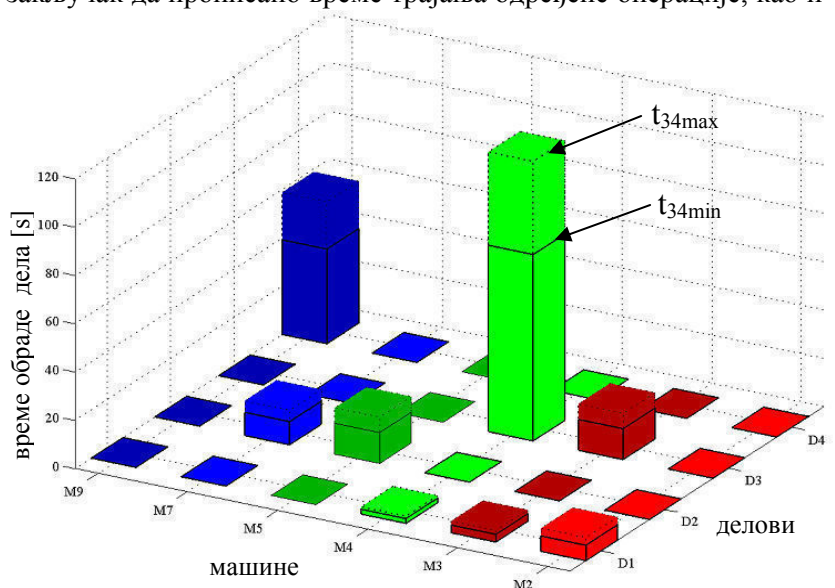
Слика 3.3: Графички приказ времена транспорта и обраде за четири репрезентативна дела

После транспорта последњег репрезентативног дела на машину за прву операцију, од свих машина на којима су до тог тренутка делови готови, алгоритам бира ону машину до које је растојање од тренутног чвора минимално тј. бира најкраће растојање између тренутне позиције робота и машине на којој је предвиђена технолошка операција завршена. У примеру на слици 3.3 је то део 1 на машини M2. Након кретања робота до изабране машине (M2), преузимања готовог дела (део 1) и његовог транспорта на M3, на основу матрице зависности делови-машине (M_{DM}) се одређује на којој се машини обавља следећа операција дела (део 3) који је готов на M3 и сходно томе одређује следећи циљни чвор. Тада мобилни робот врши транспорт преузетог дела (део 3) од тренутног стартног чвора (M3) до циљног чвора (M4). Ова процедура се понавља до жељеног временског трајања симулације.

3.3 Модул за предикцију параметара технолошког процеса

Познато је да инжењерски процеси углавном нису детерминистичке природе. Процеси који су значајни за постављени задатак транспорта материјала са аспекта времена трајања јесу обрадни процес и процес кретања робота између дефинисаних чворова (машина). С обзиром на то да су ови процеси стохастичке природе, следи закључак да прописано време трајања одређене операције, као и време транспорта делова роботом од чвора до чвора није једнако за сваки део из групе истих репрезентативних делова.

На пример, време трајања прве технолошке операције за део 1 налази се у интервалу $8s \pm t_{12}$, где је t_{12} толеранција времена трајања прве операције, док се време кретања робота при транспорту дела 3 од M3 до M4 налази у интервалу $10s \pm t_{334}$, при чему је t_{334} толеранција за време кретања робота. На слици 3.4 дат је графички приказ времена трајања технолошких операција делова на машинама, са јасно назначеним горњим и доњим



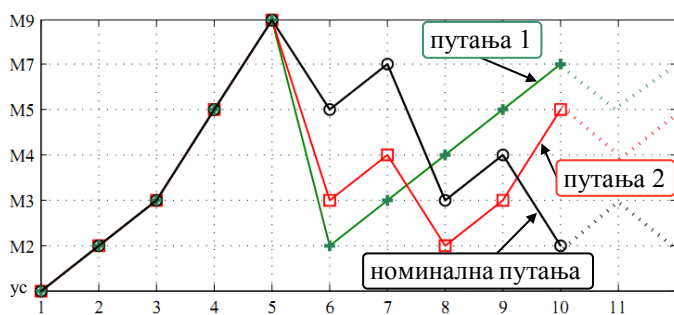
Слика 3.4: Графички приказ времена обраде делова

границама временских интервала генерисаних униформном расподелом. На основу овако извршене предикције временских параметара, сходно функционалном захтеву FZ13, јасно је да редослед чворова у генерисаној путањи зависи од времена кретања робота између чворова R_T (добива се експерименталним путем или на основу матрице растојања R) и времена трајања технолошких операција на машинама (T_{DM}).

3.4 Модул за учење транспортних токова материјала

Примена система вештачких неуронских мрежа (ВНМ) за решавање проблема у различитим областима производног инжењерства је веома широка и датира још од деведесетих година 20. века. Према [9] издвајају се три основне категорије њихове употребе: класификација, предикција и функционална апроксимација. За задатак учења транспортних токова материјала, исказан и функционалним захтевом FZ14, користи се друга категорија употребе ВНМ - предикција. На основу претходних вредности стања система (у конкретном случају временских параметара процеса и времена кретања робота између машина) и тренутних вредности стања система (чвор у ком се робот тренутно налази), врши се предикција наредног чвора путање у који се транспортује део, слика 3.5.

План експеримента за прикупљање 30 парова за обучавање вештачких неуронских мрежа састојао се у варирању толеранције t у границама $\pm 25\%$ и добијању различитих временских параметара од којих зависи редослед чворова у путањи.



Слика 3.5: Предикција различитих путања кретања мобилног робота у зависности од временских параметара процеса

ВНМ, на основу временских параметара добијених симулацијом, процесирају информације о технолошком процесу и генеришу чвор у који робот прелази. На тај начин, сваки члан матрица T_{DM} и R_T утиче на планирање путање и одабир сваког наредног чвора. С тим у вези треба напоменути да се не генерише једна путања коју робот прати, већ номинална путања бива абдејтована на основу симулираних података о стању процеса и времена кретања робота, слика 3.5.

За обучавање ВНМ коришћен је *Matlab Neural Network Toolbox*, са Левенберг-Маркеовим алгоритмом учења [9] и сигмоидном активационом функцијом. Може се уочити да је најбоље резултате показала мрежа са четири неурона у једном скривеном слоју и параметром учења $\eta=0,05$. Грешка учења износила је $1 \cdot 10^{-13}$.

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

4.1 Експеримент 1: Праћење генерисане путање кретања

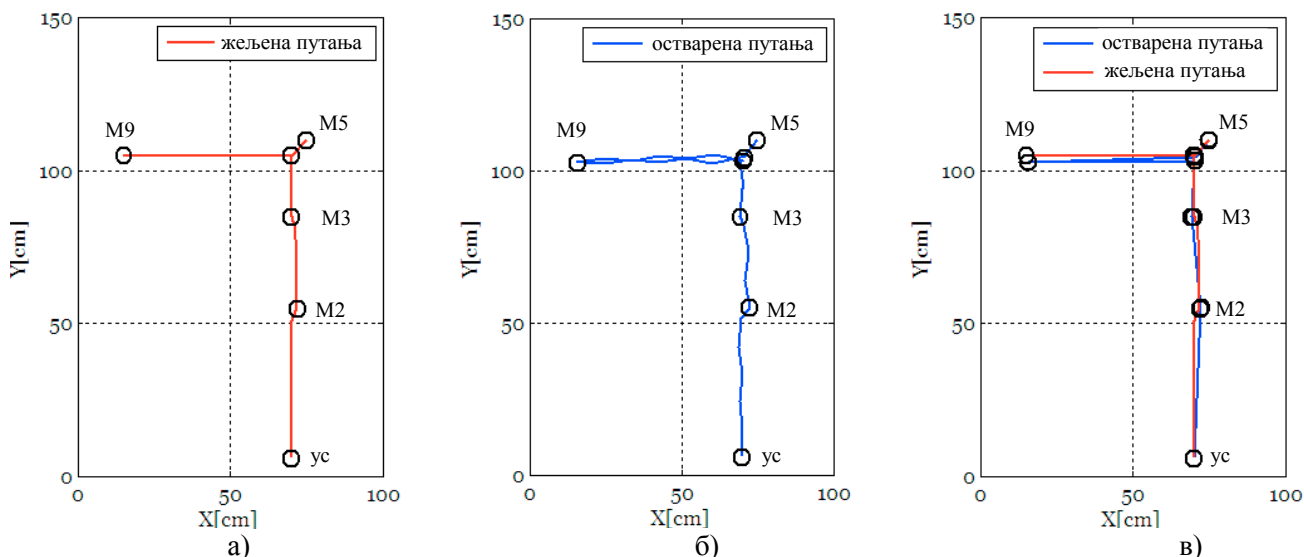
За задатак праћења путање, одабран је део номиналне путање кретања генерисане на основу параметара технолошког процеса. У својен почетни положај робота је $x_p=[70 \ 6 \ 90]$, што одговара координатама чвора 1, односно, координатама улазног складишта полуфабриката - лима (ус), док су координате циљне тачке $x_c=[75 \ 110]$, што одговара координатама чвора 7, односно координатама позиције у којој се мобилни робот налази при опслуживању стубне бушилице (M5). Координате свих чворова (машина алатки и складишта) дати су у табели 4.1. Ознака сгдл представља складиште готових делова од лима, мс међускладиште, док сгдб представља складиште готових делова од бакра.

Табела 4.1: Координате чворова у лабораторијском моделу технолошког окружења

ознака чвора	ус	M2	M3	M4	M5	M7	M9	сгдл	мс	сгдб
број чвора	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x[cm]	70	72	70	75	70	75	15	30	50	20
y[cm]	6	55	85	40	105	110	105	105	100	105

Брзине левог и десног точка *Khepera II* мобилног робота током кретања кроз технолошко окружење биле су једнаке и износиле су $V_l=V_d=20$ [mm/s]. На слици 4.1 дат је упоредни приказ

жељене (слика 4.1 (а)), остварене (слика 4.1 (б)), као и жељене и остварене (слика 4.1 (в)) путање кретања мобилног робота. Са слике је очигледно да се жељена и остварена номинална путања кретања разликују, па се тачност позиционирања може интерпретирати преко параметара MSE и $RMSE$ [9]. Средња квадратна грешка (MSE) позиционирања по x координати износи $0,5598$ [cm], а по y координати $1,4624$ [cm], док је корен средње квадратне грешке ($RMSE$) по x координати је $0,7482$ [cm], а по y координати $1,2093$ [cm].

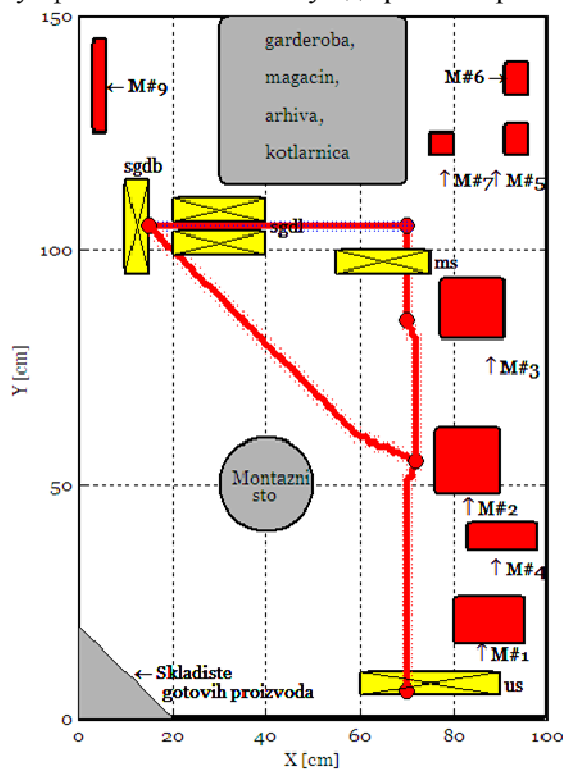


Слика 4.1: Упоредни приказ жељене и остварене путање кретања робота за експеримент 1

4.2 Експеримент 2: Праћење путање генерисане као резултат машинског учења мобилног робота применом ВНМ

Као и у првом експерименту, почетни положај робота је $x_p=[70 \ 6 \ 90]$, што одговара координатама чвора 1, односно, координатама улазног складишта полуфабриката од лима (ус), док координате циљне тачке биле x_c нису биле познате на самом почетку кретања и зависиле су од времена кретања робота између машина и времена обраде делова на машинама. Брзине левог и десног точка мобилног робота током кретања кроз технолошко окружење биле су једнаке и износиле су $V_l=V_d=30$ [mm/s]. Робот се креће до позиција у којима оставља репрезентативне делове на машине за прву операцију (M2, M3, M5 и M9), као што је приказано жељеном путањом на слици 4.1(а). Истовремено се на основу алгоритма који симулира технолошки процес генеришу карактеристична времена обраде делова на машинама.

Када се робот након транспорта последњег репрезентативног дела на машину за прву операцију нађе у чвору 7 (M9), подаци о тренутном положају и времену се обрађују ВНМ. На основу тренутног чвора и експериментом добијеног времена трајања кретања робота, ВНМ дају најближу машину на којој је завршена технолошка операција и тако генеришу информацију о следећој акцији робота. Тада се он креће према наредном чвору (чвор 2 – M2), слика 4.2. Сада чвор 2 постаје тренутни, а време кретања робота од чвора 7 до чвора 2 меродавно за предикцију наредног чвора. Као и у претходном случају, ВНМ дају команду да се из чвора 2 робот креће у чвор 3 оптималном путањом генерисаном A* алгоритмом, која је на слици приказана линијом црвене боје.



Слика 4.2: Приказ кретања мобилног робота у лабораторијском моделу технолошког окружења

5. ЗАКЉУЧАК

У оквиру овог рада представљен је метод концепцијског пројектовања роботизованог унутрашњег транспорта материјала у интелигентном технолошком систему. Интелигентни мобилни робот, при *a priori* познатим статичким препрекама у окружењу, има способност да генерише оптималну путању кретања у складу са захтевима технолошког процеса и приоритетом опслуживања машина алатки, као и да на основу претходних акција, захваљујући вештачким неуронским мрежама, учи оптималне транспортне путеве и редослед задатака манипулације. У раду су приказани развијени и имплементирани алгоритми, и то *breadth-first search* класа алгоритама за генерисање карактеристичних чворова дискретизованог технолошког окружења, и A^* алгоритам за одабир оптималне путање кретања између њих. На бази вештачких неуронских мрежа развијен је подсистем за предикцију параметара технолошког процеса и учење карактеристичних временских параметара процеса. За потребе симулације извршена је оцена временских норматива технолошког процеса, а прописане временске норме су моделиране сагласно законима униформне расподеле. Алгоритми претраживања и модели вештачких неуронских мрежа су развијени у *Matlab* софтверу и имплементирани на мобилном роботу *Khepera II*, уз експериментална тестирања и верификацију рада у реалном времену у лабораторијском моделу технолошког окружења. Како је остварена средња квадратна грешка (*MSE*) позиционирања робота по *x* координати 0,5598 [cm], а по *y* координати 1,4624 [cm], правци даљих истраживања односили би се на развијање алгоритама локализације мобилног робота, базираних на обради сензорских информација са камере.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Teti, R., Kumara, S.R.T., **Intelligent Computing Methods for Manufacturing Systems**, CIRP Annals – Manufacturing Technology, Vol. 46, Issue 2, pp. 629-652, 1997.
- [2] Tomiyama, T., Gu, P., Jin, Y., Lutters, D., Kind, Ch., Kimura, F., **Design methodologies: Industrial and educational applications**, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol. 58, pp. 543–565, 2009.
- [3] Suh, N.P., **The Principles of Design**, Oxford University Press, 1990.
- [4] Siegwart, R., Nourbakhsh, I. R., **Introduction to Autonomous Mobile Robots**, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 2004.
- [5] Бабић, Б., **Пројектовање технолошких процеса**, II издање, Универзитет у Београду - Машински факултет, Београд, 2004.
- [6] Петровић, М., Лукић Н., Вуковић Н., Миљковић З., **Мобилни робот у унутрашњем транспорту материјала интелигентног технолошког система - едукација и развој**, 36. ЈУПИТЕР Конференција, 32. симпозијум НУ*РОБОТИ*ФТС, Зборник радова стр. 3.85-3.90, Београд, 2010.
- [7] Миљковић З., Милановић Д., Нешић Н., Стошић Д., Милановић С., **Пројектовање производних процеса у предузећу „Монтпројект“ - Београд**, Технолошко-развојни пројекат, 2004.
- [8] Miljković, Z., Babić, B., **Machine-Part Family Formation by Using ART-1 Simulator and FLEXY**, *FME Transactions* (ISSN 1451-2092), New Series, Vol. 33 No. 3, pp. 157-162, University of Belgrade – Faculty of Mechanical Engineering, 2005.
- [9] Миљковић З., Александрић Д., **Вештачке неуронске мреже – Збирка решених задатака са изводима из теорије**, Универзитет у Београду – Машински факултет, 2009.

ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS AND AXIOMATIC DESIGN THEORY IN CONCEPTUAL DESIGN OF INTELLIGENT MATERIAL TRANSPORT

Abstract

This paper presents a method for conceptual design of material transport using mobile robot, based on axiomatic design theory and artificial intelligence. The method combines the use of algorithms to generate motion path of intelligent mobile robot as well as artificial neural networks for prediction of the manufacturing process and machine learning of material transport routes that are designed according to proposed production processes. Simulation of manufacturing processes, artificial neural networks training and implementation of algorithms is executed in Matlab software package. Experimental results on a system of Khepera II mobile robot show that mobile robot can learn and make the optimal path.

Keywords: *intelligent manufacturing systems, conceptual design, axiomatic design theory, artificial neural networks, mobile robot*



A. Košarac¹, M. Zeljković², R. Gatalo³, S. Trifković⁴

PRIMJENA TEHNOLOGIJE VIRTUALNE REALNOSTI U FAZI PROJEKTOVANJA KONCEPCIONIH RJEŠENJA FLEKSIBILNIH TEHNOLOŠKIH STRUKTURA RAZLIČITOG NIVOA SLOŽENOSTI

Rezime: Projektovanje koncepcije predstavlja prvu fazu u razvoju proizvoda koja zahtjeva veliko učešće umnostvaralačkog rada projektanta i koju je relativno teško automatizovati. S druge strane vizuelna prezentacija koncepcionog rješenja doprinosi lakšem sagledavanju estetskog izgleda, lakšem uočavanju grešaka, odnosno predstavlja jedan od kriterijuma za izbor koncepcionog rješenja.

U radu je prikazana primjena tehnologije virtualne realnosti pri projektovanju koncepcionih rješenja fleksibilnih tehnoloških struktura za obradu rotacionih dijelova različitog nivoa složenosti, sa ciljem boljeg razumjevanja, vrednovanja, prostorne i ergonomske analize navedenih rešenja. Tehnologija virtualne realnosti je primjenjena za vizuelizaciju i animaciju rada mašina alatki (kao komponenti fleksibilnih tehnoloških struktura), fleksibilnih tehnoloških modula (FTM) i fleksibilnih tehnoloških sistema (FTS). Virtualni modeli su dobijeni eksportovanjem 3D modela iz programskog sistema CATIA u jezik za modelovanje virtualne realnosti VRML (Virtual Reality Modeling Language). Upravljanje kretanjem pojedinih komponenti mašina alatki i fleksibilnih tehnoloških struktura je izvedeno u MATLAB/Simulink okruženju, a kao interfejs između MATLAB/Simulink okruženja i virtualne realnosti koristi se VR Toolbox biblioteka. Prikazivanje virtualne scene realizuje se primenom Virtual Reality Toolbox viewer.

Ključne riječi: Fleksibilne tehnološke strukture - FTs, Modularno projektovanje, Virtualna realnost - VR, Virtual Reality Modeling Language – VRML, CATIA

1. UVOD

U cilju boljeg razumjevanja, procijene, vrednovanja, pogotovo u fazi projektovanja koncepcije fleksibilne tehnološke strukture, kada su najmanji troškovi eventualnih izmjena, tehnologija virtualne realnosti ima veliki potencijal kao dopuna mogućnostima računarske grafike i konvencionalnih CAD sistema. Takođe, estetski izgled i ergonomske karakteristike predstavljaju važne faktore kvaliteta. Izgled budućeg proizvoda se u najvećoj mjeri definiše u fazi njegovog projektovanja, a izbor odgovarajućih oblika, detalja, završne obrade, površinske zaštite, odnosno sve ono što se „vidi“, podešava se u ranim fazama procesa projektovanja. Osim vizuelizacije u fazi procesa projektovanja koncepcije važno je imati informacije o geometrijskim i mehaničkim karakteristikama (dimenzije, koordinate, površine, zapremine, mase, momenti inercije), ali i druge informacije, kao što su kinematske i dinamičke karakteristike. Tehnologija virtualne realnosti se intenzivno razvija u posljednje vrijeme i poznata je kao tehnologija virtualne i proširene realnosti. Ova tehnologija nije samo moćan alat prostorne vizuelizacije, nego i alat koji pruža i druge mogućnosti za izvođenje različitih analiza, kao npr. virtualna ispitivanja, kretanja kroz konstrukciju, optimizaciju procesa i sl. Zavisno od potreba korisnika ova tehnologija pruža različite mogućnosti, od naprednih opcija računarske grafike, pa do potpunog sjedinjenja korisnika sa nestvarnim svijetom.

¹mr Aleksandr Košarac, viši asistent, Mašinski fakultet, Istočno Sarajevo, akosarac@gmail.com

²dr Milan Zeljković, redovni profesor, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, milanz@uns.ac.rs

³dr Gatalo Ratko, redovni profesor, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, gatalora@uns.ac.rs

⁴ Spasoje Trifković, viši asistent, Mašinski fakultet, Istočno Sarajevo

U radu su prikazana istraživanja vezana za mogućnosti primjene savremenih informacionih tehnologija prostorne vizuelizacije pri projektovanju koncepcionih rješenja fleksibilnih tehnoloških struktura za obradu rotacionih dijelova različitog nivoa složenosti sa ciljem boljeg razumjevanja, vrednovanja, prostorne i ergonomske analize navedenih rješenja. Primjena informacionih tehnologija ovdje podrazumjeva korištenje savremenih CAD alata u cilju dobijanja geometrijske strukture odnosno 3D modela, te prevođenje ovih modela u jezik za opisivanje virtualne realnosti VRML radi prostorne vizuelizacije i izvođenja kinematskih analiza. Prikazan je nastavak istraživanja prezentiranih u [6], gdje je prezentovan razvijeni sistem za automatizovano modularno projektovanje mašina alatki primjenom CAD parametarskih modela i baza podataka, te koncipiranje fleksibilnih tehnoloških struktura višeg nivoa složenosti. Parametarski modeli se projektuju primenom CATIA programskog sistema opšte namjene, a konkretizacija geometrijskih oblika vrši se na osnovu programa i proračuna koji se izvode za zadate uslove obrade, tj. na osnovu ulaznih informacija o obradku.

2. VRML OKRUŽENJE

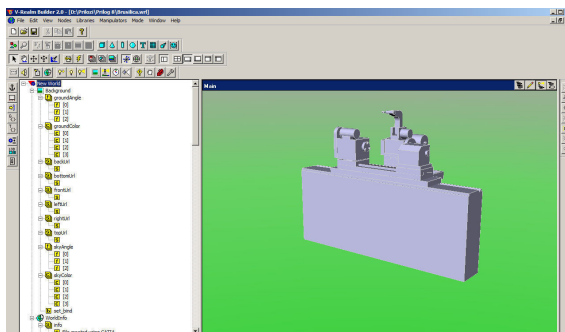
Povećavanjem mogućnosti računarskog hardvera korištenje 3D grafike postaje sve popularnije i izvan tradicionalnih domena, u područjima kao što je umjetnost ili računarske igre. Jezik za modelovanje virtualne realnosti VRML predstavlja otvorenu i fleksibilnu platformu za kreiranje interaktivnih trodimenzionalnih scena (virtualnih svjetova). VRML je definiran kao ISO standard, otvorenog koda i tekst baziran, uz mogućnost prikazivanja modela u web pretraživačima.

VRML u osnovi predstavlja način grupisanja objekata. VRML objekti se nazivaju čvorovi. Za animaciju kretanja objekata na virtualnoj sceni najvažniji je čvor *Transform* koji grupiše više transformacija (tj. čvorova) u jedan čvor (*center*, *rotation*, *scale*, *scaleOrientation*, *translation*, *bboxCenter*, *bboxSize*). Kompletna animacija rada fleksibilne tehnološke strukture i njenih komponenti realizovana je primenom čvorova *rotation* i *translation*. Da bi čvorovi bili aktivni, potrebno je sistemski dodijeljeno ime čvora "roditelj" (*Transform*) promijeniti u neko drugo, jedinstveno ime. Nakon toga se u *Simulink 3D Animation viewer*-u selektuju "djeca" čvorovi (*rotation*, *translation*,...). Selektovani čvorovi postaju ulazi bloku *VR Sink* i na njih se mogu dovesti *Simulink* signali. Editovanje virtualne scene podrazumjeva definisanje jedinstvenih imena "roditelj" čvorovima *Transform*.

3. V-REALM GRAFIČKI EDITOR

Za editovanje i kreiranje virtualne scene i objekata koristi se VRML grafički editor V-Realm Builder. Tipičan izgled radnog okruženja *V-Realm 2.0* grafičkog editora prikazan je na slici 1. Osnovni elementi u stablu strukture su transformacije (*transform*). Trodimenzionalni objekti (oblici) koji su navedeni unutar jedne transformacije mogu da imaju proizvoljnu orijentaciju, veličinu skaliranja, kao i rotaciju oko definisanih osa rotacije. Unutar jedne transformacije moguće je da se nađe proizvoljan broj trodimenzionalnih objekata (oblika). Transformacije u VRML stablu mogu da budu hijerarhijski organizovane tako da jedna transformacija može da sadrži više hijerarhijski "dijete" (*child*) transformacija ili s druge strane bude podređena starijoj, „roditelj" (*parent*) transformaciji unutar VRML virtualnog svijeta.

Osnovni gradivni elementi transformacija u VRML specifikaciji predstavljaju trodimenzionalni oblici (*shapes*). U opštem slučaju, trodimenzionalni oblici se definišu odgovarajućim koordinata u prostoru, koje se međusobno povezuju da bi se dobio željeni oblik.

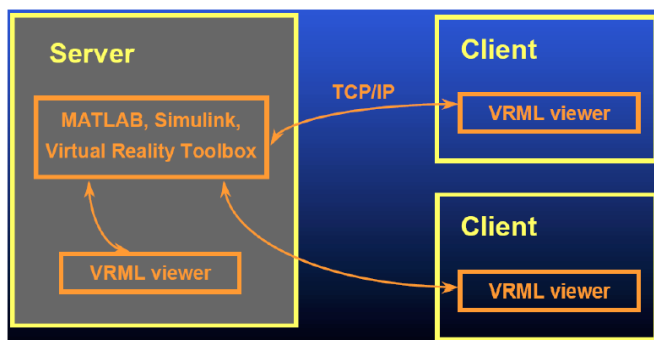


Slika 1. V-Realm Builder okruženje za kreiranje i editovanje virtualne scene

Važno je napomenuti da su geometrijski oblici pri transformaciji iz CATIA programskog sistema u VRML zadržali osobine kao i poziciju u stablu strukture. U V-Realm Builder okruženju korisnik imenuje transformacije koje će izvoditi bilo koje kretanje. Samo se na one transformacije kojima su dodijeljena imena mogu kasnije u Matlab okruženju dovesti upravljački signali.

4. VIRTUAL REALITY TOOLBOX VIEWER ZA PRIKAZIVANJE VIRTUALNE SCENE

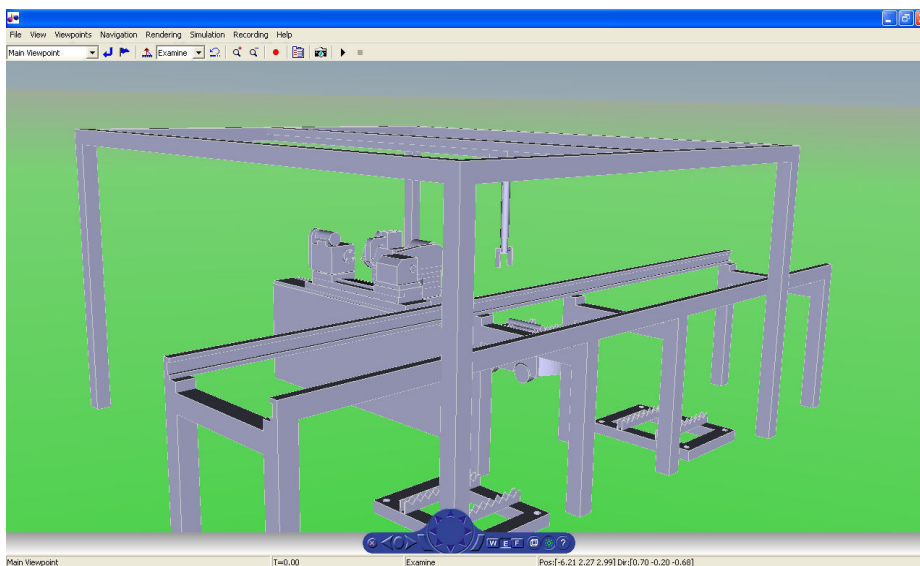
Prikazivanje virtualne scene moguće je na dva načina, slika 2:



Slika 2. Mogućnosti prikazivanja virtualne scene

- Primenom aplikacije *Simulink 3D Animation viewer*, koja je dio *VRToolbox*-a. Nakon što se *.wrl* datoteka učita u *Simulink 3D Animation viewer*, potrebno je u njegovom stablu strukture selektovati stepene slobode, odnosno transformacije, kojima se žele upravljati signalima iz *Simulink*-a. Ovo postaju ulazi u blok *VR Sink* koji pripada biblioteci *Virtual Reality Toolbox*. Na ulazne linije ovoga bloka se dovode *Simulink* signali.
- Određene *VRML* funkcije dostupne su interpreterima ugrađenim u web pretraživače kojima se promjene na sceni mogu inicirati iz same web stranice. Najpoznatiji je *Blaxxun Contact*, *plug in* program za najčešće web pretraživače *Internet Explorer*, *Netscape Navigator*, *Mozilla*, *Opera*, *Firefox* i sve druge koji podržavaju *plug-in* arhitekturu. Instalacija *Blaxxun Contact plug-in* omogućava pristup virtualnoj sceni primjenom standardnih web pretraživača.

Na slici 3. prikazan je fleksibilni tehnološki modul za brušenje u *Virtual Reality Toolbox viewer*-u.

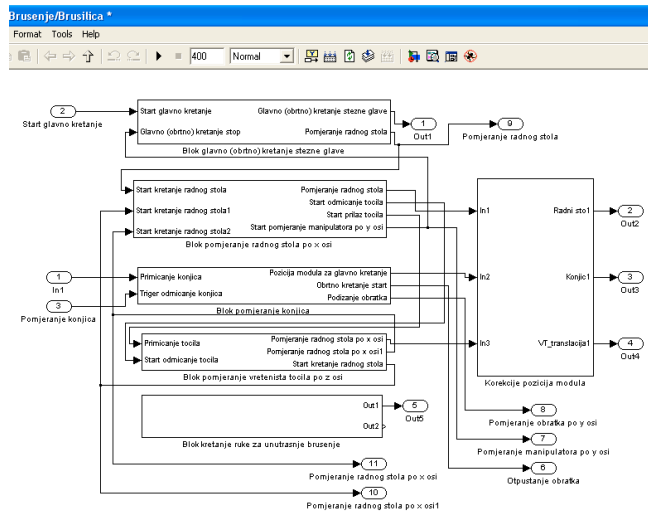


Slika 3. Fleksibilni tehnološki modul za brušenje prikazan u *Virtual Reality Toolbox viewer*-u

4. POVEZIVANJE VRML VIRTUELNOG SVIJETA SA MATLAB - SIMULINK OKRUŽENJEM

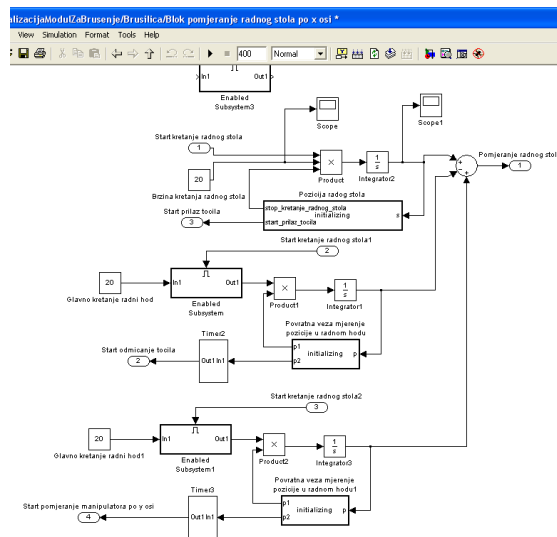
Podsistemi za upravljanje kretanjem kinematskih modula kao osnovnih kinematskih cjelina, su građeni iz blokova *Simulink* biblioteke. Od ovih podsistema se grade strukture za upravljanje kretanjem virtualnih modela mašina alatki i manipulacionog sistema. Integracijom struktura za upravljanje kretanjima mašina alatki i manipulacionog sistema dobija se struktura za upravljanje virtualnim modelom fleksibilnog tehnološkog modula. Moguća je i dalja integracija struktura za upravljanje fleksibilnim tehnološkim modulima i struktura za upravljanje transportnim sistemom, te razviti strukturu za upravljanje virtualnim modelom fleksibilnog tehnološkog sistema.

Na slici 4. je prikazana struktura za upravljanje virtualnim modelom univerzalne brusilice. Strukturu čine podsistemi za upravljanje kretanjima sledećih modula: radnog stola, konjića, vreteništa točila, uređaja za unutrašnje brušenje i stezne glave.

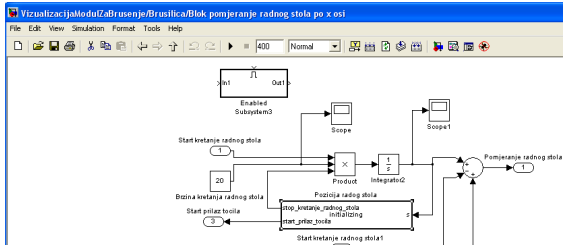


Slika 4. Struktura za upravljanje virtualnim modelom univerzalne brusilice

Podsistem za upravljanje kretanjem radnog stola po osi x je prikazan na slici 5. Brzina kretanja definiše se u bloku *Constant*, dok se trenutna pozicija dobija na izlazu *Integrator* bloka. Za prećenje kretanja radnog stola formira se povratna veza pomoću bloka *Embedded MATLAB Function*, slika 6. U ovom bloku se nalazi funkcija napisana u *MATLAB* programskom jeziku, u kojoj se definiše krajnja pozicija kinematskog modula. Ulaz u blok *Embedded Matlab Function* predstavlja vrijednost trenutne pozicije kinematskog modula. Kada kinematski modul dostigne krajnju poziciju, signal na izlazu ovog bloka postaje 0, čime i izlazna vrijednost bloka *Product* postaje 0. Ovim se zaustavlja dalje kretanje modula. Na slici 7. u *MATLAB Editor*-u je prikazana funkcija koja omogućava praćenje trenutne pozicije radnog stola, te zaustavlja kretanja kada radni sto dostigne unaprijed definisanu poziciju. Blok *Embedded Matlab Function* može imati više od jednog izlaza. Sledeći izlazi ovog bloka se najčešće koriste kao „okidači“ bloka *Enabled Subsystem* i kada je dostignuta pozicija kinematskog modula to je uslov za početak izvođenje narednog kretanja.



Slika 5. Podsistem za upravljanje kretanjem radnog stola po x osi



Slika 6. Praćenje pozicije radnog stola pomoću Embedded Matlab Function

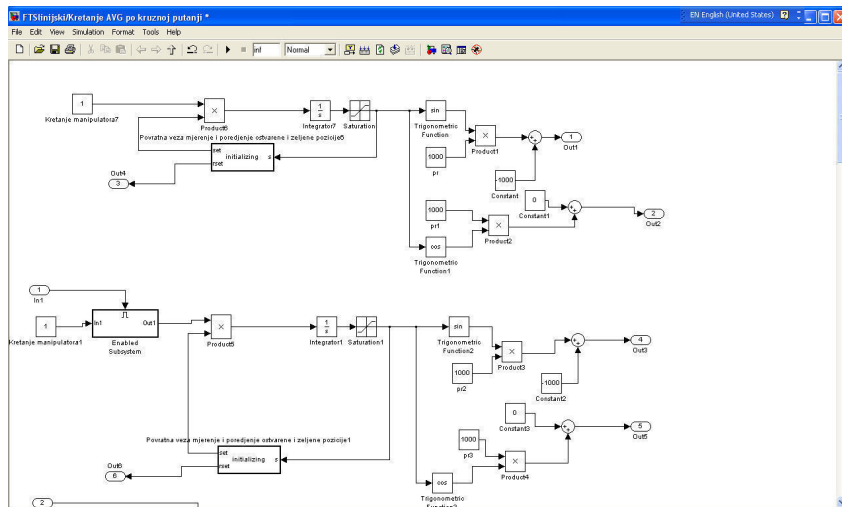
```

1 function [stop_kretanje_radnog_stola,start_prilaz_tocila] = initializing(s)
2 - stop_kretanje_radnog_stola=1;
3 - start_prilaz_tocila=0;
4 - if s>=35;
5 - stop_kretanje_radnog_stola=0;
6 - start_prilaz_tocila=1;
7 - end
8

```

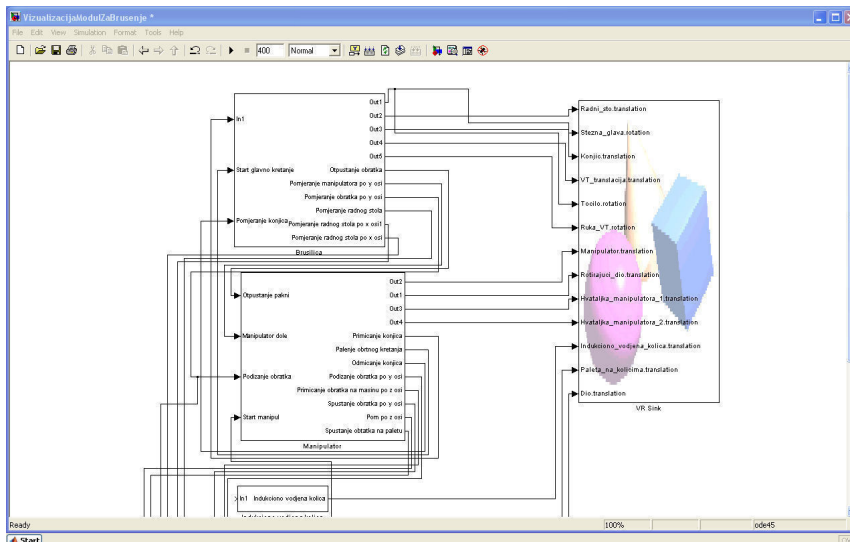
Slika 7. MATLAB funkcija omogućava praćenje trenutne pozicije radnog stola

Na opisani način upravlja se linearnim kretanjima kinematskih modula virtualnih modela. Ukoliko postoji potreba za kretanjem kinematskih modula po kružnoj putanji, kao npr. u slučaju pomjeranja automatski vođenih transportnih kolica, tada se upravljanje u *MATLAB/Simulink*-u može riješiti definisanjem kružne putanje preko parametarske jednačine kružnice poluprečnika r sa centrom u tačkama p i q , kako je prikazano na slici 8.



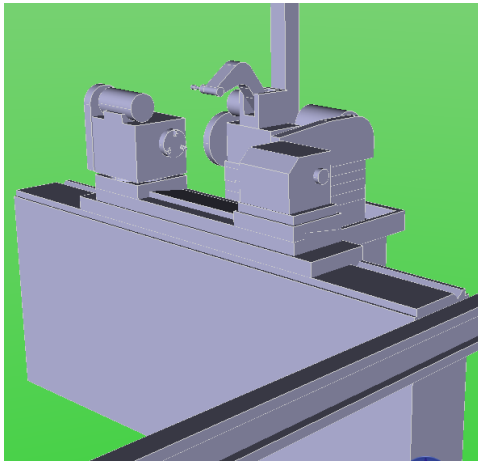
Slika 8. Upravljanje kretanjem po kružnoj putanji

Struktura za upravljanje virtualnim modelom fleksibilnog tehnološkog modula za brušenje, koja se sastoji od strukture za upravljanje kretanjem brusilice i portalnog manipulatora, je prikazana na slici 9.

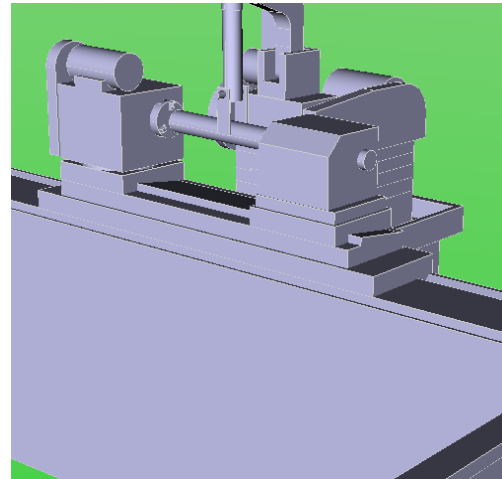


Slika 9. Struktura za upravljanje FTM za brušenje

Na slici 10 (a,b) prikazani su segmenti rada fleksibilnog tehnološkog modula za brušenje, a na slici 11. segmenti rada fleksibilnog tehnološkog sistema sa otvorenim (linijskim) rasporedom obradnih sistema (a), odnosno sa kompaktnim rasporedom obradnih sistema (b).

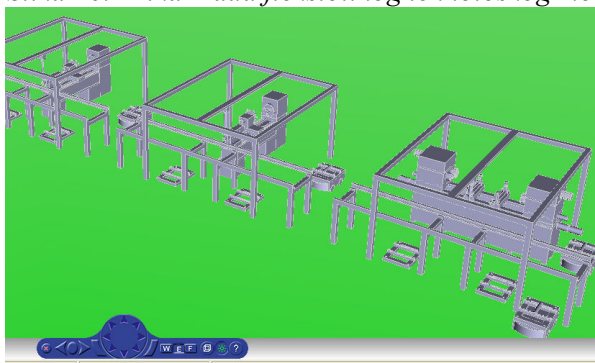


a

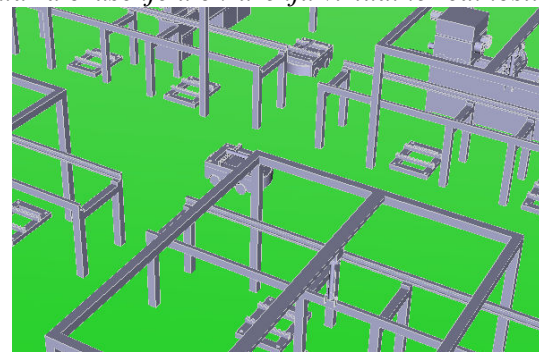


b

Slika 10. Prikaz rada fleksibilnog tehnološkog modula za brušenje u okruženju virtualne realnosti



a



b

Slika 11. Prikaz rada fleksibilnog tehnološkog sistema u okruženju virtualne realnosti

5. ZAKLJUČCI

U radu je prikazana mogućnost korištenja tehnologije virtualne realnosti pri projektovanju koncepcijskih rješenja fleksibilnih tehnoloških struktura za obradu rotacionih dijelova različitog nivoa složenosti. Dobijena rješenja se mogu koristiti u oblasti edukacije, ali i u oblasti marketinga. Virtualni modeli su realizovani eksportovanjem 3D modela iz programskog sistema CATIA u jezik za modelovanje virtualne realnosti VRML (Virtual Reality Modeling Language), a upravljačka struktura je razvijena u Matlab / Simulink grafičkom okruženju. Može se konstatovati da je stepen interaktivnosti korisnika sa virtualnim svijetom nizak, kao i osjećaj sjedinjenja korisnika u virtualno okruženje (imerzivnosti). Korisnik virtualnu scenu doživljava kao dio realnog okruženja. Ulazni uređaji su miš, tastatura, ali treba napomenuti da Virtual Reality Toolbox biblioteka posjeduje blokove koji omogućavaju primjenu i drugih ulaznih uređaja kao što je džojstik. Kao izlazni uređaj koristi se monitor.

Dalje istraživanje, kada je u pitanju primjena virtualne realnosti u Matlab / Simulink okruženju, može biti u vezi sa kinematskom i dinamičkom analizom projektovane strukture. Razvijena aplikacija se može proširiti modelovanjem industrijskog robota i razvojem upravljačke strukture korištenjem SimScape biblioteke za njegovo upravljanje. Interesantno područje za dalja istraživanja predstavlja i korištenje formirane virtualne scene u mrežnom okruženju, primjena različitih U/I hardverskih uređaja za interakciju korisnika sa virtualnom scenom, odnosno upravljanje objektima na sceni, razvoj interfejsa koji će prilagođavati kretanja kinematskih modula upravljačkom programu (NC kodu) za pojedine komponente fleksibilnih tehnoloških struktura.

6. LITERATURA

- [1] Gatalo, R., Rekecki, J., Zeljković, M., Borojev, Lj., Hodolič, J.: *Fleksibilni tehnološki sistemi za obradu rotacionih izradaka, knjiga II, Osnovne komponente za obradu i njihovo komponovanje u strukture višeg nivoa*, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, 1989.
- [2] Hodolič, J., Borojev, Lj., Rekecki, J., Gatalo, R., Zeljković, M.: *Fleksibilni tehnološki sistemi za obradu rotacionih izradaka, knjiga III, Manipulacioni i merno kontrolni sistemi*, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, 1989.
- [3] Jönsson, A., Wall, J., Broman, G.: *A virtual machine concept for real-time simulation of machine tool dynamics*, International Journal of Machine Tools & Manufacture 45, 795-801, 2005.
- [4] Kim, G.Y.: *Design Virtual Reality Systems, The Structured Approach*, Springer-Verlag, 2005.
- [5] Košarac, A.: *Automatizacija projektovanja i vizuelizacija rada fleksibilnih tehnoloških struktura*, Magistarski rad, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2010.
- [6] Košarac, A., Zeljković, M., Gatalo, R.: *Primjena savremenih tehnologija vizuelizacije u projektovanju fleksibilnih tehnoloških struktura*, Zbornik radova – CD ROM, INFOTEH-Jahorina, Jahorina, Mart 2011.
- [7] Požar, A.: *Razvoj sistema za automatizovanom modularno projektovanje koncepcionih rešenja brusilica*, Magistarski rad, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2001.
- [8] Rekecki, J., Gatalo, R., Zeljković, M., Borojev, Lj., Hodolič, J.: *Fleksibilni tehnološki sistemi za obradu rotacionih izradaka, knjiga I, Stanje, tendencije i podloge za razvoj*, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, 1989.

APPLICATION OF VIRTUAL REALITY TECHNOLOGY IN THE PHASE OF DESIGNING OF CONCEPTUAL SOLUTIONS OF DIFFERENT LEVEL OF COMPLEXITY FLEXIBLE TECHNOLOGY STRUCTURES

Abstract: *Conceptual design represents the first phase in product development that requires significant creative work of designers and which is relatively hard to be automatised. On the other hand, visual presentation of conceptual solution contributes to easier overview of estetic appearance, to easier distinction of mistakes, i.e. it represents one of criteias for conceptual solution selection. This paper shows virtual reality technology aplication while designing conceptual solutions of flexible technology structures of different level of complexity for turning process for rotational parts, aiming to better understand, evaluate and conduct spatial and erconomic analysis of above-mentioned solutions, Virtual reality technology is applied for visualisation and animation of machine tools work (as components of flexible technology structures), of flexible technology modules (FTM) and flexible technology systems (FTS). Virtual moduls derive from exporting 3D models from CATIA into VRML (Virtual Reality Modeling Language). Controlling of movement of certain components of machine tools and flexible technology structures is performed in MATLAB/Simulink environment, and VR Toolbox is used as interface between MATLAB/Simulink environment and virtual reality. Virtual Reality Toolbox viewer is used to present virtual scene.*

Key words: *Flexible technology structures, Modular design, Virtual reality – VR, Virtual Reality Modeling Language – VRML, CATIA*



Lukić, D.; Todić, V.; Milošević, M.; Jovičić, G.; Vukman, J.*

PRIMENA VIŠEKRITERIJUMSKOG ODLUČIVANJA U IZBORU OBRADNOG SISTEMA

Rezime: Projektanti se veoma često susreću sa potrebom izbora optimalnog rešenja proizvoda, procesa, resursa, itd. U takvim situacijama pored velikog broja alternativa javlja se veliki broj kriterijuma, što sve zajedno čini problem izbora mnogo složenijim. Za rešavanje složenih zadataka ocene i izbora optimalnog rešenja razvijene su brojne metode višekriterijumskog odlučivanja.

U radu je prikazana primena višekriterijumske AHP (analitički hijerarhijski proces) metode u izboru obradnog sistema za projektovanu grupnu operaciju obrade struganjem operacijske grupe osovina.

Ključne reči: Višekriterijumsko odlučivanje, AHP metoda, Izbor, Obradni sistem

1.0 UVOD

Kvalitet nekog proizvoda ili procesa određuju brojni pokazatelji koji mogu biti iz grupe tehničkih, ekonomskih, organizacionih ili drugih elemenata kvaliteta. Zbog toga je razvoj i primena pouzdanih metoda za ocenu ukupnog kvaliteta određenog proizvoda ili procesa kompleksno pitanje jer se takvim metodama rešavaju veoma složeni zadaci višekriterijumske optimizacije, odnosno odlučivanja.

Projektovanje tehnoloških procesa obuhvata transformaciju polaznog materijala ili priprema u gotov deo, uz potrebnu promenu njegovog oblika, dimenzija, estetskog izgleda i unutrašnjih svojstava materijala obradka. Jedna od osnovnih aktivnosti u fazi projektovanja tehnološkog procesa je i izbor tehnoloških resursa neophodnih za izvođenje proizvodnog procesa. Izbor odgovarajućih tehnoloških resursa podrazumeva prethodno definisanje različitih ograničenja koja prate proces projektovanja i proizvodnje [1]. Ova ograničenja se najčešće odnose na raspoložive tehnološke resurse u okviru proizvodnog sistema u kome se vrši izrada proizvoda. S tim u vezi, izbor odgovarajućeg tehnološkog resursa se može posmatrati sa tri različita aspekta [2]:

- Izbor tehnološkog resursa se vrši na bazi raspoloživih resursa u okviru posmatranog proizvodnog okruženja,
- Izbor tehnološkog resursa se vrši na bazi svih mogućih resursa, pri čemu se traže najpovoljnije alternative (sa mogućnošću nabavke odgovarajućeg resursa),
- Definisanje karakteristika tehnološkog resursa koji će biti projektovan samo za jedan proizvod ili grupu proizvoda, što predstavlja podloge za projektovanje resursa čije osobine su podređene geometrijskim i tehnološkim karakteristikama proizvoda.

U ovom radu prikazan je problem izbora obradnog sistema za realizaciju grupne operacije obrade struganjem operacijske grupe osovina, primenom AHP višekriterijumske metode odlučivanja.

2.0 VIŠEKRITERIJUMSKO ODLUČIVANJE

Višekriterijumsko odlučivanje i višekriterijumska analiza spadaju u oblast teorije odlučivanja. Kod višekriterijumske analize osnovni cilj je da se na konzistentan način prevaziđu teškoće na koje donosilac odluke nailazi pri rešavanju problema sa velikom količinom složenih podataka. Ona obuhvata veliki broj različitih tehnika koji se razlikuju po pristupu problemu, odnosno načinu prikupljanja podataka za pojedine kriterijume, a u cilju određivanja ukupne performanse alternativa u odnosu na skup eksplicitno definisanih ciljeva. Pri tome se tehnike višekriterijumske analize mogu koristiti: *da se identifikuje jedna najpoželjnija alternativa, da se rangiraju alternative, da se izabere ograničen broj alternativa ili da se jednostavno izdvoje prihvatljive od neprihvatljivih alternativa.*

* Prof. dr Velimir Todić, e-mail: todvel@uns.ac.rs; mr Dejan Lukić, e-mail: lukicd@uns.ac.rs; mr Mijodrag Milošević, e-mail: mido@uns.ac.rs; MSc Goran Jovičić, e-mail: goran.jovicic@uns.ac.rs; MSc Jovan Vukman, e-mail: vukman@uns.ac.rs; Fakultet tehničkih nauka, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad.

Prilikom donošenja odluka često se postavlja pitanje izbora najbolje odluke, odnosno rešenja. Pre nego što je višekriterijumska analiza razvijena, problemi izbora i rangiranja različitih odluka obično su se svodili na zadatke optimizacije jednog kriterijuma. Kada je u pitanju izbor alternativa na osnovu samo jednog kriterijuma onda se relativno lako nalazi najbolja alternativa, tako što se bira alternativa koja daje najveću ili najmanju vrednost posmatranom kriterijumu optimizacije. [3]

Višekriterijumsko odlučivanje (VKO) odnosi se na probleme odlučivanja u kojima je prisutan veći broj, često vrlo različitih kriterijuma. Problemi višekriterijumskog odlučivanja su veoma razučeni, ali i pored toga imaju neke zajedničke karakteristike [4]:

- *Veći broj kriterijuma/atributa, koji moraju biti kreirani od strane donosioca odluke ili tima;*
- *Prisustvo nekompatibilnosti i postojanje konflikata među kriterijumima. U mnogim slučajevima se dešava da je jedna alternativa bolja od neke druge u smislu jednog kriterijuma, dok je druga bolja od prve u smislu nekog drugog kriterijuma;*
- *Neuporedive jedinice mera, jer po pravilu svaki kriterijum/atribut ima različitu jedinicu mere;*
- *Izbor vrste problema višekriterijumskog odlučivanja su ili projektovanje najbolje alternative ili izbor najbolje alternative iz konačnog skupa prethodno definisanih alternativa.*

Kod raščlanjivanju procesa odlučivanja na faze postoje sličnosti i razlike, ali se uglavnom sve teorije mogu svesti na sledeće faze u procesu odlučivanja [1]:

- *Identifikovanje i definisanje problema,*
- *Određivanje skupa alternativnih rešenja,*
- *Određivanje skupa kriterijuma za vrednovanje alternativa i njihovih težinskih koeficijenata,*
- *Vrednovanje alternativa,*
- *Izbor i ocena alternative.*

Prema načinu izbora najbolje alternative problemi višekriterijumskog odlučivanja (VKO) mogu se klasifikovati u dve grupe [5]:

- *Višeatributivno odlučivanje (VAO) ili višekriterijumska analiza (VKA).* Atributi su karakteristike upotrebljene za opis neke alternative, odnosno svaki atribut treba da obezbedi sredstvo ocene nivoa jednog kriterijuma. Po pravilu veći broj atributa treba da karakteriše svaku alternativu i oni se biraju na osnovu izabranih kriterijuma od strane donosioca odluke.
- *Višeciljno odlučivanje (VCO).* Za višeciljno odlučivanje (VCO) kao drugu veliku grupu metoda VKO karakteristično je da sve metode imaju sledeće zajedničke osobine: skup ciljeva koji mogu biti kvantifikovani, skup dobro definisanih ograničenja, proces dobijanja informacija (eksplicitnih ili implicitnih) o identifikovanim ciljevima.

Postojanje više kriterijuma, od kojih neke treba maksimizirati a neke minimizirati, znači da se odluke donose u konfliktnim uslovima i da se za rešavanje višekriterijumskih zadataka moraju primeniti instrumenti koji su fleksibilniji od strogo matematičkih tehnika čiste optimizacije. Za ovu svrhu razvijeni su brojne metode višekriterijumskog odlučivanja od kojih se kao značajnije mogu izdvojiti: *AHP, PROMETHEE, ELECTRE, TOPSIS, DELPHI, itd.* [5].

3.0 OSNOVE AHP METODE

Analitički hijerarhijski proces (AHP) predstavlja alat u analizi odlučivanja, kreiran da pruži pomoć donosiocima odluke u rešavanju kompleksnih problema odlučivanja u kojima učestvuje veći broj alternativa, veći broj kriterijuma i u višestrukim vremenskim periodima. Područje primene je višekriterijumsko odlučivanje gde se na osnovu definisanog skupa kriterijuma i vrednosti atributa vrši izbor najprihvatljivije alternative, odnosno prikazuje se potpuni poredak važnosti alternativa u modelu. U osnovi se radi o specifičnom alatu za formiranje i analizu hijerarhija odlučivanja. AHP najpre omogućava interaktivno kreiranje hijerarhije problema kao pripremu scenarija odlučivanja, a zatim vrednovanje u parovima elemenata hijerarhije (ciljeva, kriterijuma i alternativa) u top-down smeru. Na kraju se vrši sinteza svih vrednovanja i po strogo utvrđenom matematičkom modelu određuju težinski koeficijenti svih elemenata hijerarhije. Zbir težinskih koeficijenata elemenata na svakom nivou hijerarhije jednak je 1 što omogućava donosiocu odluka da rangira sve elemente u horizontalnom i vertikalnom smislu. [5, 6]

AHP omogućava interaktivnu analizu osetljivosti postupka vrednovanja na konačne rangove elemenata hijerarhije. Pored toga, tokom vrednovanja elemenata hijerarhije, sve do kraja procedure i sinteze rezultata, proverava se konzistentnost rezonovanja donosioca odluka i utvrđuje ispravnost dobijenih rangova alternativa i kriterijuma, kao i njihovih težinskih vrednosti. Metodološki posmatrano, AHP je

višekriterijumska tehnika koja se zasniva na razlaganju složenog problema u hijerarhiju. Cilj se nalazi na vrhu hijerarhije, dok su kriterijumi, podkriterijumi i alternative na nižim nivoima.

Analitički hijerarhijski proces je fleksibilan jer omogućava da se kod složenih problema sa mnogo kriterijuma i alternativa relativno lako nađu relacije između uticajnih faktora, prepozna njihov eksplicitni ili relativni uticaj i značaj u realnim uslovima i odredi dominantnost jednog faktora u odnosu na drugi. Metod, naime, anticipira činjenicu da se i najsloženiji problem može razložiti na hijerarhiju i to tako da su u dalju analizu uključeni i kvalitativni i kvantitativni aspekti problema. AHP drži sve delove hijerarhije u vezi, tako da je jednostavno videti kako promena jednog faktora utiče na ostale faktore. [6, 7]

U samoj primeni AHP metode mogu se evidentirati četiri osnovne faze [5]:

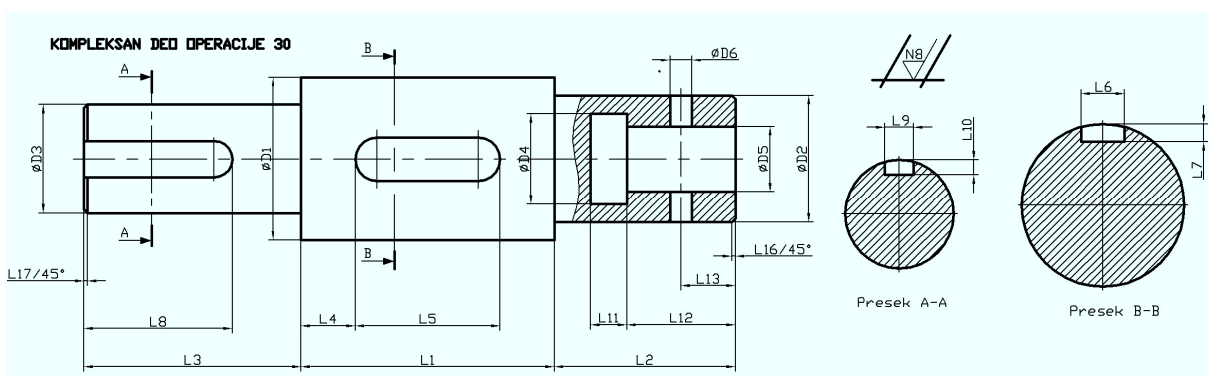
- *Struktuiranje problema odlučivanja,*
- *Prikupljanje podataka,*
- *Procena relativnih težina, odnosno težinskih koeficijenata,*
- *Rangiranje i izbor najpovoljnije alternative.*

4.0 POSTAVKA PROBLEMA ODLUČIVANJA

Osnovni postavljeni zadatak se odnosi na projektovanje proizvodnog pogona–ćelije za proizvodnju tehnološke, odnosno operacijske grupe osovina prema serijskom tipu proizvodnje. U okviru proizvodne ćelije ključno mesto zauzima obradni sistem za grupnu operaciju obrade struganjem, na čijem primeru će se prikazati metodologija ocene i izbora obradnog sistema.

U cilju dobijanja potrebnih podloga za rešenje postavljenog zadatka izbora obradnog sistema u radu [8] su realizovane sledeće aktivnosti:

- *Projektovanje grupnog tehnološkog procesa, odnosno grupne operacije obrade struganjem na principima grupne tehnologije za odgovarajući kompleksan deo (slika 1);*
- *Određivanje vremena operacija izrade grupe osovina;*
- *Određivanje potrebnog broja i nivoa složenosti obradnih sistema.*



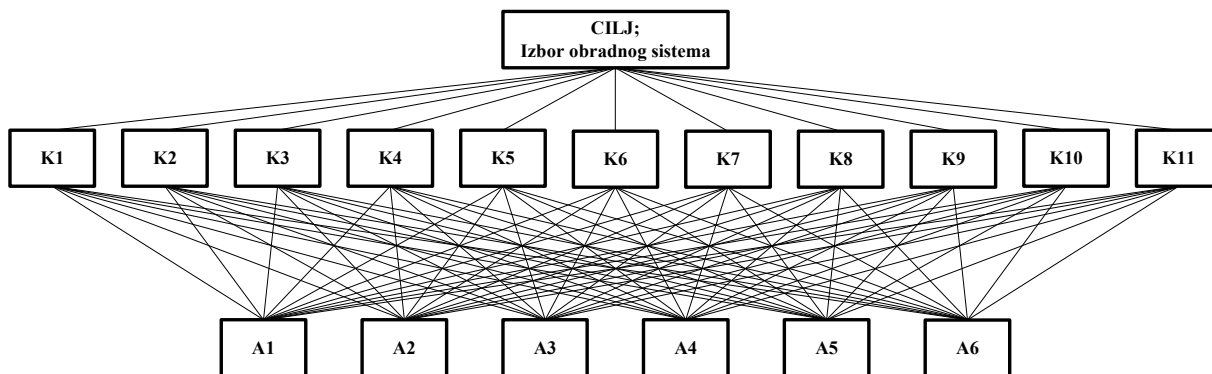
Slika 1. Kompleksan deo operacijske grupe za struganje

Nakon usvojenog broja i nivoa složenosti obradnih sistema, pristupilo se izboru i oceni odgovarajućeg obradnog sistema operacije struganja primenom višekriterijumskih metoda optimizacije. U cilju rešenja ovog problema bilo je potrebno izvršiti određene korake, koji se odnose na:

- *Predlog skupa alternativnih rešenja obradnih sistema za struganje;*
- *Određivanje skupa kriterijuma za vrednovanje alternativa kao i njihovih težinskih koeficijenata;*
- *Vrednovanje i izbor alternativa primenom metoda višekriterijumske optimizacije.*

Na slici 2. je prikazana hijerarhijska struktura problema izbora obradnog sistema kao funkcije cilja sa 11 izabranih kriterijuma (K1-K11) i 6 alternativa CNC strugova (A1-A6).

U tabeli 1. dati su kriterijumi za vrednovanje CNC strugova koji su uzeti kao alternative za razmatranje. Ove alternative su birane na osnovu geometrijskih karakteristika delova tehnološke grupe, zahteva predviđenih projektovanom operacijom obrade, kao i na osnovu podataka o raspoloživim obradnim sistemima. Redosled kriterijuma za vrednovanje je usvojen na osnovu dvotrećinske saglasnosti stručnjaka-učesnika u donošenju odluke sa predloženom rang listom kriterijuma.



Slika 2. Hijerarhijska struktura problema izbora obradnog sistema

Tabela 1. Alternativni CNC strugovi sa usvojenim parametrima važnosti-kriterijumima ¹

No	Naziv kriterijuma	Dimenzije	Gildemei-	Traub	HAAS	Knuth	Okuma	Nakamura
			nster CTX 310 ECO	TNA 300	SL-10	StarChip 450	LB 200EX	SC 200
			A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆
K1	Cena	n.j.	65000	60000	55000	40000	80000	70000
K2	Procena kvaliteta mašine	Kvalitativna	5	4,5	3,5	3	5	4,5
K3	Maksimalni prečnik obrade	mm	260	275	279	280	430	432
K4	Maksimalna dužina obrade	mm	450	450	356	500	300	509
K5	Maksimalni broj obrtaja g.v.	o/min	5000	5600	6000	4000	6000	4500
K6	Maksimalna snaga motora g.v.	kW	11	11	11,2	11	11	11
K7	Broj alata u revolverskoj glavi	kom	12	12	12	8	12	12
K8	Prečnik šipke kroz vreteno	mm	51	42	44,5	32	62	65
K9	Prečnik stezne glave	mm	210	175	165	50	200	200
K10	Površina postolja	m ²	3,75	4,37	2,69	4,25	3,22	4,22
K11	Masa mašine	kg	3800	3500	2495	5000	2600	3780

U ovom radu će se prikazati izbor obradnog sistema za struganje primenom AHP metode uz korišćenje programskog sistema Expert Choice. U radu [8] korišćen je i analitički aproksimativni postupak primene AHP metode, kao i metoda grupnog izbora na osnovu pokazatelja tehnoeconomskog nivoa sredstava rada, prema [9].

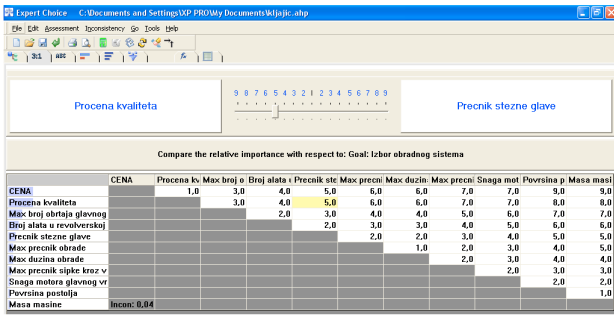
5.0 PRIMENA AHP METODE ZA IZBOR OBRADNOG SISTEMA

Expert Choice predstavlja efikasan softverski alat za rešavanje problema višekriterijskog odlučivanja, odnosno optimizacije, i u posmatranom slučaju je korišćena njegoa varijanta EC11 [10]. Ovaj programski sistem u potpunosti podržava sve korake karakteristične za primenu AHP metode. Programski sistem omogućuje strukturiranje hijerarhijskog modela problema odlučivanja na više načina, kao i upoređivanje alternativa u parovima, takođe na nekoliko načina. Posebnu vrednost programskom sistemu daju različite mogućnosti provođenja analize osetljivosti koje se temelje na vizualizaciji posledica promena ulaznih podataka. Programski sistem omogućuje i kreiranje različitih vrsta izveštaja.

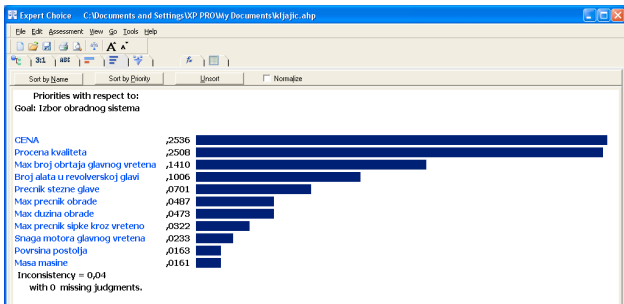
Primena programa se ovde neće detaljnije prikazati, već će se prikazati samo deo mogućnosti koji se odnose na rešavanje konkretnog problema izbora obradnog sistema, odnosno rangiranje posmatranih alternativa u zavisnosti od izabranih kriterijuma.

Prvo se u program unose osnovni podaci, odnosno cilj, odgovarajuće alternative i kriterijumi. Nakon definisanja i unošenja kriterijuma vrši se određivanje njihove važnosti u ukupnom modelu, odnosno uticaj na posmatrane alternative. Kriterijumi se međusobno porede prema Saatyjevoj skali devet tačaka [5]. Na slici 3. prikazan je postupak unosa podataka upoređivanja kriterijuma svakog sa svakim, dok su na slici 4. prikazani dobijeni težinski koeficijenti, odnosno važnosti kriterijuma u ukupnom modelu. Nakon određivanja težinskih koeficijenata kriterijuma izvršeno je određivanje težina svih alternativa, međusobnim poređenjem alternativa u odnosu na svaki kriterijum pojedinačno.

¹ Podaci za posmatrane mašine su preuzeti iz kataloga i sa internet stranica proizvođača i prodavaca mašina



Slika 3. Postupak upoređivanja kriterijuma u parovima



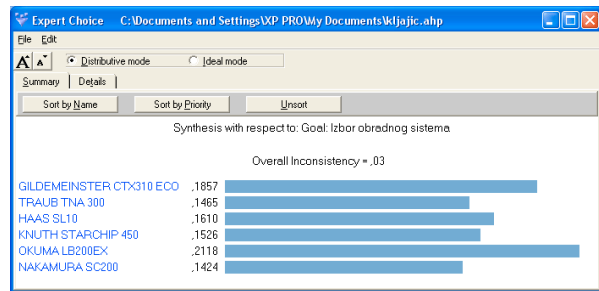
Slika 4. Važnosti kriterijuma u modelu

Na slici 5. prikazan je lokalni prioritet alternativa i težinskih koeficijenata kriterijuma u modelu. Na slici 6. prikazan je ukupni redosled alternativa u postavljenom modelu nakon sprovedene sinteze, s obzirom na postavljeni cilj. Ukupna inkonzistentija je 0,03 (3%), što je manje od dozvoljene inkonzistentnosti 10%, pa se može reći da je model dobro strukturiran.

Sa slike 6. se vidi da je CNC strug alternativa 5–Okuma LB 200EX najprihvatljivije rešenje postavljenog problema sa težinom 0.2118, potom alternativa 1–Gildemeinsteir CTX 310 ECO sa težinom 0.1857, itd. Ukupni poredak alternativa u postavljenom modelu je sledeći A₅, A₁, A₃, A₄, A₂, A₆.

Distributive mode	Pairwise	Pairwise	Pairwise	Pairwise	Pairwise	Pairwise	Pairwise	Pairwise	Pairwise	Pairwise	Pairwise	
AID	Alternative	CENA (L: .254)	Procena kvaliteta (L: .251)	Max broj obrtaja glavnoj vretenju (L: .141)	Broj alata u revolverskoj glavi (L: .101)	Procenik stezne glave (L: .070)	Max precnik obrade (L: .149)	Max duzina obrade (L: .047)	Max precnik siple kroz vretenju (L: .032)	Snaga motora glavnoj vretenju (L: .023)	Povrsina pos (L: .016)	Masa masine (L: .016)
A1	GILDEMEINSTER	2083	1.0000	2958	1.0000	1.0000	1.307	8035	3279	1.0000	3025	2437
A2	TRAUB TNA 300	3227	4378	9592	1.0000	3023	2173	5693	2725	1.0000	8698	4145
A3	HAAS SL10	4950	1313	1.0000	1.0000	1887	2173	1625	2305	5000	1.0000	1.0000
A4	KNUTH STARCHIP	1.0000	0749	0864	1.111	0735	2173	1.0000	1094	1.0000	1217	0859
A5	OKUMA LB200EX	0710	1.0000	1.0000	1.0000	8619	1.0000	1129	1.0000	1.0000	5875	8387
A6	NAKAMURA SC200	1373	4378	1517	1.0000	8619	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1383	2256

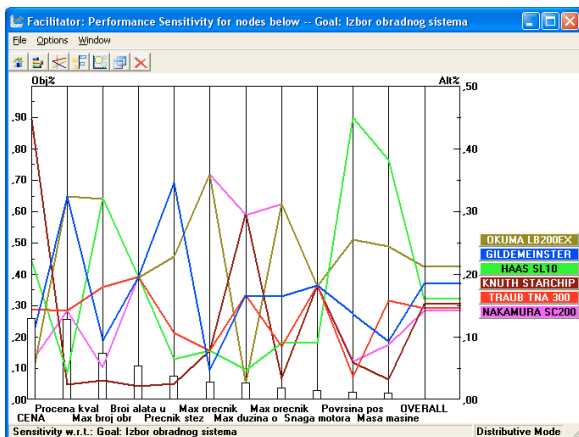
Slika 5. Lokalni prioritet alternativa u modelu



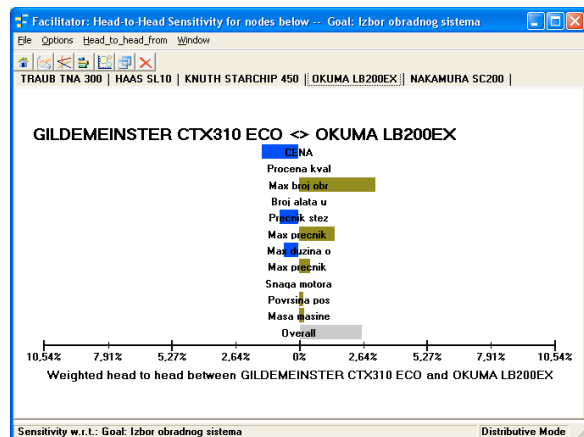
Slika 6. Potpuni poredak alternativa u modelu

Programski sistem nudi određene opcije za analizu osetljivosti rešenja odlučivanja, koje se koriste u cilju optimizacije određivanja redosleda i važnosti alternativa. Na slici 7. prikazan je tzv. *Performanse* grafički prikaz. Na njemu se očitavaju uticaji pojedinih težina kriterijuma na trenutni i ukupni poredak alternativa. Trenutni poredak alternativa predstavlja promenu prioriteta alternative pod uticajem težine jednog kriterijuma, a ukupni poredak alternativa predstavlja poredak alternativa pod uticajem težina svih kriterijuma.

Na slici 8. prikazan je uporedni grafički prikaz (head to head) dve izabrane alternative, gde se vidi različit uticaj kriterijuma na konačan rezultat analize osetljivosti. Medusobni kvalitativni odnos dve alternative prikazan je pravouglim površinama. Informacija o tome koja je alternativa bolja predstavljena je prostornom pozicijom pravougaonika.



Slika 7. Performanse grafički prikaz uticaja pojedinih kriterijuma na alternative



Slika 8. Uporedni (head to head) grafički prikaz dve alternative

6.0 ZAKLJUČAK

AHP metoda i druge višekriterijumske metode optimizacije predstavljaju deo metodolije višekriterijumskog odlučivanja, koje se koriste u procesu odlučivanja raznovrsnih problema. Neki od ovih problema koji se javljaju u inženjerskom projektovanju i proizvodnji su ocena i izbor proizvoda, procesa, proizvodnih resursa, itd.

Metode višekriterijumskog odlučivanja se razvijaju u pravcu omogućavanja što većeg, kreativnog, sistematskog učešća donosilaca odluke u proces donošenja optimalnih odluka i primenu računara. Primenom računara i odgovarajućih programskih sistema dobijaju se pouzdaniji rezultati, olakšava se rad i štedi vreme.

U radu je prikazana metodologija primene višekriterijumske AHP metode na primeru izbora optimalnog obradnog sistema uz primenu programskog sistema Expert Choice. Kao rezultat dobijena je najprihvatljivija alternativa obradnog sistema, kao i prikaz potpunog poredka važnosti alternativna u postavljenom modelu odlučivanja. Primenom posmatranog programskog sistema izvršene su i različite opcije analize osetljivosti u samom procesu odlučivanja. Dobijeni rezultati odlučivanja se u velikoj meri slažu sa rezultatima dobijenim primenom analitičkog aproksimativnog postupka AHP metode, kao i metode grupnog izbora na osnovu pokazatelja tehnoeкономskog nivoa.

7.0 LITERATURA

- [1] Todić, V., Stanić, J.: *Osnove optimizacije tehnoloških procesa izrade i konstrukcije proizvoda*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2004.
- [2] Milošević, M.: *Izbor obradnih sistema u okviru CAPP sistema*, seminarski rad, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2005.
- [3] Hwang, C., Yoon, K.: *Multiple Attribute Decision Making*, Springer-Verlag, Berlin, 1981.
- [4] Perčević, D.: *Primena višekriterijumskog rangiranja u izboru dect mobilnih stanica*, Jedanaesti telekomunikacioni forum TELFOR 2003, Beograd, 2003.
- [5] Čupić, M., Suknović, M., Radojević, G., Jovanović, V.: *Specijalna poglavlja iz teorije odlučivanja: Kvantitativna analiza*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2004.
- [6] Saaty, T.L.: *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw - Hill, New York, 1980.
- [7] Liu, D., Duan, G., Lei, N., Wang, J.S.: *Analytic Hierarchy Process Based Direction Modelling in CAPP Development Tools*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Springer-Verlag, 1999.
- [8] Kljajić, N.: *Primena višekriterijumskih metoda optimizacije za ocenu i izbor proizvoda, procesa i tehnoloških resursa*, Diplomski-master rad, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2010.
- [9] Vukelja, D., Mišković, A.: *Inženjerske metode optimizacije sa primerima iz prakse*, Građevinska knjiga, Beograd, 1985.
- [10] Expert Chice software, <http://www.expertchoice.com>

APPLICATION MULTICRITERIA DECISION MAKING IN CHOICE OF MACHINING SYSTEM

Summary: *Designers are often faced with the need of selecting the optimal solution of products, processes, resources, etc. In such situations, despite the large number of alternatives there are a number of criteria, all of which makes the problem much more complex choices. To solve complex problems ratings and choices optimal solutions have been developed numerous methods of multicriteria decision making.*

This paper describes the use of multicriteria AHP (analytic hierarchy process) method in the choice of a machining system (machine tool-lathe) for the projected process of turning for group of shaft.

Keywords: *Multicriteria decision making, AHP method, Selection, Machining system*

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



МЕХАНИСТИЧКА ИДЕНТИФИКАЦИЈА МОДЕЛА СИЛЕ ПРИ ОРТОГОНАЛНОМ РЕЗАЊУ⁶

Резиме

У раду је описана идентификација параметара модела сила при ортогоналном резању рендисањем, уз примену двокомпонентног динамометра са мерним тракама за мерење сила. За мерење попречне и уздужне компоненте силе резања, мерне траке су постављене на осам места на полупрстену тела сензора. Сигнали силе резања су снимљени коришћењем модула за аквизицију и обрађивани помоћу MATLAB софтверског пакета. Резултати добијени при различитим параметрима резања (променљива дубина резања и променљива ширина резања) показују да се динамометар може користити за поуздано мерење сила при обради резањем, док експериментална верификација показује да се идентификовани модел може користити за предикцију сила при различитим обрадама резањем, уз задржавање исте геометрије алата и истог материјала обратка.

Кључне речи: модел сила резања, динамометар, мерне траке, аквизиција експерименталних података, Витстонов мост, баждарење

1. УВОД

Обрада резањем је један од најважнијих производних процеса који се широко користи у различитим индустријама па је из тог разлога познавање сила резања од значаја за прорачун крутости структуре и снаге машине алатке [3]. Носећа структура машина алатки би требало да обезбеди да силе резања не остварују деформације које би имале негативан утицај на процес обраде. Да би се спречиле деформације или могућа оштећења машина алатки изазвана већим силама резања, користе се сензори за мерење сила резања, као и сензорске информације за предикцију сила резања. Предикција силе на основу експериментално успостављеног модела може се користити и при пројектовању обрадних система за познате услове процеса резања.

У ову сврху су пројектовани и развијени различити типови динамометара: механички, хидраулички, пнеуматски [3] и др. За овај рад посебно су интересантни механички динамометари, код којих се измерена сила резања углавном добија на основу еластичних деформација материјала. Једначине за израчунавање напона и деформација различитих конструкција (двокомпонентних) динамометара на основу максималне претпостављене силе приказане су у [1,2,3]. Поред конвенционалног приступа базираног на једначинама теорије отпорности материјала, верификација понашања конструкције динамометра, под утицајем спољашњег оптерећења, може се извршити и помоћу методе коначних елемената [4]. Мерење деформација на основу којих се израчунава промена силе, у реалним условима, извршава се помоћу мерних трака на основу промене њихове отпорности.

¹ Милица Петровић, студенткиња докторских студија, Универзитет у Београду - Машински факултет, Краљице Марије 16, 11120 Београд 35, 011/3302-414, e-mail: nmpetrovic@mas.bg.ac.rs

² Иван Данилов, студент докторских студија, Универзитет у Београду - Машински факултет, Краљице Марије 16, 11120 Београд 35, 011/3302-414, e-mail: idanilov@mas.bg.ac.rs

³ Никола Лукић, студент докторских студија, Универзитет у Београду - Машински факултет, Краљице Марије 16, 11120 Београд 35, 011/3302-414, e-mail: nlukic@mas.bg.ac.rs

⁴ Др Милош Главоњић, редовни професор, Катедра за производно машинство, Универзитет у Београду - Машински факултет, Краљице Марије 16, 11120 Београд 35, 011/3302-413, e-mail: mglavonjic@mas.bg.ac.rs

⁵ Мр Бранко Кокотовић, асистент, Катедра за производно машинство, Универзитет у Београду - Машински факултет, Краљице Марије 16, 11120 Београд 35, 011/3302-413, e-mail: bkokotovic@mas.bg.ac.rs

⁶ Рађено у оквиру предмета Аквизиција и обрада експерименталних података на докторским студијама.

Положај и начин постављања мерних трака код ових динамометара обухваћени су у [1,2]. За снимање сигнала са мерних трака, тј. за запис силе у току експеримента користе се аквизициони системи. Конфигурисање и баждарење аквизиционог система може се спровести као што је приказано у радовима [1,2,5]. Овако припремљен сензорско-аквизициони систем се може користити за мерење и снимање сила при различитим процесима обраде, како за стругање и глодање [1,2,3], тако и за рендисање [5]. Експериментални подаци добијени аквизицијом могу се користити за израчунавање коефицијената у моделу силе, као и за верификацију модела силе претходно успостављеног неком од познатих математичких метода. У раду [6] приказан је пример нумеричке методе за апроксимацију завојних сечива глодала правим сегментима, како би се случај резања свео на ортогонално резање. У [7] је приказана анализа различитих модела силе резања при глодању и успостављање, у општем случају, степеног модела, којим се у зависности од експонента дебљине струготине може представити линеарна или нелинеарна промена карактера интензитета силе. Поред класичног начина израчунавања и предикције вредности силе на основу успостављених модела, у [8] је приказана могућност примене вештачких неуронских мрежа за ове потребе.

Садржај овог рада је организован у шест поглавља. Након уводног, у оквиру другог поглавља рада је усвојен модел силе резања, затим су представљени конструкциони критеријуми динамометра, уз верификацију димензија полупрстена. У наставку овог поглавља приказан је поступак повезивања мерних трака у пун Витстонов мост. У трећем поглављу представљене су активности пре, у току и после мерења. Ове активности обухватају баждарење сензорског и аквизиционог система пре и после мерења, као и активности у току мерења, које се односе на обраду експерименталних делова. Четврто поглавље обухвата приказ експерименталних резултата и њихову обраду, уз примену софтверског пакета MATLAB. Закључак рада дат је у петом, док је преглед коришћене литературе приказан у шестом поглављу.

2. МАТЕРИЈАЛИ И МЕТОДЕ

Сходно критеријумима који су дати у [9], може се дефинисати неколико модела обрадног система: (1) геометријски и кинематички модел структуре машине; (2) механистички модел процеса обраде; (3) модел спрезања положаја; (4) модел регенеративног ефекта и (5) карта стабилности обрадног система са динамичко-енергетским билансом.

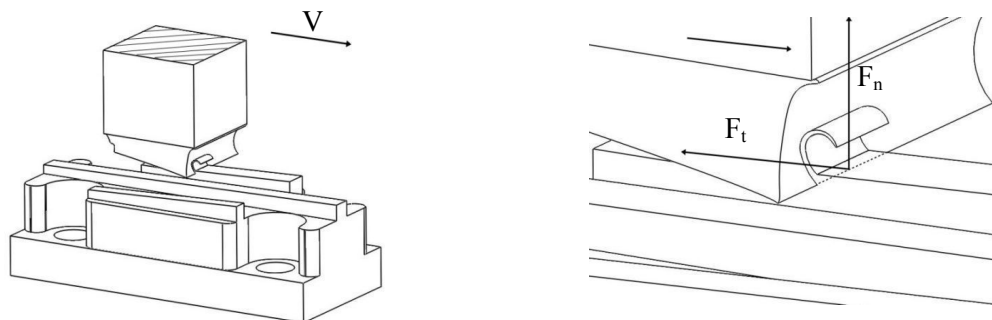
2.1 Модел силе

Механистички модел се користи за израчунавање тренутних вредности сила по класичним емпиријским линеарним, евентуално степеним изразима [7]. Тренутне вредности уздужне и попречне силе при обради рендисањем рачунају се на основу израза датих једначинама 2.1 и 2.2:

$$F_t = a_p \cdot (K_{tc} \cdot h(t)^{x_{Ft}} + K_{te}); \quad (2.1)$$

$$F_n = a_p \cdot (K_{nc} \cdot h(t)^{x_{Fn}} + K_{ne}); \quad (2.2)$$

где су: F_t [N] тренутна вредност уздужне силе; F_n [N] тренутна вредност попречне силе; K_{tc} [N/mm] коефицијент резања за уздужну силу; K_{nc} [N/mm] коефицијент резања за попречну силу; a_p (mm) тренутна дебљина струготине; x_{Ft} експонент за дебљину струготине; K_{te} [N/mm] коефицијент губитака за тренутну уздужну силу; K_{ne} [N/mm] коефицијент губитака за тренутну попречну силу. На слици 2.1 приказани су правац и смер попречне и уздужне компоненте силе резања при обради рендисањем, и то на самом почетку захвата.



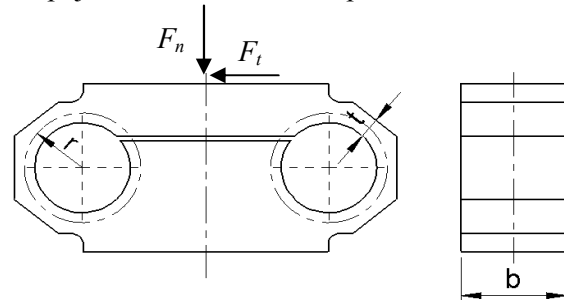
Слика 2.1: Смер кретања алата и правац и смер попречне и уздужне компоненте силе на почетку захвата

2.2 Конструкциони критеријуми и карактеристичне димензије динамометра

Двокомпонентни динамометар има два еластична осмоугаона полупрстена на којима се постављају мерне траке. Кључни критеријуми који се намећу и узимају у обзир при пројектовању и конструисању динамометра су: осетљивост и крутост. Пројектовање динамометра и димензионисање полупрстена није била тема овог рада, тако да су за постојећи динамометар проверене следеће карактеристичне димензије, које утичу на крутост и осетљивост полупрстена:

- ширина $b=34$ mm;
- полупречник $r=15,55$ mm;
- дебљина $t=7$ mm;

Шема сила резања при обради рендисањем са карактеристичним димензијама полупрстена дата је на слици 2.2.



Слика 2.2: Шема сила резања и карактеристичне димензије полупрстена динамометра

2.3 Верификација димензија прстена

Према раду [3], за $b=34$ mm, $r=15,55$ mm и $t=7$ mm, извршена је верификација димензија октагоналног полупрстена. Еластичне деформације од сила F_n и F_t приказане су једначинама (2.3) и (2.4), респективно:

$$e_n = \pm \frac{1,09F_n r}{Ebt^2} = \frac{1,09 \times 4500 \times 15,55}{210000 \times 34 \times 7^2} = \frac{7,6273 \times 10^4}{349860000} = 2,1801 \times 10^{-4}; \quad (2.3)$$

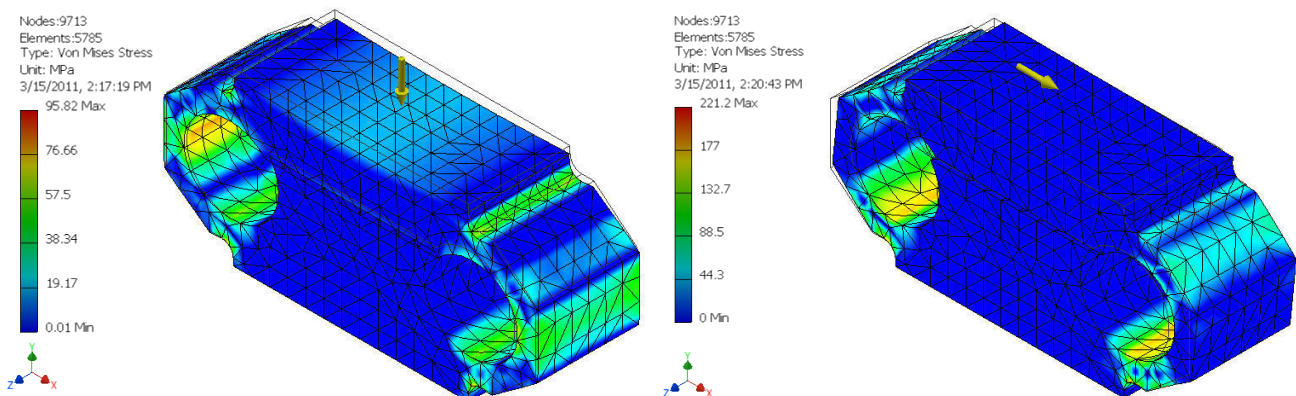
$$e_t = \pm \frac{2,18F_t r}{Ebt^2} = \frac{2,18 \times 4500 \times 15,55}{210000 \times 34 \times 7^2} = \frac{1,5255 \times 10^5}{349860000} = 4,3602 \times 10^{-4}; \quad (2.4)$$

док је напон који се добија израчунат на основу следећих једначина:

$$\sigma_n = Ee_n = 210000 \times 2,1801 \times 10^{-4} = 45,7820 N / mm^2; \quad (2.5)$$

$$\sigma_t = Ee_t = 210000 \times 4,3602 \times 10^{-4} = 91,5639 N / mm^2. \quad (2.6)$$

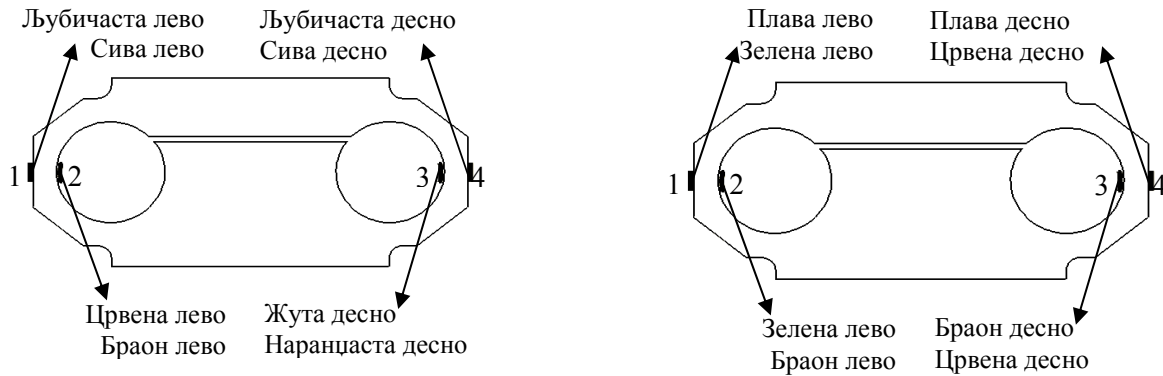
Верификација добијених резултата за напоне и деформације извршена је и у софтверу Autodesk Inventor, у модулу за анализу методом коначних елемената. Након генерисања 3D модела сензора, извршено је оптерећивање сензора познатим вредностима попречне, слика 2.3 лево, и уздужне силе, слика 2.3 десно. На сликама је приказана и легенда са бројем чворова и бројем коначних елемената коришћених за анализу, као и геометрија сензора током дејства обе силе. Овај динамометар је употребљив за мерење очекиваних сила $F_n = 4500 N$ и $F_t = 4500 N$.



Слика 2.3: Деформација сензора током дејства попречне и уздужне силе са приказом мреже коначних елемената

2.3 Шема за повезивање пуног Витстоновог моста

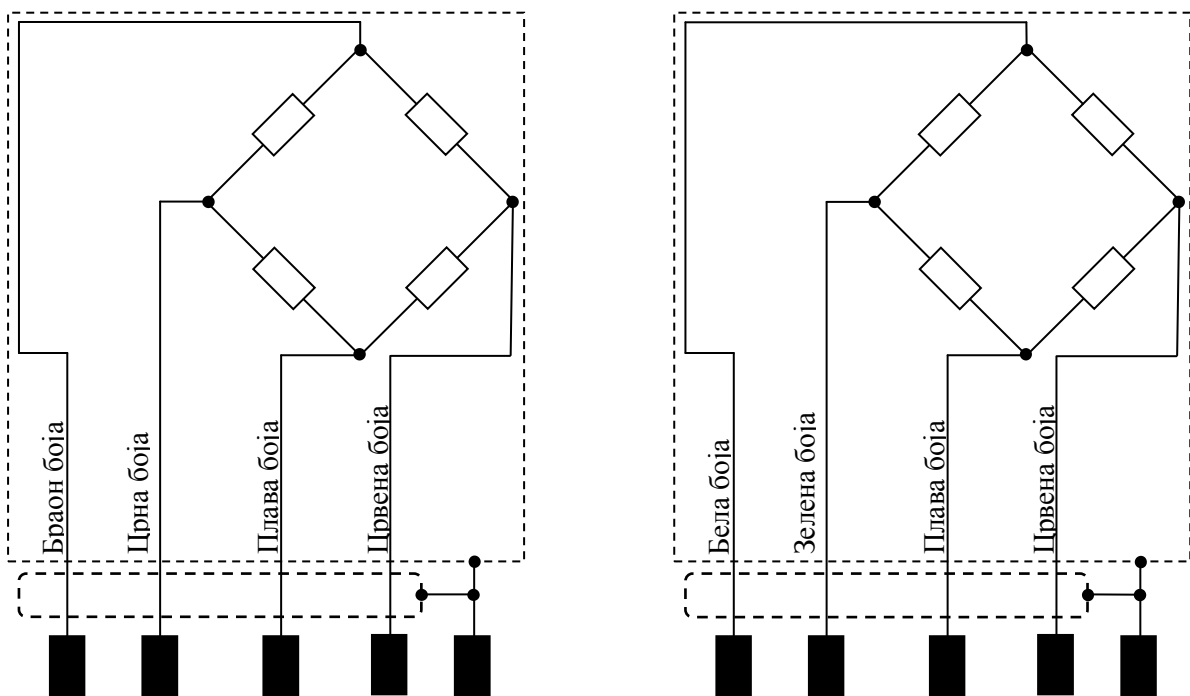
Након постављања и лепљења мерних трака на сензор, следи процес лемљења излазних проводника мерних трака и проводника за везу са конекторима. Због једноставности при повезивању моста, одабрани су проводници различитих боја и то за прву мерну траку љубичасти и сиви, за другу црвени и браон, за трећу наранџасти и жути и за четврту љубичасти и сиви. На сликама 2.4 и 2.5 приказани су положаји мерних трака са назначеним бојама проводника, док је шема за повезивање пуног Витстоновог моста за мерење попречне компоненте силе приказана на слици 2.6. Аналогна процедура је примењена и за лемљење мерних трака за мерење уздужне компоненте силе резања.



Слика 2.4: Положај мерних трака на површинама сензора са бојама проводника



Слика 2.5: Положај мерних трака на површинама сензора, боје проводника и фотографије реализованог ожичења

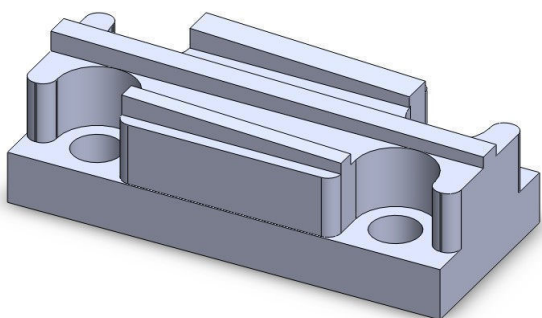


Слика 2.6: Шема за повезивање Витстоновог моста за мерење попречне и уздужне компоненте силе

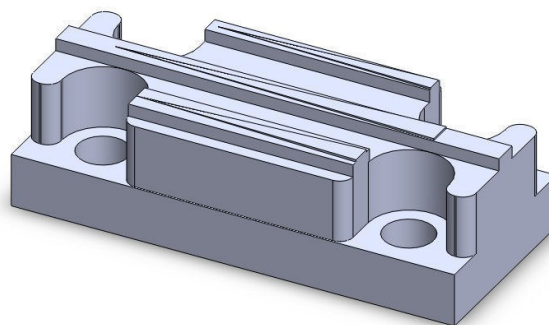
3. ПРИМПРЕМА И ТОК ЕКСПЕРИМЕНАТА

3.1 Експериментални делови

Део 1 и део 2 су идентични и њихов 3D модел приказан је на слици 3.1. Направљени су од комада алуминијума на вертикалној глодалици са ручним управљањем. Имају четири рупе преко којих се помоћу вијака везују за тело сензора. На њима се налазе три брега ширине 3, 4 и 5 mm са променљивом висином. 3D модел дела 3 приказан је на слици 3.2, направљен је дорадом дела 1, на вертикалној глодалици са ручним управљањем, након првог експерименталног мерења. На њему се налазе три брега променљиве ширине и променљиве висине.



Слика 3.1: 3D модел дела 1 и дела 2



Слика 3.2: 3D модел дела 3

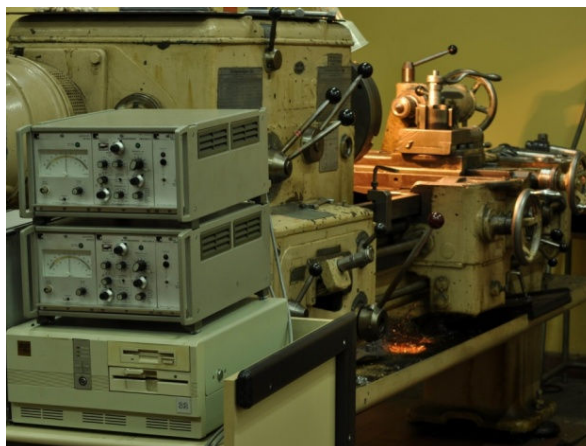
3.2 Машине и алат

Прво мерење урађено је на деловима 1 и 2 на хоризонталној рендисаљци која је приказана на слици 3.3. Главно кретање, које врши алат, остварено је ручним померањем хоризонталног клизача машине. Позиционо кретање помоћу којег се задаје дубина резања остварује се ручним подизањем радног стола машине. Алат је причвршћен у носач алата вијком за стезање. Обрадак је заједно са сензором причвршћен у глодачкој стези која је постављена на радни сто машине.

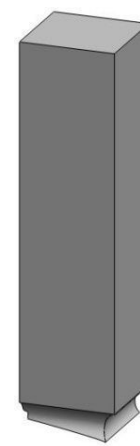
Друго мерење урађено је на делу 3. За мерење је искоришћен универзални струг приказан на слици 3.4 заједно са модулом за аквизицију. Главно кретање врши обрадак, који је заједно са сензором силе стегнут у носач алата и постављен на попречни клизач струга. Главно кретање се остварује ручним обртањем навојног вретена помоћу којег се покреће попречни клизач. Позиционо кретање помоћу којег се задаје дубина резања остварује се ручним померањем уздужног клизача. Алат је постављен у стезну главу главног вретена струга, која је заочена како се алат не би померао у току обраде.



Слика 3.3: Хоризонтална рендисаљка



Слика 3.4: Универзални струг са уређајима за аквизицију

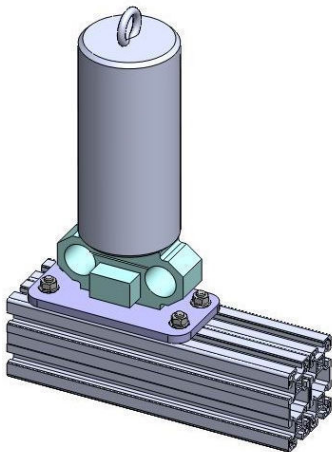


Слика 3.5: 3D модел ножа

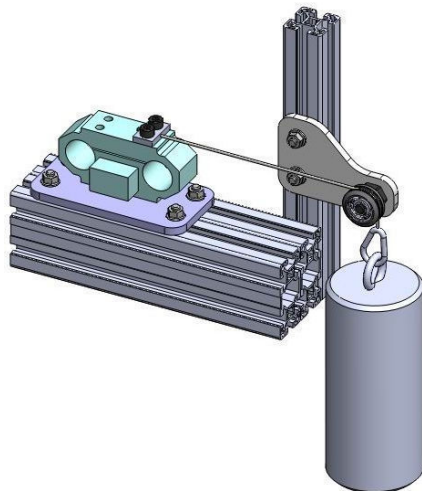
3D модел стругарског ножа од брзорезног челика приказан је на слици 3.5. Нож је адекватно обрушен, са грудним углом $45,22^\circ$, леђним углом $7,13^\circ$, док је капа угао једнак нули због ортогоналности резања, а све у циљу добијања квалитетних података при обради.

3.3 Баждарење динамометра и припрема за експерименте

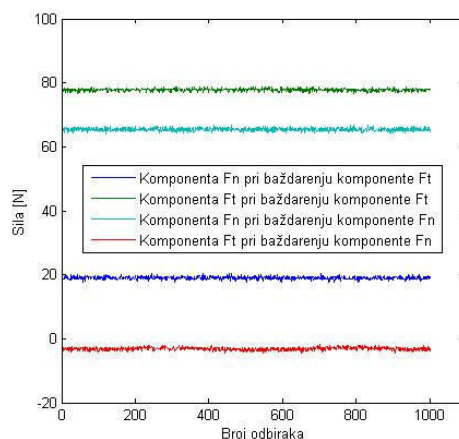
Баждарење сензора урађено је пре мерења на систему за аквизицију помоћу система тега са сајлом и точићима. Попречна компонента је баждарена постављањем тега познате масе директно на сензор силе, као што се може видети на слици 3.6. Уздужну компоненту је теже баждарити, па је поставка, која је приказана на слици 3.7, нешто сложенија. На тело сензора причвршћена је сајла, која је пребачена преко котура. На другом крају сајла је преко карабињера причвршћена за тег познате масе. Запис који је добијен након баждарења поперчне и уздужне силе приказан је на слици 3.8. Баждарење сензора важно је урадити и после мерења како би се проверило да није дошло до неких поремећаја у систему сензора и аквизиције у току мерења.



Слика 3.6: Баждарење поперчне компоненте



Слика 3.7: Баждарење уздужне компоненте



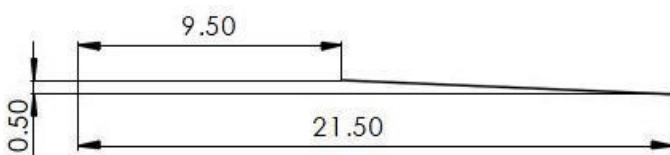
Слика 3.8: Запис баждарења поперчне и уздужне компоненте пре мерења

Компаратером је проверена паралелност основне површине сва три дела са алатом како се не би добио додатни нагиб брегова при резању. Усвојено је да је варијација паралелности у границама 0,1 mm задовољавајућа. Помоћу компаратера су измерене промене висине сваког брега, а помоћу помичног кљунастог мерила са нонијусом су измерене дужине и ширине брегова. Тиме је утврђена тачна геометрија сва три дела.

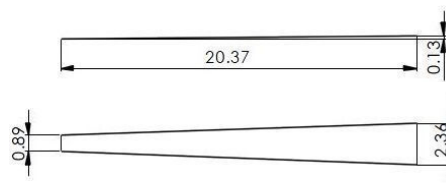
3.4 Експерименти

Сваки брег дела 1 и 2 обрађиван је из више пролаза, док су сва три брега дела 3 обрађена из једног пролаза. Поступак мерења се састоји у томе да се брег на ком се врши мерење обележи маркером, затим се полако нож постави на нулу у односу на врх брега, након чега следи заузимање жељене дубине позиционим кретањем и провером оставреног кретања компаратором. Након тога се фино приближава нож обратку и када благо зареже површину брега проверава се да ли је дужина од зарезаног места до краја брега задовољавајућа. Уколико је потребно, повећава се дубина, док се у супротном скицира се геометрија дела брега и затим врши резање уз снимање података. Након резања врши се мерење геометрије дела брега помичним кљунастим мерилом, а димензије се уписују на скицу геометрије дела брега, које су приказане за део 1 на слици 3.9, а за део 3 на слици 3.10.

За силу F_t постављен је опсег 0,2 и фактор скалирања 200, а за F_n опсег 0,1 и фактор скалирања 100, тако да F_t може да се мери до 2000N и F_n до 1000N. Приликом мерења дела 1 фреквенција узорковања је 600Hz, а време трајања записа 2s па постоји 1200 одбирака по запису. Код дела 2 фреквенција узорковања је подешена на 1000Hz, а време мерења смањено на 1,5s, а код дела 3 на 500Hz и 4s, зато што је обрада спорија.



Слика 3.9: Скинути део брега 1 други пролаз

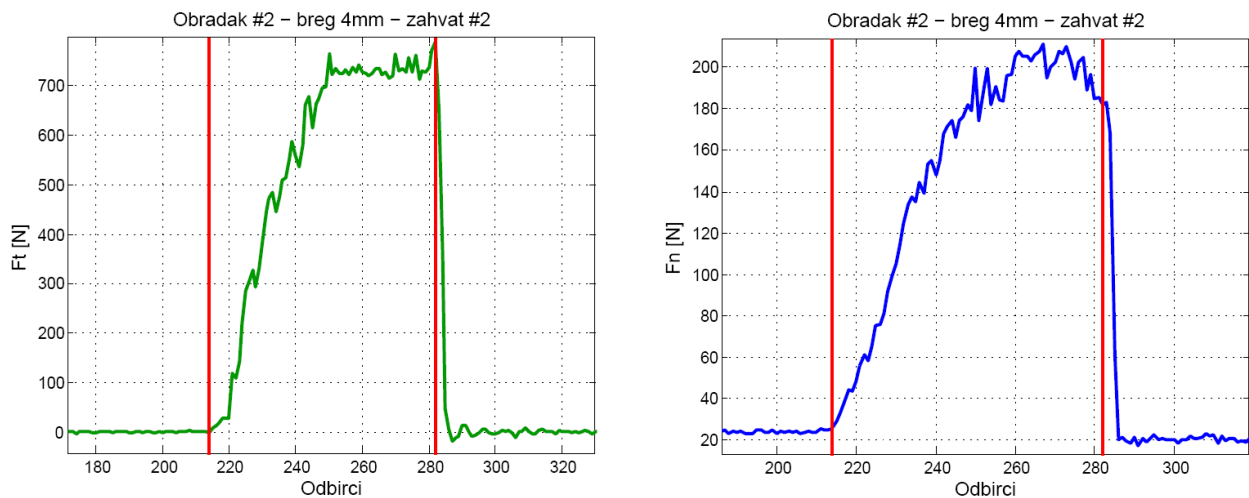


Слика 3.10: Скинути део средњег брега

4. ОБРАДА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИХ ПОДАТАКА

4.1 Примарна обрада записа силе

У току мерења, која су обављена под познатим условима аквизицијом се добијају „сирови“ подаци записани у дигиталном облику, у одговарајућим датотекама. Као што је познато, обрадом експерименталних података потребно је одредити параметре за усвојени модел силе резања. Параметре представљају коефицијенти резања и губитка за уздужну и попречну компоненту силе (K_{tc} , K_{te} , K_{nc} , K_{ne}), и експонент дубине резања (x_F). У циљу израчунавања коефицијената и експонената садржаних у одабраном моделу силе, првобитно је потребно извршити примарну обраду података, што у овом случају подразумева одбацивање непотребног дела записа из сваке од датотека. Као релевантан, узима се део записа од почетка пораста силе, што се усваја за почетак резања, до тренутка за који се сматра да означава завршетак резања, а то је одбирак након кога вредност силе нагло опада. Пример издвајања валидног сегмента записа силе дат је на слици 4.1.



Слика 4.1: Уздужна и попречна компонента силе при другом пролазу резања брега ширине 4 mm, на обратку #2 – увеличан приказ

Како би израчунавања параметара модела била могућа, за сваки издвојен запис силе неопходно је одредити коресподентну промену дубине резања. Дакле, на основу познате дужине и дубине резања из скице пролаза, као и броја изабраних одбирака силе формира се низ (вектор-колону) H , који садржи дубине резања коресподентне сваком одбирку из изабраног сегмента записа силе. Дефинисани низ H израчунава се на следећи начин:

$$H = \left(\frac{h_{\max}}{l_{\max}} \right) \cdot [0 \ \Delta l \ 2\Delta l/L \ n\Delta l]^T; \quad (4.1)$$

где су: h_{\max} максимална дубина резања, l_{\max} максимална дужина резања, n број изабраних одбирака из записа силе, док је Δl инкремент дужине пролаза који се израчунава као:

$$\Delta l = \frac{l_{\max}}{n}. \quad (4.2)$$

Представљени параметри за израчунавање дубине резања су дати у општем облику. Приликом израчунавања, параметри су различити за сваки пролаз и усвајају се према скици формираној у току експеримента. У случају да пролаз садржи сегмент константне дубине резања, тада се на претходно формирану низ са нагибом придружује низ са одговарајућим бројем чланова вредности максималне дубине (h_{\max}), у складу са укупним бројем валидних одбирака.

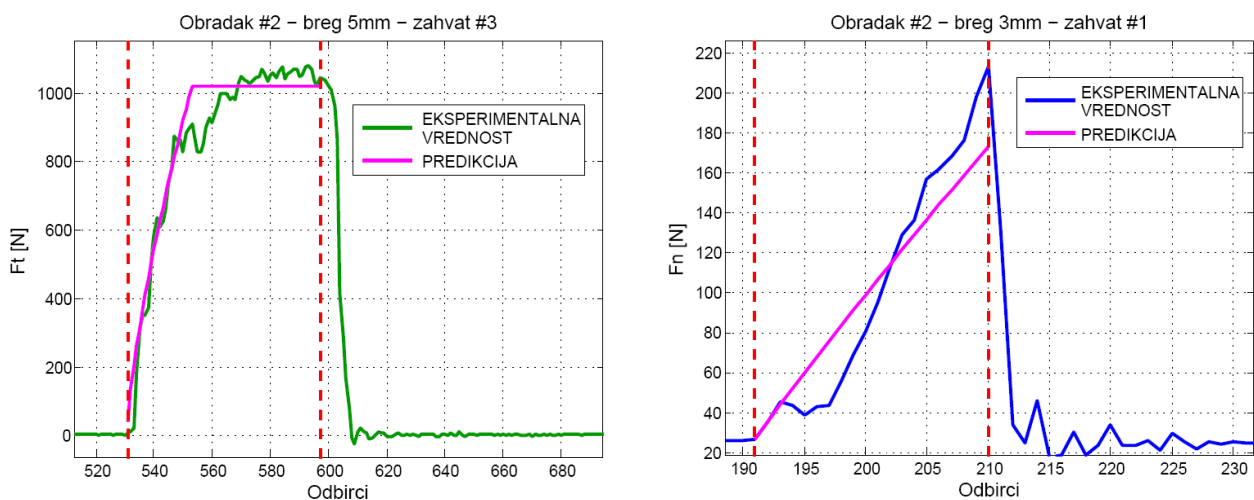
4.2 Израчунавање параметара модела силе на основу података из првог експеримента

Након издвајања релевантних сегмената записа и формирања низова који одговарају промени дубине резања за сваки од издвојених одбирака силе, следи рачунска обрада података. За потребе рачунске обраде претходно припремљених података коришћен је MATLAB софтверски пакет, односно интегрисана функција *nlinfit* у оквиру овог софтвера. Функција *nlinfit* користи се за естимацију коефицијената нелинеарне регресионе функције дефинисане од стране корисника, користећи методу најмањих квадрата. У наставку, применом функције *nlinfit*, на основу претходно издвојених података из записа сила и одређених коресподентних промена дубина резања према скицама из експеримента, одређени су коефицијенти и експоненти садржани у усвојеном моделу силе. Као што је из експеримента познато поред вредности силе и дубине резања за израчунавања се као познат параметар уводи и ширина брега константна у току резања једног пролаза, односно брега. Израчунате вредности коефицијената и експонента у усвојеном моделу, за уздужну и попречну компоненту силе дати су у табели 4.1.

Табела 4.1: Израчунати параметри модела силе		
Параметри модела силе	Попречна компонента	Уздужна компонента
Коефицијент резања [N/mm]	$K_{tc} = 482,61$	$K_{nc} = 153,22$
Коефицијент губитка [N/mm]	$K_{te} = 6,89$	$K_{ne} = 8,84$
Експонент дубине резања	$x_{Ft} = 0,74$	$x_{Fn} = 0,95$

Међусобни однос вредности K_{tc} , K_{te} и K_{nc} , K_{ne} указује да је коефицијент губитка за тренутну силу занемарљив у односу на коефицијент резања за исту, што одговара претпоставкама према [7], где је наглашено да $K_{te} \rightarrow 0$. Вредност експонента дубине резања x_{Ft} указује да се ради о нелинеарној промени уздужне силе, док је промена вредности попречне компоненте приближно линеарна.

Заменом израчунатих вредности коефицијената и експонента у усвојен модел силе, уз промену дубине резања која је позната из експеримента, као и за познату ширину резања, добија се апроксимирана вредност силе, односно предикција за дате услове. Упоредни приказ експерименталних резултата и предикције, за одабране записа уздужне и попречне силе, дат је на слици 4.2.



Слика 4.2: Упоредни приказ експерименталних вредности и предикције уздужне и попречне компоненте силе за израчунате коефицијенте и експонент, у оквиру одабраних интервала записа

4.3 Верификација израчунatih параметара модела силе на основу података из другог експеримента

Средства и услови под којима је извршен други експеримент описани су у трећем поглављу. Такви услови за резултат су имали релативно равномерно резање, уз дужи временски интервал, за разлику од првог експеримента где је појава силе била приближно импулсна.

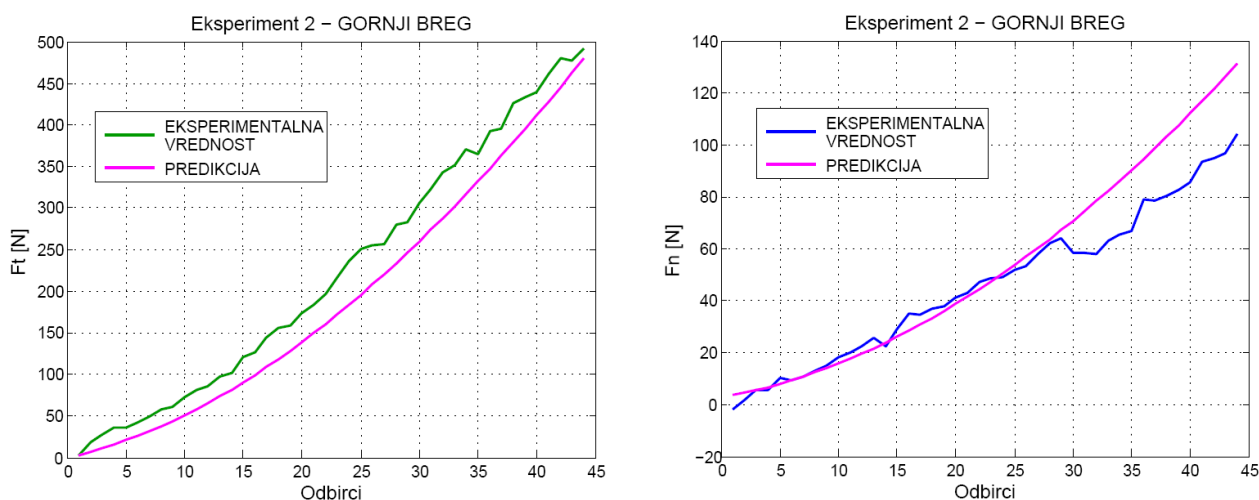
Примарном обрадом података из другог експеримента поново је било обухваћено издвајање релевантних сегмената записа силе, уз аналоган поступак одређивања коресподентне промене дубине, а у овом случају и ширине резања.

Усвојен модел силе, комплетиран израчунавањима на основу података из првог експеримента, што је приказано коефицијентима и експонентима датим у табели 4.1, овде се још једном представља у потпуном облику:

$$F_t = a_p \cdot (482,61 \cdot h(t)^{0,74} + 6,89); \quad (4.3)$$

$$F_n = a_p \cdot (153,22 \cdot h(t)^{0,95} + 8,84). \quad (4.4)$$

На месту дубине (h) и ширине (a_p) брегова, приликом верификационих израчунавања, уведе се промене тих вредности према скици геометрије обратка за други експеримент. Низови ових вредности формиран су приликом примарне обраде података. Овде се верификацијом практично извршава предикција вредности силе за познате услове из другог експеримента. Поред тога предикцију је оправдано извршити само уколико су материјал и геометрија алата, као и материјал обратка идентични у поступку одређивања параметара модела силе и у процесу резања за који је потребно извршити предвиђање. У овом случају тај услов је испуњен. У наставку је на слици 4.3 дат упоредни приказ предикције вредности компонената силе за други експеримент и записа силе у току другог експеримента, под већ дефинисаним условима, при резању једног од три брега – горњег брега.



Слика 4.3: Упоредни приказ експеименталних вредности и предикције попречне и уздужне компоненте силе за пролаз резања горњег брега

На слици 4.3 се уочава да је на основу модела формираног обрадом података из првог експеримента могуће извршити предикцију силе уз дефинисане услове, јер степен поклапања предвиђених са измереним вредностима из другог експеримента веома висок и јасно указује на то.

5. ЗАКЉУЧАК

За мерење уздужне и попречне компоненте силе при обради рендисањем коришћен је двокомпонентни динамометар базиран на мерним тракама. За потребе верификације карактеристичних димензија полупрстена динамометра, поред теоријског приступа базираног на теорији отпорности материјала, коришћен је и софтверски приступ, применом методе коначних

елемената. У делу рада који се односи на мерења, након процедуре баждарења попречне и уздужне компоненте силе пре мерења, приказан је један пролаз при обради резањем брегова експерименталних делова. Поред 3D модела, приказана је и скица геометрије скинутог дела брега са дефинисаним карактеристичним димензијама. Након фазе мерења, у фази обраде експерименталних података паралелно су приказани резултати и њихова примарна обрада, која се односи на издвајање релевантних интервала записа силе за даља израчунавања. Затим је у фокус стављен опис интегрисане функције МАТЛАБ-а, као технике за нелинеарну апроксимацију експерименталних података, уз осврт на примену у конкретном случају (израчунавање коефицијената модела силе). У наставку су извршена ова израчунавања за сваку од компоненти сила засебно и дат је упоредни приказ експерименталних вредности и предикције силе на основу израчунатих коефицијената. На основу успешне верификације модела силе, може се закључити да је добијене податке могуће применити за потребе предикције вредности компоненте силе, при различитим врстама обраде, али за идентичне услове као у извршеном експерименту (иста геометрија и материјал алата и исти материјал обратка).

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Yaldiz S., Unsacar F., **Design, development and testing of a turning dynamometer for cutting force measurement**, Materials and Design 27, pp. 839–846, 2006.
- [2] Korkut I., **A dynamometer design and its construction for milling operation**, Materials and Design 24, pp. 631–637, 2003.
- [3] Karabay S., **Design criteria for electro-mechanical transducers and arrangement for measurement of strains due to metal cutting forces acting on dynamometers**, Materials and Design, Vol. 28, pp. 496–506, 2007.
- [4] Totis G., Sortino M., **Development of a modular dynamometer for triaxial cutting force measurement in turning**, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 51, pp. 34–42, 2011.
- [5] Seker U., Kurt A., Ciftci I., **Design and construction of a dynamometer for measurement of cutting forces during machining with linear motion**, Materials and Design, Vol. 23, pp. 355–360, 2002.
- [6] Gonzalo O., Beristain J., Jauregi H., Sanz C., **A method for the identification of the specific force coefficients for mechanistic milling simulation**, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 50, pp. 765–774, 2010.
- [7] Milfelner M., Cus F., Balic J., **An overview of data acquisition system for cutting force measuring and optimization in milling**, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 164–165, pp. 1281–1288, 2005.
- [8] Faassen, R.P.H., **Chatter Prediction and Control for High-Speed Milling: Modelling and Experiments**, Ph.D. work, Technische Universiteit, Eindhoven, 2007.
- [9] Главоњић М., **Предавања на предмету Машине алатке М**, Универзитет у Београду - Машински факултет, Београд, 2010.

MECHANISTIC APPROACH TO IDENTIFICATION OF THE SPECIFIC FORCE COEFFICIENTS

Abstract

The paper describes the identification of model parameters of cutting forces during orthogonal cutting, using two-component dynamometer with strain gauges to measure force. For measuring radial and extensive components of cutting force, strain gauges were installed at eight positions on the body of the ring sensor. Cutting force signals are recorded using a data acquisition module and processed by MATLAB software package. The results obtained under different cutting parameters (variable cutting depth and variable cutting width) shows that the dynamometer can be used for reliable measurements of the cutting forces, and experimental verification shows that the identified model can be used to predict the forces under different types of machining, maintaining the same tool geometry and the same workpiece material.

Keywords: cutting forces model, dynamometer, strain gauges, acquisition of experimental data, Wheatstone bridge, calibration



Vlado N. Radić¹

NEKI ASPEKTI SIMULACIJE OBLIKOVANJA EKSPLOZIJOM KORIŠĆENJEM METODE KONAČNIH ELEMENATA

Rezime: Numerička simulacija procesa koji se dešavaju pod dejstvom udarnih talasa je izuzetno važna za preliminarne faze izrade, koja se karakteriše niskim troškovima i relativno kratkim vremenom, u poređenju sa klasičnim metodama. Na konkretnom primeru je analiziran proces oblikovanja metalne ploče eksplozijom. Ploča od aluminijuma debljine 3 mm podvrgnuta je dejstvu pritiska generisanog detonacijom eksploziva (oktogen), koji je uronjen u vodu i na određenom rastojanju od priprema. Dobijeni proizvodi su osnosimetrični delovi oblika kalote.

Ključne reči: numerička simulacija, oblikovanje eksplozijom

1. UVOD

Oblikovanje eksplozijom je poznata tehnologija. Metalna ploča se postavlja na kalup, pričvrsti držačem i čitav sklop uroni u bazen (rezervoar) sa vodom. Proces oblikovanja uključuje detonaciju eksplozivnog punjenja na određenom rastojanju od priprema (koja generiše udarni talas i veliki impuls), prostiranje gasova detonacije i njihovu interakciju sa metalnom pločom, te oblikovanje ploče prema kalupu. Dimenzije eksperimentalnog sklopa, vrsta i količina eksploziva, zajedno sa debljinom metalne ploče i empirijskim podešavanjima određenih parametara, doprinose ostvarenju zahtevane tačnosti gotovog proizvoda.

Numerička simulacija visokoenergetskih fenomena korišćenjem posebnih softverskih programa značajna je zbog boljeg razumevanja različitih fizičkih procesa, njihove dinamike i mnogobrojnih aplikacija udarnih talasa. U radu su korišćenjem programskog paketa LS-DYNA prikazane tipične sekvence eksplozijom generisanih plastičnih deformacija i analizirani procesi tokom oblikovanja ravne metalne ploče eksplozijom. Numeričkom simulacijom može se sagledati istorija procesa, ali je matematički opis pojava i stanja složena procedura koja je izvodljiva samo za jednostavne probleme. Metoda konačnih elemenata pokazala se uspešnom za rešavanje ovakvih i sličnih fenomena. Zbog složenosti dinamičkih procesa, međutim, numerička simulacija podrazumeva velike računarske napore, određeno iskustvo i raspolaganje potrebnim jednadžinama i parametrima stanja.

2. OBLIKOVANJE METALNIH DELOVA EKSPLOZIJOM

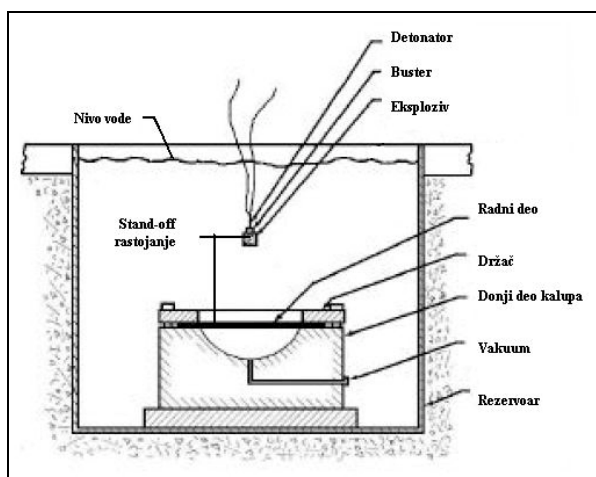
Oblikovanje eksplozijom zasniva se na dejstvu visokih dinamičkih pritisaka (reda nekoliko desetina GPa) na metalnu ploču, a uobičajeno se realizuje sa eksplozivnim punjenjem uronjenim u vodu (bazen, rezervoar), na određenom stand-off rastojanju od priprema (slika 1). Pri tom, udarni talas deluje kao udarač.

Ovde treba posebno naglasiti činjenicu da određivanje potrebne (i dovoljne) količine eksploziva poznatih karakteristika, kao i njegovo pozicioniranje predstavljaju vrlo bitne faktore efikasnosti procesa oblikovanja. Jer, manja količina eksploziva neće generisati potrebni nivo dinamičkih pritisaka, a prevelika, suprotno, izazvaće destrukciju alata, rezervoara (bazena) i eksperimentalnog sklopa. Drugo, određivanje stand-off rastojanja na koje treba pozicionirati eksplozivno punjenje predstavlja praktičan problem, koji se rešava u odnosu na vrstu materijala ploče, debljinu i mehanička svojstva. Konačno, svrha oblikovanja u bazenu (rezervoaru) je radi lakšeg pristupa eksperimentalnom (ili proizvodnom) sklopu, mogućnosti kontrole uslova detonacionih pojava, kao i dejstva na okolinu. Na otvorenom, isti sklop proizveo bi visoke pritiske, zvučni i talasni efekat, pa se postavlja problem obezbeđenja ljudstva koje je angažovano u procesu oblikovanja, primene mera bezbednosti u radu i realizacija van naseljenih mesta-prostora.

¹ dr Vlado N. Radić, Ministarstvo odbrane, Uprava za odbrambene tehnologije, vlado.radic@sezampro.rs

Inače, tehnologija se karakteriše velikom tačnošću i pogodna je za male serije. Poseban interes predstavlja oblikovanje složenih oblika, npr. površina sa dvostrukim krivinama i oblikovanje delova velike debljine (što je zahtevan zadatak i u klasičnom oblikovanju).

Prikazane sekvence simulacije odnose se na oblikovanje ploče od aluminijuma debljine 3 mm u sfernu kalotu. Eksplozivno punjenje postavljeno je na rastojanju od 140 mm od površine uzorka. Na slici 2 prikazan je rezervoar sa vodom, alatom i postavljenim eksplozivom, na slici 3 - alat za oblikovanje, a na slici 4 - gotov deo posle oblikovanja eksplozijom.



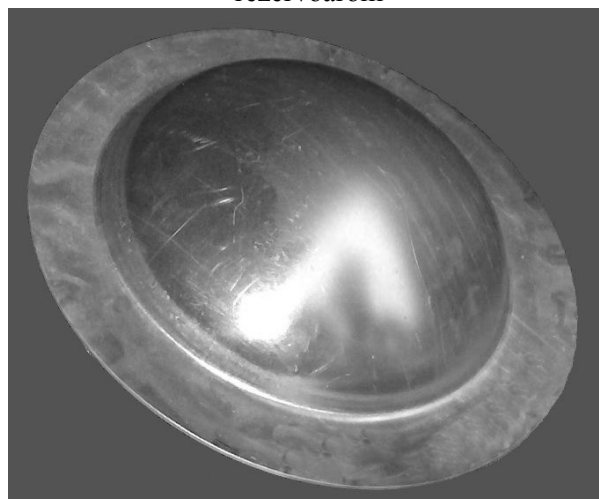
Slika 1. Bazen sa alatom i eksplozivnim punjenjem



Slika 2. Alat za oblikovanje sa vodenim rezervoarom



Slika 3. Alat za oblikovanje



Slika 4. Kalota oblikovana eksplozijom

3. NUMERIČKA SIMULACIJA

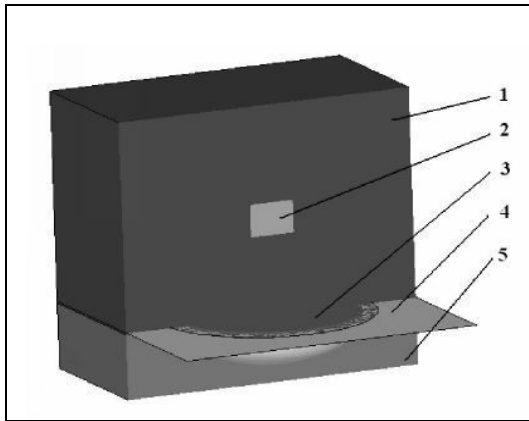
U idealnim tečnostima ili gasovima ne postoje sile smicajne i trenja između njihovih čestica i, zbog toga, napon u datoj tački ne zavisi od orijentacije površine na koju deluju sile. U realnim tečnostima i gasovima, između čestica deluju sile trenja. Čvrsta tela se razlikuju od tečnosti i gasova u tome što se kroz njih prenose i sile smicanja. Kada pritisak u čvrstom telu prevaziđe određenu veličinu, prekidaju se veze između čestica, materijal se sabija i počinje ponašati kao fluid. Stanje medijuma se, generalno, definiše kao kombinacija pritiska, gustina, zapremine, temperature, entropije i unutrašnje energije. Sve te veličine su povezane termodinamičkim relacijama.

Jednačina koja povezuje pritisak, temperaturu i specifičnu zapreminu materijala naziva se jednačina stanja. Postoji nekoliko jednačina stanja, koje variraju od jednostavnih do vrlo složenih. Prvobitno, jednačine stanja su korišćene u fizici i termodinamici i prikazivale odnos između varijabli stanja pri određenim fizičkim uslovima. To su konstitutivne jednačine koje omogućavaju postavljanje matematičkih relacija između dve ili više funkcija stanja, kao što su temperatura, pritisak, zapremina ili unutrašnja energija. Postepeno, jednačine stanja postajale su sve korisnije za opisivanje svojstava fluida i mešavina fluida, te čvrstih tela. To-

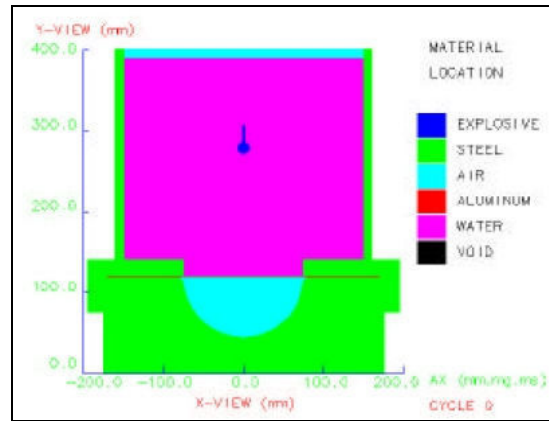
kom modelovanja udarnog opterećenja na cilj ili drugih proračuna koji povezuju materijal sa velikim brzinama deformacije, izvršene su računarske simulacije materijala pod dejstvom visokih pritisaka.

Numeričkom simulacijom u radu modelovana je detonacija eksploziva, generisanje udarnog talasa i njegovo prostiranje kroz vodu, transfer mase, momenta i energije, interakciju fluida sa površinom ploče i oblikovanje metalne ploče. Predstavljena numerička simulacija ne uključuje kavitaciju, uticaj kalupa (kalup se smatra krutim telom) i geometrije vodenog bazena, prostiranje oslobođenih gasova pri detonaciji. Spoljne površine fluida se tretiraju kao slobodne (u konkretnom primeru to je plastična kesa koja, praktično, nije barijera prostiranja visokih opterećenja generisanih eksplozijom).

Za numeričku simulaciju definisan je računarski model sa pet elemenata, čiji parametri su poznati (slika 5). Na slici 6 prikazan je model određen vrstom materijala u proračunu.



Slika 5. Računarski model: 1- voda, 2 – eksploziv, 3 – metalna ploča, 4 – kalup, 5 – vakum



Slika 6. Računarski model po materijalima

Konstitutivna jednačina za ploču od aluminijuma opisana je kao:

$$\sigma_y = 72 + 132 \cdot \varepsilon^{0,28} + 12,8 \cdot \varepsilon^{0,710} \cdot \ln \left\{ \frac{\dot{\varepsilon}}{2,0 \times 10^{-10}} \right\} \quad (1)$$

gde su: σ_y – ekvivalentni napon, ε – ekvivalentna deformacija, $\dot{\varepsilon}$ – ekvivalentna brzina deformacije.

Parametri vode. Radi efikasnosti proračuna u kodu, koji je zasnovan na algoritmu ili teoriji prostiranja talasa sabijanja, voda se u određenom stepenu tretira kao kompresibilna.

Za proračun pritiska u vodi koristi se poznata jednačina stanja Mie-Grüneisena, koja predstavlja vezu pritiska i zapremine pri datoj temperaturi:

$$p = \frac{\rho_0 C^2 \mu \left[1 + \left(1 - \frac{\gamma_0}{2} \right) \mu - \frac{a}{2} \mu^2 \right]}{\left[1 - (S_1 - 1) \mu - S_2 \frac{\mu^2}{\mu + 1} - S_3 \frac{\mu^3}{(\mu + 1)^2} \right]^2} + (\gamma_0 + a \mu) E \quad (2)$$

gde su: ρ_0 – početna gustina, C – brzina zvuka, S_1 , S_2 i S_3 – koeficijenti zavisi od materijala, γ_0 – parametar Grüneisena, a - korekcija zapremine prema γ_0 , $\mu = \rho / \rho_0 - 1$.

Vrednosti koeficijenata i parametara, korišćenih u simulaciji, navedene su u tabeli 1.

Tabela 1.

ρ_0 (kg/m ³)	C	S ₁	S ₂	S ₃	γ_0	a	E
1000	1,64E3	1,921	- 0,096	0	0,35	0	2,9E5

Parametri brizantnog eksploziva. Relevantni parametri eksploziva (u ovom slučaju oktogena – HMX) su gustina ($\rho = 1894 \text{ kg/m}^3$), brzina detonacije ($D = 9110 \text{ m/s}$), pritisak u tački Chapman-Jouget ($p_{CJ} = 39 \times 10^9 \text{ N/m}^2$) i parametri potrebni za JWL (Jones-Willkins-Lee) jednačinu stanja eksploziva:

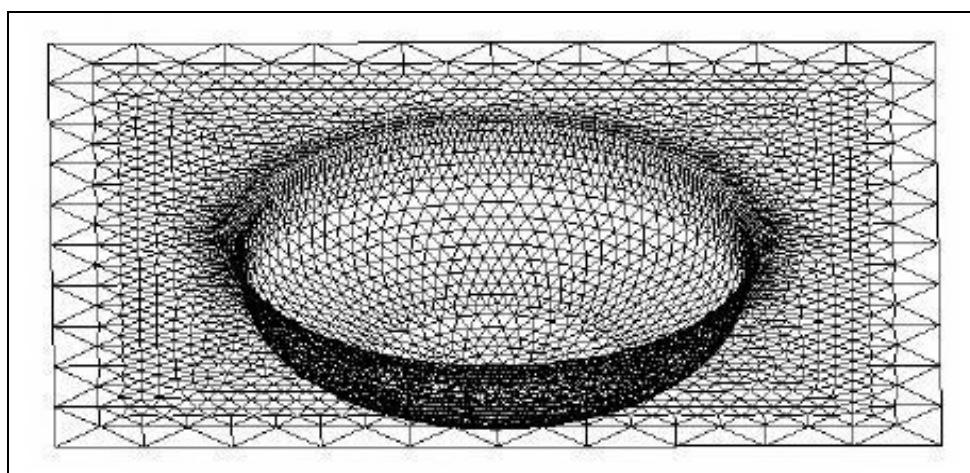
$$p = A \left(1 - \frac{\omega}{R_1 V} \right) e^{-R_1 V} + B \left(1 - \frac{\omega}{R_2 V} \right) e^{-R_2 V} + \frac{\omega E}{V} \quad (3)$$

Koeficijenti JWL jednačine stanja (tabela 2) određeni su eksperimentalnim putem.

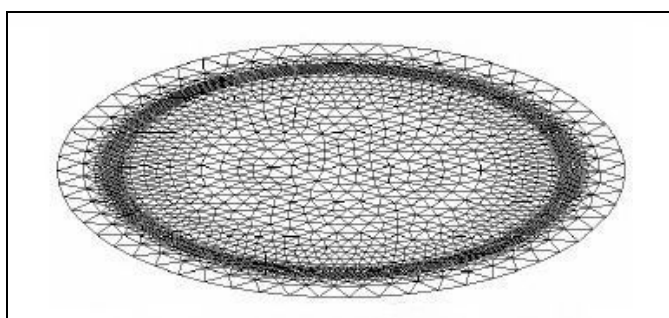
Tabela 2.

A [N/m ²]	B [N/m ²]	R ₁	R ₂	ω	E [J/m ²]	V
2,39E12	1,318E11	7,087	3,3236	1,267	1,04E10	1,0

Eksplozivno punjenje je modelovano Ojlerovom mrežom, koja je strukturisana kubnim elementima. Ploča i kalup modelovani su Lagranžovom mrežom sa trouglastim linearnim konačnim elementima. Kalup se smatra krutim materijalom, mada se u proračunu koriste realni mehanički parametri materijala. Od mogućnosti koje se odnose na ponašanje materijala, izabrano je da se ploča se smatra visko-plastičnom, pa se naponi i deformacije izračunavaju po jednačini Cowper-Symonds-a. Mreža konačnih elemenata kalupa ima ukupno 3796 čvorova i 7550 elemenata, dok mreža ploče ima 2399 čvorova i 4737 elemenata (slika 7).



a)

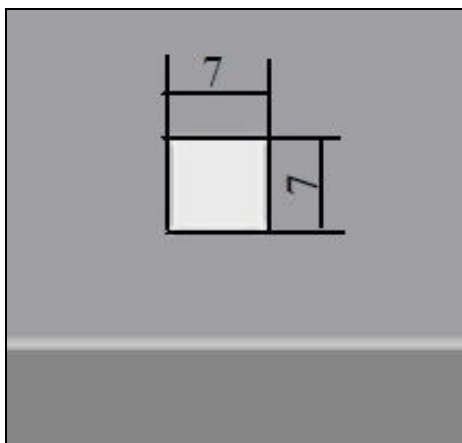


b)

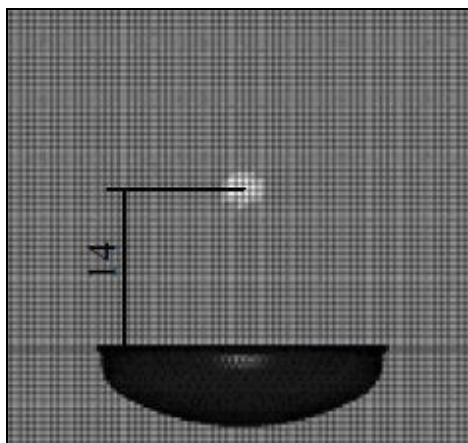
Slika 7. Mreža konačnih elemenata: a) kalupa, b) ploče

4. REZULTATI

Radi boljeg razumevanja izdvojene su samo neke sekvence animiranog procesa simulacije. U računarskom kodu, između ostalih, izabrano je da geometrija eksploziva bude kubna, sa ivicama od 7 mm (slika 8), detonacija se inicira u vremenu $t = 0$, iz tačke koja je udaljena od površine ploče 140 mm – stand-off rastojanje (slika 9).

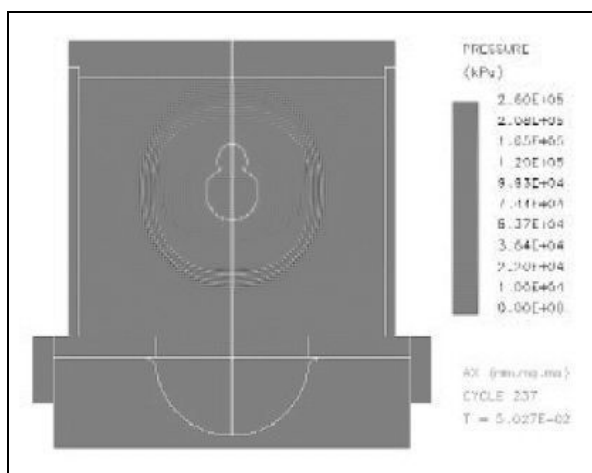


Slika 8. Geometrija eksploziva

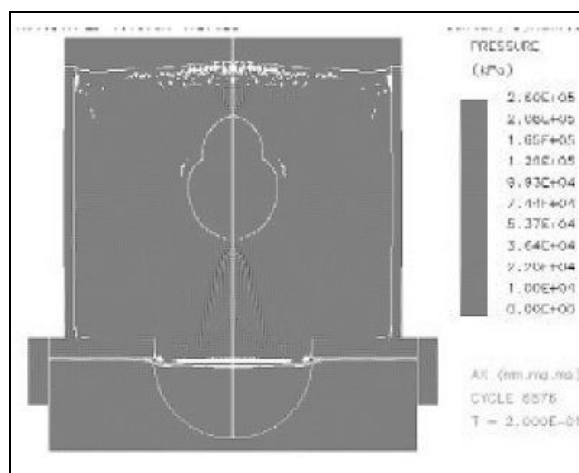


Slika 9. Stand-off rastojanje eksploziva

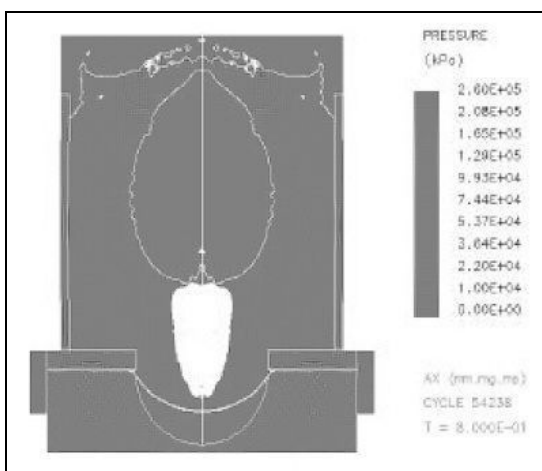
Na slikama 10-13 (izabrane prema vremenu, oblicima udarnog talasa i stepena preoblikovanja ploče) može se uočiti formiranje fronta talasa neposredno posle iniciranja eksploziva, pojava reflektovanog talasa, sekvenca u kojoj se ploča deformiše počevši od centra i, na kraju, preoblikovana ploča koja poprima oblik kalupa. Treba napomenuti da je ploča od aluminijuma pod dejstvom udarnog talasa generisanog eksplozijom u vodi dobila brzinu oko 75 m/s koja je kasnije opadala. Na slici 14 prikazano je pomeranje nekoliko referentnih tačaka na konturi ploče tokom oblikovanja.



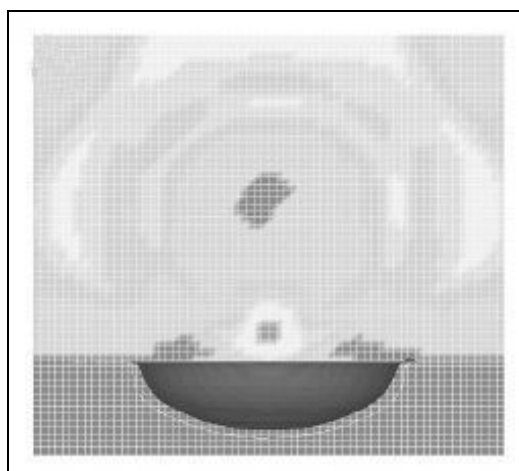
Slika 10. Talas posle iniciranja ($t = 0,05$ ms)



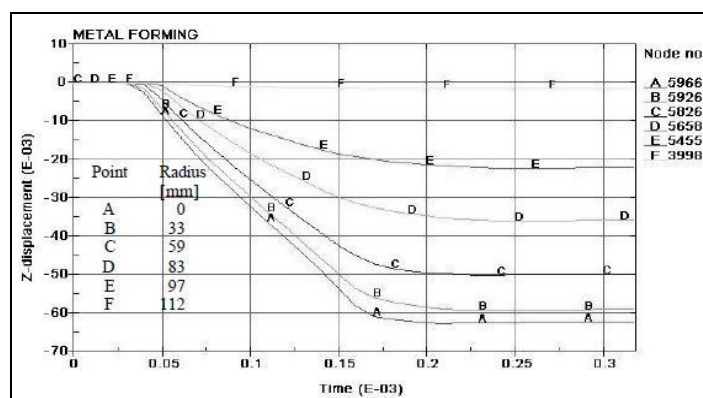
Slika 11. Reflektovani talas ($t = 0,08$ ms)



Slika 12. Talas i preoblikovana ploča ($t = 0,15$ ms)



Slika 13. Preoblikovana ploča ($t = 0,27$ ms)



Slika 14. Pomeranje nekoliko tačaka ploče tokom oblikovanja

5. ZAKLJUČAK

Simulacije su posebno korisne za razumevanje složenih sekvenci fenomena udarnih talasa. Efekti višestrukih refleksija i interakcije udarnih talasa sa geometrijom priprema su složeni za teoretske proračune, pa su simulacije odlično sredstvo za tačno određivanje onoga što se dešava tokom procesa oblikovanja eksplozijom. S druge strane, rezultati simulacija zavise od modelovane geometrije, veličine mreže korišćene u simulacijama, svojstava materijala priprema koji se modeluju, izbora modela materijala u simulacijama i drugih detalja proračunskog modela. Posebno treba naglasiti da veličina i oblik izabranih konačnih elemenata umnogome definišu tačnost proračuna i simulacija. Izbor numerički "sitnijih" elemenata usložnjava proračune i zahteva velike memorijske kapacitete i vreme za proračun. Izbor numerički "krupnijih" elemenata kao posledicu ima manju tačnost proračuna i nerealan prikaz pojava i stanja. Eksperimentalni rezultati dobijeni u sličnim konfiguracijama, ukazuju na potrebu daljih istraživanja, eliminisanja pojednostavljenih pretpostavki i uvođenja većeg stepena fizikalnosti pojava i stanja.

6. LITERATURA

- [1] LS-DYNA Theoretical Manual, Livermore Software Technology Corporation, 1998.
- [2] LS - DYNA Keywords User's Manual, Version 970, Livermore Software Technology Corporation, 2003.
- [3] Zittel, G., A Historical Review of High Speed Metal Forming, 4th International Conference on High Speed Forming, San Diego, 2010.
- [4] Kuroda, K., Hamada, H., Forming of Al Alloy Plate by Underwater Shock Wave of Explosive, 6th European LS-DYNA User's Conference, Sweden, 2007.
- [5] Gerdooei, M., Dariani, M. B., Liaghat, G.H., Effect of Material Models on Formability of Sheet Metals in Explosive Forming, Proceedings of the WCE, Vol. II, 1-6, London, 2009.
- [6] Radić, V., Momirović, V., Modeliranje i simulacija preoblikovanja metalnog diska u 3D geometriji, 21. Simpozijum o eksplozivnim materijama, Zbornik radova, 525-534, Tara, 2001.
- [7] Radić, V., Industrial Application of Explosives, 1st Int. Symposium of Explosive Materials, Weapons and Military Technology, Proceedings of Papers, 45-60, Ohrid, 2002.

SOME ASPECTS REGARDING THE SIMULATION OF THE EXPLOSIVE FORMING, USING THE FINITE ELEMENT METHOD

Abstract: The numerical simulation of the processes determined by the shock waves effect, is extremely important for the preliminary phases of prototyping, with low costs and a relatively short time, compared to classical methods. In the example below, we will analyze the explosive forming of metallic sheet processes. The experiment was made on axisymmetrical part, having the shape of sphere calotte, connected with a torus segment, obtained by forming a plate, 3 mm thick, made of aluminum alloy, using the energy punch from the explosion of an charge of HMX, located in water, at a certain distance from the metal plate surface.

Key words: Numerical simulation, explosive forming



B. Sredanović¹, G. Globočki - Lakić², B. Nedić³, Đ. Čiča⁴

NOVI PRISTUP DEFINISANJU UNIVERZALNE OBRADIVOSTI MATERIJALA PRI REZANJU

Rezime: Poboljšanje kvaliteta obradnog sistema je neprekidna težnja korisnika. Jedan od mogućih pravaca za poboljšanje je uvođenje pojma vektor snage sistema. To je vektorski zbir pojedinačnih vektora - pokazatelja kvaliteta procesa u posmatranom obradnom sistemu. Može se predstaviti u pravouglom koordinatnom sistemu, čije su ose najuticajniji pokazatelji kvaliteta. Ako se obradivost posmatra kao opšta karakteristika kvaliteta nekog materijala, moguće je povući paralelu između obradivosti i vektora snage, koji se u ovom slučaju naziva vektor obradivosti. Kako vektor snage sistema doprinosi univerzalnom definisanju kvaliteta sistema kao cjeline, tako i vektor obradivosti doprinosi univerzalnom definisanju obradivosti.

Cljučne riječi: obradivost, vektor snage, obrada rezanjem

1. VEKTOR OBRADIVOSTI

Definisanju vektora obradivosti prethodi izbor odgovarajućeg pravouglom koordinatnog sistema. U ovom slučaju koordinatni sistem predstavlja prostorni pravougli koordinatni sistem čije su tri ose parametri odabranih kriterijuma obradivosti na osnovu kojih se formira univerzalna obradivost kao prostorni vektor.

Za svaki primarni kriterijum (generalni aspekt) pri definisanju obradivosti postoje kriterijumi nižeg nivoa koji ga opisuju. Svaki od izabranih kriterijuma, koji se posmatraju kao opisni elementi primarnog kriterijuma, ima svoj rang važnosti. Primjer odnosa između generalnih aspekata i glavnih kriterijuma obradivosti dat je u Tabeli 1.1.

Tabela 1.1. Odnosi primarnog aspekta i kriterijuma obradivosti

Kriterijum	Generalni aspekt	Cijena obrade	Habanje alata	Kvalitet obrade
Glavni otpor rezanja		I	-	-
Intenzitet habanja alata		II	I	-
Hrapavost obrađene površine		III	-	I
Tribološke karakteristike		-	II	-
Temperatura rezanja		-	III	II
Tačnost obrade		-	-	III

Postoje dva pristupa pri definisanju obradivosti pomoću vektora obradivosti. U prvom pristupu, koji je univerzalniji, na ose koordinatnog sistema se nanose realne vrednosti parametra koji opisuje taj kriterijum (vrednost otpora rezanja, sila trenja ili koeficijenta trenja, širina traga habanja na površinama alata, srednja temperatura rezanja ili temperature u karakterističnim tačkama alata i predmeta obrade, itd.). U drugom pristupu, na ose koordinatnog sistema se nanose indeksne vrednosti obradivosti, dobijene analizom po odgovarajućem kriterijumu (indeks obradivosti sa aspekta otpora rezanja, sa aspekta habanja alata, sa aspekta kvaliteta obrađene površine, sa aspekta tačnosti obrade i sl.). Svaka osa koordinatnog sistema ima odgovarajući jedinični vektor čija dužina odgovara jedinici kojom se meri parametar, odnosno odgovara procentu indeksa obradivosti. U okviru ovog rada analizira se prvi pristup pri definisanju univerzalne obradivosti.

¹ Branislav Sredanović, dipl. inž. maš., sredanovic@gmail.com, Mašinski fakultet, Banja Luka, tel: +387 51 462 400

² Prof. dr Gordana Lakić - Globočki, gnm@urc.rs.ba, Mašinski fakultet Banja Luka, tel: +387 51 462 400

³ Prof. dr Bogdan Nedić, Mašinski fakultet Kragujevac, nedic@kg.ac.rs, + 381 34 335990

⁴ Doc. dr Đorđe Čiča, Mašinski fakultet Banja Luka, djordje@urc.rs.ba, tel: +387 51 462 400

U dosadašnjim pristupima definisanja obradivosti materijala pri rezanju, obradivost je najčešće definisana preko glavnih otpora rezanja, habanja alata i kvaliteta obrađene površine. Ova tri parametra istovremeno predstavljaju tri najvažnija elementa obradnog sistema koji su međusobno usko povezani i ne mogu se izdvojeno analizirati. Univerzalna obradivosti materijala kao integralna metoda direktno je vezana za prethodno definisanje obradivosti koristeći navedene parametre.

Međusobna korelacija izabranih kriterijuma za definisanje obradivosti može u izvesnoj meri da naruši nezavisnost osa koordinatnog sistema. Dodatni problem predstavlja raznorodnost veličina koje se nanose na ose koordinatnog sistema. Ovaj problem se prevazilazi definicijom vektora obradivosti i modelom analize obradivosti, gde se prisutna raznorodnost gubi u izrazu za univerzalnu obradivost materijala. Na ose se mogu nanositi samo merljive veličine, odnosno veličine koje se mogu izraziti nekom jedinicom.

Ako se izaberu unapred pomenuta tri kriterijuma, može se definisati vektor obradivosti nekog materijala. Na ose se jednostavno nanose vrednosti otpora rezanja, intenziteta habanja i hrapavosti površine. Na osnovu skalarne vrijednosti i odgovarajućih jediničnih vektora formiraju se vektori kriterijuma, koji leže na pripadajućim osama:

$$\overrightarrow{K_i^{KO}} = \overrightarrow{k_i^{ko}} \cdot K_i$$

gde je:

$\overrightarrow{K_i^{KO}}$ - vektor i- tog kriterijuma,

KO - oznaka kriterijuma,

$\overrightarrow{k_i^{ko}}$ - jedinični vektor i-tog kriterijuma,

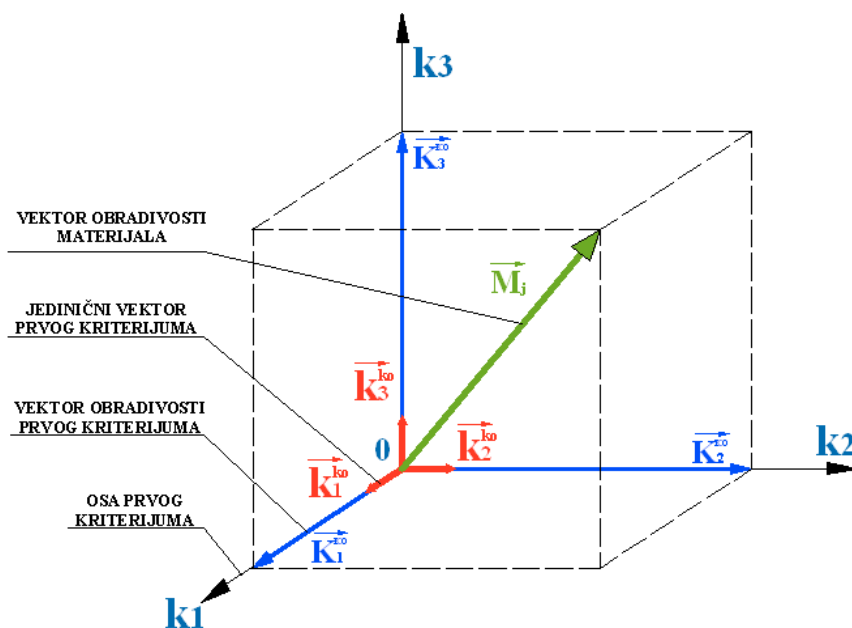
K_i - skalarna vjednost parametra i-tog kriterijuma.

Vrednosti otpora rezanja, intenziteta habanja i hrapavost obrađene površine mogu se dobiti eksperimentalnim merenjem ili proračunom uz pomoć analitičkih modela, uz korišćenje preporučenih alata, režima obrade.

Vektor obradivosti materijala predstavlja vektorski zbir vektora kriterijuma, na osnovu kojih se definiše obradivost a dobijenih pri obradi preporučenim parametrima obrade.

$$\overrightarrow{M_j} = \sum_{i=1}^3 \overrightarrow{K_i^{KO}}$$

gde je $\overrightarrow{M_j}$ - vektor obradivosti j-tog materijala.



Slika 1.1. Vektor obradivosti u pravouglom koordinatnom sistemu

U vektoru obradivosti su sadržane integralne informacije o parametrima kriterijuma na osnovu kojih je formiran vektor obradivosti. Analizom položaja vektora obradivosti se mogu utvrditi sklonosti materijala

npr. prema habanju alata u toku obrade, prema formiranju kvalitetnije obradene površine pri odgovarajućim tehnološkim parametrima obrade, itd.

Na osnovu položaja vektora obradivosti može se zaključiti sledeće: intenzitet odnosno dužina vektora obradivosti materijala daje informaciju o veličinama parametara odgovarajućih kriterijuma, dok njegov položaj daje informaciju o intenzitetu uticaja datih parametara na obradivost materijala. Ove informacije predstavljaju osnove definicije univerzalne obradivosti. Iz ovih činjenica može se utvrditi model za analizu i poređenje obradivosti materijala.

2. ANALIZA OBRADIVOSTI POMOĆU VEKTORA OBRADIVOSTI

Definicija univerzalne obradivosti zahteva analizu obradivosti po različitim kriterijumima, analizu njihovih međusobnih uticaja i uticaja na globalnu definiciju obradivosti sa određenog aspekta, te integraciju vrednosti i uticaja u jedinstven model. Vrednost pokazatelja obradivosti materijala je važan faktor analize. Međutim, ujednačenost obradivosti po svim kriterijuma u nekim slučajevima je presudan faktor u eksploataciji određenog materijala, pod odgovarajućim režimima obrade i odabranim alatima.

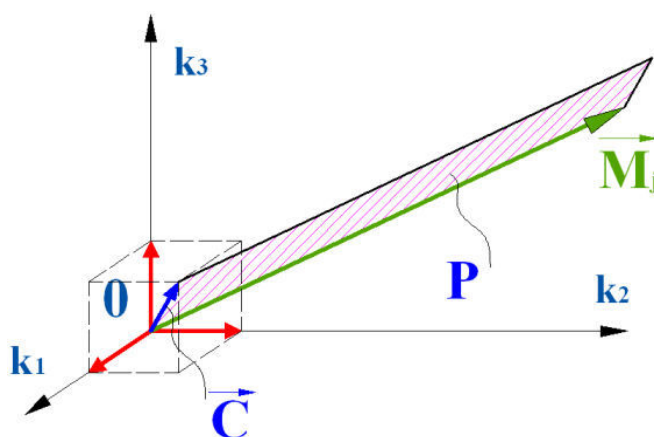
Vrednost pokazatelja obradivosti iskazuje se preko intenziteta vektora obradivosti. Ujednačenost pokazatelja obradivosti može se definisati položajem vektora obradivosti u prostoru. Što su pokazatelji ujednačeniji, odnosno imaju jednak uticaj na obradivost, to se i vektor obradivosti približava pravcu referentnog vektora koji se dobija sabiranjem jediničnih vektora svih kriterijuma:

$$\vec{C} = \sum_{i=1}^3 \vec{k}_i^{ko}$$

gdje je: \vec{C} - referentni vektor.

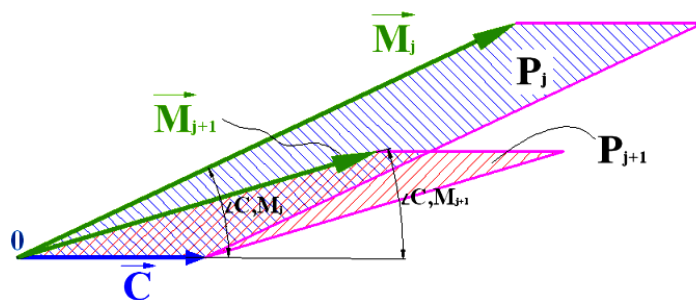
Na osnovu prethodnog, može se zaključiti da materijal čiji vektor obradivosti ima manji intenzitet i koji zatvara manji ugao sa referentnim vektorom ima i bolju obradivost. Pošto se na ose nanose različite veličine, referentni vektor ima pravac koji određuje najbolju ujednačenost pokazatelja obradivosti. Uspostavom vektora obradivosti zaključuje se da jedinični vektori mogu imati različite dužine, što zavisi od razmere u kojoj se predstavljaju jedinice mere parametara odgovarajućeg kriterijuma. Svakako je najbolja vizualizacija sistema u slučaju kada su jedinični vektori iste dužine.

Veličina koja najbolje pokazuje koliko je vektor obradivosti datog materijala ujednačen sa pravcem referentnog vektora i koliki je njegov intenzitet, jeste veličina površine paralelograma koju stvaraju vektor obradivosti i referentni vektor (slika 2).



Slika 2.1. Konstrukcija paralelograma nad vektorima

Dobijena površina direktno se može povezati sa obradivosti materijala. Što je manji intenzitet vektora obradivosti posmatranog materijala i što je manji ugao koji on zatvara sa referentnim vektorom, to je bolja i njegova obradivost u odnosu na druge materijale sa definisanim vektorima obradivosti. Materijal sa manjom datom površinom ima bolju obradivost u odnosu na materijal sa većom površinom (slika 3).



Slika 2.2. Paralelogrami različite površine – različita obradivost

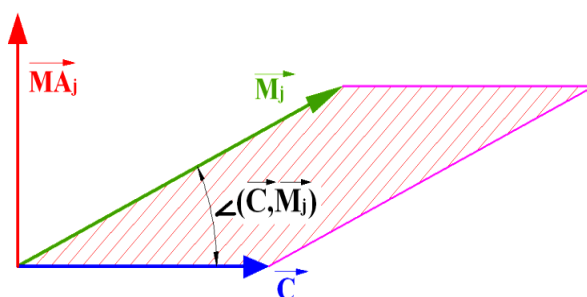
Uspostavljeni odnos se može opisati vrednošću vektorskog proizvoda referentnog vektora i vektora obradivosti materijala:

$$P_j = |\vec{C} \times \vec{M}_j| = |\vec{C}| \cdot |\vec{M}_j| \cdot \sin \angle(\vec{C}, \vec{M}_j)$$

Sinus ugla između ova dva vektora dobija se pomoću izvedenog izraza:

$$\sin \angle(\vec{C}, \vec{M}_j) = \sqrt{1 - \frac{(K_1 + K_2 + K_3)^2}{(k_1^2 + k_2^2 + k_3^2) \cdot (K_1^2 + K_2^2 + K_3^2)}} + s$$

gde broj s predstavlja koeficijent sigurnosti u slučaju da se vektorski pravci poklapaju, te stvaraju paralelogram čija je površina jednaka nuli. Koeficijent sigurnosti u opštem slučaju iznosi $0 \div 0,001$. U ovom slučaju, analiza se zasniva samo na intenzitetu vektora obradivosti, jer je ujednačenost kriterijuma potpuna. Vektorski proizvod referentnog vektora i vektora obradivosti daje vektor koji je upravan na prethodno definisan paralelogram, dok se njegov smer određuje pravilom desne ruke (slika 4). Ovaj vektor se naziva vektor analize obradivosti $[MA_j]$ jer se pomoću njega može direktno vršiti poređenje obradivosti materijala.



Slika 2.3. Vektorski proizvod

Vektor analize sadrži podatak o uticajima pojedinih kriterijuma na ocenu obradivosti. On ima onaj intenzitet, pravac i smer koji govori o pravcima i intenzitetu korekcionih koeficijenata pri korekciji tehnoloških parametara pri obradi materijala. Vektor analize sadrži koeficijente kojima treba korigovati ulazne parametre da bi se dobila maksimalna vrednost obradivosti, odnosno optimalni tehnološki parametri. Korekcijom su obuhvaćeni, u prvom redu, brzina rezanja, korak i materijal i geometrija reznog alata. Razlaganjem vektora analize se mogu dobiti koeficijenti koji se koriste pri uspostavi univerzalne definicije obradivosti odgovarajućom indeksnom metodom. Pokazatelji uticaja pojedinih kriterijuma na obradivost su skalarni vrednosti koje množe jedinične vektore pri projekciji vektora analize na ose koordinatnog sistema (vrednosti MA^{k1} , MA^{k2} , MA^{k3}). Ove vrednosti se računaju pomoću izraza za vektorski proizvod:

$$\vec{MA}_j = \vec{C} \times \vec{M}_j = \begin{vmatrix} \vec{k}_1^{ko} & \vec{k}_2^{ko} & \vec{k}_3^{ko} \\ k_1 & k_2 & k_3 \\ K_1 & K_2 & K_3 \end{vmatrix}$$

odnosno:

$$\vec{MA}_j = (k_2 \cdot K_3 - k_3 \cdot K_2) \cdot \vec{k}_1^{k_0} + (k_3 \cdot K_1 - k_1 \cdot K_3) \cdot \vec{k}_2^{k_0} + (k_1 \cdot K_2 - k_2 \cdot K_1) \cdot \vec{k}_3^{k_0}$$

i konačno se predstavljaju u obliku matrice:

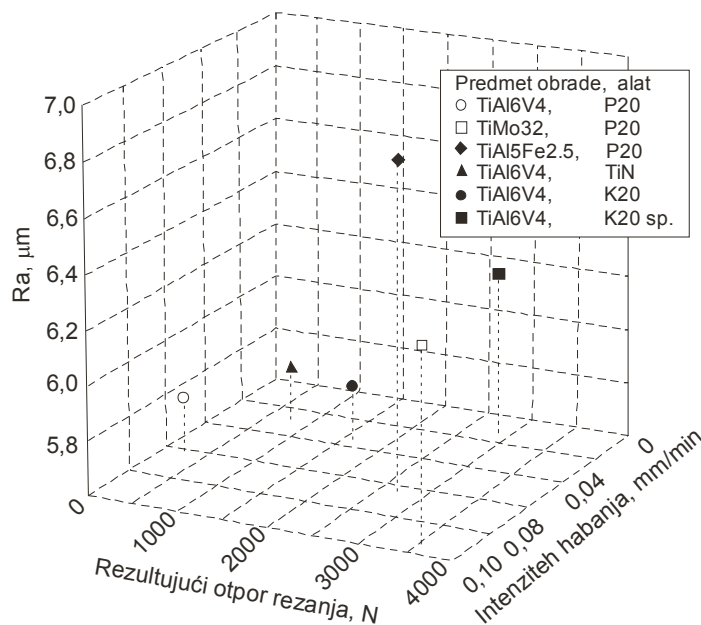
$$\vec{MA}_j = \begin{bmatrix} MA_j^{k_1} & MA_j^{k_2} & MA_j^{k_3} \end{bmatrix}$$

Teoretski posmatrano, površina paralelograma bi mogla da dobije istu vrednost pri različitoj dužini vektora obradivosti i uglu koji on zatvara sa referentnim vektorom. Međutim, analiza obradivosti se uvek vrši na grupi sličnih materijala (konstrukcioni čelici, visokolegirani čelici, titanijumske legure, itd.) tako da je isključena mogućnost pojave istih površina. Ako se takve ipak pojave, analizu je potrebno provesti na osnovu drugih informacija i parametara sadržanih u vektoru obradivosti.

Način poredenja obradivosti materijala pomoću vektora univerzalne obradivosti dat je u tabeli 1.

Tabela 2.1. Obradivosti izračunata pomoću indeksa obradivosti i vektora obradivosti

Kombinacija		Intenzitet habanja alata mm/min	Rangiranje	Rezultujući otpor rezanja N	Rangiranje	Hrapavost površine μm	Rangiranje	Rezultati metodom vektora obradivosti	Pomnoženo sa 1000 zbog observabilnosti	Rangiranje	RAZLIKA
Materijal	Alat										
TiAl6V4	P20	0.061	4	219.74	1	5.8	1	0.005647	56.47	I	ok
TiMo32	P20	0.093	6	3523.74	6	6.3	5	0.000347	3.48	VI	ok
TiAl5Fe2.5	P20	0.064	5	2693.21	4	6.8	6	0.000455	4.55	IV	ok
TiAl6V4	TiN	0.028	2	761.46	2	5.8	1	0.001614	16.15	II	ok
TiAl6V4	K20	0.034	3	1593.48	3	5.8	1	0.000770	7.70	III	ok
TiAl6V4	K20 sp.	0.013	1	2849.15	5	6.2	4	0.000430	4.30	V	ok



Slika 5. Položaj pojedinih vektora obradivosti

Poređenje obradivosti pomoću metode vektora obradivosti daje približne rezultate u odnosu na rezultate dobijene na osnovu indeksa obradivosti sa različitih aspekata. Prednosti metode vektora obradivosti su u objektivnijem proračunu međusobnih odnosa kriterijuma. Pojednostavljeni matematički aparat je jedna od prednosti ovog modela. Vizualizacijom vektora obradivosti ne odstupa se od tradicionalnih, indeksnih, metoda poredenja obradivosti. Koeficijenti vektora analize, koji se direktno očitavaju iz modela, su direktno povezani sa korekcionim faktorima tehnoloških parametara, što daje prednost ovoj metodi.

3. ZAKLJUČAK

Nesumljivo da svaki pozitivan pomak u definiciji i analizi obradivosti materijala predstavlja značajan napredak prema konačnom cilju a to je što šira univerzalnost definicije obradivosti materijala. Danas u svetu postoji više pristupa i modela definisanja univerzalne obradivosti. Ispitivanja obradivosti materijala zahtevaju visokosofisticiranu mernu opremu, podržanu raznim softverskim rešenjima. Skoro je nemoguće govoriti o ispitivanjima takve vrste a da se uporedo ne spomenu i visine uloženi sredstava.

Rangiranje kriterijuma po važnosti za određeni generalni aspekt uvek sadrži procenat subjektivnosti pri ocenjivanju važnosti datog kriterijuma, ali isto tako s druge strane dovoljno poznavanje dosadašnjih praktičnih rezultata i razvijenih modela u ovoj oblasti stepen subjektivnosti svodi na minimum. Ova konstatacija svakako upućuje na zaključak neminovnog postojanja i razvijanja baza podataka i baza znanja o obradivosti različitih materijala koji samo mogu da budu odlična polazna osnova ka krajnjem cilju - definisanju univerzalne obradivosti bna principu minimalnog broja eksperimentalnih istraživanja.

4. REFERENCES

1. Globočki-Lakić G. (2010), Obrada metala rezanjem – teorija, modeliranje i simulacija, Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet, Bosna i Hercegovina.
2. Globocki Lakic G., Sredanovic B., Jokanovic S., Borojevic S., and Cica Dj. (2010). Vector Based Approach in Defining of Universal Machinability. Proceedings of IN-TECH 2010 International Conference on Innovative Technology in Design, Manufacturing and Production, Prague, Czech Republic, p. 326-329.
3. Sredanovic B., Globocki Lakic G. (2010). Quality Monitoring of Production System and Processes in Form of Vector of Power. Proceedings of HIFI 2010 Ninth International Scientific - Practical Conference "Research, Development and Application of High Technologies in Industry, St. Petersburg, Russia, p. 418-420.
4. Venkata Rao R., Gandhi O.P. (2002). Diagraph and Matrix Methods for Machinability Evaluation of Works Material", International Journal of Machine Tools & Manufacture. vol. 42, no. 1, p. 321-330.
5. Theile E. W., Kuding K.J.A., Murphy D.W., Soloway G., Duffin B. (1990). Comparative Machinability of Brasses, Steel and Aluminium Alloy: CDA's Universal Machinability Index. Publication of Copper Development Association, New York, United States of America.
6. Globocki Lakic G., Borojevic S., Cica Dj., Sredanovic B. (2009). Development of Application for Analysis of Machinability Index. Journal Tribology in Industry. vol. 31, no. 1-2, p. 57-60.
7. Borojevic S., Sredanovic B., Globocki Lakic G., Nedic B., Cica Dj. (2009). Analysis of Machinability Index of Aluminium Alloys with Application Software. Proceedings of 33rd Conference on Producton Engineering of Serbia, Beograd, Srbija, p. 31-34.

NEW APPROACH TO DEFINING OF UNIVERSAL MATERIAL MACHINABILITY

Abstract: *Improving the quality of machining system is a continuous aspiration. One of the possible directions for improvement is the introduction of the concept of a vector power system. It is a vector sum of the individual vectors - indicators of process quality in the monitored processing systems. Can be represented in the Cartesian coordinate system whose axes are the most powerful indicators of quality. If the machinability viewed as a general quality characteristics of a material, it is possible to draw parallels between machinability and the vector strength, which in this case, the vector of machinability. As a vector of power system contributes to the universal definition of the quality sys-tem as a whole, and contributes to the machinability of a vector universal definition of machinability.*

Key words: *machinability, vector, metal cutting*



V. Pejić¹, Z. Petković², B. Mišić³

KONCEPT SISTEMA ZA ODREĐIVANJE PARAMETARA REŽIMA REZANJA ZASNOVANOG NA WEB - TEHNOLOGIJAMA

REZIME:

Izbor parametara režima rezanja predstavlja jedan veoma važan optimizacioni zadatak u sistemu upravljanja obradnim procesima.

U radu je prikazan dio istraživanja vezanih za razvoj sistema za određivanje parametara režima rezanja zasnovanog na web – tehnologijama. Analizirani su različiti pristupi za modelovanje i izbor parametara režima rezanja, a što je rezultiralo postavljanjem koncepta integralnog modela. Dat je koncept jednog takvog sistema sa težištem na prikazu arhitekture istog, kao i primijenjenih web- tehnologija u njegovoj realizaciji.

Ključne reči: Parametri režima rezanja, Optimizacija, Web tehnologije.

1. UVOD

Tehnološke promjene posljednjih godina uslovljavaju nove pristupe u planiranju procesa obrade rezanjem. Tokom 70-ih godina podaci o parametrima obrade bili su smješteni u katalozima i različitim priručnicima. Tokom 80-ih se razvijaju tehnološke baze podataka o režimima rezanja. Era globalnih komunikacija putem Interneta nastala tokom 90-ih, otvara nove mogućnosti za smanjenje cijene koštanja i povećanje kvaliteta proizvoda [1]. Upotrebom tehnoloških baza podataka omogućeno je automatizovano određivanje parametara režima obrade pri projektovanju tehnologije za klasične ili NU-obradne sisteme, kao i optimizacija samog procesa, a sve ovo predstavlja osnov za izgradnju automatizovanih (CAPP), automatskih (CAM) ili integrisanih (CIM) sistema za projektovanje tehnologije, odnosno za tehnološku pripremu proizvodnje.

Kako je Web postao industrijski standard u svim područjima, zahtjev za integracijom Weba i baze podataka o režimima obrade dolazi iz dva osnovna razloga:

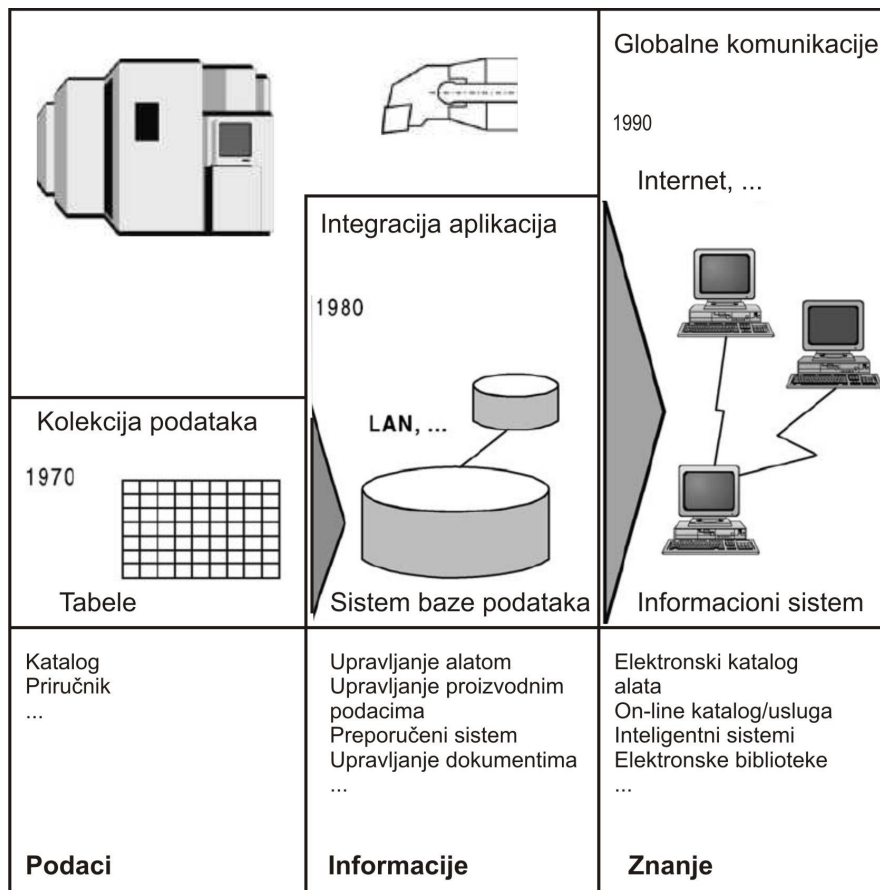
1. potreba za postojanjem zajedničke platforme uz jednostavan pristup bazi podataka, a zbog:
 - a) velikog broja učesnika u procesu
 - b) dislokacije učesnika procesa
2. zahtjeva za ažurnim podacima velikih i složenih baza podataka koje se stalno mijenjaju.

Informacione tehnologije (IT) mijenju načine na koje ljudi rade i žive, te mijenjaju organizaciju i način poslovanja savremenih kompanija. Neprilagođavanje tim promjenama (bilo pojedinca ili poslovnih subjekta), dovodi u pitanje sopstvenu egzistenciju i uspješno funkcionisanje u novonastalom poslovnom i tehnološkom okruženju.

¹ Mr Vlastimir Pejić, viši asistent, Saobraćajni fakultet Doboj, +387 53 221-988, pejic@teol.net

² Zoran Petković, dipl.ing.inf. stručni saradnik u nastavi, Saobraćajni fakultet Doboj, +387 53 221-988, pzoran@gmail.com

³ Dr Boško Mišić, vanredni profesor, Saobraćajni fakultet Doboj, +387 53 221-988, misicb@stf-doboj.net



SI. 1.1. Razvojne faze tehnoloških baza podataka za procese rezanja [1]

Intranet je privatna računarska mreža bazirana na internet tehnologiji (TCP/IP protokolu) koja omogućuje zaposlenim radnicima brz pristup resursima, jednostavnu saradnju na udaljenosti i komunikaciju na isti način kao da rade na Internetu, koristeći jedinstveno web okruženje.

Ekstranet je dio intraneta na koji pravo pristupa imaju druge (saradničke) kompanije, čime se omogućava razmjena poslovnih podataka.

Koncept baze podataka za parametre režima obrade zasnovan je na preporukama proizvođača alata, koje se obično daju tabelarno. Provjera usvojenih režima rezanja vrši se analitički, primjenom matematičkih modela za proračun parametara režima obrade zasnovanih na funkcijama obradljivosti, a koje su dobijene na osnovu laboratorijskih ispitivanja. Za realizaciju računarskih programa za izbor parametara režima obrade koriste se i sistemi za upravljanje bazama podataka, tako da se vrši analiza osnovnih modela za organizaciju podataka sa osnovama sistema za upravljanje bazama podataka (DBMS).

Baze podataka su se pokazale kao idealno rješenje za manipulaciju i pristup podacima o obradljivosti materijala. Veliki broj različitih materijala i drugih parametara obrade potrebno je sistematizovati. Već od 1964. godine razvijaju se specijalizovane baze podataka o obradljivosti materijala. Tokom godina razvilo se više sistema poput MDC (SAD), MIC (Japan), INFOS (Nemačka), CETIM (Francuska), a u SFRJ 1975. je osnovan Centar za proizvodno tehnološke informacije (CePTI). U SAD je 1985. u okviru ASTM (American Society for Testing and Materials – Američko društvo za ispitivanje i materijale) formiran tzv. Komitet E49. Njegova uloga je da se kreiraju standardi i preporuke za prikupljanje i skladištenje podataka, zatim ujednačavanje terminologije i definisanje kvaliteta podataka.

2. MODELOVANJE OPERACIJA OBRADNE

Već odavno je poznato da uslovi u kojima se izvode procesi obrade rezanjem, kao što su: brzina rezanja, pomak i dubina rezanja, utiču kroz obradne procese na produktivnost i cijenu koštanja proizvoda. Taylor F W je 1907 godine prikazao da postoji optimum ili ekonomična brzina rezanja koja može maksimizirati količinu skinutog materijala u jedinici vremena. Modelovanje i optimizacija procesnih parametara bilo kojeg proizvodnog procesa je po pravilu težak zadatak gdje su potrebni sledeći aspekti:

znanje o procesu proizvodnje, empirijske formule za razvoj realnih ograničenja, mogućnosti radnih mašina, razvoj efikasnog optimizacionog kriterijuma, znanje o matematičkim i optimizacionim tehnikama.

Osnovni cilj modelovanja operacija obrade je razvoj mogućnosti predviđanja za performanse obrade u namjeri olakšavanja efektivnog planiranja operacija obrade, a za postizanje optimalne produktivnosti, kvaliteta i cijene koštanja.

Performanse obrade mogu biti podijeljene u u dvije kategorije:

- a. *tehnički aspekti* kao što je preciznost oblika i dimenzija, kvalitet obrađene površine i svojstva sloja materijala ispod obrađene površine radnog predmeta,
- b. *komercijalni aspekti* kao što je vrijeme obrade i cijena koštanja, itd.

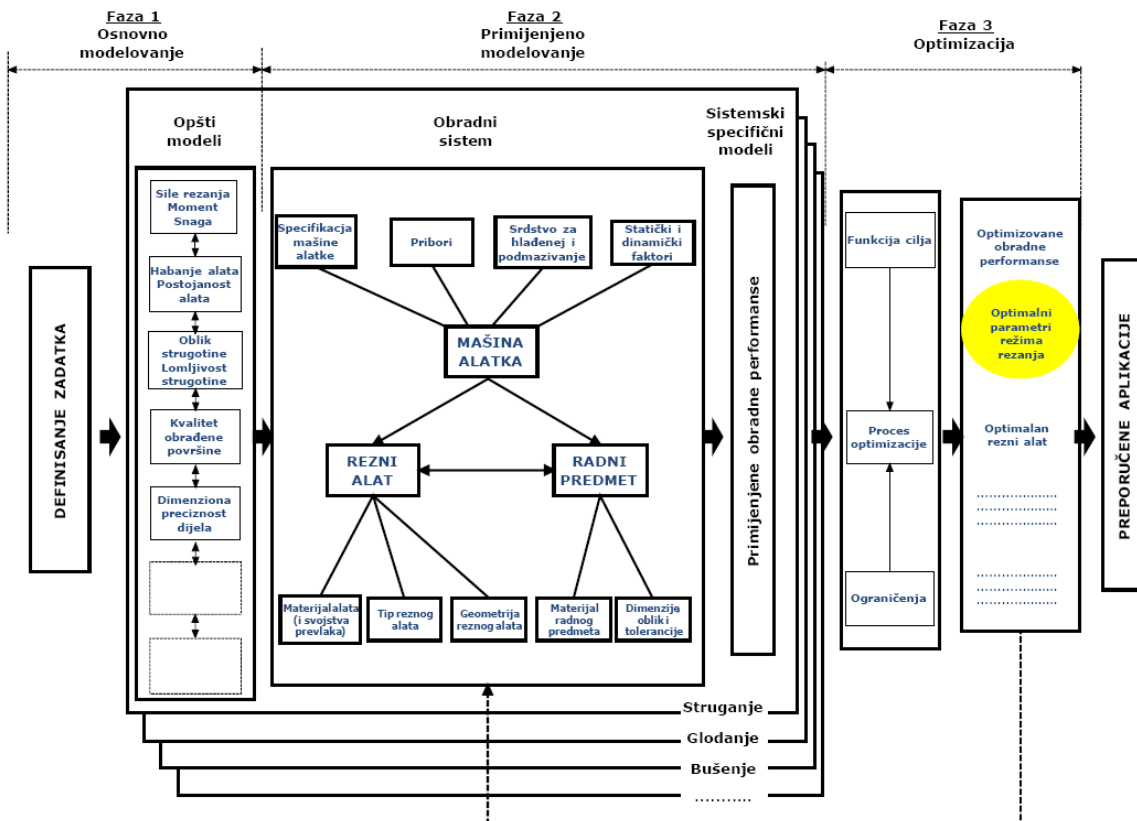
Za poteškoće modelovanja procesa obrade u velikoj mjeri su zaslužna dva glavna faktora:

- a. nedostatak temeljnog razumijevanja osnovnih mehanizama i interakcija između reznog alata i obratka čak i u najjednostavnijem slučaju ortogonalnog rezanja sa pojedinačnom ravnom reznom ivicom bez radijusa vrha i ugla nagiba i sa pravolinijskim osnovnim kretanjem.
- b. različite svrhe upotrebe, raznolikost i kompleksnost realnih operacija obrade. [2]

Prediktivno modelovanje operacija obrade za praktičnu primjenu sadrži dvije faze:

- I. Razvoj modela za obradne promjenljive, i
- II. Razvoj modela za obradne performanse.

Treća faza predstavlja određivanje optimalnih uslova.



SI. 2.1 Prediktivni modeli za operacije obrade za praktičnu primjenu [2]

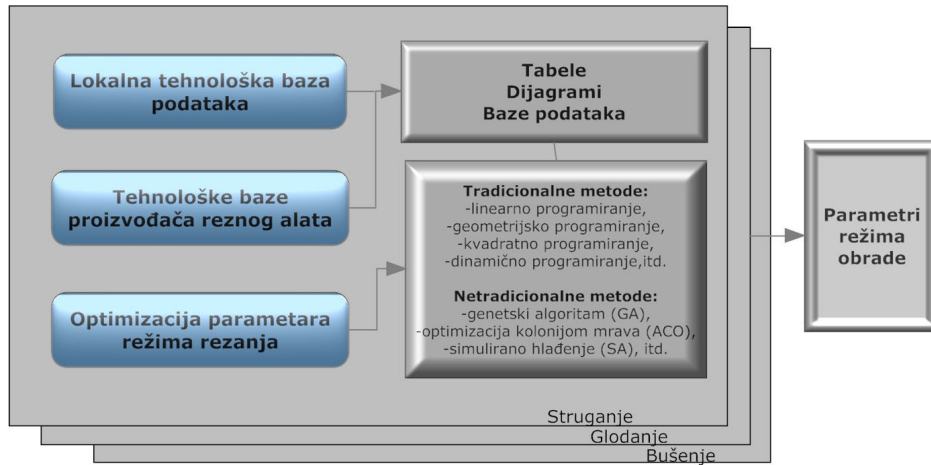
Danas postoji mnoštvo optimizacionih metoda koje se koriste u optimizaciji obradnih procesa. Klasifikacija istih se vrši po različitim kriterijumima.

Savremene optimizacione metode nastoje da budu vitalni alat u stalnom poboljšanju izlaznog kvaliteta proizvoda i procesa uključujući modelovanje odnosa ulazno-izlaznih i unutar-procesnih parametara i određivanje optimalnih reznih uslova. [3]

3. KONCEPT SISTEMA ZA IZBOR PARAMETARA REŽIMA REZANJA

Konceptualno rješenje sistema je dato na slici 3.1. Isto uključuje integrisana tri modela, a za tri najčešće vrste obrade: struganje, glodanje i bušenje.

- model 1: Lokalna tehnološka baza podataka,
- model 2: Tehnološka baza podataka proizvođača reznog alata,
- model 3: Optimizacija parametara režima rezanja



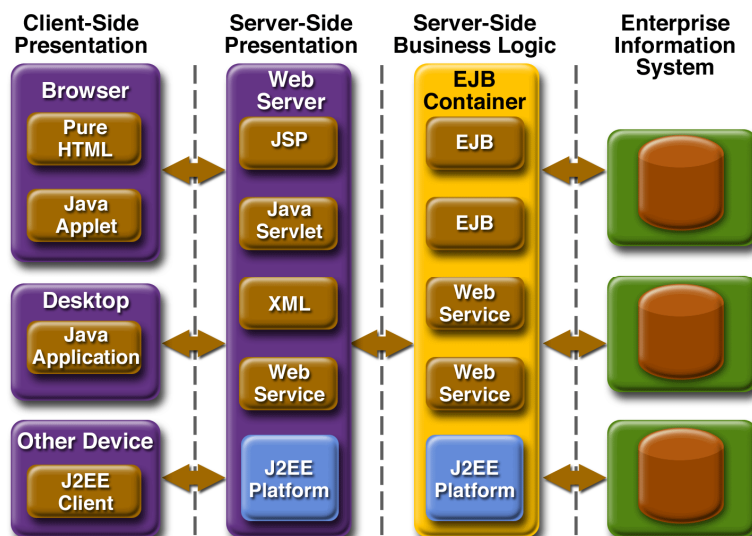
Sl. 3.1 Koncept sistema za određivanje parametara režima rezanja zasnovanog na WEB tehnologijama

4. ARHITEKTURA SISTEMA ZA IZBOR PARAMETARA REŽIMA REZANJA

Današnji trendovi razvoja ukazuju na potrebu za stalnim unapređenjima postojećih softverskih rješenja, što zahtijeva visoku fleksibilnost postojećeg implementiranog softverskog rješenja. Kao odgovor na postavljene zahtjeve javlja se višeslojna softverska arhitektura. Jedan od bitnih parametara u odabiru rješenja je i cijena rješenja. Imajući u vidu navedene zahtjeve u pogledu cijene i fleksibilnosti, predložena je upotreba J2EE (Java 2 Enterprise Edition) platforme kao skupa web tehnologija koja se pokazala kao zrela za izradu robusnih fleksibilnih softverskih rješenja u domenu poslovnih aplikacija.

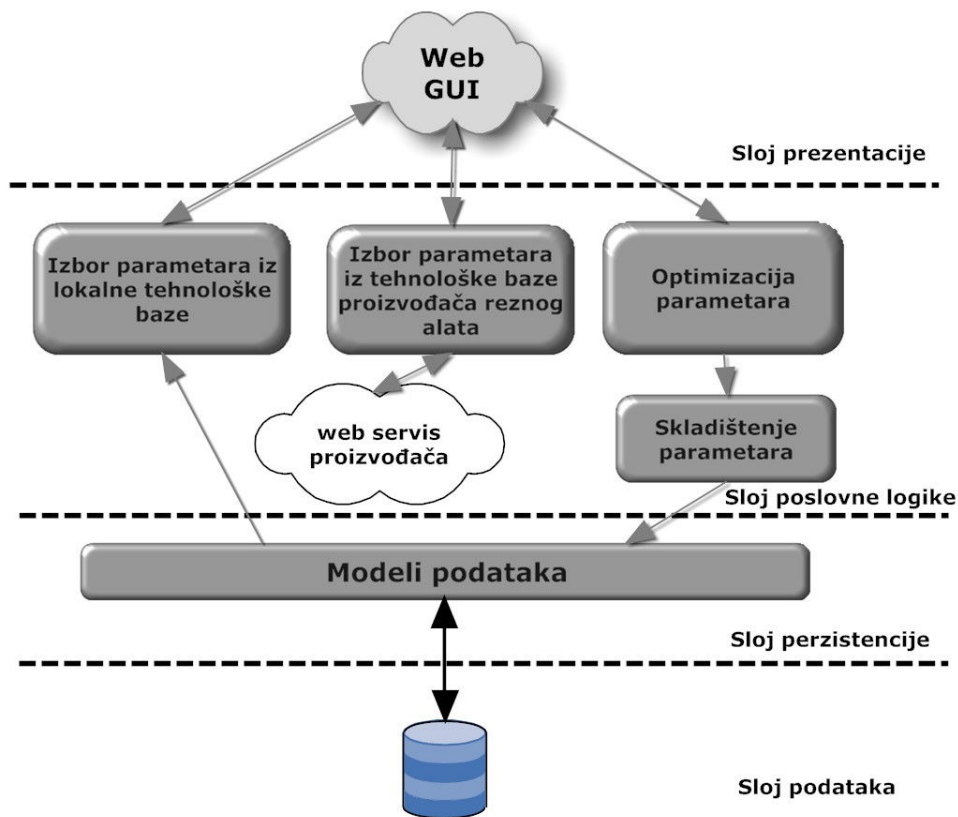
J2EE definiše standard za razvoj višeslojnih kompleksnih aplikacija. J2EE platforma pojednostavljuje kompleksne aplikacije koje su bazirane na standardizovanim modularnim komponentama obezbjeđujući skup servisa za ove komponente, upravljajući mnogim detaljima ponašanja aplikacije bez upotrebe kompleksnog programiranja.

Na slici 4.1 prikazana je uopštena softverska arhitektura sistema zasnovanog na J2EE tehnologiji. Dat je uopšten pregled mogućnosti koje ova arhitektura nudi.



Sl. 4.1 Uopštena arhitektura sistema zasnovanog na J2EE tehnologiji [5]

Arhitektura sistema raspoređenog u četiri sloja prikazana je na slici 4.2.



Sl. 4.2 Arhitektura sistema za određivanje parametara režima rezanja zasnovanog na WEB tehnologijama

Ovu softversku arhitekturu karakteriše podijeljenost na slojeve: sloj prezentacije, sloj poslovne logike, sloj perzistencije i sloj podataka. Sloj prezentacije je najviši sloj aplikacije i prikazuje informacije koje su vezane za servise implementirane u nižem sloju. Komunikacija ovog sloja sa bazom podataka ostvaruje se putem sloja poslovne logike. Sloj poslovne logike obezbjeđuje i kontroliše funkcionalnosti aplikacije obavljajući detaljnu obradu podataka i druge važne operacije. Sloj podataka se sastoji od servera baza podataka. Nezavistan je od sloja poslovne logike i sloja prezentacije, i služi samo za skladištenje i potraživanje informacija. Za razliku od klasične troslojne arhitekture ovde je uveden sloj perzistencije koji osigurava održivost stanja aplikacije i često je utemeljen na sloju podataka.

Sloj prezentacije se planira implemetirati uz pomoć JSP (JavaServer Pages) tehnologije čija je osnovna namjena za dinamičko generisanje web stranica baziranih na HTML, XML ili drugim tipovima dokumenata. JSP je oslonjen na servlete, Java klase koje se izvršavaju na serveru i generišu odgovore na HTTP zahtjeve. Sloj poslovne logike se planira implementirati uz pomoć EJB (Enterprise JavaBeans) arhitekture čija je namjena definisanje modularne konstrukcije kompleksnih aplikacija. Osnovu EJB arhitekture čine "beanovi": session bean i message-driven bean. Njihova osnovna namjena je implementacija funkcionalnosti koje aplikacija treba da obavlja. Za implementaciju sloja perzistencije planira se koristiti JPA (Java Persistence API), Java radni okvir za upravljanje relacionim podacima. Glavna namjena JPA je da osigura neprestanu održivost stanja aplikacije u odnosu na vezanu bazu podataka. Sve ove tehnologije su sastavni dio J2EE platforme.

Sloj podataka se planira realizovati upotrebom baze podataka otvorenog koda, MySQL. Postoje i mnoge druge baze otvorenog koda na tržištu, ali zbog svoje popularnosti i pouzdanosti u radu izabrana je ova baza podataka. Zahvaljujući sloju perzistencije obezbjeđena je nezavisnost u vezi upotrebne baze podataka, čime je data mogućnost upotrebe i drugih izvora podataka kao što su komercijalne baze podataka, XML baze podataka i sl.

Za poboljšanje interaktivnosti, u pojedinim slučajevima upotrebe aplikacije, planira se u sloj prezentacije ugraditi AJAX tehnologija. Upotrebom ove tehnologije biće osiguran osjećaj korisnika približan onome pri radu sa desktop aplikacijama. Implementacija se planira izvesti upotrebom popularnog radnog okvira jQuery koji je besplatan i otvorenog je koda.

5. ZAKLJUČCI

Koncept sistema za izbor parametara režima rezanja zasnovanog na web - tehnologijama je kao informacioni sistem projektovan da obuhvati što veći broj mogućih metoda za određivanje istih, a za tri najčešće vrste obrade rezanjem. Ovim radom dat je pregled mogućnosti odabira parametara režima rezanja modernim pristupom podržanim upotrebom informacionih tehnologija. Od svog nastanka informacione tehnologije se ubrzano razvijaju i time svakodnevno nudeći široku paletu novih mogućnosti. Danas su u centru pažnje web tehnologije koje su se nametnule kao standard u svakodnevnom životu i poslovanju. U skladu sa nametnutim trendovima ukazala se potreba razvoja koncepta koji je prilagođen novonastalim uslovima.

Ovdje je prezentovana softverska arhitektura koja zadovoljava potrebe u pogledu stalnih zahtjeva za promjenama i trendovima koje nosi ubrzani razvoj informacionih tehnologija. Softverska arhitektura je zasnovana na provjerenoj višeslojnoj arhitekturi koja osigurava fleksibilnost implementirane aplikacije. Poseban osvrt je dat u smjeru ekonomične implementacije predložene arhitekture, pa je predloženo konceptualno rješenje bazirano na upotrebi besplatnih tehnologija otvorenog koda. Pored zahtjeva u pogledu ekonomičnosti, vodilo se računa i pouzdanosti sistema, pa je iz tih razloga predloženo rješenje bazirano na Java web tehnologijama, koje su dostigle svoju zrelost kod upotrebe u zahtjevnim poslovnim aplikacijama.

Zahvaljujući primijenjenoj arhitekturi, prikazani softverski sistem se vrlo lako održava, proširuje i jednostavno uključuje u složenije sisteme.

U daljnjem radu planira se istraživanje upotrebe novih nadolazećih tehnologija koje proširuju mogućnosti web tehnologija. Poseban osvrt će biti usmjeren na istraživanje upotrebe semantičkog weba koji se nameće kao budući standard na web-u.

6. LITERATURA

- [1] A. Nestler, D. Fichtner, G. Shulz: An approach to technological database-possibilities for the determination of cutting values with neural networks, Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, pp. 577-586, ISBN 1-56700-118-1., 1988.
- [2] C.A. van Luttervelt, T.H.C. Childs, I.S. Jawahir, F. Klocke, P.K. Venuvinod: Present Situation and Future Trends in Modelling of Machining Operations, Progress Report of the CIRP Working Group "Modeling of Machining Operations", Annals of the CIRP Vol. 47/2, 1998.
- [3] M. Indrajit, R. Pradip: A review of optimization techniques in metal cutting proceses, Computers & Industrial Engineering, Volume 50, Issues 1-2, str. 15-34, 2006.
- [4] D. Milikić, M. Gostimirović, M. Sekulić: Osnove tehnologije obrade rezanjem, FTN Idavaštvo, Novi Sad, 2008.
- [5] <http://java.sun.com/j2ee/appmodel.html>
- [6] D. Panda, R. Rahman, D.Lane: EJB3 in Action, Manning, Greenwich, 2007.

CONCEPT OF THE SYSTEM FOR DETERMINING THE CUTTING PARAMETERS BASED ON THE WEB - TECHNOLOGY

Abstract:

Selection of cutting parameters represents a very important optimization task in the machining process management system. This paper presents the research concerning the development of systems for determining the cutting parameters based on the web - technologies. We analyzed different approaches for modeling and selection of cutting parameters, which resulted in placing the concept of integrated models. The concept is presented such a system, focusing on the review of the software architecture, as well as the appropriateness of Web technology in its implementation.

Key words: cutting parameters, optimization, web-technologies.

37. JUPITER KONFERENCIJA
sa međunarodnim učešćem

37th JUPITER CONFERENCE
with foreign participants

ZBORNİK RADOVA
PROCEEDINGS



39. simpozijum

UPRAVLJANJE PROIZVODNЈOM U
INDUSTRIJI PRERADE METALA

Beograd, maj 2011.

**UPRAVLJANJE PROIZVODNJOM U INDUSTRIJI
PRERADE METALA
PRODUCTION CONTROL IN METALWORKING INDUSTRY**

Dondur, N., Pokrajac, S., Spasojević Brkić, V., Grbić, S. TOTALNA FAKTORSKA PRODUKTIVNOST PRIVATIZOVANIH PREDUZEĆA U METALOPRERAĐIVAČKOJ INDUSTRIJI	4.1
Avakumović, J., Avakumović, Č., Vujačić, N. UTICAJ FAKTORA POSLOVNOG OKRUŽENJA NA UPRAVLJANJE PROIZVODNJOM U INDUSTRIJI.....	4.6
Stojčić, M., Knežević, B. PROJEKTOVANJE DIGITALNOG KONTROLERA KOJI OBEZBJEĐUJE ROBUSNO PRAĆENJE TRAJEKTORIJE SA KONTROLISANIM TRZAJEM	4.11
Dimić, Z., Glavonjić, M., Milutinović, D., Živanović, S., Kvirgić, V. UPRAVLJAČKI SISTEM OTVORENE ARHITEKTURE ZA UPRAVLJANJE TROOSNE MAŠINE SA PARALELNO KINEMATIKOM.....	4.17
Mitić, M., Miljković, Z., Vuković, N., Lazarević, I. KONCEPCIJSKO REŠENJE UPRAVLJANJA MOBILNOG ROBOTA U DOMENU UNUTRAŠNJEG TRANSPORTA MATERIJALA INTELIGENTNOG TEHNOLOŠKOG SISTEMA.....	4.23
Grbić, S., Savanović, M. ENERGIJA VETRA KAO ALTERNATIVNI IZVOR ENERGIJE	4.29
Jakovljević, Ž., Petrović, P. KONSTRUKCIJA AKCEPTORA KONTAKTNIH STANJA ZA AUTOMATSKU MONTAŽU	4.34
Pilipović, M. KOMPJUTERSKO NADZORNO UPRAVLJANJE – PRIMER LABORATORIJE ZA AUTOMATIZACIJU PROIZVODNJE	4.44

← NAZAD

N. Dondur, S. Pokrajac, V. Spasojević Brkić, S. Grbić¹

**TOTALNA FAKTORSKA PRODUKTIVNOST PRIVATIZOVANIH PREDUZEĆA
U METALOPRERAĐIVAČKOJ INDUSTRIJI**

Rezime: Na balansiranom panel uzorku od 79 preduzeća iz sektora proizvodnje osnovnih metala, proizvodnje metalnih proizvoda i mašingradnje empirijski su određene razlike u faktorskoj produktivnosti između izvezno orijentisanih i stranih preduzeća i prosečne produktivnosti na nivou Srbije. Utvrđeno je da su preduzeća u većinskom stranom vlasništvu imala za 43% višu totalnu faktorsku produktivnost od prosečne produktivnosti svih preduzeća u uzorku, dok su izvezno orijentisane firme u istom periodu zabeležile za 114% višu totalnu faktorsku produktivnost od prosečne produktivnosti na nivou Srbije.

Ključne reči: totalna faktorska produktivnost, metaloprerađivačka industrija, izvoz, strano vlasništvo.

1. UVOD

Najvažniji cilj privatizacije državnih i društvenih preduzeća jeste povećanje njihove efikasnosti. U periodu 2002-2009. godina kroz aukciju i tender prodato je 2504 preduzeća sa 358 hiljada zaposlenih pri čemu je ostvaren budžetski prihod od 2,9 milijardi eura. Najveći broj preduzeća je privatizovan aukcijskom prodajom (1717) i tenderom (110) dok je preostali broj preduzeća privatizovan kroz tržište kapitala. U oblasti industrije i rudarstva aukcijskom prodajom je privatizovano 559, a tenderom 70 preduzeća. U tri sektora metaloprerađivačke industrije (proizvodnja osnovnih metala, metalnih proizvoda i mašingradnja) tenderom je privatizovano 16, a aukcijskom prodajom 114 preduzeća [7]. Industrijska proizvodnja u ova tri sektora je u periodu 2005-2009. godina rasla po stopi od 2,8%. Zaposlenost je opadala po stopi od 8,9% dok je produktivnost, merena kao odnos vrednosti proizvodnje i broja zaposlenih, rasla po stopi od 7,5%. Tabela 1. daje pregled kretanja proizvodnje, zaposlenosti i produktivnosti rada u tri sektora metalske industrije u periodu 2005-2009. godina.

Tabela 1. Indeksi proizvodnje, zaposlenosti i produktivnosti

	2005	2006	2007	2008	2009
Proizvodnja osnovnih metala					
<i>Industrijska proizvodnja</i> ¹	121,8	114,1	97	103,4	71,2
<i>Zaposlenost</i> ²	99,6	91,3	95,5	97,2	81,9
<i>Produktivnost rada</i> ³	122,3	134,4	102,6	106,3	86,9
Proizvodnja metalnih proizvoda osim mašina					
<i>Industrijska proizvodnja</i>	103,2	111,6	117,6	109,8	80,7
<i>Zaposlenost</i>	88,8	95,1	90,1	93,8	90,2
<i>Produktivnost rada</i>	116,2	109,8	120,6	117,1	89,5
Proizvodnja mašina i uređaja osim električnih					
<i>Industrijska proizvodnja</i>	60,9	89,8	125,4	106,5	84,6
<i>Zaposlenost</i>	94,7	91,3	88,7	84,5	96,1
<i>Produktivnost rada</i>	64,3	94,4	133,9	126	88,1
<i>Napomena: Prethodna godina =100</i>					
¹ Fizički obim proizvodnje čiste delatnosti					
² Broj zaposlenih po principu čiste delatnosti					
³ Odnos indeksa fizičkog obima i indeksa zaposlenih					

Izvor: Republički zavod za statistiku, [8]

¹ Prof. dr Nikola Dondur, Prof. dr Slobodan Pokrajac, Doc. Dr Vesna Spasojević Brkić, saradnik Sonja Grbić, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, e-mail: ndondur@mas.bg.ac.rs, spokrajac@mas.bg.ac.rs, vspasojevic@mas.bg.ac.rs, sgrbic@mas.bg.ac.rs

Cilj ovog istraživanja je određivanje razlika u totalnoj faktorskoj produktivnosti privatizovanih preduzeća u tri sektora metalnog kompleksa po osnovu izvoza i učešća stranog kapitala u ukupnom kapitalu preduzeća u odnosu na prosečnu produktivnost. Produktivnost se ovde definiše kao relativni odnos vrednosti proizvodnje i zbira svih faktora proizvodnje, a nivo totalne faktorske produktivnosti kao razlika vrednosti proizvodnje i zbira rada, kapitala i materijalnih inputa. U prvom delu rada je dat empirijski pristup. Drugi deo rada sadrži ocenu uzorka i vrednost promenljivih modela. U trećem delu su dati empirijski rezultati dok četvrti deo sadrži zaključke.

2. EMPIRIJSKI PRISTUP

Za određivanje produktivnosti na nivou preduzeća dela metaloprerađivačke industrije je korišćena totalna faktorska produktivnost (TFP). Radi se o neoklasičnom pristupu koji produktivnost posmatra kao deo vrednosti proizvodnje koji nije direktna posledica korišćenih inputa (rada i kapitala) nego internih i eksternih faktora okruženja kao što su inovacije, organizacija, konkurencija, razvijenost infrastrukture, promena vlasničke strukture i slično [1]. U osnovi pristupa je proizvodna funkcija različitih specifikacija pri čemu se u ekonometrijskoj oceni najčešće koristi linearna proizvodna funkcija sledećeg oblika [3, 4]:

$$\ln(y_{jt}) = \beta_0 + \beta_k \ln(k_{jt}) + \beta_l \ln(l_{jt}) + \beta_m \ln(m_{jt}) + \omega_{jt} \quad (1)$$

gde su $\ln(y_{jt}), \ln(k_{jt}), \ln(l_{jt}), \ln(m_{jt})$ vrednosti ili količine proizvodnje, kapitala, rada i materijala firme (j) u godini (t). Parametar (β_0) meri srednji nivo efikasnosti firmi u vremenu, a greška (ω_{jt}) određuje specifično odstupanje od srednje efikasnosti koje ima firma (j) u vremenu (t). Odstupanje je moguće dekomponovati na deo koji je poznat preduzetniku, ali ne i istraživaču i deo koji je nepoznat istraživaču i posledica je prirode podataka, merenja i propusta u računskoj proceduri:

$$\ln(y_{jt}) = \beta_0 + \beta_k \ln(k_{jt}) + \beta_l \ln(l_{jt}) + \beta_m \ln(m_{jt}) + \delta_{jt} + \mu_{jt} \quad (2)$$

gde je (δ_{jt}) nivo produktivnosti firme (j) u vremenu (t).

Da bi se dobio nivo produktivnosti na nivou firme u empirijskim istraživanjima se obično odredi jednačina (2) i reši (δ_{jt}):

$$\delta_{jt} = \ln(y_{jt}) - \beta_k \ln(k_{jt}) - \beta_l \ln(l_{jt}) - \beta_m \ln(m_{jt}) \quad (3)$$

pri čemu se nivo produktivnosti dobija kao eksponencijal od δ_{jt} ($TFP = \exp(\delta_{jt})$).

Dobijena mera se dalje koristi za ocenu uticaja različitih promenljivih na produktivnost. Ocena uticaja u ovom radu je određena kroz dekompoziciju greške na način koji nam dozvoljava identifikovanje faktora koji su vezani za promene u produktivnosti po firmama u posmatranom periodu:

$$\delta_{jt} = \Phi_{jt}(\nu_{jt}) + \varphi_{jt} \quad (4)$$

gde je Φ_{jt} vektor specifičnih atributa firme (j) u vremenu (t), ν_{jt} opisuje kako ti atributi utiču na totalnu faktorsku produktivnost, a φ_{jt} predstavlja slučajnu grešku.

Proizvodnja se u empirijskim istraživanjima izražava kao prihod od prodaje, poslovni prihod ili dodatna vrednost u zavisnosti od toga sa kakvim podacima se raspolaže. Vrednost kapitala se obično meri kao vrednost stalne imovine, vrednost rada kao prosečan broj radnika, a vrednost materijala kao direktni troškovi materijala. U našem istraživanju proizvodnja je merena kao dodatna vrednost, kapital kao fer vrednost stalne imovine, a rad kao prosečan broj zaposlenih. Kao specifični atributi firme su korišćeni struktura vlasništva preduzeća i izvozna orijentacija firme. Atributi se menjaju od firme do firme i od godine do godine. Na osnovu ovih pretpostavki jednačina (2) je transformisana u sledeći oblik:

$$\ln(VA_{jt}) = \beta_0 + \beta_1 \ln(k_{jt}) + \beta_2 \ln(l_{jt}) + \beta_3 fd_{jt} + \beta_4 ed_{jt} + \mu_{jt} \quad (5)$$

gde predstavlja $\ln(VA)$ logaritam dodate vrednosti, $\ln(k_{jt})$ logaritam vrednosti stalne imovine, $\ln(l_{jt})$ broj zaposlenih, fd_{jt} firmu (j) sa većinskim stranim vlasništvom u godini (t), ed_{jt} firmu (j) koja beleži izvoz u godini (t). U cilju izbegavanja tzv. problema simultanosti (korelacije produktivnosti i proizvodnih inputa) za određivanje parametara proizvodne funkcije je korišćen poluparametrijski Levinsohn-Petrin (LP) metod [2]. Na osnovu jednačina (3) i (5) razlike u totalnoj faktorskoj produktivnosti su izražene kao:

$$\ln TFP = \beta_0 + \beta_3 fd_{jt} + \beta_4 ed_{jt} + \mu_{jt} \quad (6)$$

Koeficijenti β_3 i β_4 mere razlike u produktivnosti preduzeća u većinskom stranom vlasništvu i preduzeća koja su u posmatranom periodu (2005-2007. godina) beležila izvoz u odnosu na prosečnu produktivnost svih firmi u uzorku.

3. UZORAK I PROMENLJIVE

Uzorak sadrži 79 preduzeća iz tri sektora metalnog kompleksa (proizvodnja osnovnih metala, proizvodnja metalnih proizvoda osim mašina i proizvodnja mašina osim električnih mašina) privatizovana do kraja 2007. godine. U uzorku su ravnomerno zastupljeni svi regioni Srbije. Dodatna vrednost je izračunata na bazi vrednosti proizvodnje i premija umanjjenih za poreze i intermedijarnu potrošnju. Nominalna vrednost direktnih troškova materijala i robe namenjene prodaji je deflacionirana prosečno ponderisanim indeksom cena sektora iz koga odnosna roba potiče. Vrednost kapitala predstavlja vrednost stalne imovine određene na bazi fer vrednosti. Rad kao proizvodni input je meren kao prosečan broj zaposlenih izračunat na bazi radnih časova. Za ocenu razlika u produktivnosti preduzeća u metalnom kompleksu po osnovu izvoza korišćena je vrednost izvoza u poslovnom prihodu, a po osnovu stranog kapitala vrednost stranog kapitala u ukupnoj vrednosti kapitala firme. Tabela 2. daje prosečnu vrednost firme u uzorku.

Tabela 2. Statistika prosečne firme u uzorku (2005-2007. godina)

Promenljive (srednja vrednost)	
Dodata vrednost (VA) (000 RSD)	299767
Kapital (K) (000 RSD)	484208
Rad (L)	360
Učešće izvoza u poslovnom prihodu (%)	25,10
Učešće stranog kapitala u vlasništvu firme (%)	17,58

Prosečna firma u uzorku je veliko preduzeće sa 360 zaposlenih, prosečnim učešćem na tržištu od 3,7 %, učešćem izvoza u prihodu od 25% i vrednošću stranog kapitala u ukupnoj vrednosti kapitala od 18%.

4. EMPIRIJSKI REZULTATI

Koristeći jednačinu (6) u tabeli (3) je data regresiona zavisnost i empirijski rezultati razlika u produktivnosti po osnovu izvozne orijentacije i većinskog stranog vlasništva i prosečne produktivnosti privatizovanih preduzeća u tri sektora metaloprerađivačke industrije u Srbiji. Regresioni koeficijenti uz binarne promenljive koje opisuju attribute firme su pozitivni i statistički visoko signifikantni.

Tabela 3. Razlike u produktivnosti : Zavisna promenljiva - lnTFP

Promenljive	Koeficijenti
const	6,18204*** (27,9199)
β_4	0,763409*** (3,3522)
β_3	0,354588*** (2,6721)

Napomene: N= 237, $\bar{R}^2 = 0,128$

Preduzeća u sektorima proizvodnje osnovnih metala, proizvodnje metalnih proizvoda i proizvodnje mašina koja su u posmatranom periodu beležila izvoz su imala za 114,5% (izračunato kao $(100*(e^{0,7634}-1))$) veću totalnu faktorsku produktivnost od prosečne produktivnosti svih posmatranih preduzeća u ova tri sektora. Ovi rezultati su u skladu sa našim očekivanjima pošto su preduzeća u sektoru proizvodnje osnovnih metala istovremeno i najveći izvoznici. Privatna preduzeća koja su u posmatranom periodu bila u većinskom stranom vlasništvu imala su za 43% veću totalnu faktorsku produktivnost od prosečne produktivnosti svih preduzeća u uzorku. I ovi rezultati su u skladu sa našim očekivanjima da strani vlasnici privatnih preduzeća u metalском kompleksu uvođenjem novih tehnologija i metoda upravljanja sa istim resursima prave više proizvoda. Posmatrano po godinama, najveće razlike u faktorskoj produktivnosti su zabeležene u 2006. godini. Regionalno posmatrano najveće razlike u totalnoj faktorskoj produktivnosti po oba atributa (izvozu i stranom vlasništvu) su zabeležene u Centralnoj Srbiji. Ovaj rezultat je moguće objasniti činjenicom da su najveći izvoznici i preduzeća sa najvećim udelom stranog kapitala u sektoru osnovnih metala locirani upravo u Centralnoj Srbiji.

5. ZAKLJUČAK

Vlasnička transformacija je poboljšala efikasnost industrijskih preduzeća u Srbiji [5]. U ovom radu su, empirijski, na uzorku od 79 preduzeća iz tri sektora metaloprerađivačke industrije testirane razlike u totalnoj faktorskoj produktivnosti izvozno orijentisanih preduzeća i preduzeća u većinskom stranom vlasništvu i prosečne produktivnosti na nivou Srbije. Korišćen je Cobb-Douglas metodološki pristup kroz proizvodnu funkciju pri čemu su parametri funkcije određeni Levinsohn-Petrin poluparametrijskim algoritmom. Utvrđeno je da su izvozno orijentisana privatizovana preduzeća u sektorima prerade metala, proizvodnji metalnih proizvoda i mašinogradnji u periodu 2005-2007. godina imala za 114% veću totalnu faktorsku produktivnost od prosečne produktivnosti svih preduzeća u uzorku. U istom periodu preduzeća u većinskom stranom vlasništvu su ostvarila za 43% veću totalnu faktorsku produktivnost od prosečne produktivnosti na nivou Srbije. Po godinama najveće razlike u faktorskoj produktivnosti su zabeležene u 2006. godini, a regionalno posmatrano na području Centralne Srbije.

LITERATURA

- [1] Đankov, S., Murrell P.: Enterprise Restructuring in Transition: A Quantitative Survey. Journal of Economic Literature, Vol. 40, No.3. pp. 739-792, 2002.
- [2] Levinsohn, J. and Petrin, A.: Estimating Production Function Using Inputs to Control for Unobservables, Review of Economic Studies, Vol. 70, No. 2, pp. 317-342, 2003.
- [3] Dondur, N., Komatina M. and Spasojević-Brkić, V.: Performance of industrial Companies after ownership transformation, Industrija, Vol.XXXVIII, No. 4, pp. 29-39, 2010.
- [4] Dondur, N., Pokrajac, S. i Grbić, S.: Strane investicije i izvoz kao faktori konkurentnosti malih preduzeća u Srbiji, Ekonomski vidici, Vol. XV, No. 4, str. 533-541, 2010.
- [5] Dondur, N., Radojević, S. i Veljković, Z.: Efekti privatizacije i restrukturiranja u industrijskim preduzećima u Srbiji, Industrija, Vol.XXXV, No. 3. str. 13-25, 2007.
- [6] Van Beveren, I.: Total factor productivity: A practical Review, LICOS Discussion Paper, 182/2007, Leuven, 2007.
- [7] Privredna komora Srbije: Priivatizacija u Srbiji sa posebnim osvrtom na probleme privatizovanih preduzeća realnog sektora, Beograd, 2009.
- [8] Republički zavod za statistiku: Industrija Republike Srbije, Bilteni 471 (2007), 480 (2007), 483 (2008), 497(2009).

TOTAL FACTOR PRODUCTIVITY OF THE PRIVATISED COMPANIES IN METAL-PROCESSING INDUSTRY

Summary: On the balanced panel sample of 79 companies operating in the sector of manufacturing of base metals, metal products and production of machinery, the factor productivity differences between export-oriented and foreign-owned companies and average productivity at the level of Serbia are empirically estimated. It is found that the majority foreign-owned companies had by 43% higher total factor productivity than the average productivity of all companies in the sample, whereas in the same period export-oriented firms recorded by 114% higher total factor productivity than the average productivity in Serbia.

Key words: total factor productivity, metal-processing industry, export, foreign ownership.



Mr. Jelena Avakumović¹, dr. Čedomir Avakumović², mr. Nikola Vujačić³

UTICAJ FAKTORA POSLOVNOG OKRUŽENJA NA UPRAVLJANJE PROIZVODNOM U INDUSTRIJI

Sadržaj rada: Kako bi se moglo uspešno upravljati proizvodnjom u industriji neophodno je uraditi kompletnu situacijsku analizu. Takva analiza podrazumeva strateško razmatranje dva vida okruženja koja utiču na upravljanje proizvodnjom u industriji: makro i mikro. U radu će biti ukazano na faktore makro okruženja i to na faktore: industrijsko i konkurentsko okruženje i na tržišnu poziciju i konkurentsku sposobnost preduzeća.

Ključne reči: poslovno okruženje, upravljanje proizvodnjom, konkurentsko okruženje, tržišna pozicija.

UVOD

Veliki industrijski poslovno- proizvodni sistemi su proteklih 20 godina nestali. Nacionalna strategija razvoja i nacionalnim investicionim planom podstiče se preduzetništvo, otvaranje i razvoj malih i srednjih preduzeća. Da li će doći do obrnutih procesa sinteze malih i srednjih preduzeća u oblasti industrije i nastanka nekih vidova klusterskih konfiguracija u privrednom okruženju, videćemo. Po našem mišljenju ukoliko u Srbiji ne dojde do ukрупnjavanja i stvaranja velikih sistema, onda i za industriju u globalu loše se piše. Opstanak industrije treba da se zasniva na integrisanom pristupu koji obuhvata razvoj novih proizvoda, novih tehnologija, organizacije i marketinga. Priroda ovih velikih sistema uz zahtev za upravljanjem, otvorenosti i ograničenja u okviru kojih funkcionišu, potrebno je pri njihovom modelovanju imati u vidu sistemski pristup. Uloga proizvodnje i uloga proizvoda kao generatora svih zbivanja unapred i izvan poslovno – proizvodnih sistema (PPS) opredeljuje situacioni pristup i inovativnu proizvodnu doktrinu gde je uticaj faktora poslovnog okruženja od velikog značaja na upravljanje proizvodnjom u industriji.

Da bi smo mogli usmeravati poslovno-proizvodni sistem u nekom novom pravcu ili da menjamo njegovu strategiju potrebno je da uradimo kompletnu situacijsku analizu.

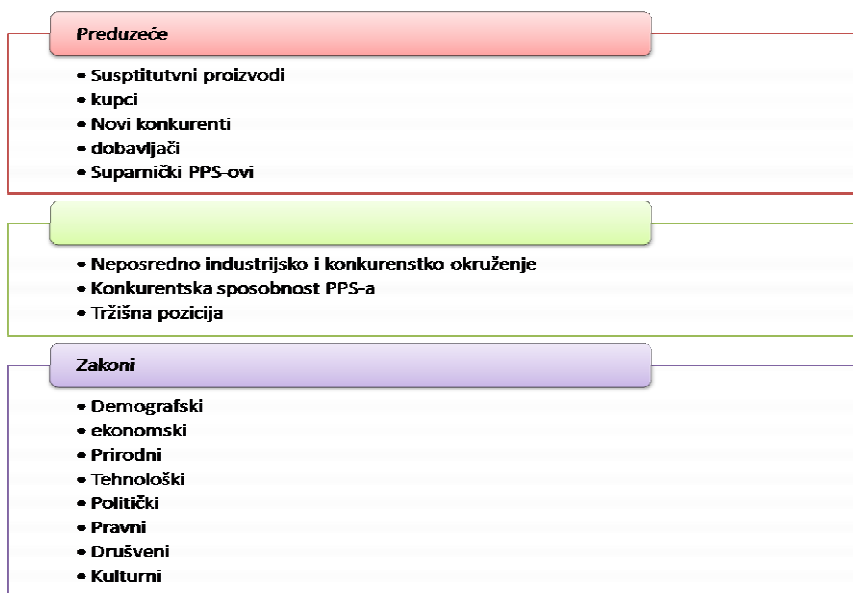
1. STRATEŠKI RELEVANTNI FAKTORI MAKRO OKRUŽENJA PPS-a

Svaki PPS posluje u nekom „makrookruženju“ i na njega utiču više faktora kao što su: demografski, ekonomski, prirodni, tehnološki, društveno-kulturni i političko-pravni. I ako se ovi faktori i njihovi uticaji mogu opisati svaki za sebe, menadžeri moraju obraćati pažnju na njihove konstatntne interakcije, jer one predstavljaju osnov njihovih mogućnosti ali i pretnji. Makrookruženje nekog PPS-a ovuhvata sve relevantne činioce i uticaje van granica preduzeća (vidi sliku 1.).

¹ PEP, jelenalav@yahoo.com

² FIM, acedomir@yahoo.com

³ FIM, nikolavujacic11@gmail.com



Slika 1. Faktori okruženja PPS-a

Pod relevantnim činiocima smatramo one koji su dovoljno veliki da imaju udeo u končanom izboru smera, ciljeva, strategije i poslovnog modela.

Važno je da PPS-ovi preduzimaju upravljanje okruženjem. Umesto jednostavnog posmatranja i reagovanja, PPS-ovi treba da preduzimaju agresivne aktivnosti radi uticaja na javnost i snage okruženja. Potrebno je da PPS-ovi angažuju lobiste za uticaj na zakonodavstvo svojih delatnosti i na medije.

Faktori i sile makrookruženja koji imaju najveći uticaj na oblikovanje strategije, odnosno upravljanje proizvodnjom gotovo uvek se odnosi na oblikovanje činioca između faktora makrookruženja i mikrookruženja a to su:

- Industrijsko i konkurentno okruženje, i
- Tržišna pozicija i konkurentnost PPS-a

1.1. Faktori industrijskog i konkurentskog okruženja

Industrije se razlikuju po svojim ekonomskim obeležjima, konkurentskim karakterima i profitnim izgledima. Ekonomska obeležja i konkurentski uslovi neke idnustrije kao i njihove očekivane promene određuju hoće li profitni izgledi za analiziranu industriju biti slabi, prosečni ili izvrsni. Razmatranje faktora industrijskog i konkurentskog okruženja PPS-a podrazumeva nekoliko tačno određenih koncepata i analitičkih alata za pronalaženje odgovora na sledeće pitanje. [1]

- Koja su ekonomska obležja industrije u kojoj PPS posluje dominantna?
- S kojim se konkurentskim silama suočavaju članovi industrije i koliko su te sile jake?
- Koje sile pokreću promene u industriji i kakav će uticaj te promene imati na intezitet konkurentnosti i na industrijsku profitabilnost?
- Koje pozicije zauzimaju takmičari; Ko je od njih dobro pozicioniran, a, Ko nije;
- Koji su mogući sledeći streteški potezi suparnika?
- Koji su činioci budućeg konkurentskog uspeha ključni?
- Ima li industrija dovoljno atraktivne izgleda za profitabilnost?

Odgovori na ova pitanja omogućuju nam da uradimo dosta dobru dijagnozu industrijskog i konkurentskog okruženja.

1.2. Tržišna pozicija i konkurentnost PPS-a

Poznavanje postojeće i potencijalne konkurencije izuzetno je važno za:

- Donošenje odluke da li uopšte investirati u određeno tržište koje već ima svoju dinamiku,
- Mogućnost definisanja dobre marketing strategije.

Mnogo toga zavisice od prirode i inteziteta konkurencije na datom tržištu. U opšte PPS-ovi treba da znaju pet stvari o konkurentima:

- Ko su naši konkurenti?
- Koje su njihove tržišne strategije?
- Koji su im ciljevi?
- Koje su njihove snage, odnosno slabosti?
- Na koji način reaguju na promene?

Da bi održao svoju konkurentnost, PPS mora između ostalog da stalno upoređuje svoje proizvode, cene, kanale i promociju, s onima koje ima konkurencija. Na taj način može identifikovati područja u kojima ima konkurentsku prednost ili nedostatak, odnosno lansirati usmerene napada na konkurenciju ili se pripremiti za odbranu od napada.

PPS-ovi takodje moraju znati i:

- Kako stvoriti konkurentski sistem prikupljanja informacija,
- Koje konkurente mogu napasti,
- Koje konkurente moraju izbegavati,
- Na koji način uskladjivati orijentaciju na kupca i na konkurenciju.

U našem radu pod industrijom podrazumevamo grupu PPS-ova koje proizvode i nude proizvod ili klasu proizvoda koji međusobno predstavljaju bliske supstitute. Bliski supstituti su proizvodi koji imaju visoku unakrsnu elastičnost tražnje. Na primer, ako potražnja za nekim proizvodom poraste kao rezultat povećanja cena drugog proizvoda, ta dva proizvoda su supstituti.

Delatnosti se razvrstavaju s obzirom na:

- Broj proizvoda,
- Stepen diferencijacije proizvoda,
- Postojanje ili nepostojanje ulaznih odnosno izlaznih barijera,
- Strukturu troškova,
- Stepen vertikalne integracije,
- Stepen globalizacije.

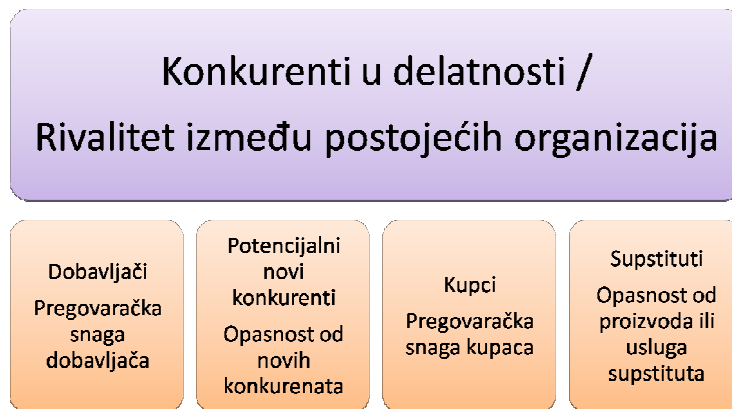
Na osnovu broja prodavaca (konkurenata) i stepena diferenciranosti proizvoda, razlikujemo pet osnovnih tipova strukture konkurencije u odredjenoj delatnosti i to:

- Čisti monopol,
- Oligapoll,
- Monopolistička konkurencija,
- Čista konkurencija.

Sa aspekta stepena zamenjivosti proizvoda (supstitucije) razlikujemo četiri nivoa konkurencije u odredjenoj delatnosti i to:

- Konkurencija marki,
- Konkurencija unutar industrije,
- Konkurencija oblika pružanja, i
- Generička konkurencija

Porter je identifikovao pet snaga koje određuju stvarnu, dugoročnu profitnu privlačnost tržišta ili nekog njegovog segmenta. Njegov je model prikazan na slici 2. Pet snaga su konkurenti unutar industrije, potencijalni novi konkurenti, supstituti, kupci i dobavljači.



Slika 2. Pet konkurentnih snaga.

Navedenih pet snaga povezuju se sa odgovarajućim prijetnjama:

1. *Pretnja napetog rivaliteta na nivou. segmenta.* Determinante rivaliteta između postojećih segmenata su: rast delatnosti, fiksni troškovi/dodatna vrednost, povremeno neiskorišćeni kapaciteti, diferenciranost proizvod, imidž marke, koncentracija i ravnoteža, teškoće informisanja, različitost konkurenata i izlazne barijere.
Segment će biti neprivlačan ako već sadrži brojne, jake ili agresivne konkurente. Još je neprivlačniji ako je taj segment stabilan ili je u opadanju, ako su fiksni troškovi visoki, ako postoje visoke izlazne barijere, ako se kapaciteti pogona odjednom veoma povećavaju ili ako konkurencija ima veliki interes ostanka u tom segmentu. Ovi će uslovi dovesti do čestih "ratova" cena, borbi oglašavanjem, te uvođenjem novih proizvoda, a organizacijama će biti skupo tržišno se takmičiti u ovom segmentu.
2. *Pretnja od novih konkurenata.* Privlačnost segmenta zavisi od visine njegovih ulaznih i izlaznih barijera.
Najprivlačniji segment je onaj koji ima visoke ulazne barijere i niske izlazne barijere, jer to znači da malo novih organizacija može ući na tržište, a one koje nisu uspešne mogu lako izaći. Kada su i ulazne i izlazne barijere visoke, profitni potencijal je visok, ali su organizacije suočene s većim rizicima jer one koje nisu uspešne ostaju na tržištu i bore se za svoj udeo u njemu. Kada su i ulazne i izlazne barijere niske, organizacije mogu lagano ući na tržište i isto tako iz njega izaći, a prinos je stabilan i nizak. Najgori je slučaj kada su ulazne barijere niske, a izlazne visoke. Ovde organizacije ulaze tokom povoljnih razdoblja, ali im je teško izaći tokom nepovoljnih razdoblja. Rezultat je hronična „pretrpanost" tržišta i smanjen profit za sve organizacije.
3. *Pretnja od supstituta.* Determinante opasnosti od proizvoda-supstituta ili usluga-supstituta su: relativna cena zamene proizvoda supstituta, troškovi ulaska u granu i sklonost kupca prema supstitutima.
Segment će biti neprivlačan kada u njemu postoje stvarne ili potencijalne zamene za proizvod. Supstituti ograničavaju visinu cena i profita koji segment može ostvariti. Organizacija mora dobro posmatrati trendove cena proizvoda-supstituta. Ako tehnologija napreduje ili se konkurencija povećava u industriji namenskih proizvoda, velika je verovatnost da će cene i profit u ovom segmentu padati.
4. *Pretnja od rastuće pregovaračke moći kupaca.* Determinante moći potrošača su: moć pregovaranja (pogađanja) i cenovna elastičnost (osetljivost) potražnje. Faktori snage pregovaranja kupca veličina kupca, relativni troškovi ulaska kupca u poslovanje, informisanost kupca, postojanje proizvoda supstituta i prestanak pregovaranja. Faktori cenovne elastičnosti potražnje su: cena, različitost proizvoda, indetitet marke, uticaj na kvalitet/rezultate, profit kupaca i podsticaji donosilaca odluka. Segment je neprivlačan ako kupci poseduju veliku ili rastuću moć pogađanja. Kupci će pokušavati sniziti cene; tražiti kvalitetnije proizvode ili usluge te navoditi konkurente da se bore jedni protiv drugih, sve na račun profitabilnosti prodavača. Pregovaračka moć kupaca raste kada su kupci koncentrisani ili orgnizovani, kada proizvod predstavlja značajni deo troškova za kupce, kada proizvod nije diferenciran, kada su troškovi prebacivanja kupaca na novog dobavljača niski, kada su kupci osetljivi na cene zbog niske dobiti, te kada se kupci mogu vertikalno integrisati prema nazad. Da bi se zaštitili, prodavci moraju odabrati kupce koji imaju najmanju moć pregovaranja ili promene dobavljača. Bolja se odbrana sastoji od razvijanja povoljnijih ponuda koje jaki kupci ne mogu odbiti.

5. *Pretnja od rastuće pregovaračke moći dobavljača.* Segment je neprivačlan ako dobavljači organizacije mogu podizati cene ili smanjivati količinu dostavljene robe. Dobavljači su moćni kada su koncentrisani ili organizovani, kada za njih postoji malo zamena, kada je proizvod koji dostavljaju važan input za proizvođača, kada su troškovi promene dobavljača visoki te kada se dobavljači mogu vertikalno integrisati prema napred. Najbolja je odbrana izgrađivanje veze s dobavljačem u kojoj obe strane dobijaju ili korištenje nekoliko izvora dobavljanja.

Prva tri faktora u Porterovom modelu upućuju samo na konkurenciju. Jasno, konkurencija nije samo velika, već ona sve više jača iz godine u godinu. Zato što su tržišta postala toliko konkurentna, nije više dovoljno samo poznavati kupce. Rezultat svega je da organizacije moraju početi obraćati isto toliko pažnje na svoje konkurente kao i na svoje ciljne kupce. Uspesne organizacije stvaraju i rukovode sistemima koji stalno prikupljaju informacije o njihovim konkurentima.

ZAKLJUČAK

Industrija se razlikuje po karakteru, kombinaciji i specifičnostima uticaja faktora poslovnog okruženja na upravljanje proizvodnjom. Model Portera, odnosno model pet konkurentskih sila je najčešće korišćen. On predstavlja najmoćniji alat za dijagnosticiranje glavnih konkurentskih pritisaka na tržištu i procenu njihove snage i utvrđivanja stepena važnosti.

Svaka upravljačka odluka u industriji je skopčana sa izvesnim rizikom. Veliki je broj faktora poslovnog okruženja koji utiču na te odluke. Ti faktori su nepromenljivi jer potiču iz okruženja i na njih PPS ne može da utiče, ali ih treba poznavati i imati odgovore na njihovo delovanje.

LITERATURA

- [1] Thompson. A., Strickland, A.J: i Gamble, E.J. „Strateški menadžment“ Mate, Zagreb, 2008.
[2] Michael. E. Porter, „Now Competitive Forces Shape Srtategy“, 57, br. 2. mart-april 1979.
[3] Avakumović, Č. i Avakumović J. „Strategijski marketing“, PEP – Beograd 2011.

IMPACT FACTORS BUSINESS ENVIRONMENT IN PRODUCTION MANAGEMENT INDUSTRY

Abstract: In order to be able to successfully manage production in the industry it is necessary to do a complete situational analysis. Such analysis involves consideration of two aspects of the strategic environment affecting the management of production in industry, such as macro and micro. The article also points out the factors of macro environment and on factors such as: industrial and competitive environment and market position and competitiveness of enterprises.

Key words: business environment, production management, competitive environment, market position.



Mihajlo J. Stojčić¹, Bojan Knežević²

PROJEKTOVANJE DIGITALNOG KONTROLERA KOJI OBEZBJEĐUJE ROBUSNO PRAĆENJE TRAJEKTORIJE SA KONTROLISANIM TRZAJEM

Rezime:

U ovom radu posmatra se projektovanje digitalnog kontrolera koji će za poznati linearni objekat upravljanja obezbjediti asimptotsko praćenje zadate trajektorije. Ova trajektorija nastaje iz uslova da se trzaj u fazi ubrzavanja i usporavanja objekta mijenja po unaprijed određenoj funkciji. Izvršena je simulacija sistema sa tako dobijenim kontrolerom pri čemu se kao objekat koristi jednosmjerni motor sa teretom. Rezultati simulacije pokazuju da sistem sa ovako projektovanim kontrolerom ostvaruje robusno praćenje. Projektovani kontroler je dat i u obliku rekurentnih diferencnih jednačina, čime je obezbjeđenje njegova laka implementacija ne digitalnom računaru.

Ključne riječi: praćenje, trzaj, robusno praćenje, planiranje trajektorije

1. UVOD

Kretanje objekta kod pozicionih, tačka – tačka (*point to point*), sistema odvija se u tri faze: faza ubrzavanja, kretanje konstantnom brzinom i faza usporavanja. Pri tome je vremensko trajanje faza ubrzavanja i usporavanja isto, dok je brzina u fazi kretanja konstantnom brzinom istovremeno i maksimalna brzina kretanja u toku pozicioniranja. Zavisno od načina promjene ubrzanja, u toku ubrzavanja i usporavanja može da dođe do velikih udara-trzaja (trzaj j se definiše kao izvod ubrzanja po vremenu, $j = \dot{a}$). Na primjer, ako je promjena ubrzanje odskočnog oblika, onda to izaziva veoma velike trzaje (teoretski beskonačne), što se veoma negativno odražava na mehaniku sistema, a u nekim slučajevima, npr. liftovi, i na komfor putnika. Isto tako, veliki udari izazivaju velike inercione sile, koje veoma negativno utiču na tačnost i ostale dinamičke karakteristike pozicionog sistema. Tačnost se smanjuje a preskok i vrijeme smirenja se povećavaju. Ovo je slučaj kod često korištenog trapeznog profila promjene brzine, jer je tada u fazi ubrzavanja i usporavanja promjena ubrzanja odskočnog oblika. Značajno poboljšanje se postiže ako se ubrzanje mijenja po nekoj glatkoj funkciji. Na taj način dobijamo da su trzaji, pa i njihovi štetni uticaji, značajno manji. Zato se često kod projektovanja pozicionih sistema polazi od unaprijed propisane glatke promjene trzaja, [3], čime se dobija trajektorija sa kontrolisanim trzajem. Međutim, glatka promjena trzaja povlači da je ova trajektorija (referenca pozicionog sistema) ima matematički složeniji oblik, jer se red funkcije koja je opisuje povećava. Ovo dalje značajno usložnjava upravljački dio pozicionog sistema, a time i ukupan pozicioni sistem [4].

A sada nekoliko riječi o strukturi ovog rada. Za sinusnu promjenu trzaja, u drugom poglavlju su date osnovne jednačine promjene ubrzanja, brzine i pomjeranja i dat algoritam planiranja trajektorije. U trećem poglavlju je za poznati objekat dat jedan od mogućih postupaka projektovanja kontrolera, pokazana njegova robusnost i dat diskretni model. Ispravnost predloženog postupka je simulacijom potvrđena u četvrtom poglavlju.

¹Univerzitet Banja Luka, Mašinski fakultet, Republika Srpska, B i H e-mail address : stojcicmihajlo@gmail.com

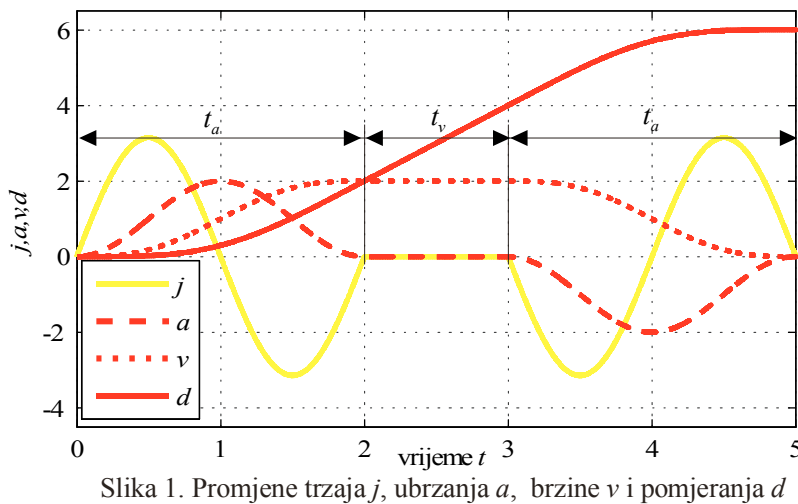
²Univerzitet Banja Luka, Mašinski fakultet, Republika Srpska, B i H e-mail address : bojan.knez@blic.net

2. TRAJEKTORIJA SA KONTROLISANIM TRZAJEM

U nastavku posmatramo slučaj kad se u toku pozicioniranja trzaji j i $-j$ u fazi ubrzanja i usporavanja, sledstveno, mijenjaju po sinusnoj funkciji. Neka je dakle trzaj $j(t) = \frac{da(t)}{dt}$ dat kao: $j(t) = j_0 \sin \omega t = j_0 \sin \frac{2\pi}{T} t$ gdje su: j_0 amplituda trzaja, T perioda i $\omega = \frac{2\pi}{T}$ kružna frekvencija, pri čemu se vrijeme $t \in [0, \tau]$ mijenja od početnog $t = 0$ do konačnog vremena pozicioniranja $t = \tau$. U toku kretanja konstantnom brzinom i trzaj i ubrzanje imaju nultu vrijednost. Ako je promjena trzaja $j(t)$ zadata, onda se ubrzanje $a(t)$ računa njegovom integracijom, brzina $v(t)$ integracijom ubrzanja a pomjeranje $d(t)$ integracijom brzine, tako da za $t \in [0, T]$ dobijamo

$$\begin{aligned} j(t) &= j_0 \sin \omega t \\ a(t) &= a_0 \cos \omega t + C_a \\ v(t) &= v_0 \sin \omega t + C_a t + C_v \\ d(t) &= d_0 \cos \omega t + \frac{1}{2} C_a t^2 + C_v t + C_d \end{aligned} \quad (1)$$

gdje se konstante integracije: C_a, C_v i C_d kao i koeficijenti a_0, v_0 i d_0 računaju za svaku fazu kretanja



Slika 1. Promjene trzaja j , ubrzanja a , brzine v i pomjeranja d

koristeći početne uslove, vidi [3]. Granične (maksimalne) vrijednosti ubrzanja A , brzine V i pomjeranja D se za svaki konkretni slučaj zadaju. Ubrzanje A zavisi od snage pogona i veličine tereta i ono se za izabrani objekat upravljanja zadaje. Isto tako, maksimalna brzina V kojom se objekat kreće u fazi konstantne brzine se bira što je moguće većom kako bi vrijeme pozicioniranja τ bilo što kraće. Vrijednost D je ukupno pomjerenje i ono je za svaki konkretan slučaj poznato. Maksimalni trzaj $j_0 = \frac{\pi A}{T}$ zavisi od ubrzanja i

perioda T , pri čemu period T predstavlja vrijeme trajanja faze ubrzanja/usporavanja.

Na osnovu gore zadatih ograničenja, te vrijednosti konstanti C_a, C_v i C_d i koeficijenta a_0, v_0 i d_0 datih u [3], u nastavku dajemo jedan od mogućih algoritama planiranja kretanja. Pri tome pod pojmom „planiranje kretanja“ podrazumjevamo određivanje vremena trajanja svake faze, tako da sva ograničenja budu zadovoljena a vrijeme pozicioniranja minimalno.

1. računamo prelimeinarno vrijeme ubrzanja/usporavanja t_a ($t_a = T$) kao $t_a = \sqrt{2D/A}$, gdje su D i A gore zadate maksimalne vrijednosti pomjerenja i ubrzanja sledstveno,
2. na osvo tog vremena računamo brzinu \bar{V} u drugoj fazi kretanja, $\bar{V} = \frac{A}{2} t_a$,
3. ako je $\bar{V} > V$, onda ponovo računamo vrijeme t_a kao $t_a = \frac{2V}{A}$, a ako je $\bar{V} \leq V$ ostaje ranije izračunato vrijeme t_a ,
4. sada je ukupno pomjerenje \bar{D} tokom faza ubrzanja i usporanja dato kao $\bar{D} = 2 \cdot \frac{1}{2} \frac{A}{2} t_a^2$ iz čega se i ukupnog pomjerenja D
5. konačno računa vrijeme t_v trajanja faze kretanja konstantnom brzinom, kao $t_v = \frac{D - \bar{D}}{V}$.

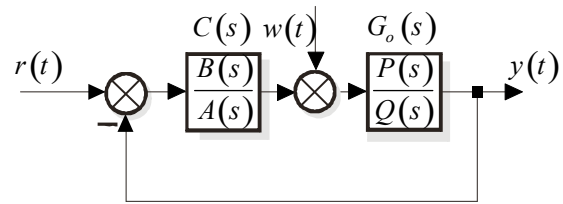
Za $D = 6 \text{ m}$, $A = 2 \frac{m}{s^2}$ i $V = 2 \frac{m}{s}$ primjenom gornjeg algoritma su na sl. 1. date promjene trzaja, ubrzanja, brzine i pomjeranja iz jednačine (1) i za sve vremenske intervale³.

3. PROJEKTOVANJE ROBUSNOG KONTROLERA

Kao objekat upravljanja u ovom radu posmatramo jednosmjerni motor (DC motor) sa teretom čija prenosna funkcija je poznata i data je kao:

$$G_o(s) = \frac{P(s)}{Q(s)} = \frac{p_2 s^2 + p_1 s + p_0}{q_2 s^2 + q_1 s + q_0} = \frac{K_M}{s(T_M s + 1)} = \frac{k_m}{s^2 + \lambda s}, \quad K_M = 20, T_M = 5, k_m = 4, \lambda = 0.2. \quad (2)$$

Kod projektovanja digitalnog kontrolera, kad je objekat kontinualan, generalno postoje dva pristupa. Prvi, da se projektuje kontinualni kontroler koji zadovoljava postavljene zahtjeve, a onda se na kraju diskretizacijom tako dobijenog kontrolera dobija digitalni kontroler. Kod drugog pristupa, na početku se diskretizacijom dobija diskretni model objekta, te se nakon toga kompletan postupak projektovanja seli u diskretni domen. Prvi pristup se češće koristi, jer je jednostavniji i numerički stabilniji, te je stoga i prihvaćen u ovom radu. Dakle, potrebno je projektovati kontroler



Slika 2.

$C(s) = \frac{B(s)}{A(s)}$ koji će obezbjediti asimptotski praćenje reference, pri čemu je ta referenca pomjeranje $d(t)$ iz sistema (1). Usvajamo da je konfiguracija ukupnog (zatvorenog) sistema kao na sl. 2. tj. sistem sa jediničnom povratnom vezom. Prenosna funkcija ovog sistema, od reference $r(t)$ do izlaza $y(t)$ je tada

$$G_{yr}(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{G_{ok}(s)}{1 + G_{ok}(s)} = \frac{P(s)B(s)}{Q(s)A(s) + P(s)B(s)} = \frac{N(s)}{D(s)}, \quad (3)$$

gdje je sa $G_{ok}(s) = C(s)G_o(s)$ označena prenosna funkcija otvorenog kola.

Kako je najviši stepen reference dva, radi se o kvadratnoj referenci (član sa t^2 je većeg stepena nego član sa $\cos \omega t$, jer t^2 u kompleksnom domenu ima s^3 u nazivniku dok $\cos \omega t$ ima s^2 u nazivniku). Iz teorije je poznato, vidi [2,5], da je asimptotsko praćenje kvadratne reference ostvareno ako je tip prenosne funkcije otvorenog kola najmanje $i_d = 3$. Kako se ovdje radi o objektu drugog reda ($n = 2$) čiji tip je $i_o = 1$, onda se red m kontrolera računa kao $m \geq n - 1 + i_d - i_o = 3$, vidi [5]. Prema tome prenosna funkcija kontrolera je

$$C(s) = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{b_3 s^3 + b_2 s^2 + b_1 s + b_0}{a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0}. \quad (4)$$

Nepoznate koeficijente $a_i, b_i; i = 0, 1, 2, 3$ određujemo kao rješenja Diofantijeve jednačine

$$A(s)Q(s) + B(s)P(s) = D(s), \quad (5)$$

pri čemu se red polinoma $D(s)$ računa kao, $\deg D(s) = m + n = 5$. Polinom $D(s)$ sadrži sve polove $s_i, i = 1, 2, \dots, 5$ zatvorenog sistema, koje određujemo na osnovu željenog dinamičkog ponašanja. Dakle $D(s) = \prod_{i=1}^5 (s - s_i)$, odnosno $D(s) = d_5 s^5 + d_4 s^4 + d_3 s^3 + d_2 s^2 + d_1 s + d_0$. U ovom radu izabrani su polovi⁴ $s_1 = -30, s_2 = -35, s_{3,4,5} = -38$. Uzimajući u obzir prethodno definisane polinome, iz (5) se dobija matična Diofantijeva jednačina (vidi [5]). Ova jednačina ima 8 nepoznatih koeficijenata a_i, b_i pri čemu je njen rang najviše 6 (ekvivalentno, postoji 6 jednačina sa 8 nepoznatih). To znači da se dva rješenja moraju odabrati. Prema [2,5] odabiramo koeficijente $a_0 = a_1 = 0$, nakon čega se polazna matična jednačina redukuje i postaje

³ trzaj $j = j_0 \sin \omega t$ za prvi interval $t \in [0, t_a]$, $j = 0$ za drugi interval $t \in [t_a, t_a + t_v]$ i $j = -j_0 \sin \omega t$ za treći interval $t \in [t_a + t_v, \tau]$. Vrijednosti a, v i d su dalje računane integracijom u MATLAB-u. Tako je $a = \text{lsim}(\text{tf}([1],[1,0]), j, t)$, $v = \text{lsim}(\text{tf}([1],[1,0]), a, t)$ i $d = \text{lsim}(\text{tf}([1],[1,0]), v, t)$

⁴ ovdje je napravljen program u MATLAB-u koji za referencu (pomjeranje) sa sl. 1. bira polove tako da najveća razlika u toku praćenja (prvih 5 sec.) između reference i stvarnog izlaza ne bude veća od 1mm

$$\begin{pmatrix} p_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_1 & p_0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_2 & p_1 & q_0 & p_0 & 0 & 0 \\ 0 & p_2 & q_1 & p_1 & q_0 & p_0 \\ 0 & 0 & q_2 & p_2 & q_1 & p_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & q_2 & p_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ a_2 \\ b_2 \\ a_3 \\ b_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d_0 \\ d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \\ d_5 \end{pmatrix} \quad (6)$$

Na osnovu prethodno navedenih konkretnih vrijednosti, kao rješenja gornje jednačine dobijamo preostale nepoznate koeficijente a_2, a_3 i b_0, b_1, b_2, b_3 . Iz ovih koeficijenata i (4) dobijamo traženu prenosnu funkciju kontrolera kao

$$C(s) = 3189 \frac{s^3 + 35.76s^2 + 636.2s + 4517}{s^2(s+178.8)} \quad (7)$$

U nastavku ćemo ispitati da li sistem sa ovim kontrolerom ostvaruje robusno praćenje i naći model kontrolera kojeg je softverski lako realizovati.

3.1 Robusnost

Da bi dokazali robusnost sistema (3) dovoljno je dokazati da taj sistem u isto vrijeme asimptotski prati referencu $d(t)$, neutrališe dejstvo vanjskih poremećaja $w(t)$ do oblika $w(t) = \alpha t$ (istovremeno su uključeni poremećaji nižeg reda, tj. odskočnog oblika) i da je sistem otporan na promjenu parametara objekta (2). Da bi pokazali da sistem asimptotski prati kvadratnu referencu posmatramo prenosnu funkciju otvorenog kola $G_{ok}(s) = C(s)G_o(s)$, koja za kontroler (7) i objekat (2) postaje

$$G_{ok}(s) = \frac{K_M(b_3s^3 + b_2s^2 + b_1s + b_0)}{s^3(s+178.8)(T_Ms+1)} \quad (8)$$

i ona je tipa 3. S druge strane, kvadratna konstanta K_a i stacionarna greška e_a^s na kvadratnu referencu se definiše kao $K_a = \lim_{s \rightarrow 0} s^2 G_{ok}(s)$ i $e_a^s = 1/K_a$. Kako je u našem slučaju $K_a = \lim_{s \rightarrow 0} s^2 G_{ok}(s) = \infty$ to je $e_a^s = 0$, što znači da je asimptotsko praćenje kvadratne reference ostvareno.

Da bi pokazali da projektovani sistem neutrališe uticaj poremećaja $w(t) = \alpha t$ polazimo od prenosne funkcije zatvorenog sistema od poremećaja $w(t)$ do izlaza $y(t)$, funkcije $G_{yw}(s)$, koja u našem slučaju postaje

$$G_{yw}(s) = \frac{G_o(s)}{1 + C(s)G_o(s)} = \frac{A(s)P(s)}{D(s)} \Rightarrow Y^w(s) = \frac{A(s)P(s)}{D(s)}W(s) \Rightarrow y^w(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{A(s)P(s)}{D(s)}W(s) \quad (9)$$

gdje je sa $Y^w(s)$ i $W(s) = \alpha/s^2$ označeni izlaz usled poremećaja i poremećaj u kompleksnom domenu.

Za date vrijednosti, izlaz $y^w(\infty)$ iz (9) postaje $y^w(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{\alpha}{s^2} \frac{K_M s^2 (s+178.8)}{D(s)} = 0$, što je i trebalo dokazati. Slično se može dokazati da je sistem sa kontrolerom (7) otporan i da promjenu parametara objekta. Posmatra se da su se polinomi $P(s)$ i $Q(s)$ objekta promijenili i postali $K_M(1+p(s))$ i $s[(T_Ms+1)+q(s)]$, gdje su sa $p(s)$ i $q(s)$ označene pomenute promjene polinoma $P(s)$ i $Q(s)$. Smjenom ovih vrijednosti u (9) dobijamo da je odziv nakon ovih promjena takođe nula. Na taj način smo pokazali da sistem (3) robusno prati svaku kvadratnu referencu i neutrališe poremećaj do nagibnog oblika.

3.2 Diskretni model i realizacija kontrolera

Da bi izvršili diskretizaciju kontrolera (7) prvo je potrebno odrediti periodu odabiranja T_s . S obzirom da su svi polovi (korjени jednačine $D(s)=0$) zatvorenog sistema poznati, onda je T_s najlakše odrediti iz (vidi [2,5]) $T_s < 0.1 \cdot \tau_m$, gdje je τ_m najmanja vremenska konstanta. U našem slučaju ovo postaje $T_s < 0.1 \cdot \tau_m = 0.1 \cdot 1/38 \text{ sec.}$, usvajamo $T_s = 0.002 \text{ sec.}$

Kao što je iz teorije poznato, postoji više metoda diskretizacije-aproksimacije: impulsno, odskočno i nagibno invarijantna metoda diskretizacije, te unaprijedna, unazadna i trapezna metoda aproksimacije. Koju od ovih metoda koristiti zavisi, između ostalog, i od reda reference. U našem slučaju bolje je koristiti nagibno invarijantnu diskretizaciju i trapeznu (*Tustin*-ovu) aproksimaciju nego ostale, jer je referenca kvadratnog oblika. Analizom kroz simulacije, u ovom slučaju, pokazuje se da trapezna (metod *'tustin'* u MATLAB-u) aproksimacija daje nešto bolje rezultate od nagibno invarijantna (metod *'foh'*) metode. Za trapeznu aproksimaciju u prenosnoj funkciji kontrolera (7) vrši se zamjena $s = \frac{2}{T_s} \frac{z-1}{z+1}$, nakon čega dobijamo diskretni kontroler $C(z) = \frac{U(z)}{E(z)}$ kao

$$C(z) = 2804 \frac{z^3 - 2.929z^2 + 2.86z - 0.931}{z^3 - 2.697z^2 + 2.393z - 0.6966} = \frac{U(z)}{E(z)}. \quad (10)$$

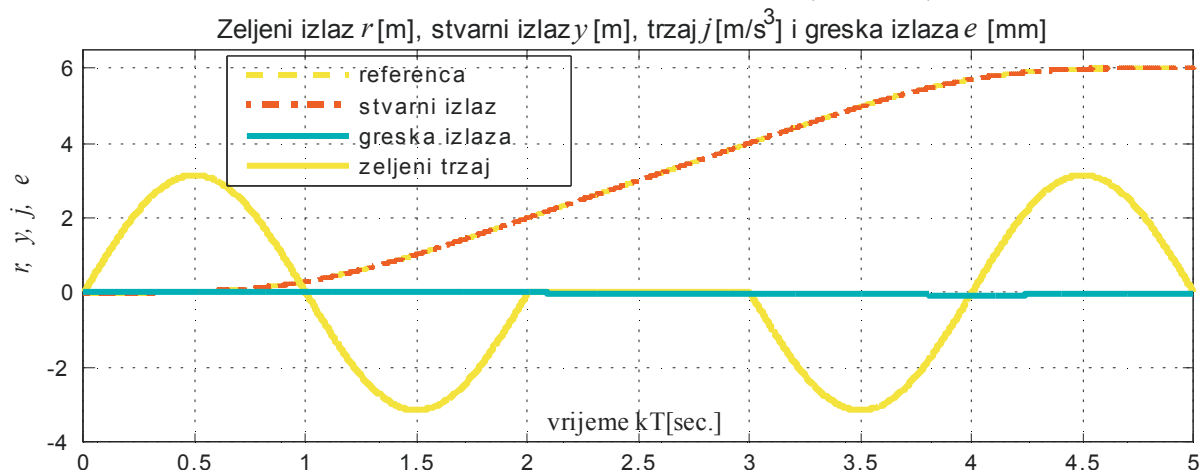
Ulaz kontrolera $C(z)$ je greška u trenucima odabiranja $e(k)$, a izlaz je upravljanje $u(k)$ u tim trenucima, tako da se pod pojmom realizacija kontrolera podrazumjeva generisanje upravljanja na osnovu greška. Ovo generisanje može biti i hardversko i softversko. Danas se to uglavnom ostvaruje softverski korištenjem mikrokontrolera (računara) ili PLC-a. Pri tome, kontroler dat jednačinom (10) nije podesan za tu realizaciju, jer se za nju koriste rekurzivni algoritmi kod kojih se nova vrijednost upravljanja u trenucima odabiranja $u(k) = u(kT_s)$ računa na osnovu već izračunatih vrijednosti u prethodnim trenucima $u(k-i)$, $i=1,2,K$ i vrijednosti grešaka u ovim ($e(k)$) i prethodnim trenucima ($e(k-i)$). U početnim trenucima, za koje je $(k-i) < 0$, usvaja se da su vrijednosti u i upravljanja i grešaka nula. Za primjenu ovog algoritma kontroler (10) nije podesan, tako da je isti potrebno transformisati i prikazati pomoću diskretnih jednačina koje se lako realizuju rekurzivnim algoritimima. To se ostvaruje tkz. direktnom realizacijom, koja se u našem slučaju ostvaruje tako da se i brojnik i nazivnik prenosne funkcije (10) podjeli sa z^3 i nakon unakrsnog množenja, dobijamo $2804(1 - 2.929z^{-1} + 2.86z^{-2} - 0.931z^{-3})E(z) = (1 - 2.697z^{-1} + 2.393z^{-2} - 0.6966z^{-3})U(z)$. Odavde, nakon inverzne Z -transformacije i imajući na umu osobinu $Z^{-1}[z^{-i}E(z)] = e(k-i)$, konačno dobijamo upravljanje $u(k)$ kao

$$u(k) = 2.697u(k-1) - 2.393u(k-2) + 0.6966u(k-3) + 2804[e(k) - 2.929e(k-1) + 2.86e(k-2) - 0.931e(k-3)]. \quad (11)$$

S obzirom da kontroler (10) ima polove u $z=1$ realizacija algoritama po jednačini (11) je jako podložna numeričkoj nestabilnosti, o čemu naročito treba voditi računa prilikom realizacije.

4. SIMULACIJA

Za simulaciju sistema koristimo MATLAB, pri čemu je simulacija izvršena preko m-datoteke. Prvo su za objekat (2) i kontroler (7) određene obe prenosne funkcije, i $G_{yw}(s)$ i $G_{yw}(s)$. Nakon toga je izvršena



Slika 3. Rezultati simulacije sistema sa sl. 2 i digitalnim kontrolerom

njihova diskretizacija preko komande $c2d(\text{sysc}, T_s, 'tustin')$, i dalje nađeni odzivi i na kvadratnu referencu $d(t)$ i odskočni poremećaj $w(t) = 1(t)$, preko komande $dlsim$. Rezultati su grafički prikazani na sl. 3.

5. ZAKLJUČAK

U radu je dat jedan od načina projektovanja kontrolera koji obezbeđuje asimptotsko praćenje kvadratne reference nastale iz uslova da se trzaj mijenja na unaprijed propisan način. Kako, osim toga, ovaj kontroler otklanja uticaje nastale usled promjena parametara objekta i djelovanja vanjskih odskočnih i nagibnih poremećaja, to sistem sa ovim kontrolerom ostvaruje robusno praćenje. Kontroler je projektovan prvo kao kontinualni, a zatim je diskretizacijom dobijen njegov odgovarajući diskretni model. Takođe, kontroler je dat i preko diskretnih jednačina ponašanja, preko kojih je obezbeđena njegova laka realizacija pomoću rekurzivnih algoritama. Koristeći MATLAB izvršena je simulacija sistema sa tim kontrolerom. Rezultati simulacije potvrđuju izložena teoretska razmatranja.

LITERATURA

1. Bojan Knežević, Branko Blanuša: *Upravljanje pozicijom električnog lifta uz kontrolu trzaja*, INFOTEH Jahorina, mart 2011
2. Chi-Tsong Chen: *Analog and Digital Control System Design: Transfer Function, State Space, and Algebraic Methods*, State University of New York at Stony Brook, 1999
3. H. Z. Li, Z. M. Gong, W. Lin, and T. Lippa: *Motion profile planning for reduced jerk and vibration residuals*, SIMTech technical reports, Volume 8 Number 1 Jan - Mar 2007, pp 32-37
4. Paul Lambrechts, Matthijs Boerlage, Maarten Steinbuch: *Trajectory planning and feedforward design for electromechanical motion systems*, Control Engineering Practice 13 (2005), pp. 145-157
5. Mihajlo J. Stojčić: *Sinteza linearnih sistema automatskog upravljanja*, Mašinski fakultet, Banja Luka, 2009

Design of Digital Controller that ensures robust tracking trajectory with controlled jerk

Abstract

In this paper we consider the design of digital controller that ensures asymptotic tracking the given trajectory and for the well-known linear object. This trajectory arises from the requirement to be a jerk in the process of acceleration and deceleration changes at predetermined function. Performed the simulation system with this controller, where as the object is used DC motor together with load. The simulation results show that the system with such designed controller achieves robust tracking. The designed controller is given in the form of recurrent difference equation, that ensures it easy implementation using a digital computer.

Key words: tracking, jerk, robust tracking, trajectory planning



Zoran Dimić, Miloš Glavonjić, Dragan Milutinović, Saša Živanović, Vladimir Kvirgić, Marija Milićević¹⁾

UPRAVLJAČKI SISTEM OTVORENE ARHITEKTURE ZA UPRAVLJANJE TROOSNE MAŠINE SA PARALELNO KINEMATIKOM²⁾

Rezime

U radu je prikazano konfigurisanje sistema otvorene arhitekture za upravljanje troosnom mašinom sa paralelnom kinematikom. Na realnoj mašini je testiran softver i hardver, koji može da se koristi i za višeosno upravljanje mašina alatki i industrijskih robota. Ostvareno je upravljanje servo motorima na mašini, na PC platformi pod Linux operativnim sistemom.

Ključne reči: upravljanje, mašina sa paralelnom kinematikom, servo motori, otvorena arhitektura.

1. UVOD

Upravljanje otvorene arhitekture (*Open architecture control - OAC*) je dobro poznat pojam u oblasti upravljanja mašinama alatkama. Na sličan način na koji je otvorena arhitektura uticala na revolucionaran rast PC industrije, otvorenost može revolucionarno unaprediti CNC industriju.

Iako otvorena arhitektura (otvoren sistem) nije novi koncept u oblasti softverskog inženjerstva, još uvek nije ustanovljena jasna definicija upravljanja otvorene arhitekture. Mnoge istraživačke grupe, kao što su *OMAC (Open Modular Architecture Controllers)* u SAD-u, *OSAKA (Open System Architecture for Controls within Automation System)* u E.U. i *JOP (Japanese Open Promotion Group)* u Japanu, imaju svoj stav prema pomenutim sistemima.

Softverski sistemi otvorene arhitekture postaju značajan deo proizvodnih sistema u kojima korisnici, integratori sistema i softverski inženjeri koji učestvuju u razvoju istih, direktno mogu uticati na konfiguraciju sistema, u trenutku kada tu fleksibilnost zahteva sam proizvodni proces.

Kada je otvorenost arhitekture u pitanju, upravljački sistemi se mogu svrstati u sledeće tri kategorije:

1. sistemi sa otvorenim korisničkim interfejsom;
2. sistemi sa ograničenom otvorenosću upravljačkog jezgra;
3. sistemi sa potpuno otvorenom arhitekturom.

Hardver upravljačkog sistema zasnovan na PC računarskoj platformi, odgovarajuće interfejs kartice za kontrolu kretanja i softverski orijentisani CNC su tri glavne komponente upravljačkih sistema otvorene arhitekture koji su danas prisutni na domaćem i svetskom tržištu. Kod komercijalno raspoloživih CNC sistema, kao što su sistemi iz *FANUC*-ove serije 150/160/180/210, računarski sistem, iako je baziran na PC arhitekturi, predstavlja za korisnike "crnu kutiju". U ovom slučaju, PC računarska platforma, koja je sastavni deo upravljačke jedinice, postavljena je sa zadatkom da poboljša i učini fleksibilnim interfejs prema korisniku. I pored toga, takav CNC se ne može svrstati u grupu sistema otvorene arhitekture u strogom smislu. Komercijalno raspoloživi CNC sistemi se sastoje od:

1. standardne PC platforme;
2. odgovarajućeg hardvera za numeričku kontrolu kretanja i
3. kartice, obično na bazi nekog DSP-a (procesora za obradu signala u realnom vremenu), koja treba da obezbedi strogi determinizam u izvršavanju vremenski kritičnih procesa.

¹⁾ Zoran Dimić, dipl. inž. el. (zoran.dimic@li.rs), dr Vladimir Kvirgić, LOLA institut, (vladimir.kvirgic@li.rs), Marija Milićević, dipl. inž. el., (marija.milicevic@li.rs), LOLA institut, Beograd, prof. dr Miloš Glavonjić, (mglavonjic@mas.bg.ac.rs), prof. dr Dragan Milutinović, (dmilutinovic@mas.bg.ac.rs), doc. dr Saša Živanović, (szivanovic@mas.bg.ac.rs), Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet.

²⁾ Rađeno u okviru projekta TR14202 "Razvoj upravljačke jedinice otvorene arhitekture za upravljanje mašinama alatkama i industrijskim robotima", koji je finansiralo Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije

Na *PC* platformi (procesoru) se izvršavaju procesi koji nisu vremenski kritični. Dva procesora, *PC* i *DSP*, komuniciraju međusobno ili posredstvom *PC* magistrale ili preko dvoportnog *RAM*-a. Navedena konfiguracija obezbeđuje poboljšanje korisničkog interfejsa, veću fleksibilnost sistema, kako za proizvođače mašina alatki, tako i za krajnje korisnike.

Softverske metode za implementaciju upravljačkih sistema otvorene arhitekture su različite koliko i definicije ovih sistema. Trenutno dostupni *OAC* sistemi na tržištu, kao i razvoj *OAC* sistema, uglavnom su bazirani na *Microsoft Windows* tehnologijama ili *Microsoft Windows real-time* tehnologijama:

1. *MDSI Open CNC*;
2. *Fanuc 210i/210is*;
3. *Allen Bradley 9/PC*;
4. *Siemens E&A 840D/840Di* . . .

Iako rad na razvoju *CNC* sistema pod *Linux*-om nije zastupljen koliko ekvivalentna istraživanja na *Windows* osnovi, razvoj softverski orijentisanog *CNC* otvorene arhitekture na *Linux/RTLinux* osnovi treba da donese višestruke prednosti u odnosu na ekvivalentne *Windows* sisteme. Između zajedničkih zahteva koji se danas postavljaju pred softverske sisteme otvorene arhitekture, a koji treba da karakterišu i softverski orijentisani *CNC* na *Linux*-u, ističu se:

1. Robusna, pouzdana arhitektura;
2. Upravljanje otkazom, ograničenje prostiranja greške na jedan proces;
3. Dostupnost komunikacionih protokola, alata i drajvera;
4. Podrška za izabranu procesorsku arhitekturu;
5. Različitost opcija i pripadajućih alata za izabranu distribuciju *real-time Linux* operativnog sistema;
6. Standardan *API* (*Application Programming Interface*) koji omogućava jednostavan transfer razvijenog softvera na *embedded* sisteme.

2. SOFTVERSKI ALATI ZA REALIZACIJU UPRAVLJAČKOG SISTEMA

Windows i *Linux* su dva najzastupljenija operativna sistema koja se izvršavaju na *PC* računarima. Da bi mogli da se koriste u *real-time* aplikacijama, pomenuti operativni sistemi moraju biti softverski nadograđeni tzv. *real-time* ekstenzijama. *VenturCom*-ov *RTX*, *Radisys*-ov *Intime* i *Imagination System*-ov *Hyperkernel* predstavljaju neke od *real-time* ekstenzija za *Windows*.

U slučaju *Linux*-a, dva su pristupa trenutno aktuelna koja dovode do *real-time* sistema:

1. unapređenje mehanizma za dodelu resursa procesu i
2. apstrahovanje prekida.

Prvi pristup je implementiran u firmi *TimeSys*. *TimeSys Linux* predstavlja standardni *Linux* sa nadgrađenim kernelom, u smislu unapređenog *preemptive* algoritma za raspoređivanje proseca, koji obezbeđuje vremenski determinizam prilikom izvršavanja softverskih aplikacija. *RTLinux* koristi drugi pristup, kod koga je virtuelni hardverski nivo postavljen između standardnog *Linux* kernela i hardvera računara. Na ovaj način, implementacija *real-time* sistema postaje nezavisna od standardnog *Linux*-a. Ovo *RTLinux* čini idealnim okruženjem u kome je izvršavanje standardnog *Linux*-a podređeno malom *real-time*, strogo vremenski determinisanom sistemu.

RTLinux je *real-time* ekstenzija otvorene arhitekture koja je široko korišćena u razvoju komercijalnih, industrijskih, akademskih i naučnih aplikacija. Najduži mogući odziv *RTLinux*-a, od trenutka prepoznavanja hardverskog prekida od strane procesora, do momenta kada se pokrene prekidna rutina, iznosi manje od 10 mikrosekundi na *x86* procesorskoj arhitekturi. Na istoj arhitekturi procesi se sa reda čekanja pokrenu za manje od 25 mikrosekundi od trenutka kada ih raspoređivač procesa aktivira.

Kod softverski orijentisanih *CNC* sistema, operativni sistem ima jednu od najznačajnijih uloga. *Linux* sa *RTLinux*-om, kao *real-time* operativni sistem, u najvećoj meri zadovoljava postavljene zahteve. Na prvom mestu, izvanredne *real-time* performanse *RTLinux*-a, u potpunosti ispunjavaju zahteve koje postavlja softverski *CNC*. Pored toga, *Linux* nudi mogućnost pristupa mreži, pristup grafičkim elementima korisničkog interfejsa, upravljanju datotekama i bazama podataka, kao i drugim servisima koji nisu jednostavni za implementaciju.

Linux, po svojoj prirodi, nudi bogato programsko okruženje. Nekoliko viših programskih jezika je dostupno u *Linux* okruženju. Od ponuđenih, programski jezici kompajlerskog tipa, *C* i *C++*, nude odlične performanse i imaju pun pristup operativnom sistemu, ali nisu pogodni za razvoj grafičkih interfejsa. *RTLinux* je najvećim delom realizovan u *C*-u. *Tcl/TK* i *Python* su programski jezici interpreterskog tipa, koji su izuzetno pogodni za razvoj grafičkih interfejsa, ali imaju ograničen pristup operativnom sistemu i

hardverskim resursima. Pored pomenutih razvojnih alata, u realizaciji projekta je korišćen i *OpenGL* za virtuelnu simulaciju mašina alatki i robota.

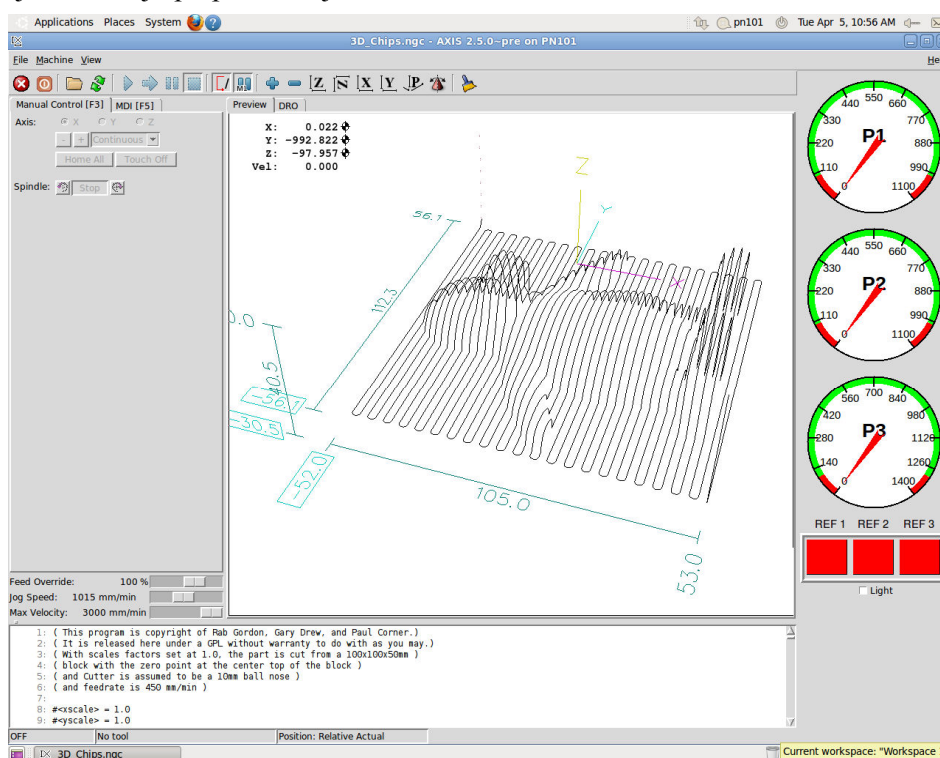
3. RAZVOJ PROGRAMSKOG SISTEMA UPRAVLJAČKE JEDINICE

Za razvoj programskog sistema upravljačke jedinice, kao osnova je poslužio softverski sistem otvorene arhitekture *EMC2 (Enhanced Machine Controller)*[1-3]. Nadgradnja sistema je sadržana u sledećem:

- Prilagodjenje korisničkog interfejsa;
- Definisanje funkcija inverzne i direktne kinematike;
- Izrada konfiguracionih datoteka za identifikaciju mašine;
- Definisanje veza između hardverskog interfejsa za kontrolu kretanja i softverskog modula *EMC*-a za upravljanje kretanjem;

3.1. Prilagodjenje korisničkog interfejsa

EMC sistemski softver ima mogućnost korišćenja različitih grafičkih interfejsa, kao što su: *Axis*, *Mini*, *TkEmc* i drugi. Najviše je korišćeno *Axis* okruženje, koje je vrlo intuitivno, sa prepoznatljivim grafičkim elementima, koji olakšavaju prepoznavanje komandi, slika 1.



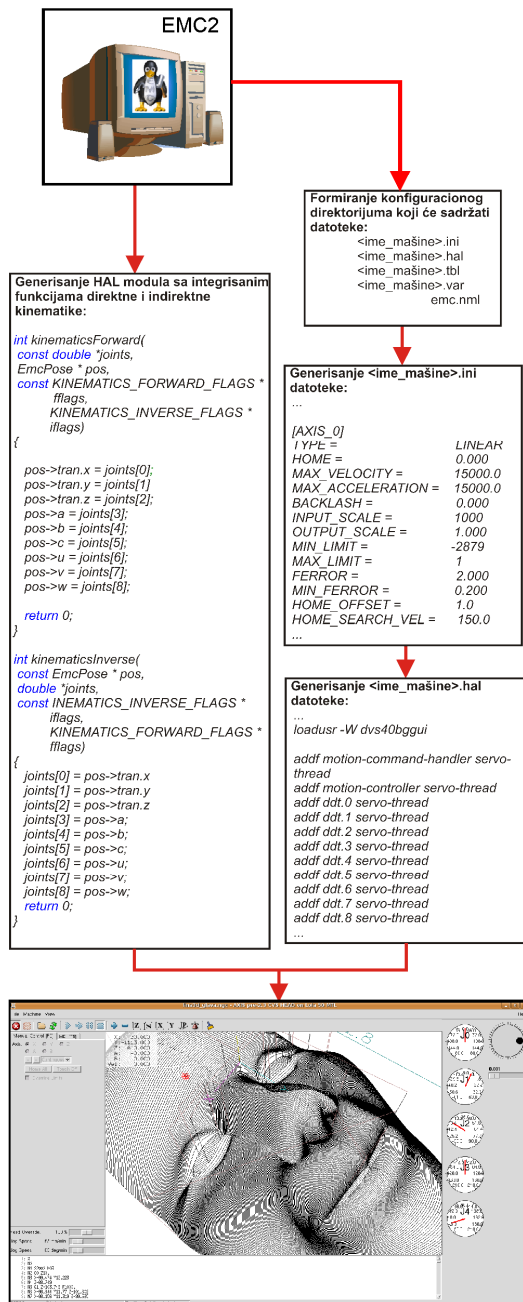
Slika 1. *AXIS* grafički interfejs sa dodatim elementima za praćenje rada pogonskih osa p1, p2 i p3 na mašini LOLA pn101_4 V.2

AXIS interfejs je za mašinu sa paralelnom kinematikom prilagođen dodavanjem vizuelnih pokazivača unutrašnjih koordinata svih pogonskih osa u milimetrima, u zadatim granicama. Na taj način se vizuelno kontroliše položaj svake ose u realnom vremenu i uočava kada je neka osa došla do granične pozicije. Prilikom simulacije programa obrade, dolazi do zaustavljanja daljeg izvršenja ukoliko bilo koja od osa prekorači svoje granice. Na taj način se obezbeđuje da se na mašini neće izvršiti program koji je može dovesti u kolizionu situaciju. Interfejs sadrži i elemente za signalizaciju ostvarenog referentnog položaja, koji su od značaja prilikom odlaska u referentni položaj mašine alatke sa specifičnom kinematikom, kakva je i razmatrana troosna mašina sa paralelnom kinematikom. Interfejs *AXIS*, kao i pomenuti specijalno definisani elementi, razvijeni su u *Python* objektno orijentisanom programskom jeziku.

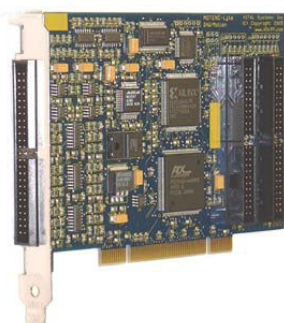
3.2. Definisanje funkcija inverzne i direktne kinematike

Zamišljen kao univerzalni interfejs prema hardveru računara, *HAL (Hardware Abstraction Layer)*. Omogućava da se konfigurisanje i nadgradnja softvera u najvećoj meri obavlja nezavisno od toga na kojoj će

se računarskoj konfiguraciji realizovani CNC softver izvršavati. *HAL* komponente predstavljaju programski okvir za integraciju funkcija inverzne i direktne kinematike u sistem za upravljanje.



Slika 2. Konfiguracioni fajlovi upravljačkog sistema



Slika 3. Interfejs kartica za kontrolu kretanja

Za upravljanje mašinama sa netrivialnom kinematikom, neophodno je izgraditi komponentu koja sadrži funkcije inverzne i direktne kinematike i integrisati je u *HAL*. Da bi se ovo učinilo, potrebno je napisati odgovarajuće funkcije u *C* programskom jeziku, prevesti i povezati datoteke sa odgovarajućim *HAL*-ovim komponentama. Sa pripadajućim **.ini* i **.hal* datotekama ovo čini jednu softversku konfiguraciju mašine, slika 2. U jezgro EMC2 upravljačkog softvera troosne mašine sa paralelnom kinematikom su integrisana rešenja inverznog i direktne kinematičkog problema [4].

3.3. Izrada konfiguracionih datoteka za identifikaciju mašine

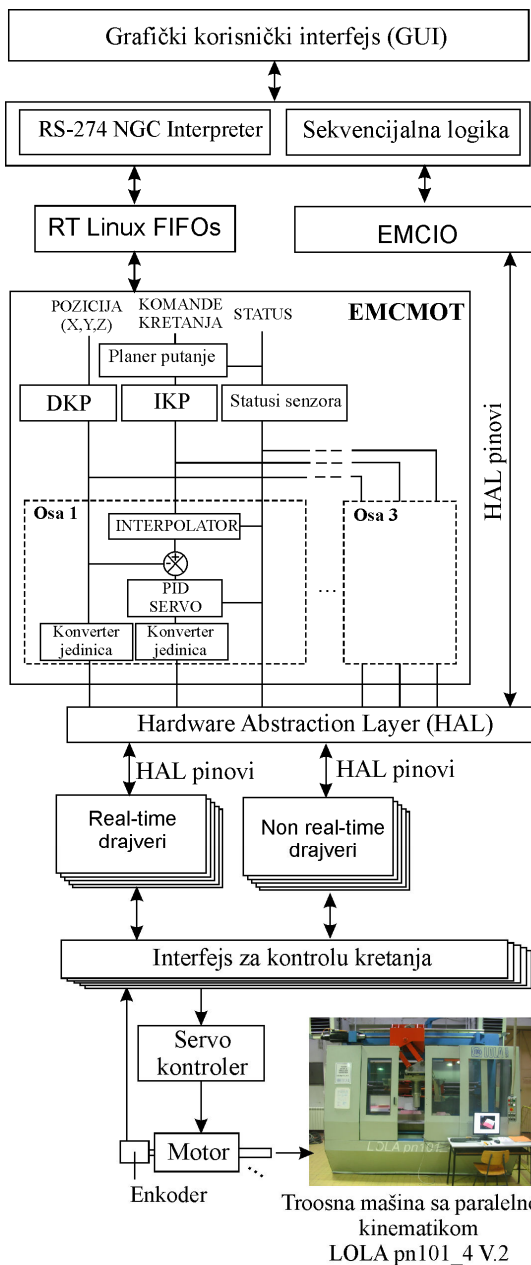
Sve ono što nije vezano za inverznu i direktnu kinematiku, a služi da se u tehničkom smislu opiše mašina, sadržano je u konfiguracionim datotekama, slika 2. Datoteka **.ini* sadrži sledeće:

1. Konfiguracione parametre *RS274NGC* interpretera;
2. Parametre koji definišu rad sekvencijalne logike;
3. Parametre vezane za performanse sistema, servo petlje i planera putanje;
4. Parametre koji se uzimaju u obzir prilikom planiranja putanje, a koji uključuju broj kontrolisanih osa u sistemu, njihove radne i granične opsege kretanja, brzina i ubrzanja itd;
5. Definiciju načina inicijalizacije mašine;
6. Parametre servo sistema, *PID* pozicione servo petlje, za svaku osu posebno, itd.

3.4. Definisane veza između hardverskog interfejsa za kontrolu kretanja i softverskog modula EMC-a za upravljanje kretanjem

U cilju definisanja veza između odabranog *MOTENC Lite* hardverskog interfejsa za kontrolu kretanja, slika 3, i *EMCMOT* softverskog modula za upravljanje kretanjem, slika 4, neophodno je formirati sledeće dve datoteke:

1. *motenc_motion.hal*, glavnu konfiguracionu datoteku koja podiže drajver za *MOTENC Lite* karticu za i postavlja veze koje omogućavaju upravljanje kretanjima troosne mašine sa paralelnom kinematikom. Deo ove datoteke koji postavlja veze ka *D/A* konvertorima i enkoderima prikazan je na slici 5.
2. *motenc_io.hal*, datoteku koja definiše ulazno-izlazne veze, kao što su veze ka krajnjim graničnim prekidačima ili referentnim sensorima troosne mašine sa paralelnom kinematikom. Na slici 6, prikazan je deo ove datoteke koji definiše vezu jedne ose sa krajnjim graničnim prekidačima i inicijalizacionim sensorima.



Slika 4. Softverski orijentisani CNC

```
# Connect PID output signals to DACs.
linksp Joint0 => motenc.0.dac-00-value
linksp Joint1 => motenc.0.dac-01-value
linksp Joint2 => motenc.0.dac-02-value

# Connect position feedback signals to encoders.
linksp Joint0-fb <= motenc.0.enc-00-position
linksp Joint1-fb <= motenc.0.enc-01-position
linksp Joint2-fb <= motenc.0.enc-02-position
```

Slika 5. Definisane veze ka D/A konvertorima i enkoderima

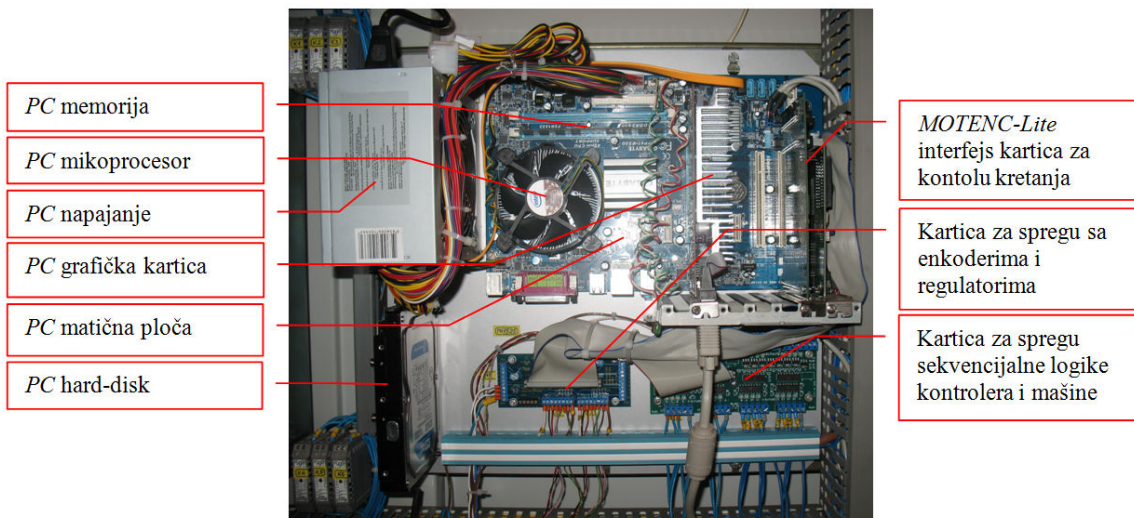
```
# Connect limit/home switch outputs to motion controller.
newsig Xminlim bit
newsig Xmaxlim bit
newsig Xhome bit
linksp Xminlim <= motenc.0.in-00
linksp Xminlim => axis.0.neg-lim-sw-in
linksp Xmaxlim <= motenc.0.in-01
linksp Xmaxlim => axis.0.pos-lim-sw-in
linksp Xhome <= motenc.0.in-02

linksp Xhome => axis.0.home-sw-in
```

Slika 6. Definisane veze ka graničnim prekidačima i sensorima za inicijalizaciju

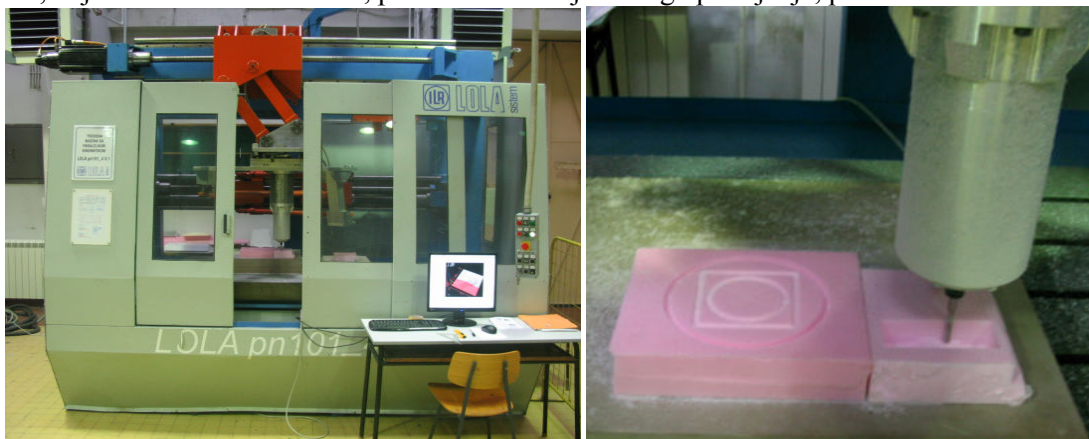
3.5. Konfigurisanje hardvera upravljačke jedinice

Prvi prototip upravljačke jedinice izrađen je na hardverskoj osnovi standardnog PC računara uz korišćenje MOTENC-Lite interfejsa za spregu sa pogonima i mernim sistemima mašine alatke, slika 7.



Slika 7. Upravljačka jedinica otvorene arhitekture za upravljanje mašinom sa paralelnom kinematikom

Konfigurisani upravljački sistem je integrisan u upravljački orman mašine sa paralelnom kinematikom LOLA pn101_4 V.2, slika 8a). Sistem za programiranje koristi CAD/CAM sistem Pro/Engineer WildFire V4. Prvi delovi, koji su obrađeni na mašini, prilikom testiranja novog upravljanja, pokazani su na slici 8b).



a) Nova verzija mašine LOLA pn101_4 V.2

b) Prvi obrađeni probni delovi

Slika 8. Mašina sa paralelnom kinematikom, LOLA pn101_4 V.2, na kojoj je implementirana nova upravljačka jedinica otvorene arhitekture i primer probne obrade

4. ZAKLJUČAK

U radu je predstavljen modularan softverski sistem, prilagodljiv najrazličitijim tipovima mašina alatki i robota različitih kinematičkih struktura. Raznolikost i modularnost je karakteristika koja će biti prepoznata i od strane krajnjih korisnika, rukovaoca, kroz intuitivnost, raznovrsnost i prilagodljivost korisničkih interfejsa. Razvijeni prototip pruža dobru osnovu za nastavak istraživanja na ovom polju i otvara mogućnost da se uz minimalna ulaganja razvije upravljačka jedinica vrhunskih performansi, koja će zbog niske tržišne cene biti van konkurencije na domaćem tržištu.

5. LITERATURA

- [1] EMC - Enhanced Machine controller web site - www.linuxcnc.org
- [2] NIST - National Institute of Standards and Technology web site - <http://www.nist.gov/index.html>
- [3] Real-Time Control Systems Library, Software and Documentation, <http://www.isd.mel.nist.gov/projects/rcslib/>
- [4] Milutinovic D., Glavonjic M., Kvirgic V., Zivanovic S., A New 3-DOF Spatial Parallel Mechanism for Milling Machines with Long X Travel, pp. 345-348, Annals of the Vol54/1, CIRP 2005. doi:10.1016/S0007-8506(07)60119-X
- [5] Glavonjic, M., Milutinovic, D., Zivanovic, S., Dimic, Z., Kvirgic, V., Desktop 3-axis parallel kinematic milling machine, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 46, (2010), pp 51-60 doi: 10.1007/s00170-009-2070-3
- [6] Milutinovic D, Glavonjic M, Slavkovic N, Dimic Z, Zivanovic S, Kokotovic B, Tanovic Lj (2011) Reconfigurable robotic machining system controlled and programmed in a machine tool manner. Int J Adv Manuf Technol., Vol. 53, pp1217-1229, doi:10.1007/s00170-010-2888-8

Zoran Dimić, Miloš Glavonjić, Dragan Milutinović, Saša Živanović,
Vladimir Kvirgić, Marija Milićević

OPEN ARCHITECTURE CONTROL SYSTEM FOR THREE AXES PARALLEL KINEMATICS MILLING MACHINE

Summary

This paper gives a methodology for configuring of open architecture control system for three axes parallel kinematics milling machine. Software and hardware which can be used for control of multi axes machine tool and industrial robots is tested on real machine. The control of servo drives is carried out using PC based platform and Linux operating system.

Key words: control, parallel kinematics machine, servo drives, open architecture control (OAC)



Марко Митић¹, Зоран Миљковић², Најдан Вуковић³, Иван Б. Лазаревић⁴

КОНЦЕПЦИЈСКО РЕШЕЊЕ УПРАВЉАЊА МОБИЛНОГ РОБОТА У ДОМЕНУ УНУТРАШЊЕГ ТРАНСПОРТА МАТЕРИЈАЛА ИНТЕЛИГЕНТНОГ ТЕХНОЛОШКОГ СИСТЕМА⁵

Резиме

У раду је представљено концепцијско решење система управљања интелигентног мобилног робота базираног на машинском учењу ојачавањем у домену унутрашњег транспорта материјала непознатог технолошког окружења. У односу на конвенционални вид управљања транспортних система, предложени емиријски систем има способност да учи на основу прикупљених информација из окружења, перманентно унапређујући своје понашање. Експериментални резултати обучавања мобилног робота показују оправданост увођења новог система управљања, истичући предности примене вештачке интелигенције у процесу концепцијског пројектовања.

Кључне речи: интелигентни мобилни робот, интелигентни технолошки систем, унутрашњи транспорт, машинско учење ојачавањем, избегавање препрека

1. УВОД

У значајном броју постојећих технолошких система детерминистички приступ пројектовања је коришћен у сврху синхронизације токова материјала, енергије и информација [1]. То подразумева да се коришћене методе пројектовања и оптимизације заснивају на употреби конвенционалних математичких алата и логичких релација. Међутим, у великом броју случајева технолошки систем није могуће прецизно математички описати, што условљава коришћење сложених приципа пројектовања заснованих на техникама вештачке интелигенције.

Велики број истраживача у области производних технологија тежи развијању интелигентних система способних да уче и да ефикасно одговоре на растуће проблеме непредвидивости, променљивости, као и сложености окружења у коме се налазе [2]. Захтеви пројектаната односе се и на повећање флексибилности при извршавању појединих задатака, са могућношћу имплементације адаптивног понашања интелигентних агената. Истраживање и развој у оквиру интелигентних технолошких система усмерени су ка концепцијском пројектовању система управљања у домену унутрашњег транспорта материјала са могућношћу разумевања процеса у окружењу и одабира најбољег могућег понашања.

Како би се омогућило перманентно унапређење понашања интелигентног мобилног робота, додатне информације из окружења се морају увести у процес пројектовања система управљања. Такви емпиријски прикупљени подаци омогућавају мобилном роботу да, у свакој итерацији

¹ **Марко Митић**, дипл. маш. инж., Стипендиста Министарства за науку и технолошки развој, Студент докторских студија, Универзитет у Београду - Машински факултет, mmitic@mas.bg.ac.rs

² **Др Зоран Миљковић**, редовни професор, Катедра за производно машинство, Универзитет у Београду - Машински факултет, zmiljkovic@mas.bg.ac.rs

³ **Најдан Вуковић**, дипл. маш. инж., Истраживач - сарадник, Студент докторских студија, Иновациони центар, Универзитет у Београду - Машински факултет, nvukovic@mas.bg.ac.rs

⁴ **Мр Иван Б. Лазаревић**, Истраживач - сарадник, „ECOLAB Hygiene“, д.о.о., Београд, atlant@ptt.rs

⁵ Рад је настао у оквиру истраживања на пројекту „Иновативни приступ у примени интелигентних технолошких система за производњу делова од лима заснован на еколошким принципима“ (евид. бр. TP-035004) Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије.

очитавања, модификује своје понашање у складу са пристиглим сензорским информацијама. Овај рад уводи концепт емпиријског управљања у процес пројектовања система управљања мобилног робота базираног на машинском учењу.

Други део рада дефинише проблеме који се односе на унутрашњи транспорт материјала. У трећем делу рада изложене су теоријске основе примењене за решавање постављеног проблема. Концепцијско решење овог проблема дато је у четвртном поглављу. У петом делу рада представљени су експериментални резултати. Закључак и коришћена литература су дати на крају рада.

2. УНУТРАШЊИ ТРАНСПОРТ МАТЕРИЈАЛА ИНТЕЛИГЕНТНОГ ТЕХНОЛОШКОГ СИСТЕМА

Подсистеми интелигентног технолошког система подразумевају четири елемента интелигенције система [3]:

- Процесирање сензорских информација;
- Моделирање система кроз хардверску-софтверску интеграцију интелигентних агената;
- Оцењивање стања система, еволутивност-емпиријско одлучивање;
- Генерисање интелигентног понашања система.

Наведене карактеристике компонената интелигентних технолошких система указују на неопходност имплементације техника машинског учења како би се обезбедило адаптабилно понашање на неодређености у радном окружењу. Транспорт материјала би стога морао да подразумева употребу агената способних да уче и модификују своје понашање сходно променама у окружењу. Проблем унутрашњег транспорта материјала интелигентног технолошког система, према [2], подразумева:

- Процес пројектовања дистрибутивног система;
- Планирање логистике система;
- Планирање транспорта материјала;
- Планирање путање транспортних токова;
- Утврђивање временских норматива и путање транспортног средства.

На бази мултидисциплинарног приступа, у оквиру овог рада анализирана је могућност унапређења унутрашњег транспорта репроматеријала, обрадака и готових делова. Побољшање се огледа у замени традиционалних транспортних средстава попут виљушकारа интелигентним мобилним роботом у циљу повећања степена ефикасности и својства флексибилности у обављању транспортних задатака. Концепт емпиријског управљања [4], базиран на машинском учењу ојачавањем, уведен је у процес пројектовања система управљања мобилног робота како би ови циљеви били задовољени.

3. ТЕОРИЈСКЕ ПОСТАВКЕ МАШИНСКОГ Q -УЧЕЊА ОЈАЧАВАЊЕМ

Q алгоритам машинског учења ојачавањем први је увео Ваткинс (енг. *Watkins*), 1989. године. Овај алгоритам омогућава мобилном роботу да учи тзв. вредносне оцене парова стање-одлука, $Q(s,a)$, обезбеђујући тиме да се свако могуће стање робота, заједно са одлуком која је довела интелигентног агента у то стање, може математички приказати као нумеричка вредност. Свака итерација подразумева читавање са сензора у тренутном стању, избор одговарајуће одлуке сходно прописаној стратегији одабира одлука, одређивање вредносне оцене новог стања интелигентног агента и ажурирање функције $Q(s,a)$ према једначини (1):

$$Q_{t+1}(s,a) \leftarrow Q_t(s,a) + \alpha \left[r_{t+1} + \gamma \max_a Q_t(s_{t+1},a) - Q_t(s_t,a) \right] \quad (1)$$

где је:

- $Q_t(s,a)$ - вредносна оцена пара стање-одлука у тренутку t ;
- $Q_{t+1}(s,a)$ - вредносна оцена пара стање-одлука у тренутку $t+1$;
- $t+1$ - временски тренутак у наредном стању мобилног робота;

- γ - коефицијент;
- r_{t+1} - вредносна оцена стања након одабира одлуке a у стању s ;
- α - параметар учења;

Показано је да након извесног броја итерација обучавања, функција $Q(s,a)$ конвергира ка оптималној вредности. Другачије речено, мобилни робот са оптималном функцијом $Q(s,a)$, прати оптималну стратегију доношења одлука. Псеудо код Q алгоритма машинског учења представљен је у табели 2.1.

Највећа предност оваквог приступа пројектовању система управљања у домену транспорта материјала огледа се у томе да приликом истраживања технолошког окружења интелигентном агенту није потребан математички модел средине у којој се налази. Другим речима, мобилном роботу у технолошком окружењу познат је само скуп одлука и могућих стања у којима се налази током кретања, за разлику од конвенционалних

метода у којима је за кретање робота неопходно имати алгоритам претраге као и модел окружења у погодном облику. Битно је истаћи и да није потребно моделирати динамику система управљања, што је врло значајно јер је у највећем броју случајева то нелинеаран проблем. Управо овакав начин пројектовања система у домену транспорта материјала омогућава робустност у погледу извршавања постављеног задатка у случајевима када није познато окружење мобилног робота.

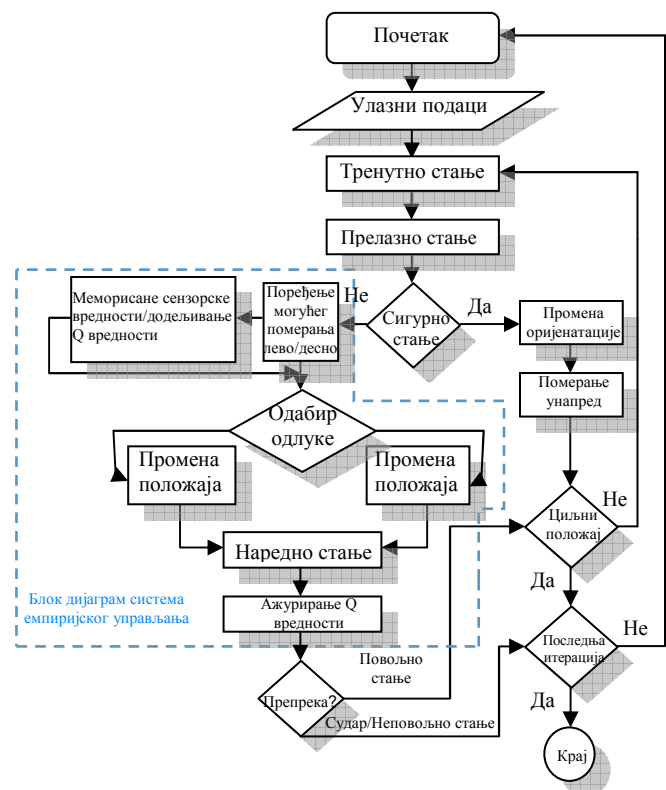
Табела 2.1: Псеудо код Q алгоритма машинског учења ојачавањем

Иницијализација вредносне функције Q
Одређивање тренутног стања
Срачунавање оптималне одлуке
Кретање агента према одабраној (најбољој) одлуци
Одређивање новог стања и оцене новог стања
Ажурирање вредносне функције Q : $Q_{t+1}(s_t, a_t) = Q_t(s_t, a_t) + \alpha \left[r_{t+1} + \gamma \max_{a_{t+1} \in A} Q_t(s_{t+1}, a_{t+1}) - Q_t(s_t, a_t) \right]$
Ново стање постаје тренутно стање

4. КОНЦЕПЦИЈСКО РЕШЕЊЕ ПРОБЛЕМА ИЗБЕГАВАЊА ПРЕПРЕКА ПРИ TRANSPORTУ МАТЕРИЈАЛА У НЕПОЗНАТОМ ТЕХНОЛОШКОМ ОКРУЖЕЊУ

Емпиријски приступ пројектовању управљачког система у домену транспорта материјала омогућава да се вредносна функција пара стање-одлука, $Q(s,a)$, одређује не само на основу тренутно најбољег понашања мобилног робота, већ и на основу претходног низа успешно изведених одлука интелигентног агента. Овакав начин пројектовања има велику предност у односу на класичне теорије пројектовања система применом концепта машинског учења ојачавањем. Мобилни робот са овако пројектованим управљачким системом има могућност анализирања тренутног стања у коме се он налази са аспекта најбољег могућег избора одлуке, посматрано у односу на скуп претходно изведених одлука. Такође, он има могућност поређења раније меморисане успешно изведене одлуке са тренутно најбољом одлуком која се одређује помоћу Q алгоритма управљања.

За разлику од уобичајеног поступка обучавања робота, у коме се обучавање робота дели на тренинг фазу и тест фазу, мобилни робот са емпиријским управљачким системом истовремено спроводи обе фазе, континуално учећи и обављајући постављени задатак. Битно је напоменути да се податак о тренутном стању у



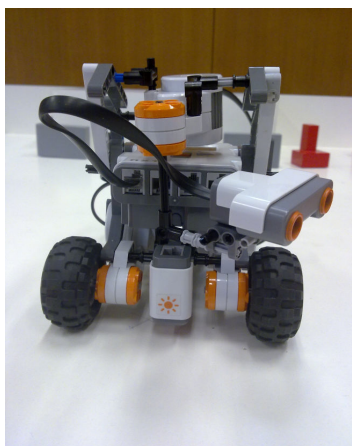
Слика 4.1: Емпиријски алгоритам обучавања мобилног робота помоћу Q функције машинског учења ојачавањем

свакој од итерација добија на основу сензорске информације. То значи да свака следећа одлука робота директно зависи од очитаних података са доступних сензора овог интелигентног агента. Графички приказ новог емпиријског алгоритма обучавања мобилног робота представљен је на слици 4.1, детаљно дат у [5].

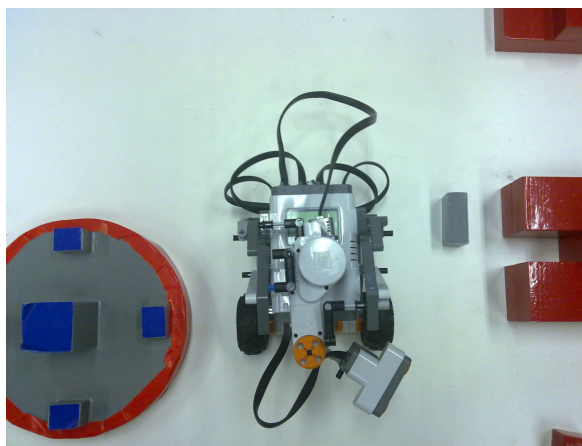
5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

5.1 Верификација предложеног концепта система емпиријског управљања на *LEGO Mindstorms NXT* конфигурацији мобилног робота у домену унутрашњег транспорта

Предложено решење конфигурације мобилног робота, са аспекта извршавања задатка заобилажења препрека приликом навигације, састоји се од два погонска точка, једног помоћног (задњег) точка, ултразвучног сензора који је постављен у хоризонталној равни, као и управљачке јединице која директно управља елементима система мобилног робота (слика 5.1. и слика 5.2). Ултразвучни сензор се такође покреће помоћу серво мотора, код кога преносни однос износи $i=48$. Алгоритам за управљање одговарајућег кретања мобилног робота [5] у лабораторијском моделу технолошког окружења [6] развијен је у софтверском окружењу MATLAB, уз примену функција RWTN Toolbox-a.



Слика 5.1: Конфигурација мобилног робота *LEGO Mindstorms NXT* у лабораторијском моделу технолошког окружења – поглед спреда



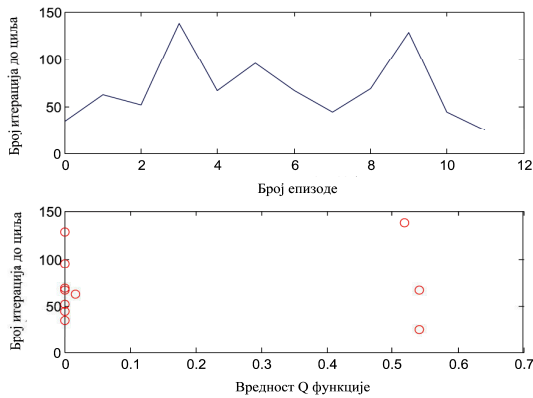
Слика 5.2: Конфигурација мобилног робота *LEGO Mindstorms NXT* у лабораторијском моделу технолошког окружења – поглед одозго

Сензор врши очитавања на сваких 45 степени, укључујући и почетни положај, односно угао од нула степени гледано одозго. Добијена мерења учитавају се у матрицу на основу које ће се касније вршити верификација избора одабране одлуке према меморисаним вредностима у Q матрици. Ова матрица се на почетку дефинише као празан скуп, а у којој ће се, као што је већ напоменуто, уписивати вредности добијене према изразу (1). Вредносна оцена стања је дефинисана према изразу (2). Са J је означен вектор од 5 добијених вредности растојања мереним помоћу ултразвучног сензора у претходном стању, док је са U означен вектор растојања у тренутном стању. Уместо брзинског модела кретања, у случају *LEGO Mindstorms NXT* мобилног робота применио се модел кретања на основу пређеног пута [7]. Стратегија одабира одлука је тзв. „похлепни“ алгоритам, који увек бира одлуку са највећом вредношћу Q функције. За мобилни робот усвојене конфигурације одабране су произвољне вредности стартне и циљне позиције. Усвојени скуп одлука је дефинисан на следећи начин: робот се може кретати право, скретати лево под углом од 45 степени, као и скретати у десну страну под истим углом. Добијени резултати показују да је потребан број обучавајућих парова и даље веома велики, да би се остварило обучавање са стратешким циљем како би се мобилни робот кретао оптималном путањом. Из тог разлога, након броја итерација који прелази „разумну“ меру, циклус обучавања је заустављен.

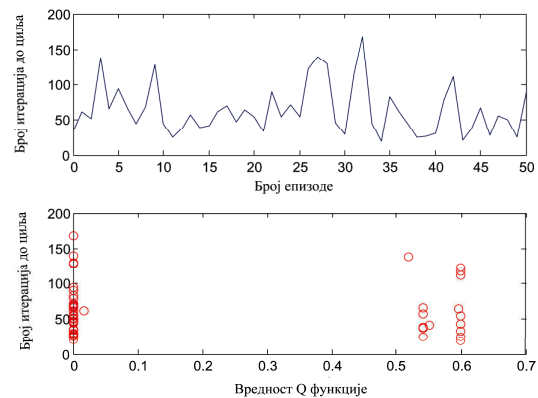
Резултати добијени обучавањем мобилног робота у технолошком окружењу (слика 5.3 и слика 5.4), указују на ваљаност изабраног принципа учења у поступку навигације интелигентног агента. Добијени подаци показују да робот у свакој итерацији меморише очитане податке са ултразвучног

$$r = \begin{cases} 0, \min J = \min U \\ 1, \min J < \min U \\ -1, \min U < \min J \\ 2, x_{\text{тренутно}} = x_{\text{циљ}} \end{cases} \quad (2)$$

сензора, и у складу са тим, ажурира Q вредност. Прикупљање довољног броја података пре почетка обучавања и имплементација алгоритма у завршној фази обучавања, следећи су корак у истраживању и валидацији предложеног концепта пројектовања система управљања.



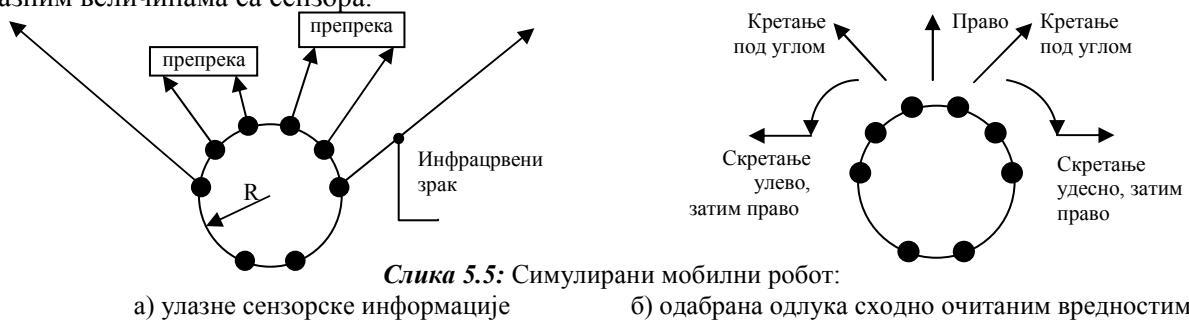
Слика 5.3: Експериментални резултати након 11 епизода



Слика 5.4: Експериментални резултати након 50 епизода

5.2 Симулација мобилног робота у софтверском пакету MATLAB

Други део истраживања односи се на имплементацију описаног система управљања на симулацију мобилног робота, остварену у софтверском пакету MATLAB. Симулирани мобилни робот садржи осам инфрацрвених сензора и два диференцијална погонска точка, налик на мобилни робот *Khepera*. На слици 5.5а) симболички је представљен мобилни робот приликом истраживања окружења, док слика 5.5б) приказује одговарајуће понашање интелигентног агента сходно прочитаним улазним величинама са сензора.



Слика 5.5: Симулирани мобилни робот:

а) улазне сензорске информације

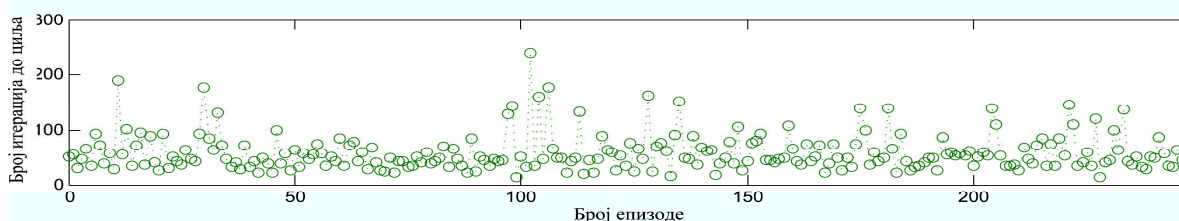
б) одабрана одлука сходно прочитаним вредностима

За разлику од верификације на мобилном роботу *LEGO Mindstorms NXT*, у овом случају није имплементиран модел кретања. Вредносна оцена стања r која фигурише у једначини (1) је додељивана сходно табели 5.1, на начин да се фаворизује кретање робота унапред ради бржег истраживања непознатог окружења.

Табела 5.1: Додела вредносних оцена стања

Услови доделе оцене стања	Нумеричка вредност
Кретање право	0.1
Неповољно стање/судар	-1
Сигурно стање/нема судара	0.01

Као и у случају имплементације система управљања на *LEGO Mindstorms NXT* роботу, за симулирани мобилни робот спроведен је експеримент заобилажења препрека у домену унутрашњег транспорта материјала у непознатом окружењу. Епизода је прекинута у случају колизије са непокретним објектом. На крају сваке итерације Q функција је ажурирана у складу са описаним алгоритмом. На слици 5.6 приказани су експериментални резултати обучавања након 250 епизода.



Слика 5.6: Експериментални резултати након 250 епизода

Резултати показују да, као и у претходном случају, робот у свакој итерацији меморише очитане податке са инфрацрвених сензора, ажурирајући при томе Q вредност. Различит број итерација у свакој епизоди указује да робот бира различите одлуке, учећи различите вредности функције $Q(s,a)$ након сваке од њих.

6. ЗАКЉУЧАК

У оквиру овог рада представљен је нови систем емпиријског управљања, коришћен за навигацију мобилног робота приликом избегавања препрека у домену унутрашњег транспорта материјала непознатог технолошког окружења. За разлику од конвенционалних метода, уведени систем управљања омогућава мобилном роботу да се прилагођава реалним условима, односно да учи током извршавања постављеног задатка. Показано је да емпиријски управљачки систем има могућност адаптивног понашања, што је у случају реалних система од пресудне важности. Предложено концепцијско решење верификовано је на *LEGO Mindstorms NXT* мобилном роботу, као кроз симулацију мобилног робота са осам инфрацрвених сензора и диференцијалним погоном.

Експериментални резултати обучавања показују перманентно побољшање перформанси мобилног робота. Свака епизода се завршава након другачијег броја итерација, што указује на одабир различитих одлука приликом истраживања непознатог окружења. Модификацијом параметара вредносне оцене пара стање-одлука, мобилни робот мења своје понашање путем машинског учења, у складу са пристиглим информацијама из окружења. Након довољног броја епизода, односно довољног броја итерација обучавања, са наглашеном сигурношћу се може тврдити да ће мобилни робот бити аутономан, што је посебно значајно при решавању проблема унутрашњег транспорта.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Brezocnik M., Balic J., Brezocnik Z., **Emergence of intelligence in next-generation manufacturing systems**, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 19, Issue 1-2, pp. 55-63, 2003.
- [2] Mitsuo G., Lin L., Haipeng Z., **Evolutionary techniques for optimization problems in integrated manufacturing system: State-of-the-art-survey**, Computers & Industrial Engineering, Vol. 56, Issue 3, pp. 779-808, 2009.
- [3] Albus S. J., **Outline for a Theory of Intelligence**, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 21, No.3, 1991.
- [4] Миљковић З., **Системи вештачких неуронских мрежа у производним технологијама**, Серија монографских дела - ИТС, Књига 8, Универзитет у Београду – Машински факултет, 2003.
- [5] Mitić M., Miljković Z., Babić B., **Empirical Control System Development for Intelligent Mobile Robot Based on the Elements of the Reinforcement Machine Learning and Axiomatic Design Theory**, FME Transactions, Vol. 39, No. 1, pp. 1-8, 2011.
- [6] Миљковић З., Милановић Д., Нешић Н., Стошић Д., Милановић С., **Пројектовање производних процеса у предузећу „Монтпројект“ - Београд**, Технолошко-развојни пројекат, 2004.
- [7] Петровић М., Лукић Н., Вуковић Н., Миљковић З., **Мобилни робот у унутрашњем транспорту материјала интелигентног технолошког система – едукација и развој**, 36. ЈУПИТЕР Конференција, 32. симпозијум „НУ-РОБОТИ-ФТС“, Зборник радова - CD, стр. 3.85-3.90, Београд, 11-12. мај 2010.

CONCEPTUAL SOLUTION OF A MOBILE ROBOT CONTROL IN THE DOMAIN OF INTERNAL MATERIAL TRANSPORT OF AN INTELLIGENT MANUFACTURING SYSTEM

Abstract

This paper presents conceptual design of empirical control system for a mobile robot based on the reinforcement learning in the domain of internal material transport in unknown environment. Comparing to the conventional control systems of transport vehicles, presented empirical approach has the ability to learn based on the obtained information from the environment, permanently improving its behaviour. Experimental results have shown validity of novel control system, clearly pointing out advantages of implementation of the artificial intelligence in conceptual design process.

Keywords: *intelligent mobile robot, intelligent manufacturing systems, material transport, reinforcement learning, obstacle avoidance*

S. Grbić, M. Savanović¹

ENERGIJA VETRA KAO ALTERNATIVNI IZVOR ENERGIJE

Rezime: Narasli ekološki problemi zahtevaju sve veću upotrebu obnovljivih izvora energije. Specifičnosti ovih energetske izvora ogledaju se u njihovoj obnovljivosti, promenljivosti, pogodnosti za zaštitu životne sredine ali i u visokim investicionim ulaganjima i nemogućnosti skladištenja. Energija vetra je jedan od najekonomičnijih obnovljivih energetske izvora. Prema procenama globalni potencijal energije vetra je pet puta veći od sadašnje potrošnje električne energije u svetu. Energija vetra već je glavni pravac u razvoju energetske izvora u više od 75 zemalja sveta.

Ključne reči: obnovljivi izvori energije, energija vetra, ekonomičnost, zaštita životne sredine.

1. UVOD

Sve veći značaj za energetske sektor zemalja imaju obnovljivi izvori energije. Iako su poznati vekovima tek nakon energetske kriza počinju da dobijaju na značaju. Naziv *obnovljivi* ukazuje na činjenicu da se energija troši u iznosu koji ne premašuje brzinu kojom se stvara u prirodi. Kada se govori o obnovljivim izvorima energije misli se na: energiju vetra, geotermalnu energiju, solarnu energiju i energiju biomase. Upotreba obnovljivih izvora energije omogućava:

1. smanjenje emisije štetnih gasova, što pozitivno utiče na očuvanje životne sredine²;
2. veću sigurnost i diversifikovanost energetske ponude, čime se olakšava zadovoljenje stalno rastuće energetske tražnje;
3. veću supstituciju konvencionalnih goriva, posebno nafte i gasa;
4. smanjenje zavisnosti od promenljivosti i rasta cena fosilnih izvora energije na tržištu;
5. stvaranje domaćih energetske izvora;
6. smanjenje vremena povraćaja uložene investicije, pre svega usled brzog razvoja tehnologija obnovljivih izvora energije.

Tabela 1. Komparacija osobina obnovljivih i neobnovljivih izvora energije

	Neobnovljivi izvori energije	Obnovljivi izvori energije
Mogućnost skladištenja i transporta	Lako skladištenje Lak transport	Kod većine nije moguće skladištenje, niti transport
Konstantnost	Da	Ne
Veličina investicije za izgradnju postrojenja	Niže investicije po jedinici snage Visoki dodatni troškovi za nabavku energenata koji se sagorevaju	Visoke investicije po jedinici snage Nema dodatnih troškova jer nema nabavke energenata koji se sagorevaju
Troškovi pogona i održavanja	Visoki, kako raste životni vek	Niski

Izvor: Milanović - Mihajlović, Z., [2]

¹ Sonja Grbić, saradnik u nastavi, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, e-mail: sgrbic@mas.bg.ac.rs, Marko Savanović, student doktorskih studija na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu

² Narasli ekološki problemi, smanjenje rezervi fosilnih goriva, eksplozivni rast populacije, povećanje potrošnje energije su problemi koji dovode do sve veće upotrebe energije iz obnovljivih izvora koja se često naziva još i "zeleni energija".

Specifičnosti ovih energetske izvora ogledaju se u njihovoj neiscrpnosti, promenljivosti, pogodnosti za zaštitu životne sredine. Pored brojnih prednosti upotreba obnovljivih izvora energije ima i određene nedostatke. Oni se prvenstveno odnose na visoke investicije, nemogućnost skladištenja i transporta na pravi način i promenljivost snage koju ovi izvori daju.

Međunarodna agencija za energiju (The International Energy Agency IEA) definisala je četiri stuba budućeg razvoja koji su prihvaćeni od strane razvijenih i ostalih zemalja sveta. Stubovi se odnose na:

1. povećanje udela energije iz alternativnih i obnovljivih izvora energije,
2. razvoj novih tehnologija u oblasti alternativnih i obnovljivih izvora energije,
3. podizanje energetske efikasnosti i
4. međunarodnu saradnju u cilju brige i podizanja na viši nivo energetske bezbednosti.

Tekuća ulaganja u obnovljive izvore energije su pet puta manja od ulaganja u konvencionalne izvore. U 2005. godini u ove izvore uloženo je preko 30 mlrd dolara (uključujući i ulaganja u velike hidroelektrane, u koje su investicije iznosile 60% iznosa). Obnovljivi izvori energije čine mali deo ukupne energetske ponude (oko 13%) i to uglavnom u vidu komplementarnog dela sa fosilnim izvorima, pre nego kao zamena fosilnih izvora ili nuklearne energije. Kapaciteti obnovljivih izvora energije su danas oko 1.000 GW. U strukturi dominiraju kapaciteti hidro (878), vetra (59) i biomase (52). U zemljama EU godišnje se proizvede oko 555.6 TWh električne energije iz obnovljivih izvora energije i to dominantno iz energije čvrste biomase, vetra i malih hidroelektrana [2]. Projekcije ukazuju da će se sve veći broj zemalja opredeljavati za upotrebu "zelene energije". Najviše će se eksploatirati hidro i vetro energija čiji kapaciteti će imati dominantno učešće u strukturi ukupnih kapaciteta obnovljivih izvora energije do 2015. godine. Takođe, može se očekivati sve veći broj investitora zainteresovanih za ulaganje u ovu energetska oblast. Jedino ulaganje u obnovljive izvore energije omogućava da se stalno nedostajuća energija koristi pametno, a da se do nje dolazi na što efikasniji i ekonomičniji način [1].

2. ENERGIJA VETRA

Energija vetra je jedan od najbrže obnovljivih energetske izvora koji se koristi preko 5000 godina (npr. za pokretanje brodova jedrenjaka). Sa Bliskog istoka ideja o vetrenjačama se proširila do Evrope. Posle prve naftne krize u mnogim zemljama sveta energija vetra počinje da se koristi za proizvodnju struje. Vetrogenerator pretvara kinetičku energiju vazduha koji se kreće (vetra) pomoću lopatica rotora (elise), prenosnog mehanizma i elektrogeneratora u električnu energiju. Moderni vetrogeneratori počinju da proizvode električnu energiju već pri brzini od 2,5 m/s, a zaustavljaju se iz bezbedonosnih razloga pri brzini od 25 m/s. Vetrogenerator može da obezbedi ekonomičnu proizvodnju struje ukoliko je srednja godišnja brzina vetra veća od 6 m/s. Procenjuje se da je globalni potencijal energije vetra pet puta veći od sadašnje potrošnje električne energije u svetu.

Energija vetra je trenutno najekonomičniji obnovljivi izvor energije koji se koristi. Tehnologija proizvodnje vetrogeneratora je znatno napredovala tokom poslednjih godina. U mnogim zemljama troškovi korišćenja energije vetra su toliko smanjeni da se takmiče sa mnogim tradicionalnim tehnologijama za proizvodnju energije. Mala zauzetost zemljišta, visoka pouzdanost rada postrojenja, nepostojanje troškova za gorivo³, pad cena vetrogeneratora i prateće opreme, minimalni troškovi zagađenja⁴ su samo neke od prednosti korišćenja energije vetra. Nedostaci ovog energetskeg potencijala ogledaju se, pre svega, u visokim troškovima instalacije i transporta energije, promenljivosti⁵ i nemogućnosti skladištenja na pravi način.

³ Kod korišćenja energije vetra, kao i kod mnogih drugih obnovljivih izvora energije, nema troškova goriva. Posle investicione izgradnje jedini troškovi su operativni i troškovi održavanja. Investicioni troškovi se kreću od 75 - 90% ukupnih toškova. Investicioni troškovi obuhvataju: troškove izgradnje vetrogeneratora ili parka vetrenjača, troškove izgradnje pristupnih puteva ukoliko je potrebno (koji će moći da podnesu značajan teret) i troškove priključenja na energetska sistem.

⁴ Pomoću vetrogeneratora energija vetra se pretvara u električnu energiju na ekološki čist način zato što se ne zagađuje vazduh, ne proizvode se neželjeni otpadci, ne troši se voda iz reka itd.

⁵ Zbog brzine vetra, koja varira u vremenu, menja se brzina rotora turbine. Rezultat su naizmenični naponi promenljive učestalosti, što je neophodno za vezivanje na standardnu distributivnu mrežu. Takođe, male razlike u brzini vetra dovode do velikih razlika u produktivnosti i troškovima proizvodnje električne energije.

Za sektor domaćinstva pogodne su male vetrenjače snage do nekoliko desetina kW. One se mogu koristiti kao dodatni ili primarni izvor energije (uglavnom u udaljenim područjima). Kad se koriste kao primarni izvor energije dodaju im se baterije (akumulatori) u koje se energija skladišti kad se proizvodi više od potrošnje.

Za razliku od malih vetrenjača, velike vetrenjače se instaliraju u park vetrenjača i preko transformatora spajaju se na prenosnu mrežu. Najvažniji faktor koji treba razmotriti prilikom izgradnje parka vetrenjača je brzina vetra na željenoj lokaciji. Smatra se da na posmatranoj lokaciji najmanja godišnja brzina vetra treba da se kreće u intervalu od 4.9 - 5.8 m/s. U cilju smanjenja troškova izgradnje parka vetrenjača potrebno je prilikom izbora lokacije razmotriti dostupnost i pristup postojećoj prenosnoj mreži. Izgradnja parka vetrenjača nije jeftina. U proseku, izgradnja košta oko 1.2 - 1.5 miliona evra po MW instalirane snage. Da bi se iskoristila prednost ekonomije obima, farma vetrenjača bi trebala da ima instalirani kapacitet od najmanje 20 MW. Pod pretpostavkom da prosečan vetrogenerator ima prosečnu snagu od 75 kW, to znači da je za farmu vetrenjača potrebno postaviti najmanje 26 turbina, uz početnu investiciju 24 - 30 miliona evra.

U mnogim zemljama sveta korišćenje energije vetra danas je konkurentno sa centralama na fosilna goriva. Cena električne energije dobijene od vetra danas je uporediva sa cenom električne energije dobijene iz fosilnih goriva. Cena energije vetra je još konkurentnija ukoliko se u uporedne cene ukalkulišu troškovi zagađenja i ostali eksterni troškovi. Daljim unapređenjem turbina na vetar, njihovom proizvodnjom u većim serijama i uspostavljanjem boljeg kontrolnog sistema očekuje se dalje smanjenje troškova⁶ što će učiniti energiju vetra jednim od najekonomičnijih energetskih izvora. Prema projekcijama kapaciteti energije vetra će se do 2050. godine uvećati i do 18 puta.

3. KORIŠĆENJE ENERGIJE VETRA U EVROPI

Energetske krize, smanjenje zaliha fosilnih goriva i rastući ekološki problemi uticali su da se Evropska "vetroindustrija" razvija eksplozivnim tempom. U EU vetrogeneratori se u sve većoj meri koriste za proizvodnju električne energije (2007. godine učešće vetrogeneratorske strukture novoinstaliranih elektroenergetskih kapaciteta bilo je 40%). U periodu 2000 - 2007. godine na teritoriji EU instalirano je 158.000 MW novih elektrana. Od toga 56% su postrojenja na prirodni gas, 30% su vetrogeneratori, 6% su termoelektrane na uglj, 3% su termoelektrane na naftu, dok se ostatak odnosi na hidroelektrane, elektrane na biomasu i nuklearnu energiju.

U strateškom dokumentu Evropske asocijacije za energiju vetra (*European Wind Energy Association - EWEA*), pod nazivom *Wind Energy in Europe: A plan of action* (1991), preporučeno je Evropskoj komisiji da kao cilj definiše korišćenje 20% od ukupnog iskoristivog vetroenergetskog potencijala do 2030. godine [3]. Prema podacima Evropske asocijacije za energiju vetra, 2007. godine na teritoriji Evrope instalirano je novih 8,6 GW vetrogeneratorske strukture, čime je dostignut kumulativni kapacitet od 57.136 MW. Vetroelektrična snaga ovog nivoa, pri prosečnoj vetrovitosti, omogućuje izbegavanje emisije od 90 miliona tona CO₂ i zadovoljenje oko 4% potrošnje električne energije u Evropi. Prema veličini instalirane snage vetrogeneratorske strukture u Evropi, na kraju 2007. godine, prednjačile su Nemačka (22.247 MW), Španija (15.145 MW), Danska (3.125 MW), Italija (2.726 MW), Francuska (2.454 MW), Velika Britanija (2.389 MW) itd. Naši severoistočni susedi, Mađari i Rumuni, u 2007. godini instalirali su po 4, odnosno 5 MW, dostigavši ukupne kapacitete od 65 MW i 8 MW, respektivno. Od zemalja kandidata za ulazak u EU, Turska je instalirala novih 97 MW, dostigavši ukupnih 146 MW, dok Hrvatska u 2007. godini nije instalirala nove kapacitete (ostala je na nivou iz prethodne godine od 17 MW).

⁶ Smanjenju troškova doprinose sledeći faktori: izgradnja većih turbina, opadanje infrastrukturnih troškova, povećanje efikasnosti vetrogeneratorske strukture, smanjenje troškova sirovina od kojih se izrađuju vetrogeneratori i dr.

Tabela 2. Instalirana snaga vetrogeneratora u odabranim Evropskim zemljama

Evropske zemlje	Stanje na kraju 2006. godine	Instalirano u 2007. godini	Stanje na kraju 2007. godine
Nemačka	20.622	1.667	22.247
Španija	11.623	3.522	15.145
Danska	3.136	3	3.125
Italija	2.123	603	2.726
Francuska	1.567	888	2.454
Velika Britanija	1.962	427	2.389
Mađarska	61	4	65
Rumunija	3	5	8
Turska	50	97	146
Hrvatska	17	0	17
Evropa ukupno	48.563	8.662	57.136

Izvor: *Evropska asocijacija za energiju vetra*

Najviše vetroelektrana u Evropi, na kraju 2007. godine, bilo je u Nemačkoj (22.247 vetroelektrana ili oko 40% ukupnog broja) i Španiji (15.145 vetroelektrana ili 27% ukupnog broja). Takođe, prema broju vetroelektrana prednjačile su još i Danska (3.125), Italija (2.726), Francuska (2.454), Velika Britanija (2.389), Portugalija (2.150), Austrija (982) i Grčka (871).

U Danskoj korišćenje energije vetra ima dugu tradiciju. Još oko 1919. godine postojalo je 30.000 vetrogeneratora koji su dostizali ukupnu snagu od oko 200 MW. Za vreme Prvog svetskog rata ovaj energetski izvor podmirio je veliki deo potreba u električnoj energiji Danske. Danas vetroenergija ima udeo od 20% u ukupnoj proizvodnji energije. Postoje dani u godini kad čak 100% proizvedene energije u Danskoj potiče od vetra. Sa druge strane, baš zbog ovako visokog udela nestabilnog vetra, Danska je sa Norveškom i Švedskom formirala Nordijsku berzu energije (Nord Pool). Osnovni zadatak ove berze je da tokom slabo vetrovitog perioda, nedostaci električne energije u Danskoj budu dopunjeni razmenom sa Švedskom i Norveškom. A radi još veće sigurnosti, tri skandinavske zemlje trenutno pregovaraju sa Nemačkom, u cilju njenog pridruživanja Nord Pool-u [3].

Danska planira da u budućnosti poveća učešće energije iz vetra na 50%. Usavršavanjem fleksibilnih elemenata rotora i pasivnih sistema kontrole, očekuje se dalje smanjenje jediničnih troškova vetroelektrične energije do nivoa od 3 US\$/kWh u 2020. godini [3].

U Srbiji potencionalni lokaliteti za razvoj vetroenergetike su planinski venci istočne Srbije, Vojvodine, planinske zaravni u centralnoj Srbiji i doline Dunava, Save i Morave. U istočnim delovima Srbije (Stara Planina, Vlasina, Ozren, Rtanj, Crni Vrh itd.) postoje lokacije čija je srednja brzina vetra preko 6 m/s i koje su pogodne za ekonomično korišćenje energije vetra. Zlatibor, Kopaonik, Divčibare su planinske oblasti u kojima bi se merenjem mogle utvrditi pogodne mikrolokacije za izgradnju vetrogeneratora. Panonska nizija, severno od Dunava je takođe bogata vetrom. Ova oblast pokriva oko 2.000 km² i pogodna je za izgradnju vetrogeneratora, jer je izgrađena putna infrastruktura, postoji električna mreža, blizina velikih centara potrošnje električne energije i slično.

Vojvodina je bogata energijom vetra, koja je i ranije korišćena u mlinovima za mlevenje žita. Istraživanja su potvrdila da brzine vetra u Vojvodini omogućavaju kvalitetno pretvaranje energije vetra u električnu energiju naročito u oblasti oko Vršca, južnog Banata, Fruške gore i Srema. Po grubim obračunima radi se o potencijalu od oko 600 MW sa mogućnošću instaliranja oko 300 velikih vetroelektrana.

4. ZAKLJUČAK

Intenzivan razvoj tehnologije vetrogeneratora u poslednjih 20 godina imao je za rezultat značajno smanjenje cene tehnologije i cene proizvedene električne energije. Nastavak ovakve tendencije i u budućnosti učiniće energiju vetra jednim od najekonomičnijih energetskih izvora. U Evropi po korišćenju energije vetra vodi Danska sa skoro 20% energije dobijene iz vetra s namerom da se do 2020. godine ovaj procenat značajno uveća. Udeo energije iz vetroelektrana u ukupno proizvedenoj električnoj energiji u EU 2008. godine iznosio

je oko 4,2% što je dovoljno za snabdevanje 35.000.000 domaćinstava. Zemlje u našem okruženju, Hrvatska, Mađarska, Rumunija i Bugarska koriste elektrane na vetar i uvećavaju instalirane kapacitete. Korišćenjem energije vetra u Srbiji smanjila bi se zavisnost od uvoznih energetskih sirovina, potrošnja nacionalne sirovinke baze bila bi racionalnija, povećala bi se raznovrsnost energetskih izvora, a iznad svega smanjila bi se emisija štetnih gasova i očuvala životna sredina.

LITERATURA

- [1] Mandal, Š., Milanović - Mihajlović, Z., *Ekonomika energetike*, Beograd, 2010.
- [2] Milanović - Mihajlović, Z., *Obnovljivi izvori energije*, Beograd, 2010.
- [3] Đukanović, S., *Obnovljivi izvori energije*, Ub, 2009.
- [4] Robert Y. Redlinger, Dannemand Anderson, Paul Eric Morthorst, *Wind energy in the 21st century: economics, policy, technology and the changing electricity industry*, Palgrave, New York, 2002.
- [5] *Wind Energy – The Facts: A Guide to the Technology, Economics and Future of Wind Power*, European Wind Energy Association, March, 2009.
- [6] Ministarstvo rudarstva i energetike Republike Srbije, <http://www.mre.gov.rs/>
- [7] European Wind Energy Association, <http://www.ewea.org/>
- [8] www.gwec.net/fileadmin/documents/Publications/GWEO%202010%20final.pdf

WIND ENERGY AS A RENEWABLE ENERGY SOURCE

Summary: Grown ecological problems force the world to use more renewable energy sources. The specificity of these energy sources is reflected in their inexhaustibility, volatility, the benefits of environmental protection, but also in high capital investment and storage inability. Wind energy is one of the fastest and most economical renewable energy source. According to the assessment, global potential of the wind energy is five times greater than current consumption of electricity in the world. Wind energy is already a mainstream power generation source in many countries, and it is now deployed in more than 75 countries around the world.

Key words: renewable energy source, wind energy, economic, environmental protection.



Ž. Jakovljević, P.B. Petrović¹

KONSTRUKCIJA AKCEPTORA KONTAKTNIH STANJA ZA AUTOMATSKU MONTAŽU²

Apstrakt

Prepoznavanje kontaktnih stanja između delova tokom procesa spajanja predstavlja značajan element sistema za aktivno popustljivo kretanje robota. U oblasti kreiranja informacionih mašina za prepoznavanje kontaktnih stanja tokom prethodnih decenija su sprovedena određena istraživanja. Za sve predložene mašine je zajedničko da će one prepoznati neko od kontaktnih stanja bez obzira na to da li je tok procesa spajanja regularan ili ne. Čak i kada se u toku procesa jave neke nepoželjne pojave (stick-slip, zaglavljivanje, zaklinjavanje...) neko od kontaktnih stanja će biti prepoznato. Kako bi se odredilo da li je konkretan proces spajanja regularan pogodno bi bilo kreirati neku vrstu sistema za dijagnostiku procesa spajanja.

Imajući u vidu da se kontaktna stanja u toku procesa spajanja ne pojavljuju proizvoljno već samo u određenom kontekstu, u ovom radu se daje formalni okvir za prepoznavanje i dijagnostiku neregularnosti u procesu spajanja zasnovan na opštoj matematičkoj teoriji automata i formalnih gramatika veštačkih jezika. Polazeći od mogućih regularnih prelaza kontaktnih stanja u okviru procesa spajanja formira se automat koji prihvata sve regularne sekvence spajanja. Ovaj automat se dalje dopunjuje do automata za dijagnostiku koji pored regularnih sadrži i sve neregularne sekvence procesa. Automat za dijagnostiku se kreira tako da može prepoznati sve osmotrive i neosmotrive neregularnosti u okviru procesa.

Predložena metodologija je razrađena i eksperimentalno verifikovana za slučaj cilindričnog spajanja sa uvodnikom.

1. UVOD

Filozofija aktivnog popustljivog upravljanja robotizovanom montažom zasnovanog na kontaktu polazi od činjenice da svaka kontaktna situacija između objekta koji drži end efektor i njegovog okruženja generiše određeni oblik sile/momenta. Takva informacija o generalisanoj sili se može sa dovoljnom tačnošću snimiti i klasifikovati kako bi se reprezentovalo odgovarajuće kontaktno stanje koje karakteriše jedinstvena prostorna konfiguracija interakcije između pokretnog objekta i okruženja. Kako bi se upravljalo planiranim procesom spajanja delova u kontaktu neophodno je izvršiti prepoznavanje kontaktnog stanja u kome se delovi nalaze.

Do sada su sprovedena određena istraživanja u cilju kreiranja informacione mašine za prepoznavanje kontaktnih stanja u okviru različitih procesa spajanja. U [1, 2] je predložena informaciona mašina za prepoznavanje kontaktnih stanja u procesu cilindričnog spajanja sa uvodnikom. Metodologija za prepoznavanje nekih od kontaktnih stanja u procesu postavljanja otvora na čep sa velikim zazorom je predložena u [3]. Prepoznavanje kontaktnih stanja u procesu postavljanja kocke u ugao je razmatrano u [4]. Ono što je zajedničko za sve predložene mašine jeste da će one prepoznati neko od kontaktnih stanja bez obzira na to da li je tok procesa spajanja regularan ili ne. Čak i kada se u toku procesa jave neke nepoželjne pojave (stick-slip, zaglavljivanje, zaklinjavanje...) date mašine će prepoznati neko od kontaktnih stanja. Kako bi se odredilo da li je konkretan proces spajanja regularan ili ne pogodno bi bilo kreirati neku vrstu sistema za dijagnostiku procesa spajanja.

¹ Dr Živana Jakovljević, Prof. dr Petar B. Petrović, Katedra za proizvodno mašinstvo, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Kraljice Marije 16, 11120 Beograd, Srbija; e-mail: zjakovljevic@mas.bg.ac.rs

² U okviru ovog rada saopštavaju se rezultati istraživanja koja se sprovode na projektu TR35007 Inteligentni robotski sistemi za ekstremno diverzifikovanu proizvodnju koji finansijski podržava Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije.

Pošto se kontaktna stanja u toku procesa spajanja ne pojavljuju proizvoljno već samo u određenom kontekstu, u ovom radu se daje formalni okvir za prepoznavanje i dijagnostiku neregularnosti u procesu spajanja zasnovan na opštoj matematičkoj teoriji automata i formalnih gramatika veštačkih jezika.

2. OSNOVNE DEFINICIJE

Topološki posmatrano, objekti koji se spajaju su konveksni i konkavni trodimenzioni poliedri koji se međusobno dodiruju preko tri topološka elementa: površine, ivice i temena. Kako bi izvršila klasifikaciju kontakata na osnovu njihove topološke sličnosti Xiao u [5] uvodi pojam osnovnog kontakta. Ona definiše osnovni kontakt (Principal Contact) kao jedinstveni kontakt između para topoloških elemenata površine (npr. strane, ivice ili temena) različitih objekata koji nisu granični elementi drugih topoloških elemenata površina u istom kontaktu. Polazeći od navedenog opisa osnovnog kontakta, u ovom radu se uvode sledeće formalne definicije:

Definicija 1: *Kontaktno obeležje*, CF , se definiše kao topološki element površine objekta u kontaktu koji nije granični element drugog elementa površine u istom kontaktu:

$$CF \stackrel{def}{=} \{f, e, v\}$$

gde je f strana objekta, e je ivica koja nije granična ivica strane u istom kontaktu, v je teme objekta koje nije granično teme ivice ili strane u istom kontaktu.

Definicija 2 [1]: *Osnovni kontakt*, PC , je određen *jedinstvenim parom* kontaktnih obeležja CF . U skladu sa tim, osnovni kontakt se formuliše i opisuje kao par kontaktnih obeležja:

$$PC = (CF_A^i, CF_B^j)$$

gde su CF_A^i i CF_B^j kontaktna obeležja i i j koja pripadaju objektima A i B .

Definicija 3: *Kontaktno stanje*, CS , između dva poliedra je skup osnovnih kontakata

$$CS = \{PC_i, PC_j, \dots, PC_k\}.$$

Kada su delovi koji se spajaju konveksni poliedri sva moguća kontaktna stanja se sastoje samo od jednog osnovnog kontakta. Kada je bar jedan od delova koji se spajaju konveksan, pojavljuju se kontaktna stanja koja se sastoje od više od jednog osnovnog kontakta, pa je prepoznavanje kontaktnih stanja u ovom slučaju kompleksnije.

3. MODELIRANJE KONTEKSTA POJAVE KONTAKTNIH STANJA

Proces spajanja delova se može posmatrati kao prelaz iz inicijalnog u ciljano kontaktno stanje, a tok konkretnog procesa spajanja je definisan trajektorijom kroz prostor kontaktnih stanja. Kontaktna stanja se u procesu spajanja ne pojavljuju stohastički - ona se mogu pojaviti samo u određenom kontekstu. Za svako kontaktno stanje se može definisati skup kontaktnih stanja koja mu mogu prethoditi - skup njegovih prefiksa i skup kontaktnih stanja koja se mogu pojaviti nakon njega - skup sufiksa. Za konkretan proces spajanja moguće je formirati skup dozvoljenih prelaza između kontaktnih stanja. Ovaj skup može poslužiti kao osnova za formiranje informacionih mašina za prepoznavanje procesa spajanja zasnovanih na matematičkoj teoriji automata [6, 7].

U okviru pristupa koji se ovde predlaže kontaktna stanja u okviru jedne klase procesa spajanja posmatraju se kao simboli, tj. dalje nedeljivi elementi neke azbuke. Nad ovom azbukom je moguće formirati jezik $L(G)$. Reči jezika $L(G)$ predstavljaju prihvatljive sekvence kontaktnih stanja čije je značenje (semantika) izvedeno iz fizičkih osnova procesa spajanja i odnosi se na prihvatljive, odnosno fizički izvodljive sekvence kontaktnih stanja u okviru procesa spajanja. Elementi gramatike G jezika $L(G)$ su:

T - skup terminalnih simbola koji predstavlja *skup kontaktnih stanja*

P - konačan skup produkcija koji se definiše na osnovu mogućih prelaza između kontaktnih stanja

N - skup neterminalnih simbola koji se koriste u pravilima

Sve gramatike se po hijerarhiji Čomskog (Chomsky) mogu svrstati u četiri tipa (0-3) u zavisnosti od vrste produkcija koje sadrže. Za svaku regularnu gramatiku **G** tipa 3 po klasifikaciji Čomskog moguće je kreirati apstraktnu mašinu - deterministički ili nedeterministički konačni automat u formi akceptora **FSA** = (**Q**, **T**, **f**, **S**) (**FSA** - Finite State Acceptor), gde je **Q** skup unutrašnjih stanja **FSA**, **T** je skup ulaznih simbola, **f** funkcija prelaza, **S** inicijalno stanje.

FSA sve ulazne stringove $\Sigma \in \mathbf{T}^*$ klasifikuje u reči koje pripadaju jeziku **L** i reči koje ne pripadaju ovom jeziku. Za druge tipove gramatika na raspolaganju su druge vrste mašina. Stanja ovog automata su neterminalni simboli gramatike **G**. Prelazi između stanja (funkcija **f**) se vrše kada je na ulazu u automat terminalni simbol **T**. Početno stanje automata **S** (start) je polazni neterminalni simbol gramatike, a konačno (terminalno) stanje automata se označava sa **H** (halt). Za konkretno spajanje definisano topologijom delova generisni **FSA** će prihvatiti sve sekvence kontaktnih stanja koje opisuju regularan tok procesa spajanja.

4. DIJAGNOSTIKA PROCESA SPAJANJA

Konačni automat **FSA** opisan u prethodnom odeljku prihvata sve sekvence koje odgovaraju regularnom toku procesa spajanja. On može poslužiti kao osnova za kreiranje sistema za dijagnostiku procesa.

Naime svi stringovi iz Σ koji se generišu u toku procesa (bio on regularan ili ne) mogu se particionisati na sledeći način:

$$\Sigma = \Sigma_o \cup \Sigma_{uo} \quad (1)$$

gde Σ_o predstavlja skup svih osmotrivih događaja – niza kontaktnih stanja u sistemu. U ovaj skup osmotrivih nizova kontaktnih stanja pored svih regularnih sekvenci kontaktnih stanja koje pripadaju jeziku **L**, ulaze i sve osmotrivne sekvence koje se odnose na pojedine neregularnosti u procesu - Σ_f . Naime, za neke neregularnosti je moguće odrediti stringove Σ_{fo} koji se mogu iskoristiti za prepoznavanje konkretne greške u toku procesa. Za sve ostale neregularnosti, koje generalno nisu poznate proces će generisati neku od sekvenci iz skupa Σ_{uo} .

Skup svih neregularnosti u toku procesa se može particionisati na sledeći način:

$$\Sigma_f = \Sigma_{fo} \cup \Sigma_{uo} = \Sigma_{fo1} \cup \Sigma_{fo2} \cup \dots \cup \Sigma_{fok} \cup \Sigma_{uo} \quad (2)$$

Gde su Σ_{foi} osmotrivne, a Σ_{uo} neosmotrivne neregularnosti. Uloga automata za dijagnostiku je da izvrši prepoznavanje stanja u koja sistem dolazi u trenutku dešavanja neke od neregularnosti. Pri tom se svaka od osmotrivih neregularnosti Σ_{foi} pojedinačno prepoznaje, dok se neosmotrivne neregularnosti Σ_{uo} prepoznaju zbirno.

Kako bi se neki automat mogao iskoristiti za dijagnostiku, neophodno je da jezik koji ovaj automat prihvata bude dijagnozabilan [9-10]. Jezik L_d je dijagnozabilan ako zadovoljava sledeće uslove:

1. Jezik L_d je živ. To znači da u svakom stanju postoji definisana tranzicija - sistem ne može doći u tačku u kojoj nijedan događaj nije moguć.
2. U jeziku L_d ne postoji ciklus neosmotrivih događaja, tj.

$$\exists n_0 \in \mathbf{N} \text{ takav da } \forall ust \in L_d, s \in \Sigma_{uo}^* \Rightarrow \|s\| \leq n_0 \quad (3)$$

što znači da sistem ne može da generiše proizvoljno dug niz neosmotrivih događaja.

Jezik **L** koji opisuje regularne sekvence procesa spajanja nije živ jezik. Naime, ovaj jezik ne sadrži sekvence koje opisuju neregularne procese spajanja. U skladu sa tim u automatu **FSA** nisu definisane tranzicije za slučaj pojave stringova koji pripadaju Σ_f .

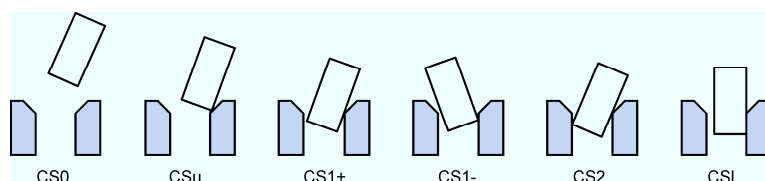
Kako bi se formirao automat za dijagnostiku - FSA_d , jezik **L** je neophodno proširiti do jezika L_d koji će sadržati sve moguće sekvence kontaktnih stanja koje se mogu pojaviti tokom procesa spajanja bilo da su one regularne ili ne. Pojednim neregularnostima $F_{o1}, F_{o2}, \dots, F_{ok}, F_{uo}$ odgovaraju pojedine sekvence koje pripadaju

$\Sigma_{f_{01}}, \Sigma_{f_{02}}, \dots, \Sigma_{f_{0k}}, \Sigma_{u_0}$, respektivno. Određene tranzicije u okviru automata FSA_d koji prihvata reči iz jezika L_d se mogu iskoristiti za prepoznavanje neregularnosti $F_{01}, F_{02}, \dots, F_{0k}, F_{u_0}$ u okviru procesa.

5. PRIMER CILINDRIČNOG SPAJANJA DELOVA

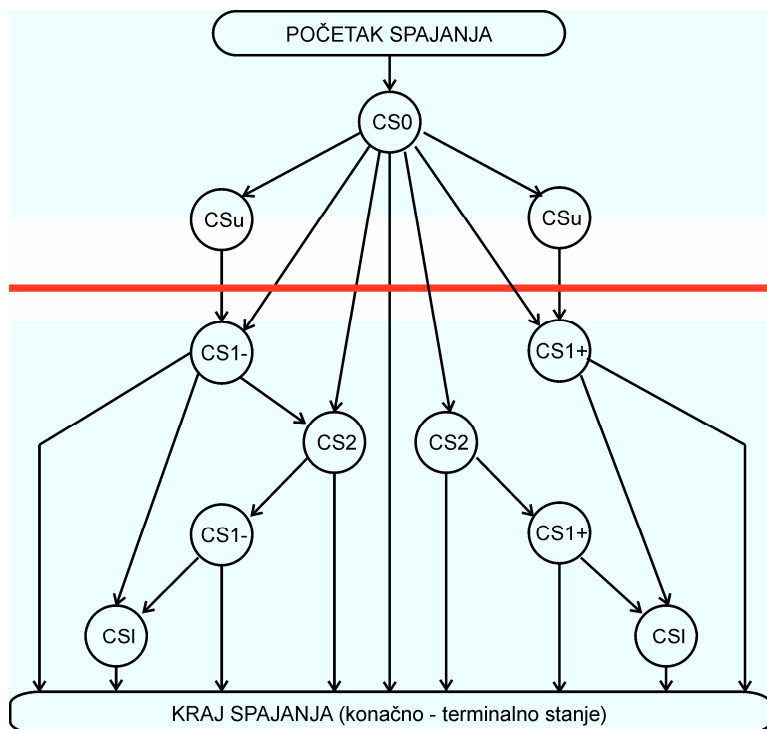
Kontaktne stanja koja se mogu javiti pri cilindričnom spajanju sa uvodnikom prikazana su na slici 1 i to su:

1. stanje bez kontakta (CS0),
2. kontakt po uvodniku (CSu),
3. kontakt u jednoj tački između ivice na prelazu iz uvodnika u otvor i cilindra čepa (CS1+),
4. kontakt u jednoj tački između cilindra otvora i oboda čepa (CS1-),
5. kontakt u dve tačke (CS2), i
6. linijski kontakt (CSI).



Slika 1: Kontaktne stanja pri cilindričnom spajanju sa uvodnikom

U zavisnosti od karaktera inicijalne greške relativnog položaja čepa u odnosu na otvor moguće su različite varijante tranzicija između pojedinih kontaktnih stanja u toku ovog procesa. Imajući u vidu ponovljivost komercijalno raspoloživih robota i tolerancije između delova koji se spajaju, može se smatrati da se manipulacioni mehanizam u realnosti nikada ne kreće tačno u pravcu spajanja delova. Greška pozicije i orijentacije prilikom spajanja su praktično funkcija vremena. Rezultat je velika raznolikost mogućih prelaza kontaktnih stanja. Iz tog razloga sveobuhvatan dijagram procesa cilindričnog spajanja praktično nije moguće prikazati u formi datoj na slici 2. Na slici 2 naveden je dijagram koji se odnosi na idealizovan slučaj manipulacionog robota koji savršeno izvršava postavljeni zadatak spajanja.



Slika 2: Jedan dijagram toka procesa cilindričnog spajanja sa uvodnikom [11, 12]; odnosi se na idealizovan slučaj manipulacionog robota

Analizom procesa cilindričnog spajanja, uzimajući u obzir realno kretanje manipulacionog mehanizma, dolazi se do zaključka da su mogući prelazi između kontaktnih stanja upravo prelazi dati u tabeli 1.

Tabela 1: Mogući prelazi kontaktnih stanja tokom robotizovanog cilindričnog spajanja

CS0 → CS0	CS0 → CS1-	CS0 → CS1+	CS0 → CS1	CS0 → CS2
CS0 → CSu	CSu → CSu	CSu → CS0	CSu → CS1-	CSu → CS1+
CS1+ → CS1+	CS1+ → CS0	CS1+ → CS1	CS1+ → CS2	CS1- → CS1-
CS1- → CS0	CS1- → CS2	CS1- → CS1	CS1 → CS1	CS1 → CS0
CS1 → CS1-	CS1 → CS1+	CS2 → CS2	CS2 → CS0	CS2 → CS1+
CS2 → CS1-				

Opisanom metodologijom (Odeljak 3) zasnovanom na teoriji veštačkih jezika moguće je prikazati sve trajektorije kroz kontaktna stanja tokom različitih procesa cilindričnog spajanja. U slučaju sekvenci kontaktnih stanja u procesu cilindričnog spajanja može se formirati jezik $L(G)$ sa gramatikom G čiji su elementi:

T - skup terminalnih simbola (skup kontaktnih stanja):

CS0, CSu, CS1+, CS1-, CS2, CS1

P - konačan skup produkcija definisan na osnovu tabele:

$S \rightarrow CS0S | CSuA | CS1+B | CS1-C | CS2D | CS1E | \lambda$

$A \rightarrow CS0S | CSuA | CS1+B | CS1-C$

$B \rightarrow CS1+B | CS2D | CS1E | CS0F | \lambda$

$C \rightarrow CS1-C | CS2D | CS1E | CS0F | \lambda$

$D \rightarrow CS2D | CS1+B | CS1-C | \lambda$

$E \rightarrow CS1E | CS1+B | CS1-C | CS0F | \lambda$

$F \rightarrow CS0F | CS1+B | CS1-C | CS2D | CS1E | \lambda$

gde je sa λ označena prazna reč.

N - skup neterminalnih simbola koji se koriste u pravilima je dat sa:

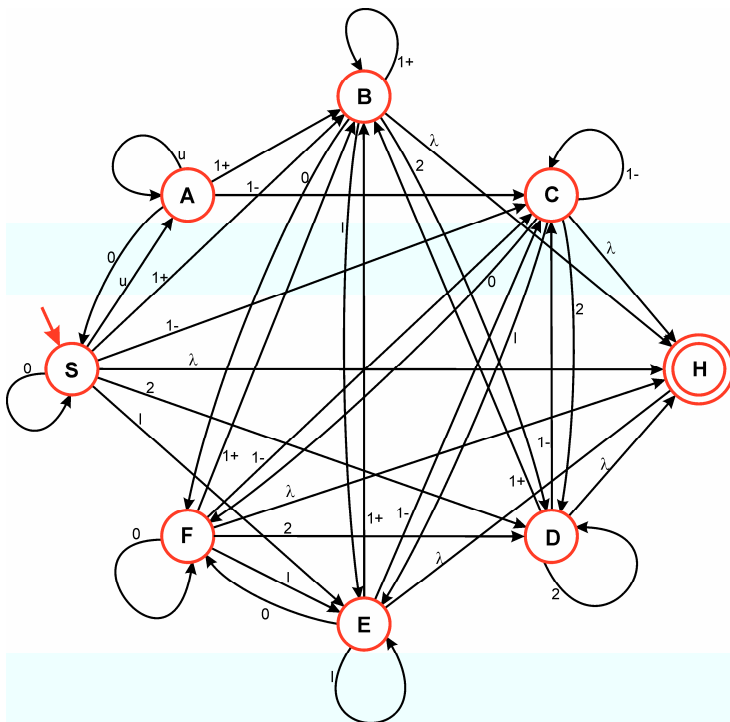
$N = \{A, B, C, D, E, F\}$

Ovako definisana gramatika G predstavlja regularnu gramatiku tipa 3 po klasifikaciji Chomsky-og. Jedna od reči koja se može kreirati ovom gramatikom je data sa:

$CS0 * CSu * CS1+ * CS2 * CS1+ * \lambda$

(4)

gde * predstavlja Klinovu zvezdu.



Slika 3: Konačni automat u formi akceptora koji prihvata sve regularne sekvence procesa cilindričnog spajanja

Na osnovu gramatike G moguće je kreirati akceptor konačnih stanja $FSA = (Q, T, f, S)$ prikazan na slici 3. Dati FSA predstavlja minimalan deterministički automat. Svaki regularan proces spajanja (koji se može opisati sekvencom koja se sastoji iz prelaza kontaktnih stanja datih u tabeli 1) će biti prihvaćen od strane FSA.

Jezik L nije živ jezik. Njega je moguće dopuniti do živog jezika L_d koji sadrži stringove koji predstavljaju sve moguće kombinacije kontaktnih stanja. Za jezik L_d je moguće formirati konačni automat u formi akceptora $FSA_d = (Q_1, T, f_1, S)$ koji će pored regularnih prihvatiti i sve neregularne sekvence u toku procesa cilindričnog spajanja.

Prilikom izvođenja eksperimenata o kojima će biti reči u odeljku 6, došlo je do pojave stick-slip efekta. U datim slučajevima FSA nije prihvatio reči – sekvence kontaktnih

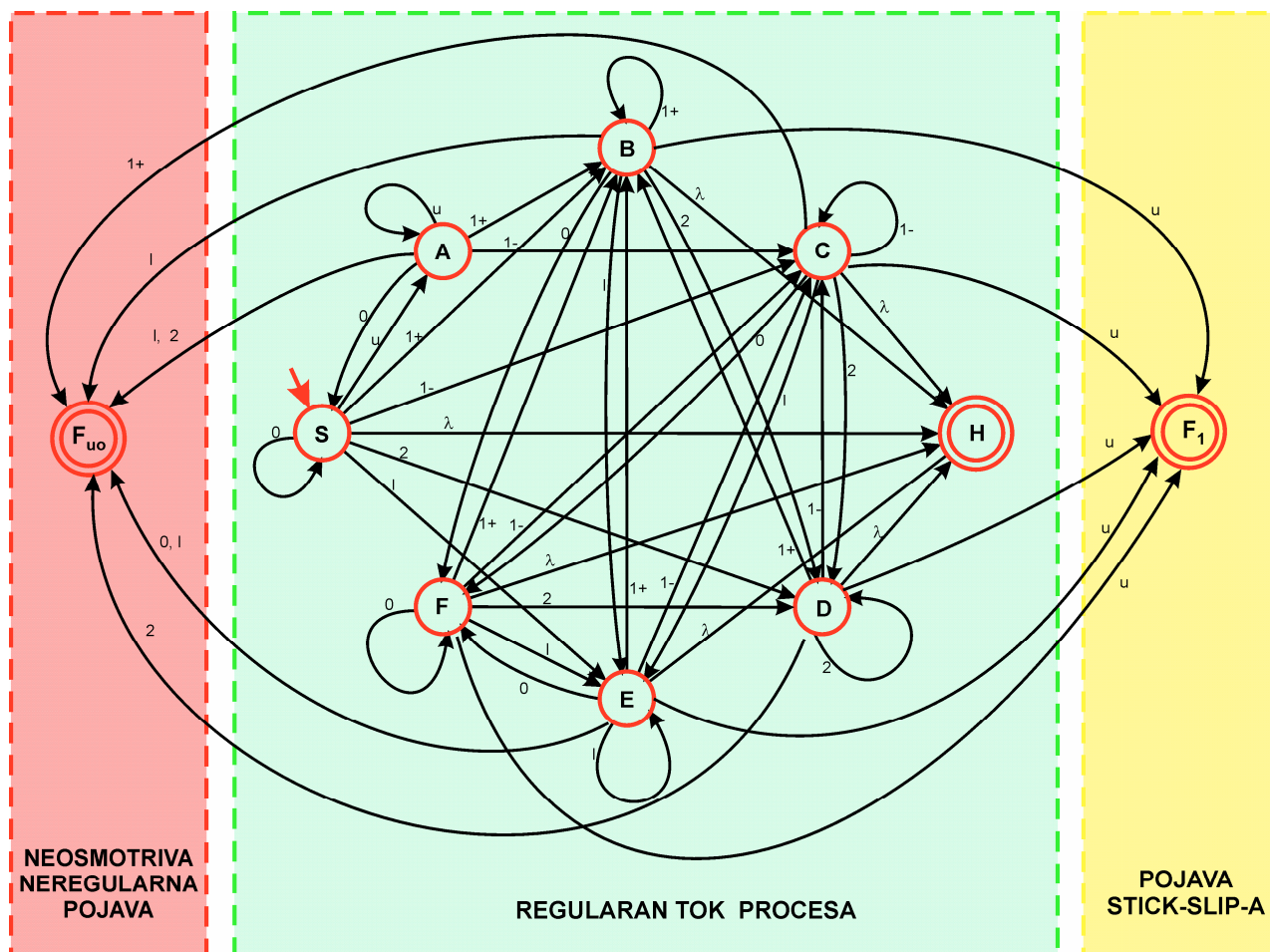
stanja koja su se pojavila u toku procesa spajanja. Naime, mašina za prepoznavanje kontaktnih stanja je prepoznala kontaktno stanje CSu nakon pojave kontaktnog stanja CS2. Ovakva sekvenca u regularnom procesu spajanja nije moguća. Daljom analizom je utvrđeno da prepoznavanje CSu u određenom kontekstu implicira pojavu stick-slip efekta. Sledeće reči govore da je u procesu došlo do stick-slip-a:

$$\Sigma_{f01} = \{CS1+CSu, CS1-CSu, CS1CSu, CS2CSu, CS1+CS0^*CSu, CS1-CS0^*CSu, CS1CS0^*CSu\} \quad (5)$$

Navedene reči se mogu opisati sledećim pravilima:

- S** → CS1+B|CS1-C|CS1E|CS2D
- B** → CSuF₁|CS0F
- C** → CSuF₁|CS0F
- D** → CSuF₁|CS0F
- E** → CSuF₁
- F** → CSuF₁|CS0F

koja se mogu dodati u automat FSA.



Slika 4: Konačni automat u za dijagnostiku procesa cilindričnog spajanja

Stick-slip je u procesu cilindričnog spajanja sa uvodnikom osmotriva neregularnost koja se opisuje rečima datim u okviru Σ_{f01} . Sve ostale neregularnosti koje nisu sadržane u rečima jezika L i u Σ_{f01} pripadaju stringovima iz skupa Σ_{u0} . One označavaju neosmotrive neregularnosti i mogu se opisati sledećim sekvencama:

$$\Sigma_{u0} = \{CSuCS1, CSuCS2, CS1+CS1-, CS1-CS1+, CS2CS0, CS2CS1, CS1CS2\} \quad (6)$$

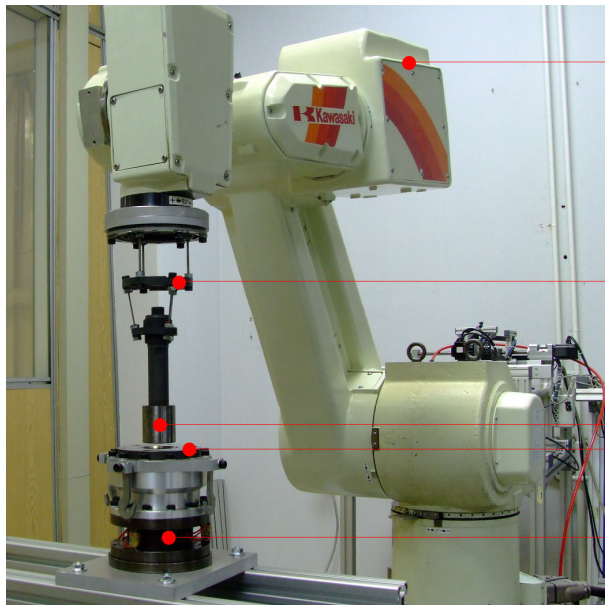
Sledeća pravila opisuju reči iz Σ_{uo} :

$S \rightarrow CSuA|CS1+B|CS1-C|CSIE|CS2D$
 $A \rightarrow CSIF_{uo}|CS2F_{uo}$
 $B \rightarrow CS1-F_{uo}$
 $C \rightarrow CS1+F_{uo}$
 $D \rightarrow CS0F_{uo}|CSIF_{uo}$
 $E \rightarrow CS2F_{uo}$

Ukoliko se pored pravila koja opisuju pojavu stick-slip efekta u automat FSA dodaju i pravila koja opisuju i sve ostale neosmotrivne neregularne pojave u procesu, moguće je formirati automat FSA_d prikazan na slici 4. FSA_d će prihvatiti sve sekvence procesa spajanja bilo da su one regularne ili ne. Sve regularne sekvence procesa spajanja se dešavaju u delu automata koji odgovara FSA. Ulazak u stanje F_1 automata FSA_d govori o pojavi stick-slip efekta, dok ulazak u stanje F_{uo} govori da se u sistemu za spajanje dešava neka nepoznata neregularna pojava. Nakon ulaska u stanja F_{uo} ili F_1 proces spajanja je neophodno zaustaviti.

6. EKSPERIMENTALNA VERIFIKACIJA

U cilju provere funkcionalnosti predložene metodologije za dijagnostiku procesa spajanja izvršen je niz eksperimenata u Zavodu za mašine alatke Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Iako su eksperimenti vršeni u laboratoriji, imajući u vidu stanje eksperimentalne opreme, a pre svega industrijskog robota, ne može se reći da uslovi izvođenja eksperimenata značajno kontrolisani u odnosu na uslove u okviru proizvodnog pogona.



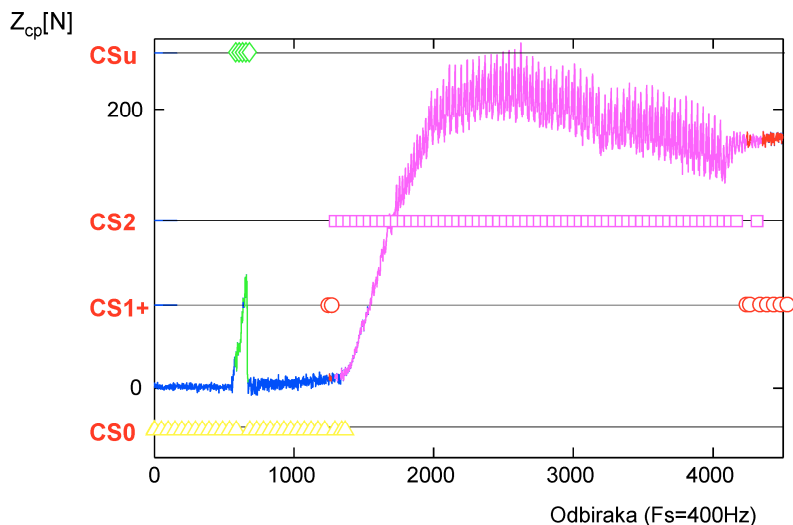
Slika 5: Eksperimentalna instalacija

postavljen pokretni objekat - čep. Na radnom stolu se nalazi šestokomponentni softverski dekuplovan senzor sile takođe konstruisan u Centru za nove tehnologije Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu [11, 13]. Senzor je baziran na mernim trakama zalepljenim na popustljive elemente. Na senzor sile je postavljen objekat iz okruženja - otvor

Čep i otvor poluprečnika $R=20\text{mm}$ sa zazorom od $20\mu\text{m}$ i uvodnikom $3/45^\circ$ su izrađeni od cementiranog čelika. U toku izvođenja eksperimenta kontaktne površine su blago zauljene i ostvaren je koeficijent trenja $\mu=0.17$.

Kondicioniranje i akvizicija signala sa mernih traka je izvršena pomoću Spider akvizicionog sistema. Merni opseg od $\pm 3\text{mV/V}$ je konvertovan sa rezolucijom od 50000 kvantova i frekvencom odabiranja od 400Hz.

Obrada prikupljenih signala i prepoznavanje kontaktnih stanja je izvršeno metodologijom prikazanom u [2, 3].



Slika 6: Vertikalna komponenta sile spajanja u toku jednog regularnog procesa spajanja paralelno sa rezultatima prepoznavanja kontaktnih stanja

Snimljena vertikalna komponenta sile spajanja u toku jednog regularnog procesa paralelno sa rezultatima prepoznavanja kontaktnih stanja je prikazana na slici 6.

Tokom ovog procesa spajanja je formirana sledeća rečenica:

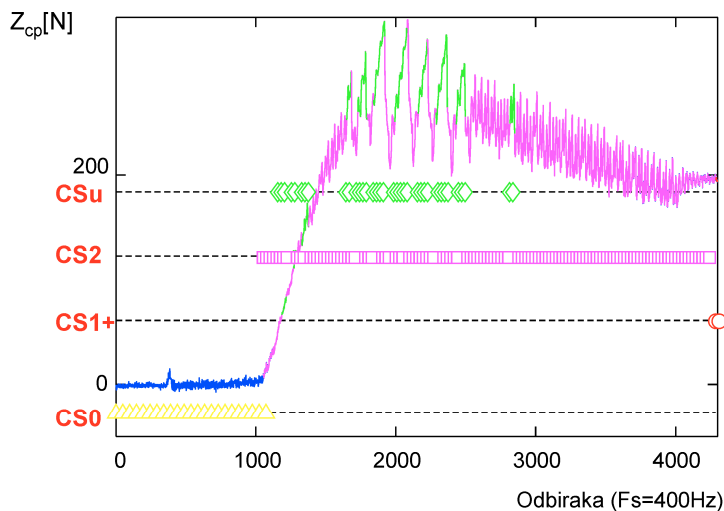
$$CS0*CSu*CS0*CS1+*CS2*CS1+* \quad (7)$$

Ova rečenica se prepoznaje u okviru dela automata FSA_d koji odgovara automatu FSA . Automat FSA_d ne ulazi ni u stanje F_1 ni u stanje F_{u0} koja odgovaraju pojavi stick-slip efekta odnosno neosmotrivim neregularnim događajima, respektivno.

Prilikom izvođenja određenog broja eksperimenata mašina za prepoznavanje kontaktnih stanja [1, 2] je prepoznala pojavu kontaktnog stanja CSu van konteksta. Došlo je do pojave CSu nakon pojave CS2 što u regularnom toku procesa spajanja nije moguće. Vertikalna komponenta sile spajanja u toku jednog takvog eksperimenata paralelno sa rezultatima prepoznavanja kontaktnih stanja prikazana je na slici 7. Rečenica koja odgovara ovom procesu spajanja:

$$CS0*(CS2*CSu*)*CS2 CS1+ \quad (8)$$

Nije prihvaćena od strane FSA .



Slika 7: Vertikalna komponenta sile spajanja u toku procesa spajanja sa stick-slip efektom paralelno sa rezultatima prepoznavanja kontaktnih stanja

Prilikom izvođenja ovih eksperimenata brzina spajanja je bila mala - 4mm/s. Analizom generisanih sila i poređenjem njihovog karaktera sa karakterom sila koje deluju na blok tokom njegovog vučenja malom

brzinom preko opruge kada se javlja stick-slip efekat [3] može se zaključiti da je ovde upravo došlo do pojave stick-slipa. Takođe, posmatrači eksperimenta su na osnovu relativnog kretanja delova u kontaktu i pojave karakterističnog zvuka došli do zaključka da je došlo baš do pojave ovog efekta.

Analizom eksperimenata u kojima je došlo do pojave stick-slip-a formirane su rečenice date u relaciji (5) i na osnovu njih deo automata FSA_d koji se koristi za dijagnostifikovanje pojave stick-slipa. Dakle, u slučaju da se u procesu pojavi stick-slip automat FSA_d će ući u stanje F_1 .

7. ZAKLJUČAK

Sistemi za prepoznavanje kontaktnih stanja su koncipirani tako da će uvek prepoznati neko od raspoloživih (generisanih topološkim modelom) kontaktnih stanja čak i u slučaju kada se u procesu dešavaju neke nepredviđene pojave. U ovom radu je pokazano da se kontaktna stanja u procesu spajanja pojavljuju samo u određenom kontekstu. Pojava ("prepoznavanje") kontaktnog stanja van njegovog konteksta ukazuje na pojavu nekih neregularnih situacija. Kao formalni okvir za prepoznavanje konteksta pojave kontaktnih stanja u ovde je iskorišćena teorija automata bazirana na primeni veštačkih jezika. Pokazano je da je polazeći od kontaktnih stanja kao dalje nedeljivih simbola moguće formirati azbuku kao osnovu za generisanje veštačkog jezika čije su reči prihvatljive sekvence (trajektorije kroz prostor) kontaktnih stanja.

Proširivanjem ovako dobijenog jezika moguće je dobiti živi jezik koji će sadržati sve moguće sekvence kontaktnih stanja, bile one regularne ili ne. Neke od neregularnosti koje se mogu pojaviti u procesu su osmotrive, a neke ne.

Za generisani živi jezik formira se konačni automat u formi akceptora. Ovaj automat pored toga što prepoznaje sve regularne trajektorije kontaktnih stanja, vrši i dijagnostiku neregularnosti u procesu. Ukoliko se pojavi osmotriva neregularnost, automat će biti u stanju da je tačno dijagnostikuje. Neosmotrive neregularnosti se prepoznaju zbirno – prepoznaje se da je došlo do pojave neregularnosti, ali ne i tačno o kojoj neregularnosti se radi.

Data metodologija je primenjena i eksperimentalno verifikovana na primeru cilindričnog spajanja sa uvodnikom. Za ovaj slučaj spajanja je formiran automat koji pored prepoznavanja regularnog toka spajanja vrši i prepoznavanje neregularnosti u procesu. U konkretnom slučaju moguće je izvršiti prepoznavanje pojave stick-slip efekta kao osmotrive neregularnosti i prepoznavanje pojave svih ostalih neosmotrivih neregularnosti u procesu.

Konstrukcijom odgovarajućeg akceptora moguće je formirati mašine za dijagnostiku procesa spajanja za različite klase spojeva bilo da se radi o spajanju tipa čep u otvor različitih poprečnih preseka, bilo da se radi o nekim drugim klasama spojeva, npr. tipa kvadar u tetraedar. Takođe, informacije dobijene u toku rada automata mogu se dalje iskoristiti za identifikaciju nekih neosmotrivih neregularnosti i proširenje automata u smislu prevođenja određenog broja neregularnosti iz klase neosmotrivih u klasu osmotrivih.

8. REFERENCE

- [1] Jakovljević, Ž., Učenje i kontekstno prepoznavanje procesa spajanja u robotizovanoj montaži, doktorska disertacija, Mašinski fakultet u Beogradu, 2010
- [2] Jakovljevic, Z., Petrovic, P., B., Recognition of Contact States in Robotized Assembly Using Qualitative Wavelet Based Features and Support Vector Machines. In: Hinduja S, Li L (ed) Proceedings of the 36th International MATADOR Conference, 1st edn. Springer Verlag London Ltd, pp. 305-308, 2010
- [3] Shirinzadeh, B., Zhong, Y., Tilakaratna, P., D., W., Tian, Y., Dalvand, M., M., A hybrid contact state analysis methodology for robotic-based adjustment of cylindrical pair, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 52, pp. 329-342, 2011

- [4] Gadeyne, K., Lefebvre, T., Bruyninckx, H., Bayesian hybrid model-state estimation applied to simultaneous contact formation recognition and geometrical parameter estimation. *International Journal of Robotic Research*, Vol. 24, pp. 615-630, 2005
- [5] Xiao, J., Liu, L., Contact states, Representation and recognizability in the presence of uncertainties, *Proceedings of International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 1151-1156, Victoria, Canada, 1998
- [6] Milačić, V., Bojanić, P., Milačić, M., *Tehnička kibernetika*, Mašinski fakultet Beograd, 1994
- [7] Parkes, A., P., *A Concise Introduction to Languages and Machines*, ISBN:978-1-84800-120-6, Springer-Verlag, London, 2008
- [8] Paoli, A., Lafortune, S., Safe diagnosibility for fault-tolerant supervision of discrete-event systems, *Automatica*, Vol. 41, pp. 1335-1347, 2005
- [9] Sampath, M., Sengupta, R., Lafortune, S., Sinnamohideen, K., Teneketzis, D., Diagnosibility of Discrete-Event Systems, *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol. 40, pp. 1555-1575, 1995
- [10] Sampath, M., Sengupta, R., Lafortune, S., Sinnamohideen, K., Teneketzis, D., Failure Diagnosis Using Discrete-Event Models, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, Vol. 4, pp. 105-123, 1996
- [11] Petrovic, P., B., *Istraživanje i razvoj sistema za adaptivno spajanje delova u montaži primenom robota*, Magistarski rad, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 1989.
- [12] Arai, T., Application of knowledge engineering on automatic assembly of parts with complicated shapes, *Proceedings of the sixth ICAA*, pp. 67-76, 1985
- [13] Petrović, P., Milačić, V., Višekomponentni senzor sile za robotizovanu montažu, *Zbornik radova 8. jugoslovenskog simpozijuma CIM u strategiji tehnološkog razvoja industrije prerade metala*, pp. 191-200, Cavtat, 1989

DESIGN OF CONTACT STATES ACCEPTOR FOR AUTOMATED ASSEMBLY

Abstract

Recognition of contact states between parts during mating process represents a significant element of the system for active compliance robot motion. In the field of design of information machines for contact states recognition there have been some previous work. All proposed machines will recognize some of the available contact states regardless the mating process regularity. Even when there is some of nonregular events in the process (stick-slip, jamming, wedging, e.g.) some of the contact states will be recognized. In order to find out whether the given part mating process is regular it would be convenient to create a kind of system for part mating process monitoring.

Since the contact states during process do not come arbitrary but in certain context, in this paper we give a framework for recognition and diagnosis of non-regularities in the part mating process. The framework is based on general theory of automata and languages. Starting from possible regular contact states transitions in part mating, an automaton which accepts all regular sequences of contact states transitions is created. This automaton is supplemented to the automaton for diagnostics which besides all regular contains all non-regular process sequences. The automaton for diagnosis is created in such a way that it can recognize all the observable and unobservable non-regularities within the process.

Proposed methodology is elaborated and experimentally verified using an example of cylindrical part mating with chamfer crossing.



Miroslav Pilipović¹

KOMPJUTERSKO NADZORNO UPRAVLJANJE – PRIMER LABORATORIJE ZA AUTOMATIZACIJU PROIZVODNJE

Rezime

Automatizacija proizvodnje primenjuje kompjutersku tehnologiju u realizaciji sistema upravljanja programabilnom opremom – osnovom savremene automatizacije i fabrika budućnosti. U radu je definisan koncept i struktura kompjuterskog nadzornog upravljanja – SCADA sistema primenjen za potrebe savremene automatizacije proizvodnje. Dat je primer sistema nadzornog upravljanja Laboratorije za automatizaciju proizvodnje, baziran na domaćem hardveru (programabilnim kontrolerima) i softveru (SCADA) i njegova primena u nastavi i istraživanju.

1. UVOD

Koncepti savremene proizvodnje kao što su fleksibilna automatizacija, kompjuterski integrisana proizvodnja, holonički proizvodni sistemi, agilni proizvodni sistemi, inteligentni proizvodni sistemi i drugi, su stepenice u pravcu razvoja fabrika u 21. veku - fleksibilne, potpuno automatizovane i po nekim vidjenjima inteligentne fabrike bez ljudi. Svi navedeni koncepti za osnovu imaju programabilnu automatizaciju i savremenu proizvodnu programabilnu opremu kao što su CNC mašine alatke, industrijski roboti i drugi automatizovani sistemi. Savremena programabilna oprema koristi kompjutersku tehnologiju u realizaciji sistema upravljanja. U primeni su specijalizovani sistemi upravljanja (*CNC* upravljačke jedinice, robot upravljačke jedinice, ćelijski kontroleri), industrijski sistemi upravljanja opšte namene (programabilni kontroleri – *PLC*, kontroleri programabilne automatizacije – *PAC*), direktno digitalno upravljanje - *DDC*, kompjutersko nadzorno upravljanje itd. Ne ulazeći u detalje svih sistema kompjuterskog upravljanja u radu se daje koncept kompjuterskog nadzornog upravljanja i njegova primena u savremenoj automatizaciji proizvodnje sa primerima koncepta primenjenog u Laboratoriji za automatizaciju proizvodnje Univerziteta u Beogradu – Mašinski fakultet, za potrebe nastave i istraživanja.

2. KOMPJUTERSKO NADZORNO UPRAVLJANJE

Nadzorno upravljanje i prikupljanje podataka je u primeni koliko i sistemi upravljanja tj. nadzorno upravljanje i praćenje rada sistema realizovano je i kod prvih (konvencionalnih) sistema upravljanja. Informacije o procesu dobijane su od davača i primenom tabli (panela) odgovarajućih instrumenata (voltmetar, ampermetar, brzinomer, manometar i sl.), grafičkih pisača, signalnih sijalica, prikazivane operateru i omogućavale čoveku da donosi odluke o upravljanju procesom. Operater je primenom komandnih dugmadi, tastera, potencijometarskih prekidača, obrtnih prekidača i drugih ručno aktiviranih komandi, uključivao i isključivao motore, razvodnike i ventile i druge aktuatore, podešavao parametre procesa kojim se upravljalo, i pomoću upravljačkog sistema ostvarivao željeno ponašanje. Komunikacija davača i aktuatora sa instrument tablom, kod prvih sistema, ostvarivana je žičnim vezama. Ovakvi sistemi upravljanja, u kojima čovek vrši nadzor i ima mogućnost podešavanja parametara procesa i danas su u primeni u velikom broju proizvodnih pogona i u savremenoj industriji.

Kompleksni sistemi sa objektima upravljanja na udaljenim lokacijama su takodje imali potrebu za primenu nadzornog upravljanja i pre svega prikupljanja velikog broja informacija o procesu. Primer su železnica i drugi vidovi javnog transporta, rudnici, meteorološke stanice, seizmičke stanice i drugo, sa objektima upravljanja i mernim sistemima na lokacijama od nekoliko stotina metara do hiljadu i više

¹ Prof. dr Miroslav Pilipović,
Mašinski fakultet Beograd, Kraljice Marije 16, e-mail:mpilipovic@mas.bg.ac.rs

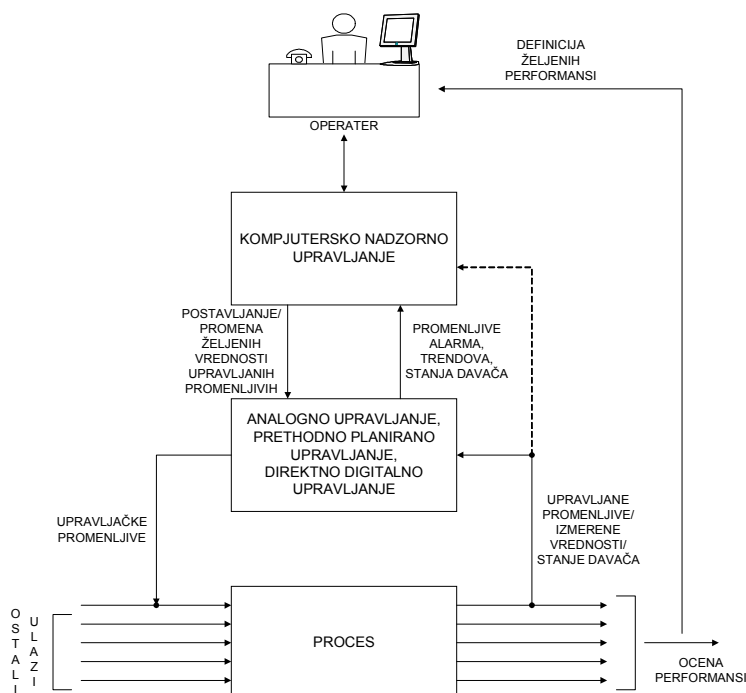
kilometara. Takođe tu su i sistemi sa pokretnim objektima kao što su brodovi, avioni, rakete i svemirski program istraživanja. Krajem devetnaestog i početkom dvadesetog veka počelo je razvijanje **telemetrije** - tehnologije koja je omogućila merenje i dostavljanje informacija sa udaljenih lokacija.

Prvi sistemi sa primenom telemetrije koristili su ožičenu vezu za prikupljanje i slanje informacija o procesu. Primeri datiraju iz druge polovine devetnaestog veka i početka dvadesetog veka u više oblasti (vojska, železnica, meteorologija i drugo). U početku komunikacija je bila jednosmerna – telemetrija se koristila za prikupljanje informacija. Kasniji razvoj pokazao je potrebu za podešavanjem parametara procesa odnosno dvosmernu komunikaciju – slanje komandi upravljačkom sistemu – telekomande. U prvoj polovini dvadesetog veka imamo napredak u razvoju radio komunikacija i primenu bežične veze u telemetriji odnosno termin **radio telemetrija**.

Danas termin telemetrija uobičajeno podrazumeva bežični mehanizam prenosa podataka (primenu radio komunikacija) ali obuhvata i prenos podataka preko drugih medija kao što su telefonske linije, kompjuterske mreže, optički kablove i druge ožičene veze.

Kompjuterske tehnologije i nadzorno upravljanje. Brz razvoj elektronike i kompjuterskih tehnologija u drugoj polovini dvadesetog veka ubrzao je uvođenje i primenu kompjuterskog upravljanja u industrijskoj proizvodnji i drugim oblastima. Od 1970-ih godina imamo razvoj kompjuterskih komunikacionih mreža i kompjuterski integrisanih sistema. Između ostalog od 1970-ih godina imamo primenu kompjutera u nadzornom upravljanju i pojavu termina **SCADA - Supervisory Control and Data Acquisition**. Danas termin **SCADA** podrazumeva kombinaciju telemetrije i kompjuterskih tehnologija u prikupljanju i obradi informacija i primenu kompjutera u nadzornom upravljanju [1].

Kompjutersko nadzorno upravljanje označava sisteme u kojima kompjuter nadzire i upravlja procesom i optimizira izabrane performanse procesa [5, 6]. Primeri performansi koje se mogu optimizirati kod primene SCADA sistema u upravljanju proizvodnim industrijskim procesima su: max. proizvodnost, minimalni troškovi, minimalno vreme i drugo. Kompjutersko nadzorno upravljanje daje direktive i komande upravljanju na nivou procesa. Relacija između kompjuterskog nadzornog upravljanja i kompjuterskog upravljanja procesom data je na slici 1. [5].



Slika 1. Relacija između kompjuterskog nadzornog upravljanja i kompjuterskog upravljanja procesom

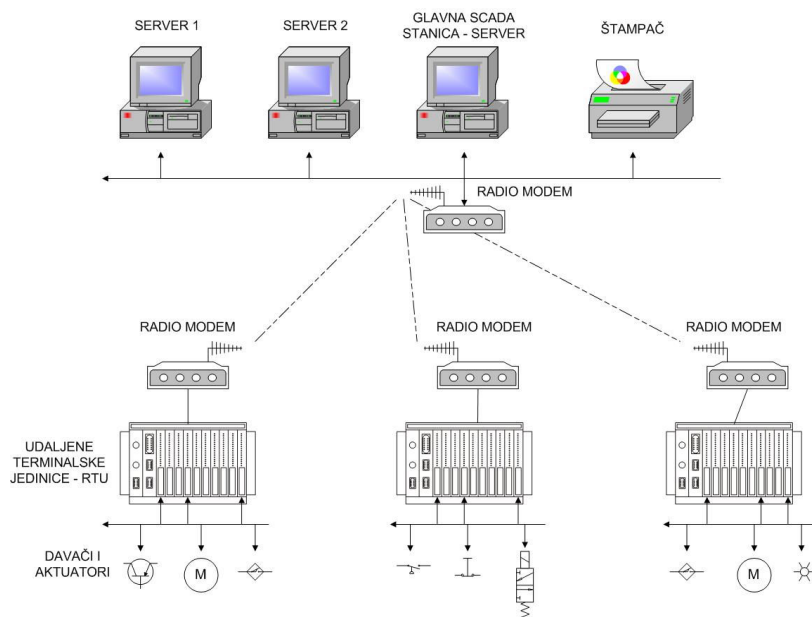
SCADA sistemi imaju primenu u svim oblastima industrije u kojima se primenjuje kompjutersko upravljanje, u infrastrukturnim procesima i u upravljanju složenim objektima i sistemima. Posebno se ističu: industrijski proizvodni procesi u kontinualnoj, grupnoj/šaržnoj i diskretnoj proizvodnji u svim značajnim industrijama (automobilska industrija, mašinogradnja, rudarstvo, vazduhoplovna industrija, petrohemija, energetika, hemijska industrija, prehrambena industrija, industrija proizvodnje papira, naftna industrija, metalurgija, industrija proizvodnje gume, industrija proizvodnje stakla, industrija proizvodnje gasa), infrastrukturni procesi (prerada i distribucija vode, prikupljanje i prerada otpadnih voda, distribucija nafte i

gasa, distribucija električne energije), složeni objekti i sistemi (aerodromi, zgrade, brodovi, transportni sistemi).

3. KONCEPT SCADA SISTEMA

Termin *SCADA* danas podrazumeva kompjuterizovan sistem za nadzor i upravljanje kompleksnim sistemima čije su komponente rasporedjene u velikoj zoni – oblasti (industrijski pogoni, više pogona, čak i prostor jedne ili više zemalja). Većina upravljačkih akcija realizuje se kompjuterskim upravljanjem ili direktnim digitalnim upravljanjem na nivou procesa pomoću udaljenih terminalskih jedinica i drugih upravljačkih sistema. Funkcije upravljanja sa nadzornog kompjuterskog sistema su po pravilu ograničene na promenu parametara procesa u cilju optimizacije ili bezbednosti rada, na sprečavanje havarije i slično i definišu karakteristike upravljanja na najvišem – nadzornom nivou koje obezbeđuje opšte željene performanse procesa. Prikupljanje podataka o procesu obavlja se na nivou udaljenih terminalskih jedinica pomoću davača – senzora, i pomoću komunikacione mreže šalje glavnoj kompjuterskoj stanici SCADA sistema po unapred planiranoj i programiranoj proceduri (periodično ili na poseban zahtev). Podaci se u glavnoj kompjuterskoj stanici obrađuju, formatizuju i koristeći interfejs čovek mašina (*HMI – Human Machine Interface*) prikazuju operateru (najčešće grafički prikaz rada sistema ili delova sistema). Ovo omogućava operateru da vrši funkciju nadzora (ima uvid u stanje i rad sistema) i da donosi odgovarajuće odluke i po potrebi sprovodi intervencije koje globalno utiču na rad sistema. Podaci o radu sistema se sredjuju u bazi podataka, i omogućavaju uvid u istoriju rada sistema, praćenje trendova i izradu drugih analitičkih pregleda. SCADA sistemi tipično koriste distribuiranu bazu podataka najčešće poznatu kao «*Tag*» baza podataka koja sadrži elemente koji se nazivaju *Tag*-vi ili tačke – «*Points*».

Primer SCADA sistema sa udaljenim terminalskim jedinicama dat je na slici 2. Udaljene terminalske jedinice u primeru na slici 2. realizovane su primenom programabilnih logičkih kontrolera sa radio komunikacijom sa nadzornim sistemom. Nadzor realizuje niz servera – stanica medjusobno povezanih u lokalnoj komunikacionoj kompjuterskoj mreži.



Slika 2. Primer SCADA sistema sa radio komunikacijama

SCADA hardver. SCADA sistemi mogu biti manje ili više kompleksni zavisno od oblasti primene. Uobičajena struktura hardvera obuhvata sledeće komponente: instrumenti, senzori i aktuatori u pogonu; udaljene terminalske jedinice – obezbeđuju povezivanje instrumenata iz pogona i komunikaciju sa glavnom kompjuterskom stanicom; komunikacioni sistem – obezbeđuje komunikaciju između glavne kompjuterske stanice i udaljenih terminalskih jedinica; glavna *SCADA* kompjuterska stanica - prikuplja podatke sa udaljenih terminalskih jedinica, prikazuje informacije i obezbeđuje upravljanje uređajima na udaljenim lokacijama; komercijalni kompjuterski sistem za obradu podataka – obezbeđuje obradu informacija i bazu podataka za sve strukture menadžmenta.

SCADA softver. Osnovne tri komponente softvera glavne SCADA stanice su: operativni sistem (*Windows* i razne varijante *UNIX* sistema), sistemski SCADA softver, i SCADA aplikacioni softver. Prisutan je i neophodan firmver (*firmware*), na primer BIOS koji predstavlja interfejs između operativnog sistema i hardvera kompjuterskog sistema. Sistemski SCADA softver obuhvata integrisani softver isporučioaca konfigurisan za specifičnog korisnika. Uopštem slučaju identifikuju se četiri glavna modula SCADA sistemskog softvera: prikupljanje podataka, upravljanje, arhiviranje podataka i baza podataka, interfejs čovek mašina – HMI.

Interfejs čovek mašina – HMI. Korisnički interfejs prikazuje podatke i proces operateru i omogućava mu upravljanje procesom. Standardno, HMI je povezan sa SCADA bazom podataka i koristi kompjutersku grafiku i čitav niz softvera navedenog napred. Korisnički interfejs obezbeđuje grafički prikaz rada i stanja sistema, informacije o trendovima i alarmima, dijagnostičke podatke, po potrebi detaljni prikaz stanja pojedinih komponenti ili mašina sve do stanja i prikaza statusa pojedinačnih senzora i aktuatora.

Alarmi. Važan deo većine SCADA sistema je rukovanje alarmima. Alarmna stanja su nedozvoljene ili kritične vrednosti promenljivih iz procesa koje zahtevaju akciju operatera. Sistem je programiran da odluči da li je uslov pojave alarma zadovoljen tj određuje da li se događaj koji definiše alarm pojavio. Kada je alarm detektovan, jedna ili više akcija se preduzimaju, između ostalog u većini slučajeva operater mora da potvrdi da je primio alarma a zatim da preduzme akciju za njegovo brisanje – poništavanje. Važni alarmi, pored uobičajenog prozora na ekranu koji identifikuje alarm, mogu da se signaliziraju i zvučnim signalom, trepernjem slike na ekranu ili na neki drugi način lako uočljiv za operatera.

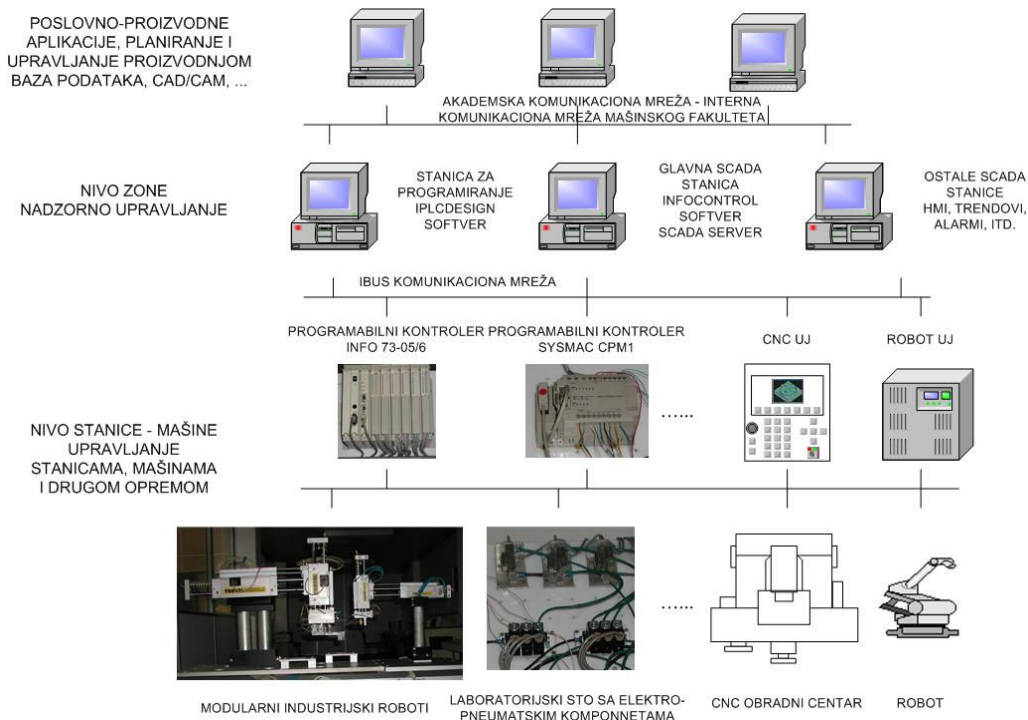
Trendovi. Funkcija trendova u SCADA sistemima omogućava korisniku praćenje vrednosti jedne ili više promenljivih u realnom vremenu sa grafičkim prikazom (graf, histogram ili neki drugi prikaz). Takođe moguće je pratiti istoriju promene posmatranih promenljivih, dobiti odgovarajuće štampane izveštaje ili eksportovati podatke u neki eksterni softver za dalje analize.

4. LABORATORIJA ZA AUTOMATIZACIJU PROIZVODNJE – PRIMER NADZORNOG UPRAVLJANJA

U okviru Laboratorija za automatizaciju proizvodnje, formirana je laboratorijska osnova za edukaciju i istraživanje u oblasti savremene automatizacije sa posebnim akcentom na programabilnu i fleksibilnu automatizaciju. Jedan od pravaca istraživanja, koji zaokružava savremene koncepte automatizacije, je i razvoj sistema kompjuterskog nadzornog upravljanja.

Polazeći od ranije definisanog koncepta laboratorije orijentisanog na istraživanje i razvoj programabilne automatizacije i u okviru nje primenu različitih sistema kompjuterskog upravljanja, formiranjem hijerarhijske struktura komunikacione mreže kompjutera i sistema upravljanja i uvodjenjem SCADA softvera svorena je osnova za dalje istraživanje u oblasti kompjuterskog nadzornog upravljanja (slika 3.). Na naj višem nivou su kompjuteri u okviru akademske komunikacione mreže – lokalna komunikaciona mreža Mašinskog fakulteta sa radnim stanicama za zadatke viših nivoa upravljanja (poslovno-proizvodne aplikacije, planiranje i upravljanje proizvodnjom, CAD/CAM, itd), dok su dva nivoa odvojena za kompjutersko nadzorno upravljanje. Na jednom nivou (nivo zone – pogona) su SCADA radne stanice (SCADA glavna radna stanica, stanica za programiranje PLC-a i po potrebi ostale radne stanice za specifične SCADA funkcije) a na najnižem nivou (nivo proizvodnih stanica i mašina) su programabilni kontroleri i drugi sistemi upravljanja povezani sa SCADA stanicama komunikacionom mrežom IBUS. U edukaciji u okviru studentskih vežbi i projekata koristi se domaći programabilni kontroler Informatika serije Info 73 povezan sa modularnim robotima „Trayal“ i laboratorijskim stolom sa različitim aktuatorima i senzorima. Za potrebe kompleksnijih istraživanja moguće je u mrežu uključiti i druge programabilne kontrolere, CNC mašine i robote iz Zavoda za mašine alatke.

SCADA softver. U Laboratoriji za automatizaciju proizvodnje instaliran je InfoControl SCADA softver kompanije Informatika koji omogućava projektovanje i rad SCADA aplikacije zajedno sa programabilnim kontrolerima Info i MicroInfo povezanih preko industrijske mreže IBUS. Karakteristika softvera *InfoControl* su [2]: distribuirana servisno orijentisana serverska arhitektura; ugrađeno multifunkcionalno jezgro za rad u realnom vremenu, centralizovana obrada alarma i izveštaja, automatsko obnavljanje konfiguracije preko mreže i pristup podacima iz svake tačke mreže. Za programiranje programabilnih kontrolera instalisan je *IplcDesign* softver sa programskim jezikom lestvičastih dijagrama [3].

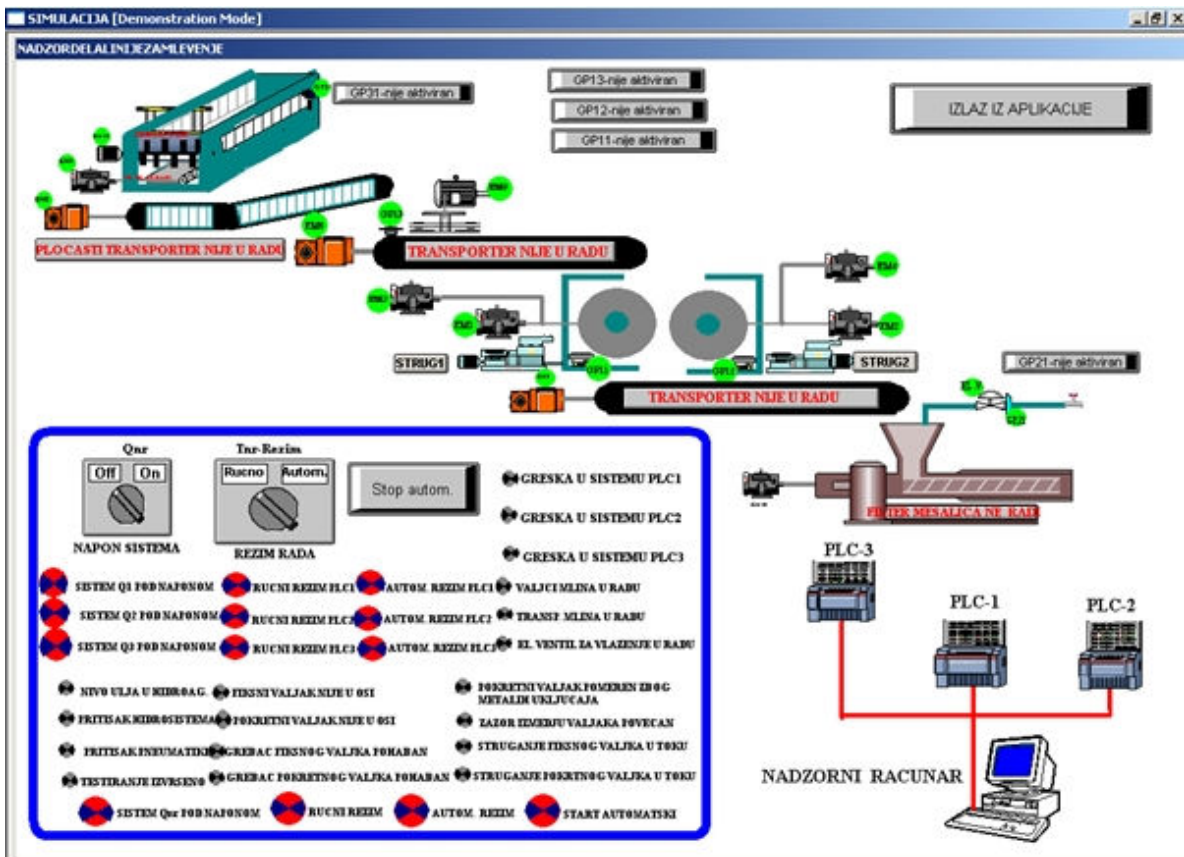


Slika 3. Struktura komputera i sistema upravljanja sa komunikacionom mrežom za istraživanje SCADA sistema u laboratoriji za automatizaciju proizvodnje

Prikazana hardver i softver konfiguracija koristi se za edukaciju i istraživanje. U okviru programa izbornog predmeta Kompjutersko upravljanje i nadzor u automatizaciji proizvodnje, studenti kroz rad na laboratorijskim vežbama i projektni zadatak stiču potrebna znanja o projektovanju, programiranju i uvodjenju nadzornog upravljanja. Primer laboratorijske vežbe sa zadatkom projektovanja nadzornog sistema za pneumatske robote tipa „uzmi i ostavi“ dat je na slici 4. Na slici je prikazan HMI interfejs za jedan pneumatski cilindar sa delom ekrana za alarme i trendove kao i definicija Tag baze podataka i odgovarajuća komunikaciona instrukcija u programu lestvičastih dijagrama za programabilni kontroler.

Slika 4. Primer SCADA HMI ekrana sa alarmima i trendovima, Tag bazom podataka i PLC komunikacijom

Složeni zadaci se rešavaju kroz izradu Master radova (diplomski radovi) i kroz istraživanja u okviru magistarskih i doktorskih teza uz primenu i drugog softvera i hardvera [4, 7]. Primer HMI interfejsa za nadzorno upravljanje delom linije za sekundarnu preradu gline dat je na slici 5.



Slika 5 .Primer SCADA HMI interfejsa za upravljenje delom linije za sekundarnu preradu gline [7]

5. ZAKLJUČAK

U savremenoj automatizaciji proizvodnje primena nadzornog upravljanja je u praktično svim industrijama, infrastrukturnim i drugim složenim sistemima. Prikazani primer hardver i softver instalacije laboratorijskog sistema za nadzorno upravljanje je osnova za edukaciju i istraživanje na master i doktorskim studijama i za saradnju sa industrijom.

LITERATURA

- [1] Bailey, D., Wright, E., *Practical SCADA for industry*, Elsevier, Oxford, 2003.
- [2] Informatika, *InfoControl SCADA sistem*, Informatika, Beograd 2009.
- [3] Informatika: *INFO 73 Programabilni kontroleri, Uputstvo za programiranje*, Informatika Beograd 1977.
- [4] Omron, *CX Supervisor, User manual, Software Release 1.1*, Omron 2001.
- [5] Mikell P. Groover, *Automation, Production Systems, and CIM*, Prentice-Hall, Inc. 1987.
- [6] Bollinger J., Duffie, N., *Computer Control of Machines and processes*, Addison-Wesley Publishing Company, 1988.
- [7] Tešić, J., *Upravljanje diferencijalnim mlinom za mlevenje smeše krečnjaka i laporaca*, Magistarska teza, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd 2004.

COMPUTER SUPERVISORY CONTROL - LABORATORY FOR THE MANUFACTURING AUTOMATION EXAMPLE

Summary

Automation of manufacturing applied computer technology in the realization of the programmable equipment control system - the basis of advance automation and the factory of future. The paper defines the concept and structure of computer supervisory control - SCADA system, applied for the automation of modern manufacturing. An example of supervisory control systems from the Manufacturing automation laboratory, based on domestic hardware (programmable controllers) and software (SCADA) and its application in education and research is given.

37. JUPITER KONFERENCIJA
sa međunarodnim učešćem

37th JUPITER CONFERENCE
with foreign participants

ZBORNİK RADOVA
PROCEEDINGS



17. simpozijum

MENADŽMENT KVALITETOM

Beograd, maj 2011.

MENADŽMENT KVALITETOM QUALITY

Majstorović, V. ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ IMS MODELA	5.1
Marković, B. VAZDUHOPLOVSTVO I ODBRAMBENA INDUSTRIJA KREĆU KA IZMENJENIM MEĐUNARODNIM STANDARDIMA	5.6
Stojadinović, S., Majstorović, V. PRIMENA VAST - MERNE TEHNOLOGIJE I OPTIČKIH METODA U RAZVOJU HOLISTIČKIH MERENJA U PROIZVODNOJ METROLOGIJI	5.12
Bojović, B., Kojić, D., Miljković, Z., Babić, B. ULOGA BRAZDA U FENOMENOLOGIJI POLIRANJA	5.18
Bulatović, M. KULTURA ORGANIZACIJE – ČINILAC POSLOVNE IZVRSNOSTI	5.24

← NAZAD



V. Majstorović¹

ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ IMS MODELA

Rezime: *Integrirani menadžment sistem, baziran na novom prilazu, koji obuhvata QMS, EMS i OHSAS (QES) je predmet istraživanja, koje je prikazano u ovom radu, a on se zasniva na procesnom modelu, menadžmentu rizikom i sistemu praćenja faktora integracije, koji zadovoljavaju tri nivoa integracije: korespodencija, koordinacija i integracija. Za sve nivoe integracije, primnjen je PDCA model, pri prjektovanju i razvoju IMS modela.*

Ključne reči: *IMS, Procesni prilaz, Menadžment rizikom, Sistem praćenja.*

1. Uvod

Uslovi poslovanja na početku druge decenije 21-og veka se karakterišu turbolentnim promenama uslova poslovanja, što od organizacija zahteva stalni razvoj i prilagođavanja menadžment sistema, posebno onih standardizovanog tipa. Njihov razvoj je počeo 80-tih godina, standardizacijom menadžment sistema za upravljanje kvalitetom, ISO 9001, koji je fokusiran na ispunjenje zahteva kupaca i kontinualna unapređenja [1]. Nešto kasnije, pod pritiskom civilnog sektora, kao i zakonskih rešenja, čiji je fokus bio na zaštiti životne sredine, ISO je doneo standard ISO 14001 [2]. Ubrzo posle ovoga, pažnja je usmerena na zaštitu zdravlja i bezbednost na radu, a posebno posle katastrofe nuklearne elektrane u Černobilu, što je rezultiralo standardom OHSAS 18001 [3]. Osnovni problem ovih menadžment sistema u primeni je da su oni predviđeni za pojedinačno korišćenje, što pojednostavljeno govoreći dovodi do dupliranja menadžment zadataka, procedura, zapisa i aktivnosti internih provera i preispitivanja menadžmenta, istovremenim korišćenjem/sertifikacijom ova tri standarda. Danas se sve više govori i piše, ne samo o primeni, već i o istraživanjima (pre svega razvojnim), integriranih menadžment sistema (IMS), koji obuhvata kvalitet, životnu sredinu i bezbednost – QES (quality, enviroment, safe). Zašto? Zato, što ova tri modela predstavljaju "main stream", razvoja i primene IMS-a. Istraživanja u ovoj oblasti, danas su posvećena različitim pitanjima, kao što su: tipovi i aspekti integracije, koristi i nedostaci različitih prilaza, modeli i metodologije korišćenja IMS-a. Govoreći uopšteno, sva ova pitanja u vezi sa istraživanjima IMS-a, mogu se definisati u dve grupe: (i) projektovanje i razvoj IMS modela, i (ii) primena i efekti primene. Ovaj rad pripada prvoj oblasti istraživanja, i prikazuje novi model projektovanja, razvoja za primenu IMS-a, koji se bazira na procesnom modelu, a takođe obuhvata model menadžmenta rizikom i sistem za praćenje parametara integracije, kroz nivoe: korespodencija, koordinacija i integracija. Model je podržan PDCA konceptom, a ovaj pristup klasifikacije nivoa integracije je predložen od istraživača iz Danske i Španije [4].

2. Prethodna istraživanja – pregled prilaza iz literature

Istraživanja za razvoj novog koncepta IMS-a, obuhvatila su tri standardizovana menadžment modela, i to za QMS, EMS i OHSAS. Sistem menadžmenta kvalitetom, poznat kao QMS model, verzija ISO 9001:2008, primenom u organizaciji izgrađuje model menadžmenta kvalitetom, podržan sa osam principa menadžmenta kvalitetom. Kontinualno unapređenje QMS-a primenjenog i razvijenog kao procesnog modela u organizaciji, izvodi se kroz četiri grupe procesa: odgovornost menadžmenta, menadžment resursima, realizacija proizvoda i merenja, analize i unapređenja. U stvarnosti, u ostvarivanju maksimalnog zadovoljstva kupca i efektivnosti organizacije, polazi se od zahteva kupca, kao ulaza u proces realizacije proizvoda, a kupčeva očekivanja su takođe ulaz u odgovornost / preispitivanje menadžmenta. Merenje zadovoljstva kupca, kao i merenje efektivnosti u organizaciji, predstavlja ulaz u proces kontinualnih unapređenja QMS-a.

Standardizovani menadžment sistem za menadžmet zaštitom životne sredine je prvi put izdat 1996. godine, a sada je aktuelna njegova verzija, usklađena sa ISO 9001:2008, ISO 14001:2009 (EMS). On se

¹ Prof. dr Vidosav D. MAJSTOROVIĆ, dipl. maš. inž., Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Laboratorija za proizvodnu metrologiju i TQM

koristi da razvoj i primenu politike zaštite životne sredine, a u primeni predstavlja alat koji organizaciji omogućuje, da upravlja uticajem njenih aktivnosti pri realizaciji proizvoda, na životnu sredinu, a na način da te uticaje u potpunosti otkloni ili ih svede na dozvoljenu meru. Model kontinualnih unapređenja, koji se realizuje korak po korak, u pet faza: politika zaštite životne sredine, planiranje, primena i operacije, provere i korektivne akcije i preispitivanje menadžmenta, realizuje se kroz PDCA model.

Treći menadžment sistem koji će se u našim istraživanjima razmatrati, odnosi se na zaštitu zdravlja i bezbednost zaposlenih, izdat je 1999. godine, a poslednja revizija je izvršena 2007. godine. Standard daje model za kreiranje i održavanje bezbednog radnog mesta. On je primenjiv za sve organizacije, jer uspostavlja sistem koji minimizira rizik bezbednosti po zaposlene. Važno je napomenuti da on ima istu strukturu kao ISO 14001:2009.

Prva istraživanja u vezi IMS-a, su počela 1996. godine [5], kada je predložen prvi model za integraciju QS(tadašnji naziv QMS-a) i EMS-a. Kasnije, sa pojavom OHSAS-a, počela su istraživanja integracije ova tri modela. Sva istraživanja su mogu klasifikovati u tri kategorije: (i) sličnosti, (ii) kompatibilnost, i (iii) različitosti. Polazeći od ove tri karakteristike, drugi prilaz se zasniva na definisanju faktora uspešne integracije, što je na praktičnom primeru prikazano u [6]. On se odnosi na dve male kompanije, koje su primenom IMS-a ostvarila vidljiva unapređenja u sistemu OHSAS-a, kvalitetu usluge i zaštiti životne sredine. Grupa istraživača je u [4] je preložila tri nivoa integracije: korespodencija, koordinacija i integracija, kao model koji je najpovoljniji oblik za razvoj i primenu IMS-a u jednoj organizaciji. U [7] su definisani, na bazi istraživanja koja su izvršena pomoću upitnika, interni i eksterni faktori za uspešnu primenu IMS-a. Na osnovu njega su definisali više-nivovski sienergetski model za primenu IMS-a. Interesantan prilaz je dat u [8]. On predlaže dva prilaza za razvoj i primenu IMS-a. Prvi se zasniva na dokumentacionoj integraciji uravnoteženih zahteva i sličnosti tri standarda, a drugi na primeni IMS-a, preko modela TQM-a. Sledeći interesantan prilaz je dat u [9], koji takođe predlaže dva načina integracije. Prvi se odnosi na integraciju pojedinačnih modela, dok se drugi odnosi na razvoj IMS modela na bazi analize rizika. Kao poseban dodatak ovim analizama, treba imati u vidu da su neke zemlje, kao što su: Španija, Australija, Danska, Francuska i Kanada izdale nacionalne standarde za IMS [10, 11, 12]. Međutim, oni predstavljaju lokalne standarde, što znači da nisu predmet sertifikacije, već predstavljaju samo vodiče i uputstvo za primenu IMS-a. Novija istraživanja razvoja IMS-a, bazirana su na njegovim osnovama, koja nije QMS. Tako je u [15] dat prilaz za razvoj IMS-a, čija je baza EMS i PDCA model kontinualnih unapređenja. Takođe, postoje i različita iskustva u praktičnoj primeni IMS-a u različitim zemljama / kompanijama [16 - 19], koja se svode na to da koriste različiti modeli i prilazi. Ova činjenica navodi na konstataciju da su istraživanja u oblasti razvoja i primene IMS modela još uvek na početku.

Ako se detaljnije osvrnemo na izvršenu analizu, možemo zaključiti da ne postoji kozistentat prilaz, projektovanju, razvoju i primeni IMS-a u organizaciji. Međutim, ako se izvrši detaljna analiza, svih ovih prilaza, što je i učinjeno u ovom radu, može se zaključiti, da je prilaz izložen u [4], najkompleksniji i sa aspekta praktične primene najrealniji, pa je on korišćen u našim istraživanjima, koja se prikazuju u nastavku ovog rada.

3. Polazne osnove razvoja modela

Naša istraživanja za razvoj modela IMS-a, polaze od definisane paradigme – *totalna integracija tri menadžment sistema* (kvalitet, životna sredina, bezbednost). Osnova modela je istraživanje i definisanje veza između: politika, ciljeva i resursa. U osnovi, sva tri sistema se zasnivaju na modelu PDCA ciklusa, tabela 1.

<i>Standard</i>	<i>ISO 9001:2008</i>	<i>ISO 14001:2009</i>	<i>OHSAS 18001:2007</i>
Planiraj (P)	Politika kvaliteta Planiranje ciljeva kvaliteta	Politika zaštite životne sredine Planiranje ciljeva zaštite životne sredine	Politika bezbednosti i zaštite zdravlja Planiranje ciljeva OHS
Uradi (D)	Realizacija proizvoda	Primena i operacije EMS programa	Primena i operacije OHS programa
Proveri (C)	Analize i unapređenja	Provere i korektivne akcije	Provere i korektivne akcije
Ponovo deluj (A)	Preispitivanje menadžmenta	Preispitivanje menadžmenta	Preispitivanje menadžmenta

Tabela 1. Relacije i veze između tri standarda menadžment sistema

Ako pažnjivo pogledamo elemente matrice iz tabele 1, njihova primena u organizaciji može da dovede do konfuzije, nekozistentnosti i nekompatibilnosti, pri projektovanju i razvoju IMS-a. Polazeći od ovih činjenica, polazni korak u ovom istraživanju i razvoju robusnog IMS modela je klasifikacija nivoa integracije data u [4], i to: (a) *korespondencija*, je nivo važan sa aspekta povećanja kompatibilnosti između tri sistema, čime se smanjuje paralelizam i birokratizam u dupliranju zadataka. Dodatno, ovaj nivo minimizira dupliciranje dokumentacije, kao i konfuziju između standarda, što sve dovodi do pojednostavljenja internih i eksternih audita; (ii) *koordinacija* predstavlja nivo koji se zasniva na zajedničkom definisanju generičkih procesa i menadžment zadataka iz PDCA ciklusa. Esencijalni element ovog prilaza ostvarivanje sinergije između tri sistema na bazi uravnoteženja njihovih politika i koordinaciji njihovih ciljeva; (iii) *integracija*, predstavlja nivo gde se uspostavlja interakcija sa interesnim grupama, kontinualno unapređenje performansi, bolje razumevanje internih i eksternih promena i izazova a takođe i izgradnja kulture odgovornosti.

Ovde je važno napomenuti da svaki naredni nivo obuhvata i prethodni. Dodatni elementi koji se odnose na sva tri nivoa integracije, su takođe tri faktora integracije: menadžment rizikom, procesni prilaz i sistem praćenja. Menadžment rizikom je garancija korespondencije između tri menadžment sistema, procesni prilaz omogućuje bolju koordinaciju između aktivnosti, obezbeđujući visoku efektivnost ciljeva. Treći faktor, sistem za praćenje, obezbeđuje integraciju performansi kontinualnih unapređenja, kroz celu strukturu modela, po PDCA ciklusu. U daljem tekstu se daje detaljniji prikaz ovih faktora.

Menadžment rizikom. Korišćenjem menadžmenta rizikom kao integrišućeg faktora, povećava se kompatibilnost i korespondencija između tri sistema, smanjuju se svi problemi, zbog paralelne primene. Rizici koji se u ovim aktivnostima mogu javiti, obuhvataju se ovim konceptom, posebno u slučajevima koji se odnose na ostvarivanje ciljeva kvaliteta, životne sredine, bezbednosti i zdravlja. Tako dolazimo do toga da menadžment rizikom predstavlja zajednički faktor između svakog menadžment sistema, identifikujući za svakog od njih izvore rizika, kao i moguće ciljeve za kvalitet, životnu sredinu i bezbednost, odnosno rizike za njihovo ostvarivanje. Kada smo identifikovali rizike i njihove izvore, u sledećem koraku vršimo ocenu i definišemo planove preventivnih i korektivnih akcija, za smanjenje nivoa rizika, definišući i potrebnih resursa za to.

Procesni prilaz. Na drugom nivou integracije, razmatramo sve aktivnosti unutar organizacije i njihove interakcije sa samim modelom. Ovaj prilaz je zahtev u modelu ISO 9001.2008, a naša ideja je da se on primeni i na modele EMS-a i OHSAS-a. To znači, da se globalni procesni model integriše u zahteve interesnih grupa, stvarajući tako jedinstveni - globalni procesni model za kvalitet, životnu sredinu i bezbednost. Na osnovu njega stvara je jedinstvena mapa procesa (integrisanih – QES), gde se za svaki proces definiše ulaz, izlaz, resursi i kontrolni parametri. Tako se stvaraju jedinstveni generički, sinergetski procesi za sve menadžment sisteme (tri), na osnovu kojih se vrši ujednačavanje politike i ciljeva (kratki, dugoročni). Kao dodatni element ove analize, može se izvršiti i identifikacije izvora opasnosti. Ova identifikacija je početna tačka za upravljanje procesima, definisanje zahteva za resurse i preispitivanje ciljeva. Takođe, procesni prilaz obezbeđuje dobar okvir za analizu rizika potencijalnih opasnosti, čime se pomaže procesu donošenja odluka za sva tri sistema.

Sistem praćenja. Uspostavljanje sistema za praćenje parametara performansi kontinualnog unapređenja, omogućujemo da se oceni stanje procesa. Primenom adekvatnog alata, obezbeđujemo da se ovaj zadatak definiše pomoću indikatora performansi, čije promeljive predstavljaju vrednosti efektivnosti i/ili efikasnosti, sistema, glavnih i drugih procesa, čime se ocenjuje stanje u odnosu na planirane vrednosti (ciljeve). Ovaj model (sistem za praćenje) se sastoji od tri celine: ciljevi, merenja i ocenjivanje. Merenje se može vršiti korišćenjem različitih izvora, kao što su: kupci, audit, upravljanje, a naš model koristi svaki od njih.

4. Okvir istraživanog modela

Istraživanja za razvoj ovog modela su bazirana na PDCA ciklusu, pri čemu se model bazira na tri celine: (i) plan (P), (ii) uradi (D), i (iii) proveriti – ponovo deluj (C, A). U daljem tekstu se daje detaljni opis modela.

4.1. Modul 1 – Planiranje (P)

Osnovu za razvoj modela čini planiranje, čije je težište definisanje za svaki proces zahteva, alata, metoda, odgovornosti i resursa. Na kraju, mi planiramo šest koraka, kojima zaokružujemo sve ove elemente. Prvo, definišimo ciljeve, u saglasnosti sa zahtevima i očekivanjima interesnih grupa, a u odnosu na kvalitet, zaštitu životne sredine i bezbednost. Interesne grupe koje su uključene u ovu analizu su: kupci, zaposleni,

društvo, isporučio, vlasnici. U drugom koraku, vršimo raspoređivanje ciljeva na svaki proces, vodeći računa o međusobnoj koordinaciji, balansu kao i pojedinačnim ciljevima svakog procesa. U trećem koraku vrši se analiza svakog procesa sa aspekta utvrđivanja izvora potencijalnih grešaka, koji mogu da ugroze planirane ciljeve. Četvrti korak, svaki identifikovani rizik se detaljno analizira sa aspekata potencijalnih kosekvenci na svaku oblast menadžmenta. U ovim analizama se koriste sledeće tehnike i alati za ocenu rizika: drvo analize događaja, metod analize efekata otkaza (FMEA), preliminarna analiza rizika (APR), operabilnost hazarda (HAZOP) i drugi. Neki od njih su usmereni na primenu u menadžment oblatima, dok su drugi namenjeni za tehničke probleme. Neka istraživanja pokazuju da je primena FMEA metoda u kombinaciji sa fazi logikom, daje najbolji okvir za predloženi procesni okvir modela analize rizika. U petom koraku mi već imamo definisan globalni menadžment plan za QES, njegovu primenu, definisane preventivne i korektivne akcije, plan za upravljanje rizikom i unapređenje efektivnosti IMS-a. Tako dolazimo do razmatranja veza i odnosa između različitih menadžment oblasti i sistema, donoseći na primer odluke, koji od menadžment sistem ostvaruje koristi u kojoj oblasti i slično, što predstavlja više-kriterijumski model za analizu procesa, poznat pod nazivom – analitika hijerarhijskih procesa (AHP) [13]. Najzad, šesti korak, predstavlja definisanje plana za praćenje i nadgledanje globalnog menadžment plana za projektovanje, razvoj i primenu IMS-a. Pod kontrolom se drže svi planirani procesi, njihove interakcije, kao i nivoi procenjenog rizika. Plan praćenja obuhvata: praćenje zadovoljstva interesnih grupa, audit, upravljanje performansama procesa preko definisanih indikatora [14], čime se integralno prate diversifikovani ciljevi.

4.2. Modul 2 – Uradi (D)

Ova faza počinje sa primenom globalnog menadžment plana za QES, definisanog u prethodnoj fazi. Ona se realizuje korak po korak, na način da se terminiraju i optimiziraju resursi, čime se postiže da se planirani ciljevi ostvare na efektivniji način.

4.3. Modul 3 – Proveri, ponovo deluj (C, A)

Dostizanjem ove faze, mi dovršavamo proces integracije svih procesa QES, na način da merimo njihovu efektivnost, prateći indikatore, koji nam omogućuju da ocenimo dostizanje planiranih ciljeva. Iz ovih razloga, mi imamo agregirane indikatore za svaki cilj. Ukoliko postoje razlike između planirano - ostvareno, vrši se preispitivanje uzroka / posledica, pri čemu se ponavljaju faze jedan i dva. Na ovaj način se ceo model drži pod "kontrolom", čime se obezbeđuje njegova primenljivost, koji je inače testiran na dva sertifikovana IMS-a u našoj zemlji.

5. Zaključci

Istraživanja izložena u ovom radu, prikazala su model IMS baziran na primeni procesnog pristupa, što je karakteristika QMS-a. Inače, osnovna karakteristika EMS-a i OHSAS-a je primena PDCA modela. Dakle u našem modelu je izvršena integracija ova dva pristupa: procesni model, kao osnovu za sva tri standarda, primenjen je PDCA ciklus, opet, na sva tri modela. Naravno, oni su integrisani u QES model, obezbeđujući jedan koreherentan sistem u koji je ugrađen i sistem za upravljanje rizikom. Ovaj model vrši optimizirano planiranje i integraciju resursa i metoda efektivnog menadžmenta, uz monitoring i praćenje planiranih indikatora za sva tri standarda menadžment sistema. Globalno planiranje elemenata se izvodi u modulu 1, u modulu 2 se vrši primena, dok se u modulu 3 realizuje nadgledanje i praćenje celog sistema, primenom principa faktografskog pristupa (donošenje odluka na bazi činjenica) u sistemu donošenja odluka. Na kraju, jedna od pozitivnih karakteristika izloženog modela je i u tome, što su u njega ugrađeni / primenjeni principi menadžmenta kvalitetom, na sledeći način: (i) liderstvo i orijentacija na kupca – model uključuje sve interesne grupe, planira i upravlja ciljevima u odnosu na njih; (ii) procesni prilaz – model je razvijen na ovom QM principu; (iii) odlučivanje na bazi činjenica i kontinualna unapređenja – model ima ugrađen i primenjen PDCA model, kao i monitoring sistem za praćenje indikatora QES-a; (iv) sistemski prilaz – QES je kao model sistemski orijentisan; (v) najzad, dva poslednja principa, uključivanje zaposlenih i obostrano korisni odnosi sa isporučiocima, su kao važni elementi ugrađeni u modul 2 – uradi, tako da je ukupni model IMS-a na ovaj način zaokružen i sa strane ugrađenih principa QM-a. Dalja istraživanja u vezi ovog modela će se kretati u dva pravca: (i) praktične primene i analize stečenih iskustava u primeni, i (ii) istraživanje i ocenivanje alata i tehnika inženjerstva kvaliteta, koji predstavljaju podršku ovom modelu u primeni.

Zahvalnost - poruka

Neki rezultati istraživanja izneti u ovom radu, odnose se na Projekte koje podržava Ministarstvo za nauku i tehnologiju R Srbije, što se ovde posebno ističe i izražava zahvalnost na toj podršci.

Literatura

- [1] ISO 9001:2008, Quality management system, Requirements, ISO, Geneva, 2008.
- [2] ISO 14001:2009, Environmental management system, Requirements with guidance for use, ISO, Geneva, 2009.
- [3] OHSAS 18001:2007, Occupational health and safety management systems -specification, BSI - British standard institution, London, 2007.
- [4] Jorgensen, T., Remmen, A., Mellado, M., Integrated Management Systems - three different levels of integration, Journal of Cleaner Production, Vol. 14, No. 14, pp. 713-722, 2006.
- [5] Puri, S., Integrating environmental quality with ISO 9000 and TQM, Portland, Productivity Press, 1996.
- [6] Fresner, J., Engelhardt, G., Experiences with integrated management systems for two small companies in Austria, Journal of Cleaner Production, Vol. 12, No. 6, pp. 623-631, 2004.
- [7] Zeng, S.X., Shi, J.J., Lou, G.X., A synergetic model for implementing an integrated management system: an empirical study in China, Journal of Cleaner Production, No. 15, pp. 1760-1767, 2007.
- [8] Wilkinson, G., Dale, B.G., An examination of the ISO 9001:2000 standard and its influence on the integration of management systems, Production Planning and Control, Vol. 13, No. 3, pp. 284-297, 2002.
- [9] Labodova, A. Implementing integrated management systems using a risk analysis based approach, Journal of Cleaner Production, Vol. 12, No. 6, pp. 571-580, 2004.
- [10] AC X50-200:2004, Systemes de management: Bonnes pratiques et retours d'exp'ériences, AFNOR, 2004.
- [11] AS/NZS 4581:1999, Management system integration, Guidance to business, Government and community organizations, Australian / New Zealand, Standards, 1999.
- [12] Dansk Standard, 2005, Ledelsessystemer – Vejledning i opbygning af et integreret ledelsessystem, DS 8001.
- [13] Romdhane, T., Ammar, F., Badreddine, A., Une approche par la logique floue pour l'optimisation multicritere de la prise de decision appliquee a IAMDEC, Journal of Decision Systems, Vol. 16, No. 4, pp.505-545, 2007.
- [14] Berraha, L., Maurisb, G., Haurata, A., Foulloy, L., Global vision and performance indicators for an industrial improvement approach, Computers in industrie, No. 43, pp. 211-225, 2000.
- [15] Karapetrovic, S., Casadesu, M., Implementing environmental with other standardized management systems: Scope, sequence, time and integration, Journal of Cleaner Production, Vol. 17, (2009) 533–540.
- [16] Arifin, K., Aiyub, K., Awang, A., Jahi, J., Iteng, R., Implementation of Integrated Management System in Malaysia: The Level of Organization's Understanding and Awareness, European Journal of Scientific Research, Vol.31, No.2 (2009), pp.188-195.
- [17] Ismail, A., Abd, A., Chik, Z., Zain, M., Performance Assessment Modelling for the Integrated Management System in Construction Projects, European Journal of Scientific Research, Vol. 29, No.2 (2009), pp.269-280.
- [18] Khalil, S., Establishing and Improving an Integrated Management System of Public and Private Sector, University of Engineering and Technology Taxila, Pakistan, 2010.
- [19] Salomone, R., Integrated management systems: experiences in Italian organizations, Journal of Cleaner Production 16 (2008) 1786 – 1806.

V. MAJSTOROVIC

THE RESEARCH AND DEVELOPMENT OF IMS MODEL

Abstract: *This paper presents a new approach for implementing an integrating quality, environment and security management system (QES) on the basis of three aspects: process-based approach, risk management and a global monitoring system used as integrating factors to satisfy three important levels of integration, namely, correspondence, coordination and integration. The different steps of the proposed approach cover the whole PDCA (Plan, Do, Check, Act) scheme.*

Keywords: *Integrated management system, Process based approach, Risk management, Monitoring System.*

B. Marković¹

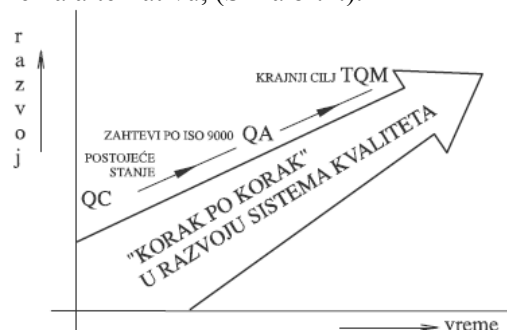
VAZDUHOPLOVSTVO I ODBRAMBENA INDUSTRIJA KREĆU KA IZMENJENIM MEĐUNARODNIM STANDARDIMA

Rezime: Sertifikovanje sistema menadžementa kvaliteta (QMS) i njegovo prilagođavanje izmenama zahteva koje definišu međunarodni standardi su stalna tendencija kompanija koje se bave oblastima vazduhoplovstva i odbrambene industrije. Publikovani standardi, poznati kao AS/EN/JISQ 9100, namenjeni su za organizacije koje se bave konstrukcijom, razvojem ili proizvodnjom vazduhoplovnih ili proizvoda odbrambene industrije, i za organizacije koje obezbeđuju podršku nakon isporuke, uljučujući obezbeđenje održavanja, rezervnih delova ili materijala za njihovu proizvodnju. Međunarodna organizacija za kvalitet u vazduhoplovstvu (IAQG) je formirala ekspertsku grupu koja je revidirala ili ponovo napisala set standarda za ovu oblast. Ovaj rad se bavi 30-mesečnim periodom tranzicije, odnosno prilagođavanja QMS-a vazduhoplovnih kompanija novim zahtevima

1. UVOD

Vazduhoplovna industrija, predstavlja veoma zahtevan sistem, u kome je sistem menadžementa kvalitetom (QMS) dignut na nivo apsolutnog zadovoljenja zahteva korisnika. Ovo znači da uspostavljen QMS koji zadovoljava zahteve serije standarda ISO 9000 (9001:2008) predstavlja samo potreban, ali ne i dovoljan uslov za demonstriranje sposobnosti kompanije da bude konkurentna na tržištu i da zadovolji zahteve potencijalnih korisnika. Uspeh na globalnom tržištu podrazumeva nadgradnju i poboljšanje QMS-a, što u području vazduhoplovstva znači zadovoljanje zahteva standarda EN (AS, JISQ) 9100, koji uključuje zahteve sistema menadžementa kvalitetom serije ISO 9000 (9001:2008), u 100% obimu, (što čini 60% zaheva ovog standarda), kao i specifične dodatne zahteve (40%) QMS-a u vazduhoplovnoj industriji.

Teorija i praksa sistema menadžementa kvalitetom (QMS-a) je doživela intenzivan razvoj i promene tokom prethodnih 15 god. Evolucija serije standarda ISO 9000 je uticala na evoluciju dokumenata QMS-a koji moraju zadovoljiti zahteve propisane standardima, opisati procese i približiti teriju praksi, kako bi njena upotreba bila svrsishodna. Ovo se naročito odnosi na sferu vazduhoplovstva, gdje su zahtevi standarda EN 9100 (AS, JISQ) strožiji i obimniji, po svim tačkama serije ISO 9000. Međunarodni standard EN 9100 pokazuje sposobnost organizacije da dosledno obezbeđuje proizvod, koji zadovoljava zahteve korisnika i odgovarajućih propisa, zadovoljstvo korisnika efektivnom primenom QMS-a, uključujući kontinuirano poboljšanje sistema, te kao takav nema alternativu, (Slika br.1.).



Slika br. 1 Razvoj sistema kvaliteta

¹ Doc dr Biljana Marković, dipl. ing., Mašinski fakultet Istočno Sarajevo, Univerzitet Istočno Sarajevo, biljana.markovic@maf.unsa.rs.ba, biljamarkovic@yahoo.com

Pomenuti standard je po svom mestu i obimu iznad, odnosno uključuje akreditacije specijalnih procesa, kao napr. «NADCAP», i sveobuhvatan je, te dodavanje ovog sertifikata na spisak referenci kompanije predstavlja prednost, pokazatelj ili dokaz o uskladjenosti QMS-a sa međunarodnim normama, (to s'toga što je ovaj vazduhoplovni standard identičan u Americi, Evropi i Aziji, samo pod drugim nazivom).

2. TRANZICIONI PERIOD

30-mesečni tranzicioni period za sistem menadžmenta kvalitetom (QMS) vazduhoplovne i odbrambene industrije (Aviation, space and defence AS&D) počeo je 1.1. 2010. god. U Americi su dokumenta QMS-a, koja se odnose na ovu oblast, označena kao AS 91XX, bila publikovana na sledeći način:

- AS 9100:2009, Rev C – Zahtevi za AS&D organizacije (publikovano u januaru 2009. god.);
- AS 9110:2009, Rev A - Zahtevi za vazduhoplovne organizacije koje se bave održavanjem, (publikovano u junu 2009.god.);
- AS 9120:2009, Zahtevi za AS&D distributere (publikovano u junu 2009. god.);

Vreme od kad su AS&D standardi izdati u junu 2009. god. pa do početka tranzicionog perioda, dopustilo je AS&D korisnicima da postanu bliži sa novim i revidiranim (izmenjenim) AS (EN) 91XX zahtevima, pre nego dođe do njihovog uvođenja, prema izmenjenoj šemi izdatoj u martu 2010. god. Tim 91XX je razvio materijal za podršku, koji uključuje štampani materijal, prezentaciju izmena, najčešće postavljana pitanja, razjašnjenje i reference članaka, koji se mogu pronaći na međunarodnom IAQG (International Aerospace Quality Groupe) website-u (www.iaqg.org).

Period tranzicije, koji je počeo 1.1. 2010. god., sa odobrenim materijalom za obuku proveravača, završen je, kao proces, u aprilu 2010. god. Posle toga, svi proveravači iz ove oblasti su morali biti uključeni u odobrenu obuku za proveravače, koja je počela 1.5. 2010. god., nakon čega su registraciona tela započela akreditaciju prema novim zahtevima, a tek onda organizacije mogu biti sertifikovane prema revidiranim AS (EN) 91XX QMS standardima i ponovo napisanom standardu AS (EN) 9101, (Slika br.2.).

Od svih proveravača sertifikacionih tela (vazduhoplovni proveravači i proverivači sa iskustvom u vazduhoplovstvu) će biti traženo da pohađaju i polože IAQG odobrenu obuku, priritetno, radi kompletiranja sertifikacione provere prema verziji 2009 standarda AS (EN) 91XX. Odobrena obuka uključuje online module standarda AS (EN) 91XX za obuku i 4-dnevnu obuku vođenu od strane trenera (predavača).

Cilj IAQG odobrene obuke je obrazovanje proveravača o zahtevima standarda AS (EN) 91XX i AS (EN) 9101 metoda za proveru, kao i smanjenje varijacija u pogledu provera. Od svih sertifikacionih tela i njihovih proveravača je zahtevno da završe obuku pre jula 2011. god., ukoliko žele da nastave izvoditi AS&D provere.

Neki važni datumi unutar 30-mesečne tranzicione šeme su:

- 1.7. 2011. Organizacije će moći biti samo inicijalno sertifikovane prema revidiranim AS (EN) 91XX standardima. Organizacije neće moći biti inicijalno sertifikovane prema prethodnim verzijama AS (EN) 91XX standarda.
- 1.7. 2012. Organizacije će morati završiti (kompletirati) njihovu AS (EN) 91XX tranziciju, putem nadzornih ili resertifikacionih provera.



Slika 2. Predloženi AS (EN) 91XX plan implementacije

3. IZMENE U PROCESU PROVERE

AS (EN) 9101 standard za proveru, koji je obavezujući za korištenje tokom perioda provere od treće strane, je potpuno izmenjen (ponovo napisan) od strane internacionalnog tima od 13 članova, iz 6 različitih zemalja, 8 kompanija članica IAQG i 4 sertifikaciona tela.

Njihov cilj je bio da revidiraju AS (EN) 9101 u skladu sa revizijama AS (EN) 91XX i ISO 17021, preispitaju sadržaj standarda, identifikuju svaku dodatnu potrebu korisnika i rekonstruišu standard prema procesno zasnovanom pristupu provere i procene u organizacionim sistemima QMS-a.

Revidirani AS 9101 standard zamenjuje prethodne verzije standarda AS (EN) 9101 – Vrednovanje QMS-a, AS (EN) 9111 – Vrednovanje QMS-a za organizacije koje se bave održavanjem i AS (EN) 9121 – Upitnik i chek lista za vrednovanje QMS-a.

Prethodna verzija ovog standarda vodila je ka neželjenim rezultatima, jer je kočila procesni pristup, fokus proveravača je bio na popunjavanju check liste i oduzimala vreme na nepotrebne stvari, van same provere.

U cilju dodatne usaglašenosti sa zahtevima, glavna tema ponovo napisanog standarda AS (EN) 9101 je vrednovanje efektivnosti procesa. ISO 9001:2005 definiše efektivnost kao proizveden planiranih aktivnosti koje su realizovane i planiranih rezultata koji su postignuti. Izveštaji o procena efektivnosti procesa će biti korišten kao dokument procesa realizacije proizvoda, koji uključuje detalje procesa, metode efektivnosti procesa i vrednovanje efektivnosti procesa.

Osnovni način merenja efektivnosti QMS-a je zadovoljstvo korisnika. Imajući to na umu, AS (EN) 9101 uključuje i dodaje fokus na merenje performansi i korištenje povratne sprege od korisnika, razmatrajući organizacione performanse, koje će biti korištene kao ulaz (input) za procesno zasnovane provere. Priroda chek liste iz prethodne verzije AS (EN) 9101 je uklonjena iz ponovo napisanog AS (EN) 9101, preko sistema bodovanja i definisanja ključnih karakteristika.

Od sertifikacionih tela će biti zahtevano da koriste AS (EN) 9101 radi zapisivanja dokaza nalaza (objective evidence record – OER), na njihovoj vlastitoj dokumentaciji, koja mora ići u susret OER. Da bi se pokazala pokrivenost, razvijena je forma QMS matrice procesa, u korelaciji procesa sa zahtevima AS 91XX.

Prema tome, namera AS (EN) 9101 je razvijanje i poboljšanje procesa provere za vrednovanje procesno zasnovanog sistema upravljanja kvalitetom, koji je u skladu sa ISO 17021 i sastoji se od:

- Procesno zasnovanog prikupljanja informacija
- Procena ili analiza i planiranja provere
- Razvijanja metoda i tehnika provere zasnovanih na performansama procesa i procesnom pristupu
- Mogućnosti prikupljanja objektivnih dokaza usaglašenosti procesa i efektivnosti

Glavna namera izmena je:

- Kreiranje novog dokumenta koji pokriva AS (EN) 9100, AS (EN) 9110 i AS (EN) 9120
- Eliminisanje bodovanja i definisanja ključnih zahteva
- Korištenje podataka i povratne sprege od strane QMS-a razmatrane organizacije, kao ulaz u procesno orjentisanu proveru
- Uključivanje određivanja efikasnosti, kao dodatka usaglašenosti
- Stavljanje naglaska na merenje performansi
- Uvođenje zapisa objektivnih nalaza

4. U SUSRET ZAHTEVIMA

Ono šta nije promenjeno u ponovo napisanom standardu AS 9101 je određivanje usaglašenosti QMS-a sa statutarnim i regulatornim zahtevima, zahtevima korisnika i standardnim zahtevima AS 91XX. Bilo kakva neusaglašenost otkrivena tokom provere mora biti dokumentovana u odgovarajućem zapisu o neusaglašenosti.

Zasnovano na informacijama prikupljenim tokom provere, proveravači moraju napisati zaključke o usaglašenosti i efektivnosti QMS-a date organizacije. Ovi zaključci moraju biti dokumentovani na standardnoj AS 91XX formi zapisa provere, koja će biti korištena za nivo jedan i nivo dva inicijalne sertifikacije, nadzorne provere, resertifikacione provere, specijalne provere korisnika, zahteve zainteresovanih strana, promene obima sertifikacije i transfera sertifikacije.

Dakle, šta ponovo napisan standard AS 9101 znači za organizaciju koja želi da bude sertifikovana prema novim AS 91XX zahtevima?

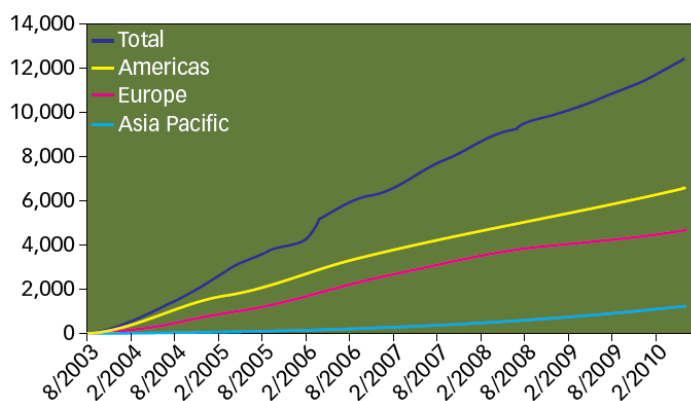
Osnovno, to znači da oni moraju:

- Demonstrirati usaglašenost sa standardom;
- Prikazati kartu procesa (identifikacija procesa, koraci i interakcije);
- Objasniti merenja procesa, napr. ko preispituje podatke, da li su ciljevi definisani i postignuti, da li su merenja operativna i kako si ti podaci mogu koristiti;
- Pokazati aktivnosti koje se preduzimaju kada zahtevi o usaglašnosti i isporukom na vreme nisu postignuti;

Kratko rečeno, prednost ponovo napisanog AS 9101 uključuje naglašavanje procesnog pristupa unutar same organizacije, premeštanje resursa od kompletiranja upitnika do određivanja i dokumentovanja usaglašenosti i efektivnosti procesa, i obezbeđivanje korisnih informacija tokom razmatranja performansi procesa i njihove istorije. Standard predstavlja značajnu prednost u proverama kvaliteta u vazduhoplovstvu.

Iako je provera efektivnosti uvek bila namera standarda i očekivanja kupca, u stvarnosti većina proveravača fokus stavlja na usaglašenost procesa sa proceduralnim zahtevima i prelaze preko rezultata procesa. Korisnici su se dugo žalili na sertifikovane proveravače, da kontinuirano imaju i pokazuju pokazatelje performansi procesa, koji se odnose na isporuku na vreme ili kvalitet proizvoda, ali da poveravači na stavljaju akcenat na te elemente provere.

Ovaj standard tretira performanse procesa korištenjem novog pristupa, a broj kompanija u oblasti vazduhoplovstva i odbrambene industrije, koje se sertifikuju na ovaj način, u celom svetu neprekidno raste, (Slika br. 3.).



Slika 3. Broj sertifikovanih korisnika

5. NOVI ZAHTEVI STANDARDA AS (EN) 9100, UPRAVLJANJE RIZIKOM

Standardi AS (EN) 9100/9110/9120, koji su bazirani na ISO 9001, sa dodatnim zahtevima za AS&D industriju, nastoje da zadovolje potrebe ulagača i poboljšaju IAQG strategiju. Osnovni dodaci i izemene se odnose na:

- 7.1.2. Upravljanje rizikom – novi zahtevi za implementacijom procesa upravljanja rizikom na projekte, proizvode, odgovornost, kriterije, prihvatljivost;
- 7.1.1. Upravljanje projektima – novi zahtevi za planiranjem i upravljanjem realizacijom proizvoda, na strukturiran i kontrolisan način;
- 7.1.3. Upravljanje konfiguracijom – zahtev je pomeren iz tačke 4.3. u 7.1. i dodati su detalji za različite aktivnosti koje moraju biti pokriveno;
- 7.1.4. Upravljanje transferom (prebacivanjem) posla – zahtev pomeren iz tačke 7.5. (proizvodnja) u tačku 7.1., kako bi se naznačila potreba planiranja i kontrolisanja aktivnosti u procesu transfera;
- Kritične tačke, posebni zahtevi i ključne karakteristike – ključne karakteristike ostaju zahtevane, ali koncept identifikacije specijalnih zahteva (bilo od strane korisnika ili organizacije), koji zahteva dodatnu kontrolu, (upravljanje rizikom) se translata u kritične tačke, koje se mogu nastaviti do ključnih karakteristika, je nov;
- Performanse kvaliteta i isporuka na vreme – dodat je zahtev za «usaglašenost proizvoda» i «isporuku na vreme», koji trebaju biti mereni i zahtev za preduzimanje aktivnosti ukoliko planirani rezultati nisu ostvareni. Namera je da sa obezbedi lančana veza između QMS-a i performansi organizacije.
- Proširenje oblasti i područja rada na kopnene i pomorske bazne sisteme za pr imenu u odbrani;

Novi AS (EN) 9100 zahtev vezan za upravljanje rizicima generiše veći interes unutra i van zajednice korisnika AS&D.

Upravljanje rizikom je jedan od dodatnih koncepata koji su uvedeni u novu verziju AS (EN) 9100:2009. Koncept može biti primenjen unutar QMS-a, kroz preispitiavanje od strane rukovodstva, kada se procenjuju zahtevi za resursima, kada se planiraju i provode interne provere.

Namera AS (EN) 9100:2009 je da uvede koncept upravljanje rizikom u poglavlje 7, planiranja realizacije proizvoda. Autori standarda su postavili ovaj dodatni zahtev u tačku 7.1.2, zato što je upravljanje rizikom, kao i planiranje, jedan iterativni proces koji se dešava kroz realizaciju proizvoda i životni ciklus proizvoda. Koncept upravljanja rizikom tokom realizacije proizvoda može biti kategorisan putem rizika koji su spojeni sa zahtevima standarda AS (EN) 9100 za realizacijom proizvoda i rizikom proizvoda.

Upravljanje rizikom nije potpuno nov zahtev u okviru AS (EN) 9100, zato što tačka 7.2.2.d) već zahteva vrednovanje rizika tokom preispitivanja zahteva vezanih za proizvod. Uključivanje tačke 7.1.2. u AS (EN) 9100:2009 je sledeći logičan korak u proširivanju razmišljanja o upravljanju rizikom, tokom cele realizacije proizvoda, u poglavlju 7.

Razmatranje rizika je direktno prozvano u sledećim tačkama AS (EN) 9100:2009:

- 7.1.1.- upravljanje projektom
- 7.1.2. - upravljanje rizikom
- 7.2.2. - preispitivanje zahteva vezanih za proizvod
- 7.4.1. - proces nabavke

Rizici proizvoda su primenjivi preko realizacije proizvoda, sa uvođenjem koncepta specijalnih zahteva i kritičnih tačaka. Specijalni zahtevi su oni koji su određeni od strane korisnika ili organizacije, a za koje postoji rizik da ne budu postignuti. Faktori koji se mogu uključiti su: kompleksnost proizvoda ili procesa, prethodno iskustvo ili zrelost procesa.

Primeri specijalnih zahteva uključuju zehteve za performansama, nametnutim od strane korisnika, ograničeni industrijskim mogućnostima, ili zahtevi definisani od strane organizacije, ograničeni njihovim tehničkim ili procesnim mogućnostima. Procena ovih zahteva je povezana sa definicijom iz tačke 7.2. gde se definišu i preispituju zahtevi vezani za proizvod.

Specijalni zahtevi se presipituju i, ako je potrebno, prevode u kritične tačke, uključujući ključne karakteristike, tokom procesa konstruisanja i razvoja, definisanih u tački 7.3.

Kritične tačke su tačke koje imaju značajan efekat na realizaciju i upotrebu proizvoda. Ovo uključuje sigurnost, performanse, oblik, postavljanje, funkciju, produktivnost i radni vek. Kritične tačke zahtevaju specifične aktivnosti koje treba da osiguraju njihovo adekvatno upravljanje. Ovo nije nov koncept u AS&D industriji, gde postoje iskustva u ovoj oblasti, kao što su kritične tačke sa stanovišta sigurnosti, stanovišta loma i ključne karakteristike.

Ove kritične tačke se identifikuju i upravljaju kroz ugovaranje i proizvodne aktivnosti unutar firme, a zahtevi se dodaju na narudžbe, zahtevajući od isporučioaca da inkorporira (ugradi) dodatno upravljanje (kontrolu), uključujući upravljanje varijacijama (kao što je definisano u AS (EN) 9103), kada je primenjivo.

Podisporučioci retko kreiraju specijalne zahteve ili kritične tačke. Oni obično dobijaju zahteve za kritičnim tačkama od korisnika, putem informacija za nabavku.

Identifikacija, nadzor, merenje i analiza specijalnih zahteva i kritičnih tačaka su uključeni u proces upravljanja rizikom.

AS (EN) 9100 ne obavezuju na propisan način kako upravljanje rizikom treba biti sprovedeno, mora biti uspostavljen samo siguran aspekt, implementiran i održavan na odgovarajući način, u skladu sa tačkom 7.1.2. standarda.

Formulacija upravljanja rizikom u AS (EN) 9100:2009 definiše korake, sekvence i interakcije organizacionih potreba koje trebaju biti sprovedene, kako bi se rizikom propisno rukovalo. Ovaj proces koji se odnosi na rizik može biti primenjen na različite načine, zavisno od pristupa poslu i integrisan u ključne tačke procesa realizacije proizvoda u datoj organizaciji.

7. ZAKLJUČAK

Krajnji cilj u razvoju QMS-a svake organizacije je dostizanje TQM-a, kao upravljanja pristupu kontinualnog unapređenja procesa u organizaciji, koji se izvode na bazi definisane strategije, vizije i misije, okrenute potpunom zadovoljenju zahteva korisnika, sa ciljem postizanja svetske klase kvaliteta proizvoda.

Najveći problem u provođenju strateških odluke o praćenju savremenih tokova na polju QMS-a je promena svesti rukovodstva i svih zaposlenih o potrebi angažovanja raspoloživih resursa na realizaciji odluke. Jedino rešenje je edukacija i prihvatanje globalne potrebe za učenjem kroz čitav život.

Put na realizaciji projekta uvođenja zahteva standarda AS (EN) 9100 u QMS bilo koje vazduhoplovne kompanije ili kompanije iz oblasti odbrambene industrije, nije niti lak, niti kratak, kao i proces uvođenja izmena koje neophodno unose inovirane i revidirane verzije standarda.

Kroz razmatranja data u ovom radu, nemera autora je bila da podvuče ključne tačke koji predstavljaju novine u revidiranim verzijama standarda AS (EN) 9100, te pomogne potencijalnim korisnicima u njihovoj primeni, objašnjenjem tranzicionog perioda i namera izmena zahteva standarda.

REFERENCE

- [1] Marković B.: "Praksa sistema menadžmenta kvalitetom u vazduhoplovnoj industriji", OTEH, Odbrambene tehnologije, 3. naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem, 8-9. oktobar 2009. Beograd.
- [2] Marković B.: "Upravljanje projektima prema ISO 9001:2000", 6. Međunarodna konferencija "Upravljanje kvalitetom i pouzdanošću DQM-2003. Beograd, 18-19 jun 2003. Zbornik radova s.217-222.
- [3] Marković B.: "Sistem menadžmenta kvalitetom u projektima", II naučni skup konstruisanje, oblikovanje i dizajn proizvoda u mašinstvu". KOD-2002. Zbornik radova. Novi Kneževac, maj 2002.god. s. 95-100.
- [4] European Standard EN 9100, *Aerospace series – Quality Management systems – requirements and Quality systems – Model for quality assurance in design, development, production, installation and servicing*, May 2003.
- [5] Marković B. „Unapređenja kvaliteta u vojnoj industriji – vazduhoplovni pimer", The 7th international convention on quality – JUSK 2010, 31.5. – 3.6. 2010. god., Mašinski fakultet, Beograd.
- [6] IAQG (International Aerospace Quality Groupe) website-u (www.iaqg.org).

AIRCRAFT AND DEFENSE INDUSTRY MOVE TO AMENDED INTERNATIONAL STANDARDS

ABSTRACT:

Certification of Quality Management System (QMS) and his adjustment to changed requirements, which have been defined by international standards, is continual tendency among all companies in aviation, space and defence industry. The published standard, known as AS/EN/JISQ 9100, are intended for organizations that design, develop or produce aviation, space and defence products, and organizations providing post delivery support, including the provision of maintenance, spare parts or materials for their own products. International Aerospace Quality Group (IAQG) has formed a team of experts who revised or rewrote set of standards for this field. This paper deals with 30-month transition period, how to adopt and adjust to new requirements in present Quality Management System.

Key words:

Certification, amended AS/EN/JISQ 9100 standard, risk management



С. М. Стојадиновић¹, В. Д. Мајсторовић²

ПРИМЕНА VAST - МЕРНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ И ОПТИЧКИХ МЕТОДА У РАЗВОЈУ ХОЛИСТИЧКИХ МЕРЕЊА У ПРОИЗВОДНОЈ МЕТРОЛОГИЈИ

Резиме:

У раду се разматра интегрисана примена VAST - мерне технологије и оптичких метода у развоју холистичких мерења у производној метрологији у циљу смањења укупног времена мерења и повећања ефикасности контроле делова у погледу тачности обраде и квалитета обрађене површине. Због подршке управљању квалитетом у савременој производњи (нпр. микро/нано производња) и одговора на економске захтеве тржишта (нпр. нижа цена мерења), производна метрологија на одговарајући начин мора да одржи корак са развојем производње. Будући трендови као што су холистичка мерења и оптичке методе уз наглашавање да постоје одређени проблеми (нпр. отежана употреба) све више проналазе своје место на свим нивоима производње (нано, микро, макро) и представљају правце даљих истраживања у области производне метрологије.

Кључне речи: VAST - мерна технологија, триангулација, интерферометрија, рачунарска топографија, мулти – сензорска метрологија.

1. УВОД

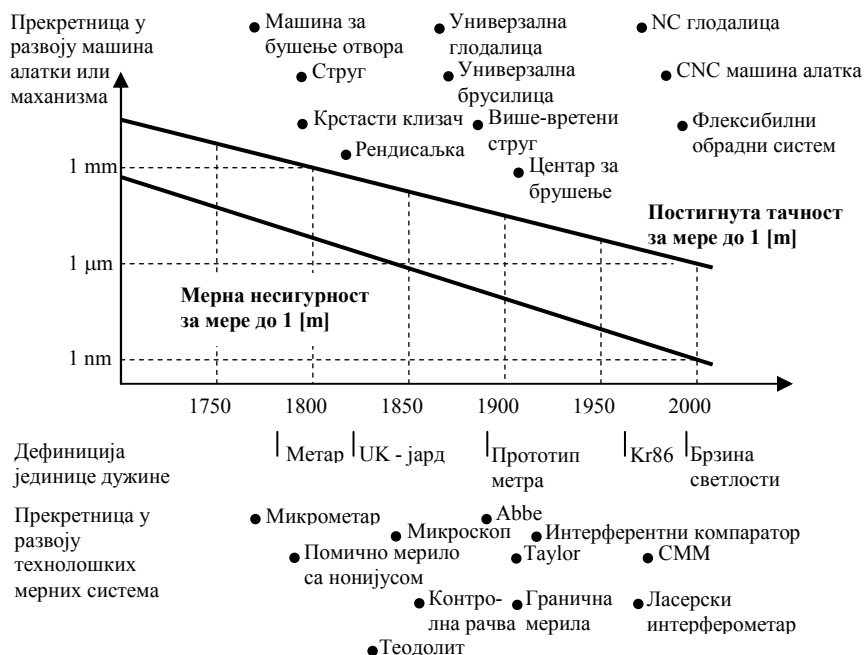
Производна метрологије је иницирала прелазак производње од занатлијског до масовног типа са измењивим компонентама у централној Европи крајем 18. века. Док су занатлије морале да обезбеде само основну функцију појединачно произведеног склопа, серијска и масовна производња су додатно морале да обезбеде замењивост делова и ограничено трајно функционисање склопа. Дакле, није било довољно да се упореде и да се дораде мере две компоненте да би се извршила њихова монтажа, већ стварне мере компоненти морају бити произведене тако да се налазе унутар прописаних граница, тј. тако да обезбеде функционисање склопа независно од избора појединих делова. Све до увођења Метарске конвенције 1875. године, принцип замењивости делова је имао интерни карактер. Стварне мере компоненти су биле у оквиру граничних мера само код произвођача који су у исто време произвођачи компоненти и склопова. Основни проблем представљала је мерна несигурност, која се у периоду настанка Конвенције првенствено појављивала као последица различитих вредности јединица мера. Увођењем Конвенције и касније стандарда у области метрологије [1], успостављен је предуслов за интернационално поређење мера и знатно смањење мерне несигурности.

У периоду од Конвенције па до данас, развој производне метрологије се може посматрати кроз смањење мерне несигурности и повећање тачности (слика 1.), док се развој у производној метрологији данас, односи на повишен опсег информација које се могу добити о мерном објекту и/или смањену цену по јединици мерне информације у односу на цену у предходном периоду, висок ниво примењене нове технологије у пројектовању мерних система, као и развој софтвера за интегрисане мерне процесе [2].

¹ Славенко М. Стојадиновић, асистент, Универзитет у Београду, Машински факултет, Катедра за производно машинство, 011/3302-438, sstojadinovic@mas.bg.ac.rs,

² Проф. др Видосав Д. Мајсторовић, редовни професор, Универзитет у Београду, Машински факултет, Катедра за производно машинство, 011/3302-407, vmaistorovic@mas.bg.ac.rs

У раду се разматра интегрисана примена нове тзв. VAST - мерне технологије и оптичких метода у развоју холистичких мерења у производној метрологији у циљу смањења укупног времена мерења и повећања ефикасности контроле делова у погледу тачности обраде и квалитета обрађене површине. Уз наглашавање одређених недостатака као што је отежана употреба оптичких метода у холистичким мерењима, оптичке методе и VAST – мерна технологија све више проналазе своје место на свим нивоима производње (нано, микро, макро) и представљају правце даљих истраживања у области производне метрологије. Увођењем VAST мерне технологије, време мерење се може значајно смањити, али времена припреме, стезање и програмирање остају иста, тако постају све више предмет истраживања.



Слика 1. Историјски развој производње и мерне несигурност [3].

2. ОПТИЧКЕ МЕТОДЕ МЕРЕЊА

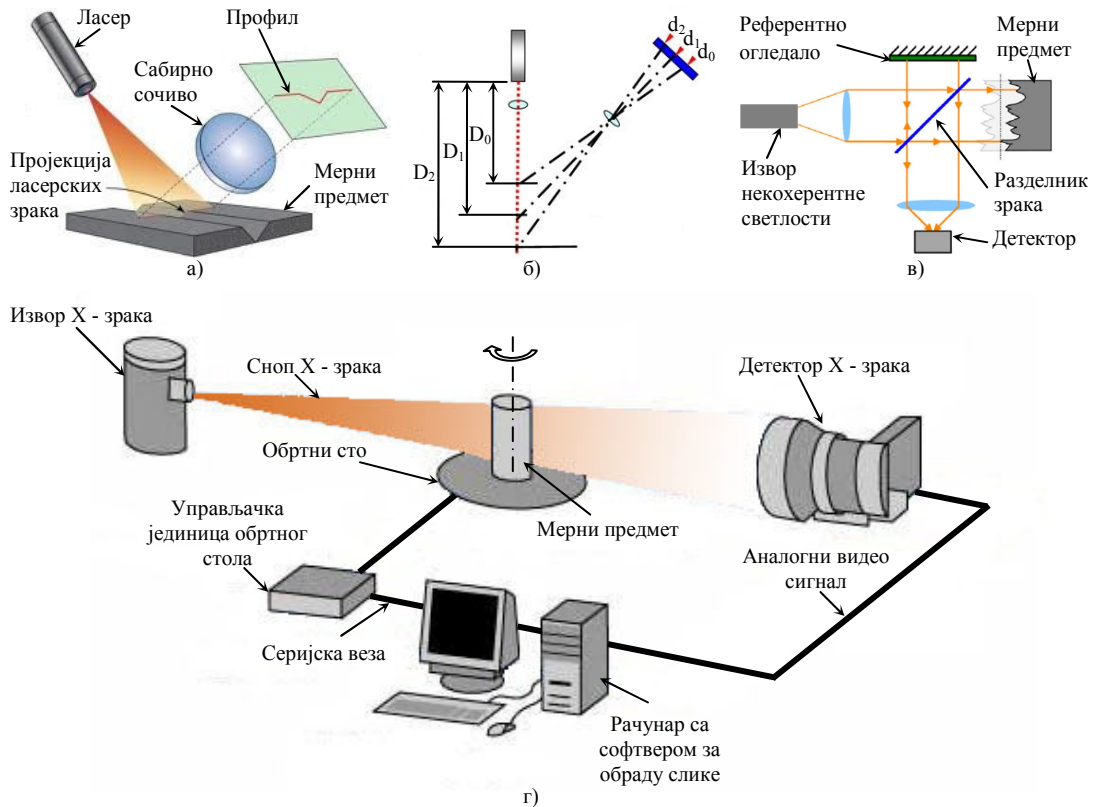
У свету данас, у области производне метрологије, највише су заступљена координатна мерења, која се остварују на нумерички управљаним мерним машинама (НУММ) и радионичким мерилима различите тачности. Упркос широкој примени, мерења на НУММ, уколико се ради о метролошки сложеном делу, постају монотона или чак немогућа (нпр. мерење закривљености на деловима добијеним обрадом лима). Захваљујући развоју техника за комјутерску компензацију динамичких грешака [4], на НУММ се могу остварити брзину скенирања и до 500 mm/s. Међутим, побољшање брзине мерења не доводи у битну предност овај метод мерења, јер су времена потребна за програмирање машине, анализу и обраду измерених података остала на истом нивоу. Висока заступљеност радионичких мерила се одржала јер за погонске услове обезбеђује брза, једноставна и јефтина мерења, у већини случајева довољна да се изврши контролу процеса.

У пракси је често потребно остварити мерење помоћу релативно великог броја тачака у релативно кратком временском интервалу (нпр. мерење профила или текстуре неке површине) за шта су погодна оптичка мерења. Од мерења заснованих на оптичком принципу данас су највише у употреби гранична пројекција, ласерска триангулација, интерферометрија и рачунарска томографија.

2.1 Гранична пројекција

Када је реч о мерењу слободних површина делова у аутоиндустрији, координатна метрологија не даје одговарајуће резултате, јер велики број мерних тачака успорава мерење и обраду резултата. У оваквим случајевима погодно је користити метод граничне пројекције (слика 2. под а)), који даје велики број тачака у јединици времена, а самим тим и узорак мерне површине. Метод граничне пројекције је базиран на принципу ласерске триангулације.

Основна улога софтвера приликом мерења профила методом граничне пројекције су: аквизиција података у реалном времену, калибрација сензора и визуелизација.



Слика 2. Оптичке методе мерења у производној метрологији – основни прицип мерења: а) гранична пројекција; б) ласерска триангулација; в) интерферометрија (Michelson – ов интерферометар); г) X – зраци или рачунарска томографија.

2.2 Ласерска триангулација

Принцип мерења ласерском триангулацијом је показан на слици 1. под б). Ласерски извор светлости пројектује светлост на мерну површину на растојању D_1 . Ласерска светлост се одбија под одређеним углом, пролази кроз сочиво и пада на детектор на позицији d_1 . Када се мерна површина налази ближе ласерски извору, растојање D_0 , рефлектована светлост пада на детектор на позицији d_0 . Када се мерне површине постављене даље од извора, растојање D_2 , рефлектована светлост пада на детектор на позицији d_2 . Опсег $D_2 - D_0$ може се одредити скалирањем опсега $d_2 - d_0$, који региструје детектор. Дакле, позиција рефлектоване светлости је у корелацији са растојањем између сензора и мерне површине.

2.3 Интерферометрија

Метод интерферометрије се користи за мерење карактеристика површине, а најчешће коришћене оптичке конфигурације за интерферометријску методу мерења су Michelson интерферометар (слика 2. под в), Mach-Zehnder интерферометар и Twyman-Green интерферометар. Светлосни снопа пада на разделник зрака, осветљава жељени део мерне површине, затим део рефлектованих зрака генерише топографију површине са нанометарском прецизношћу коришћењем технике fringe – counting и интерполационог метода. Основни принцип метода интерферометрије, као и врсте њене примене су дате у [5]. Чист узорак интерферометрије може бити само ако је мерена површина глатка. Код површина параметра хрпавости изнад $R_a > \lambda/2$ интерферентне пруге нису јасно уочљиве. Метод се углавном примењује у микрметрологији и његова основана мана је у лакоћи употребе. Наиме, потребно је одговарајуће знање у руковању са интерферометрима, па неквалификовани радници нису у стању да је користе.

2.4 Рачунарска томографија

Принцип метода рачунарске томографије са потребним компонентама и инсталацијама је показан на слици 2. под г). Прекидно обртно кретање мерног предмета је контролисано на основу сигнала из управљачке јединице и рачунара са софтвером за обраду слике, који добија слику-мерни узорак површине помоћу детектора X - зрака. Могућности примене ове методе у мулти – сензорској метрологији су разматране у [5].

Један од праваца даљих истраживања у области рачунарске томографије је развој стандардних облика попут основних метролошких примитива приликом мерења на НУММ.

3. VAST – МЕРНА ТЕХНОЛОГИЈА

Као што је речено, координатна метрологија је најзаступљенија мерна технологија у производној метрологији и производном машинству уопште. Основни принцип мерења је у следећем: НУММ генерише координате тачака са површина мерног комада и софтверском подршком ствара реалне геометрије површина, које се у случају мерења одступања површина пореде са идеалном геометријом. Мера одступања реалне од идеалне геометрије одређене површине прописана је толеранцијом.

Постоји више различитих типова НУММ почев од оних које се користе у мерењу кућишта мобилних телефона преко оних које мере блокове мотора у ауто-индустрији, па до НУММ за мерење блокова мотора теретних бродова. Исто постоје и минијатурне НУММ могу бити искоришћене за мерење микро делова са нанометарском резолуцијом, као и посебне робусне НУММ, које се могу користити за мерења у погону у непосредној близини машина алатки и других машина (нпр. линија за транспортовање и истресање одливака).

Мерна глава је један од основних елемената НУММ. Прве мерне главе за детекцију површине радног комада су тзв. touch-trigger системи, који су се могли користити за читавање координата оса након контакта са површином радног предмета (прва имплементација – 1972. David McMurtry). Године 1973, Zeiss је представио први 3D систем мерних пипака назван Zeiss MT. Основна мана овог тактилног принципа је извијање које се јавља приликом додира површине радног комада.

Наследник MT система је Zeiss VAST мерна технологија [4] чије су основне одлике велика брзина скенирања и аутоматска компензација динамичких грешака. Високо убрзање током скенирања доводи до пораста динамичког оптерећења на осам машина, мерне главе и мерног пипка што проузрокује одређену грешку мерења (нпр. услед динамичког извијања мерне главе и мерног пипака као и носача на који се причвршћава мерна глава). Ову грешку мерења великим брзинама скенирања компензује VAST мерна технологија независно од карактеристика које се мере.

VAST мерна технологија има активну и контролисану силу којом делује на површину радног комада генерисану са електромагнетним актуатором уместо најчешће примењиване опруге. Компензација динамичког савијања је омогућена применом технике D-CAA (Dynamic Bending Computer Aided Accuracy). Са овом техником динамичке грешке могу бити ограничене до 1 μm при брзинама скенирања 100 mm/s.

Други облик VAST мерне технологије за побољшање ефикасности скенирања је софтвер асистент који одређује оптималну мерну брзину у зависности од геометријског облика који се мери, његових толеранција, мерне главе и типа НУММ.

Увођењем VAST мерне технологије, време мерење се може значајно смањити, али времена припреме, стезање и програмирање остају иста, тако постају све више предмет истраживања.

4. ХОЛИСТИЧКА МЕРЕЊА НА БАЗИ ПРИМЕНЕ VAST – МЕРНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ И ОПТИЧКИХ МЕТОДА МЕРЕЊА

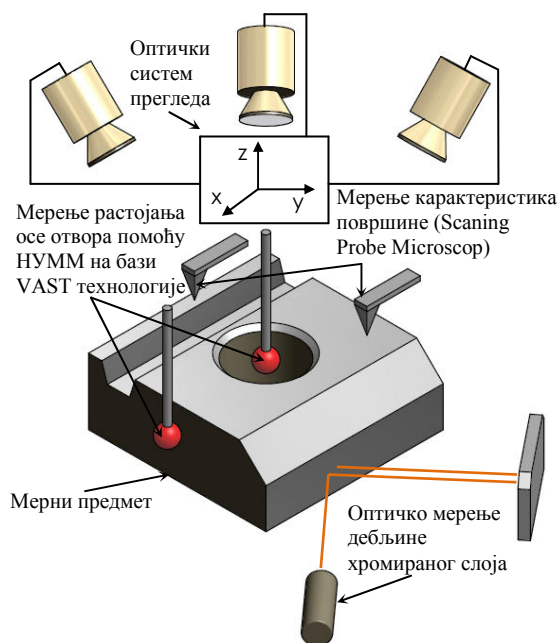
Развој у производној метрологији данас се односи на повишен опсег информација које се могу добити о мерном објекту и/или смањену цену по јединици мерне информације у односу на цену у предходном периоду, као и висок ниво примењене нове технологије у пројектовању мерних система. Тренутно се развој метрологије огледа кроз следеће трендове:

- Холистичка мерења,
- Микро/нано метрологија [6,7].

Данас коришћене тактилне методе мерења могу се допунити или делимично заменити оптичким методама мерења као што су ласерска триангулација, интерферометрија, рачунарска томографија,

зависно од потребне тачности и особина површине. Основна предност оптичких метода је аквизиција знатно већег броја тачака и јединици времена у односу на тактилне методе мерења, што доводи до скраћења укупног времена мерења. Изазови оптичке метрологије су повећање робустности према оптичким својствима мерног комада и лака употреба (нпр. неквалификована радна снага може да рукује са опремом).

Поменути недостаци оптичких метода, као и координатних мерења могу бити отклоњени интегрисаном применом оптичких метода и НУММ на бази VAST – мерне технологије у тзв. холистичким мерењима. Пример таквог мерења је дат на слици 3.



Слика 3. Мулти – сензорска метрологија

Да бисмо добили приближну позицију и оријентацију радног комада у радном простору машине потребно је имати оптичке систем прегледа. Основни задатак ових система је да смање време потребно за програмирање НУММ. Мерни опсег сензора ових система, релативно је велики, а резолуције ниска. Оптички системи базирани на обради слике се препоручују за овај задатак.

Ако је потребна аутоматска навигација користе се системи базирани на граничној пројекцији, интерферометрији или видео-микроскопији, слика 3.

Унапређење контроле квалитета, посебно микро делова комбинује различите модерне аналитичке технологије као што су AFM [8] са мерним техникама као што су оптичка микроскопија и примењена координатна метрологија. Интеграцијом различитих сензорских система у једну машину могуће је добити свеобухватне информације о деловима и склоповима.

5. ЗАКЉУЧАК

У раду је размотрена интегрисана примена VAST - мерне технологије и оптичких метода у развоју холистичких мерења у производној метрологији у циљу смањења укупног времена мерења и повећања ефикасности контроле делова у погледу тачности обраде и квалитета обрађене површине. Уз наглашавање недостатака као што је отежана употреба оптичких метода у холистичким мерењима, оптичке методе и VAST – мерна технологија све више проналазе своје место на свим нивоима производње (нано, микро, макро) и представљају правце даљих истраживања у области производне метрологије. Увођењем VAST мерне технологије, време мерење се може значајно смањити, али времена припреме, стезање и програмирање остају иста, тако да је неопходно извршити интегрисану примену VAST – мерне технологије и оптичких метода ако се жели смањити укупно време мерења, а са тиме и трошкови мерења.

6. ЗАХВАЛНОСТ

Истраживања изнета у овом раду односе се на пројекте које подржава Министарство образовања и науке Републике Србије, што се овде посебно наглашава и изражава захвалност на указаној подршци.

7. РЕФЕРЕНЦЕ

- [1] Evans J., Frechette S., Horst J., Huang H., Kramer T., et. all, *Analysis of Dimensional Metrology Standards*, NIST Manufacturing Engineering Laboratory, NISTIR 6847, December 19, 2001.
- [2] Xiaoping Z., Robert G. W., Osborne A. M., Jonathan B. B., *Software Frameworks for Integrated Measurement Processes*, Center for Precision Metrology and Intelligent Manufacturing University of North Carolina at Charlotte, Charlotte, 2002.
- [3] Weckenmann A., Kraemer P., Hoffmann J., *MANUFACTURING METROLOGY – STATE OF THE ART AND PROSPECTS*, 9th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MEASUREMENT AND QUALITY CONTROL (9th ISMQC) November 21 – 24, 2007, IIT Madras.
- [4] Imkamp D., Schepperle K., *The Application Determines the Sensor: VAST Scanning Probe Systems*, Innovation SPECIAL Metrology, Volume 8, pp. 30-33, 2006.
- [5] Schwenke H., Neuschaefer-Rube U., Pfeifer T., Kunzmann H., *Optical Methods for Dimensional Metrology in Production Engineering*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 51, Issue 2, pp. 685-699, doi:10.1016/S0007-8506(07)61707-7, 2002.
- [6] Hansen H.N., Carneiro K., Haitjema H., De Chiffre L., *Dimensional Micro and Nano Metrology*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 55, Issue 2, pp. 721-743, doi:10.1016/j.cirp.2006.10.005, 2006.
- [7] Osanna P. H., Durakbasa M. N., Kräuter L., *INDUSTRIAL METROLOGY OF THE VIEWPOINT OF NANOTECHNOLOGY AND NANOMETROLOGY*, Fifth International Working Conference "Total Quality Management – Advanced and Intelligent Approaches", UDC: 006.91;164.08, pp. 17-26, 2009, Belgrade, Serbia.
- [8] Danzebrink H. U., Koenders L., Wilkening G., *The Scanning Force Microscope as a measuring tool*, Simposio de Metrología, 2006.

Stojadinovic M. S., Majstorovic D. V.

APPLICATION OF VAST - MEASUREMENT TECHNOLOGY AND OPTICAL METHODS IN THE DEVELOPMENT OF HOLISTIC MEASUREMENTS IN THE PRODUCTION METROLOGY

Abstract:

The paper discusses the integrated application of VAST - measurement technology and optical methods in the development of the holistic measurements in the production metrology in purpose reduce measurement time and increase efficiency of control parts in terms of the accuracy of processing and quality processed surface. For supporting quality management in modern production (eg, micro / nano manufacturing) and the response to economic requirements of the market (eg lower cost of measurement), production metrology properly must keep pace with the development of production. Future trends such as the holistic measurements and optical methods, emphasizing that there are certain problems (eg, ease of use) more and more find their place at all levels of production (nano, micro, macro) and represent a direction for further research in the field of the production metrology.



Б. Бојовић¹, Д. Којић², З. Миљковић³, Б. Бабић⁴

УЛОГА БРАЗДА У ФЕНОМЕНОЛОГИЈИ ПОЛИРАЊА

Резиме

Полирање обезбеђује изузетно висок квалитет завршне обраде биоматеријала. Правoliniјске бразде које се уочавају на снимцима обрађене површине, који се генеришу скенирајућом микроскопијом су трагови гранула из полир пасте. Бразде као трагови процеса обраде су, с једне стране, извор информација, које расветљавају до сада недовољно проучен процес полирања. Са друге стране, бразде су неповољне структуре, јер се управо у њима депонују органски материјали из биолошког окружења. У овом раду се разматрају уочене бразде, њихова геометријска својства и анализира узрочна веза са величином гранула.

Кључне речи: Полирање, микро обрада, биоматеријали

1.0 УВОД

Полирање се убраја међу најстарије процесе завршне обраде и најчешће се користи када се захтева изузетно добар квалитет обрађене површине, тј. ниски параметри храпавости. Овим процесом се обезбеђује добар интегритет површине, тј. очување својстава и смањење дефеката у слојевима испод површинског. Иако се дуги низ година користи, процес полирања није у потпуности разјашњен и даље недостају основна знања везана за механизам скидања материјала.

У раду [1] се истиче недостатак како дескриптивних тако и предикционих модела. Користећи сазнања из података сакупљених експерименталним путем, истраживања дата у раду [1], указују на утицај величине грануле, концентрације гранула у пасте, оптерећења, притиска и храпавости алата за полирање на производност. Наводе се у [1] механизми адхезивног и абразивног карактера, који се јављају у зависности од оптерећења које делује на грануле током полирања. У раду [2], се наводи доминантност механизма тро-објектног хабања при ниским притисцима и малим релативним брзинама, док је механизам дво-објектног хабања доминантан при високим притисцима и великим релативним брзинама. Оба су механизма присутна истовремено, када су средњи притисци и брзине у питању. Промене у скали драматично утичу на механизам и експериментални резултати из [3], то потврђују и откривају да преовлађује утицај величине абразивних зрна на храпавост инжењерских површина генерисаних микро обрадом. Показано је да је за величину абразивних зрна од 250nm, параметар Ra у интервалу од 0.5-1 μ m. Уочена нелогичност се објашњава нагомилавањем одломака али и заглављивањем абразивних зрна која тада генеришу дубоке бразде. Дискусија у раду [4] је анализирала учинак слободних и фиксираних абразивних зрна, приликом израде инжењерских површина изузетно високог квалитета обраде (Ra=8nm) методама прецизног брушења, лаповања и полирања. У случају већег броја слободних абразивних зрна, специфична производност је већа, јер

¹ Доц др Божица Бојовић, дипл.маш.инж., Универзитет у Београду, Машински факултет, Катедра за производно машинство, Краљице Марије 16. Београд, e-mail: bbojovic@mas.bg.ac.rs, 011/3302236

² др Душан Којић, дипл.маш.инж., Универзитет у Београду, Машински факултет, Биомедицинско инжењерство, Краљице Марије 16. Београд, e-mail: dkojic@mas.bg.ac.rs, 011/3302376

³ Проф. др Зоран Миљковић, дипл.маш.инж., Универзитет у Београду, Машински факултет, Катедра за производно машинство, Краљице Марије 16. Београд, e-mail: zmiljkovic@mas.bg.ac.rs, 011/3302468

⁴ Проф. др Бојан Бабић, дипл.маш.инж., Универзитет у Београду, Машински факултет, Катедра за производно машинство, Краљице Марије 16. Београд, e-mail: bbabic@mas.bg.ac.rs, 011/3302274

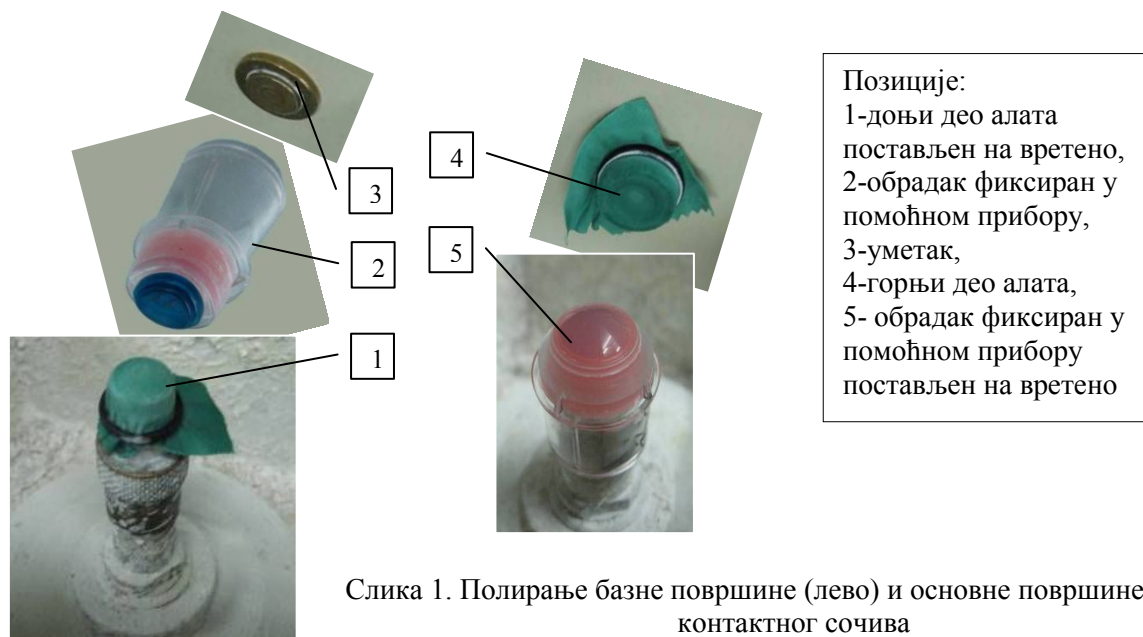
они односе више материјала него фиксирана зрна. Фиксирана абразивна зрна зато доприносе појави већег броја бразда, истакнуто је у [4]. У нано подручју се величина зрна истиче као најважнија јер одређује ширину и дубину бразда које настају, у овом случају, као жељене нано структуре. Управо зато се механизам генерисања бразда у [5] проучава са аспекта пресликавања геометрије зрна. Дубину бразда је према релацијама датим у [5] могуће одредити на основу оптерећења и тврдоће материјала обратка. Својства материјала обратка, полир пасте (грануле и флуд у ком су растворене) и параметара обраде (број обрта, притисак и време) чине јединствену комбинацију и потребно је, сходно резултатима из [6] пронаћи оптималне вредности праметра обраде и адекватно средство за полирање да би се добила површина изузетног квалитета без дефеката. То, изнова указује на сложеност феноменологије процеса полирања.

Исраживачки напори везани за процес полирања расветљавају феноменологију и пружају увид у механизме уклањања материјала, али свеобухватни модел и даље не постоји. У циљу провере закључака датих у радовима [1-6], у овом раду је дата анализа бразда уочених на снимцима полираних површина биоматеријала, који су добијени методом скенирајуће микроскопије.

2.0 ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПОСТАВКА

Припрема узорака подразумева микро обраду биополимера, која се састоји од грубог и финог стругања базне и основне површине алатима са дијамантским врхом. Завршна обрада полирањем се спроводи и након стругања базне и након стругања основне површине, тако што се обрадак у помоћном прибору поставља на вишевретену полир машину марке „City Crown“. Вретено остварује обртно главно кретање од $100^\circ/\text{min}$, а алат или обрадак са помоћним прибором, који се постављају одозго остварују додатно помоћно ротационо кретање.

На слици 1 лево, је приказан обрадак са формираном базном површином у помоћном прибору, док је десно приказан обрадак са формираном основном површином у помоћном прибору. Полирање се обавља помоћу горњих (слика 1 десно) и доњих (слика 1 лево) делова алата са фибер крпцом постављеном на њих. Алати од каучука, се формирају тако да одговарају геометријским карактеристикама обе површине, с тим да су радијуси кривина умањени за дебљину фибер крпице. Помоћни прибор са обратком се поставља одозго на алат у случају израде базне површине и преко уметка се везује са покретним органима машине (слика 1 лево), односно у случају израде основне површине, алат се поставља одозго на обрадак, који се налази у помоћном прибору (слика 1 десно).



Слика 1. Полирање базне површине (лево) и основне површине (десно) контактеног сочива

Као средство за полирање користи се полир паста са честицама алуминијум оксида раствореног у води, гранулације $0.3 \div 0.5 \mu\text{m}$. Време полирања базне површине је било у интервалу од $5 \div 20\text{s}$ за 16 узорака. Полирање основне површине је било исто и износило је око 20s.

На Машинском факултету, у оквиру Nanolab лабораторије се налази скенирајући микроскоп са мерним пипком JSPM5200, познате фирме JEOL, приказан на слици 2 лево. Овај уређај може

радити као атомски скенирајући микроскоп и то у полуконтактном моду познатијем као „тапинг“ мод. Овај мод се користи код осетљивих и мекших материјала, као што је случај са биоматеријалом који је овде коришћен, тј. PMMA са флуоро и сликоакрилатима. Снимање је спроведено на 16 узорака на 4 локације на полираној површини, са више понављања и под истим условима (слика 2 десно). За сва снимања је коришћен исти мерни пипак у ознаци PoinProbe[®] Plus фирме NOSENSORS[™], са пречником на врху од 7nm. Сви су снимци генерисани као слика величине 512×512 пиксела. Око 70-так снимака је прегледано и анализирано применом програмског пакета WinSPM, који омогућава анализу слике.



Слика 2. Снимање узорка на JSPM5200

3.0 РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

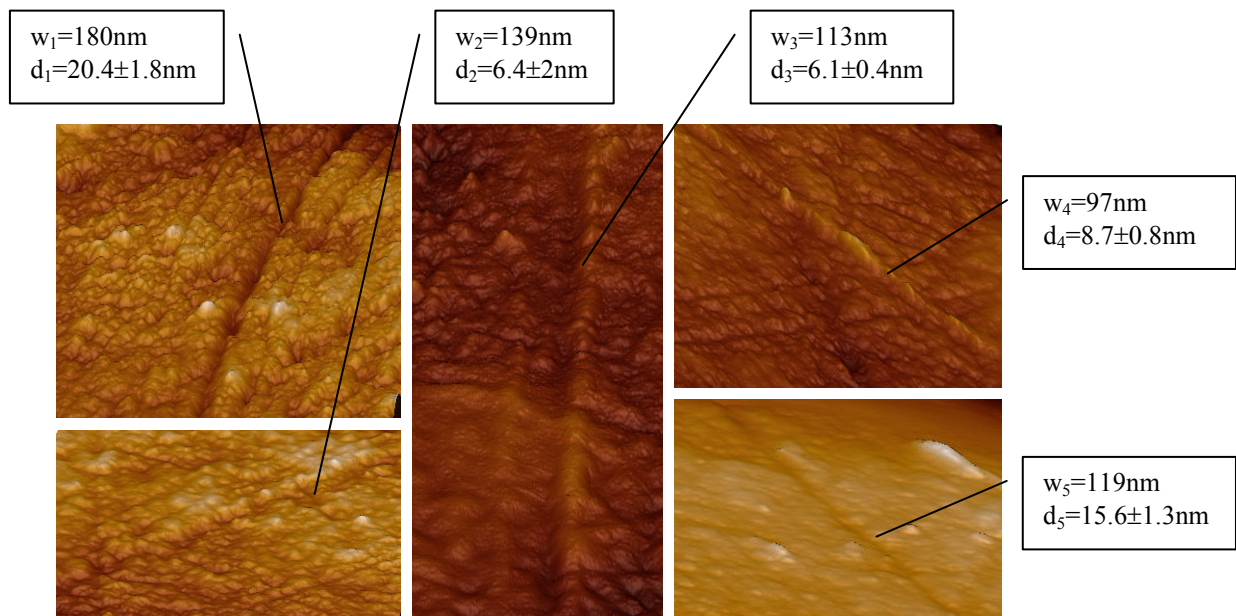
Топографски снимци узорака од биоматеријала, који су генерисани скенирањем силиконским мерним пипком у полуконтактном моду су коришћени за фракталну анализу храпавости инжењерске површине у оквиру [7]. Уз то су у [7] одређени параметри храпавости, на основу којих је показано да је квалитет обрађене површине бољи од класе N1 и да одговара тзв. квалитету оптичких површина. То се и на основу вредности Ra и Rq датим у табели 1 може и закључити. Од 70 снимака издвојено је 5 на којима је примећена појава бразда. На слици 3 су приказане бразде издвојене са пет топографских снимака. Фине и јасне линеарне структуре се могу уочити на снимцима полираних површина. С обзиром да се на снимцима површина од $5\mu\text{m}\times 5\mu\text{m}$ не јавља много бразда, тј. трагова који остају од гранула, у поређењу са снимцима површина датим у [4], може се закључити да је у полир пасти током процеса полирања било заступљено процентуално далеко више слободних гранула. Много трагова би говорило о великој густини фиксираних зрна што овде није случај.

Уопштено посматрано, полирање је процес код кога долази до скидања материјала абразијом која може настати између два објекта, што је случај када су грануле фиксиране и између три објекта, што је случај када су грануле слободне и котрљају се између површина алата и обратка. Ова два механизма уклањања материјала остварују различиту микро топографију обрађене површине. Код абразије фиксираним гранулама остају паралелне бразде док код абразије слободним гранулама долази до вишеструких микро трагова. У нашем случају се издвојене бразде приписују управо фиксираним гранулама.

Процес полирања о коме је у овом раду реч подразумева грануле алумине растворене у води. Феноменологија полирања претпоставља следеће: грануле су различитих величина унутар дефинисаног опсега и величина гранула је непромењива током процеса полирања, с обзиром да је у питању тврд материјал, те се грануле не деформишу нити уништавају. Иако велике грануле односе више материјала, могу се заглавити између неравнина, које су на површинама обратка и алата за полирање, чиме изазивају гребане и стварање бразда. Насупрот њима, мање грануле су стално покретне, те иако скидају мање материјала, остављају бољу површину. Да би се проверио овај став, одређивање карактеристичних величина бразда је неизбежно.

Интеракција гранула и обратка може бити абразивног или адхезивног карактера. Једноставно, ако оптерећење не прелази граница напона течења, грануле клизе преко површине, изазивају еластичне деформације и уклањају материјал. Када оптерећење пређе границу напона течења, настају дислокације и пластичне деформације материјала. Интеракција гранула и површине обратка указује

на доминантну силу смицања која настаје као резултат великог негативног грудног угла и мале дубине резања у контактном региону. Код абразивног механизма свака гранула појединачно носи оптерећење под чијим дејством бива утиснута у материјал. Док се вуче по површини материјала она утискује бразде и тако скида материјал. Тако настале бразде имају на ивицама потиснути материјал у виду избочина, које се на централном снимку слике 3 јасно и виде. Оне одговарају изгледу бразда добијених при нано обради гребанем, што је у раду [5] приказано на AFM снимку. Управо је зато и потребно дубину бразде одредити према нивоу површине која није деформисана. Дубина продирања је директно пропорционална оптерећењу, тј. притиску, али обрнуто пропорционална броју гранула, јер већи број значи мање јединично оптерећење по гранули, а самим тим и мању дубину. Ова расподела компликује процену дубине бразде на основу оптерећења која је у раду [5] предложена. Теоретски би највећа ширина бразде могла да буде једнака пречнику грануле. Практично, она зависи од јединичног оптерећења по гранули и тврдоће материјала површине која се полира. Непобитно је да квалитет обрађене површине зависи од дубине продирања, односно од величине грануле. Зато је у овом раду приказан једноставан метод одређивања величине гранула на основу дубине и ширине бразде, базиран на подацима добијеним са AFM снимака.



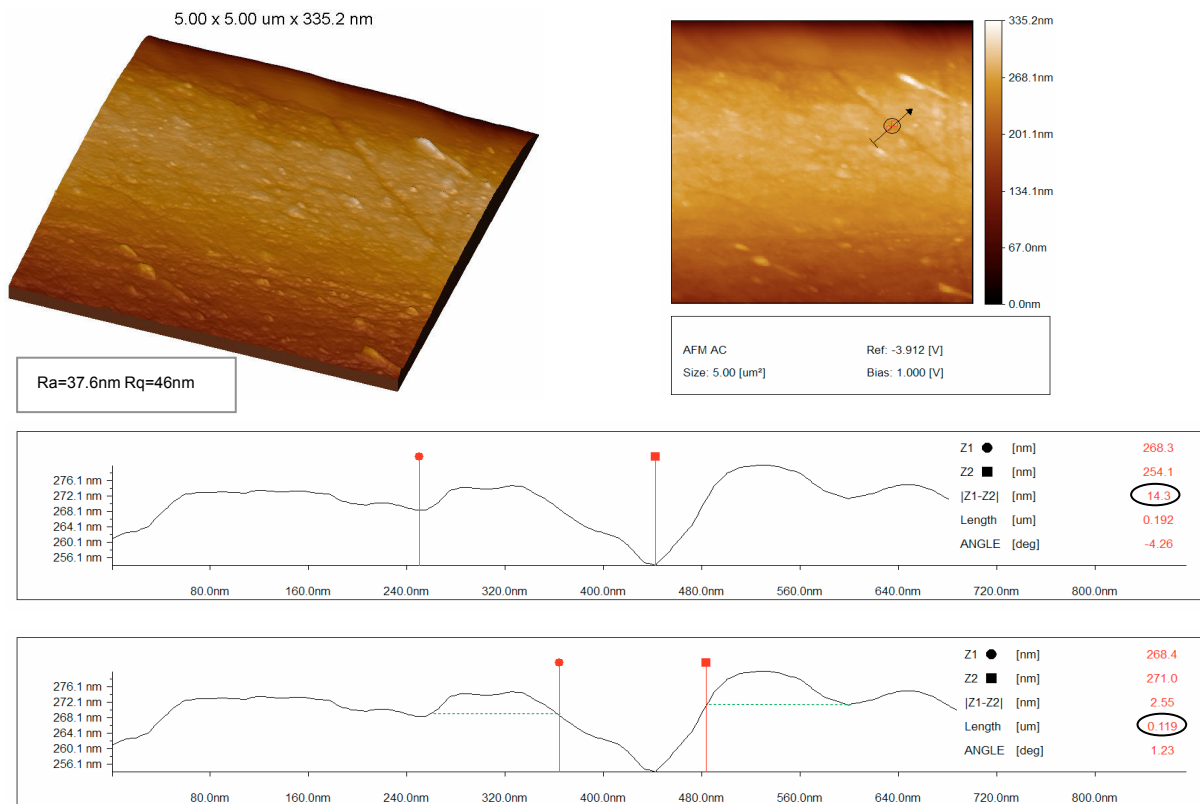
Слика 3. Издвојене бразде на AFM снимцима полираних површина са ширином w и дубином d

Табела 1. Параметри харпавости површине Ra и Rq , ширина w и дубина d бразде и срачунат полупречник грануле r

Ред.бр.	Ra (nm)	Rq (nm)	w (nm)	d (nm)	r (nm)
1	7.11	9.11	180	20.4 ± 1.8	220.5 ± 15.9
2	5.69	7.21	139	6.4 ± 2	427.5 ± 127.5
3	9.93	12.7	113	6.1 ± 0.4	268.4 ± 12.6
4	15.2	19.2	97	8.7 ± 0.8	145.7 ± 11.2
5	37.6	46	119	15.6 ± 1.3	129.9 ± 8.2

Коришћењем модула за приказивање профила на AFM снимцима у оквиру програмског пакета WinSPM, одређене су ширина w и дубина d бразда. На слици 4 горе лево, је дат 3D приказ скениране полиране површине уз параметре храпавости. На слици 4 горе десно, је дат топографски снимак код кога нијансе боје одговарају висинама неравнина у сваком пикселу. На снимку је у правцу попречном на простирање бразде провучен профил. Профил има јасно удубљење које потиче од бразде, али и приметне избочине са обе стране које потичу од потиснутог материјала, који се мора узети у обзир при читавању вредности са апсцисе и ординате. Маркери су прво постављени на позицијама које одређују дно бразде и замишљену граничну линију, која подиче од недеформисане површине обратка. На тај начин, читавање разлике у висини представља дубину бразде, која је на слици 4 уоквирена и износи 14.3nm . Маркери су, затим, постављени на позицијама које одређују

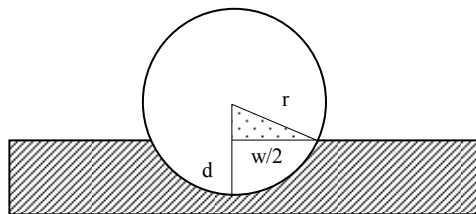
ширину бразде, водећи рачуна о елиминисању наслага по ивици бразде. Ширина бразде, која је очитана на слици 4, је уоквирена и износи 119nm. Одступање у висини бразде, које потиче од различитог нивоа површине обратка са једне и друге стране бразде је одређено на основу поновљених очитивања и у табели 1 је дата просечна дубина d са одступањем и ширина w , за свих пет уочених бразда са слике 3.



Слика 4. Анализа профила у попречном правцу у односу на правац бразде

На основу ширине и дубине бразде, се може срачунати полупречник грануле r , применом релације (1) добијене из осенченог правоуглог троугла са слике 5. У литератури [5] се може наћи упрошћена варијанта ове формуле, у смислу да је други сабирак у бројиоцу занемарен. Како у случају микро, а поготово нано обраде, ред величине гранула постаје близак карактеристичним димензијама бразде, занемаривање доводи до грешке. Величине полупречника гранула, које су утиснуте у обрадак направиле бразде са слике 3, су срачунате на основу (1) и дате у табели 1.

$$r = \frac{w^2 + 4d^2}{8d} \quad (1)$$



Слика 5. Геометријски модел продирања грануле у обрадак

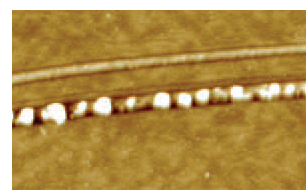
Како је познато да се полупречник гранула алуминијум оксида, растворених у воденом раствору, налази у интервалу од 150-250nm, а срачунате вредности у четири примера одговарају полупречнику у интервалу 122-280nm, може се закључити да су бразде и настале утискивањем и гребањем гранула из пасте. Као изузетак, бразда под редним бројем 2 знатно одскаче од највеће вредности полупречника гранула. Уочена неподударност са очекиваном вредношћу је последица нагомиланих одломака, који у случају када се залепе за гранулу увећавају пречник и дају шире и дубље бразде. Слично је примећено и у раду [3], што ову појаву не чини изузетком.

4.0 ЗАКЉУЧАК

На примеру микро обраде полирањем, механизам настанка бразда као отисака процеса, је анализиран и изведени су следећи закључци:

- Мали број уочених бразда на AFM снимцима површина од $5\mu\text{m}\times 5\mu\text{m}$ указује да је у полир пасти током процеса полирања било заступљено процентуално далеко више слободних него фиксираних гранула. Издвојене бразде се приписују управо фиксираним гранулама.
- Величине полупречника гранула, које су срачунате на основу геометријског модела се налазе у интервалу 122-280nm, што одговара интервалу полупречника гранула алуминијум оксида, растворених у воденом раствору од 150-250nm.
- Код бразде под редним бројем 2, уочена неподударност са очекиваном вредношћу је последица нагомиланих одломака, који у случају када се залепе за гранулу увећавају пречник и дају шире и дубље бразде.

Феноменологија процеса полирања се са становишта производности није разматрала у оквиру овог рада, јер је само главно време обраде које износи око 20s у односу на помоћна и припремна времена изузетно мало. Разматран је механизам абразије, при чему се тек на примеру уочених бразда стиче увид у то да је под дејством оптерећења утиснута гранула гребњем уклонила материјал. Потврда је добијена поређењем срачунатих вредности полупречника гранула које су утиснуте са познатим распоном полупречника гранула из пасте. Бразде представљају, у случају полирања површина биоматеријала, нежељену појаву, јер су оне доказано место на коме се депонују липиди и протеини, што се на AFM снимку на слици 6, може и видети.



Слика 6. AFM снимак наслага протеина у браздама на површини контактнoг сочива

РЕФЕРЕНЦЕ

- [1] Evans C, Paul E, Dornfeld D, Lucca D, Byrne G, Tricard M, Klocke F, Dambon O, Mullany B. „Material Removal Mechanisms in Lapping and Polishing“, Annals of the CIRP Vol. 52/2, pp. 611–634, 2003.
- [2] Brinksmeier, E., Riemer, O., Gessenharter, A., Autschbach, L. „Polishing of Structured Molds“, CIRP Vol. 53/1, pp. 247-250, 2004.
- [3] Yu, Z., Hu, X., Rajurkar, K. „Influence of Debris Accumulation on Material Removal and Surface Roughness in Micro Ultrasonic Machining of Silicon“, Annals of the CIRP Vol. 55/1, pp.201-204, 2006.
- [4] Touge, M., Watanabe, J. „Ultra-thinning Processing of Dielectric Substrates by Precision Abrasive Machining“, Annals of the CIRP Vol. 55/1, pp. 317-320, 2006.
- [5] Saka, N., Eusner, T., Chun, J.-H. „Nano-scale scratching in chemical–mechanical polishing“, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol. 57, pp. 341–344, 2008.
- [6] Klocke F., Zunke R., Removal mechanisms in polishing of silicon based advanced ceramics, CIRP Annals - Manufacturing Technology Vol.58, pp. 491–494, 2009.
- [7] Бојовић, Б., „Истраживање интеракције стања инжењерских површина и фракталне геометрије“, Докторска дисертација, Машински факултет, Београд, 2009.

B. Bojovic, D. Kojic, Z. Miljkovic, B. Babic

GROOVES IN POLISHING PHENOMENOLOGY

Abstract

Polishing provides high quality as biomaterials' finishing process. Rectilinear grooves that could be observed on scanning microscopy gathered images are polishing slurry grains traces. Grooves are the source of information consider the no well understand polishing process, from one side. From the other side, grooves aren't wanted structures because they are location for deposition of bioenvironmental organic constituent. In this paper, the extracted grooves and they features are considered and analyses grains size effect on them.

Key words: Polishing, micromanufacturing, biomaterials



M. Bulatović¹

KULTURA ORGANIZACIJE – ČINILAC POSLOVNE IZVRSNOSTI

REZIME

Sistem kvaliteta u organizaciji istovremeno znači postojanje određenog nivoa kulture, a promjene sistema kvaliteta znače određene kulturološke promjene u organizaciji.

Kultura kvaliteta je faktor kulture organizacije i znači implementaciju TQM-a (Total Quality Management – Upravljanje ukupnim kvalitetom) u kulturu organizacije. Stvaranje kulture organizacije je dugotrajan i multidisciplinarnan proces, koji treba da rezultira komparativnim prednostima za organizaciju: manji troškovi, veće uštede, produktivniji rad, povećan ugled organizacije u okruženju, uspješnost na tržištu, jednom riječi povećanu uspješnost poslovanja. Kultura organizacije je uslov i konstanta, a nivo kulture organizacije i kvaliteta njenih elemenata određuje njene specifičnosti.

Ključne riječi: kvalitet, kultura kvaliteta, organizacija, uspješnost poslovanja.

1. POJAM I NASTANAK ORGANIZACIJE

Kao pojam organizacija se može odnositi na organizaciju poslova i zadataka, preduzeća, privredne oblasti, društvene zajednice, međunarodni nivoi organizovanja.

Kvalitet svake organizacije cijeni se po tome koliko je u stanju da sve elemente proizvodnje pravilno postavi, uskladi i usmjeri na ostvarivanje optimalnih rezultata, a to znači da što racionalnije koristi ljudski rad i sredstva za proizvodnju (Vukan Dešić).

Organizacija je multidisciplinarna djelatnost koja koristi postulate drugih naučnih disciplina – fizike, matematike, fiziologije, psihologije, sociologije, ekonomike i dr.

Organizacija predstavlja oblik udruživanja ljudi radi ostvarivanja određenih zajedničkih ciljeva....

Rene Dekartes (1596-1650), francuski filozof, matematičar i fizičar, dao je ozbiljan doprinos postavljanju naučne metodologije i definisanju opštih principa organizacije, na osnovu kojih su formirani principi naučne organizacije (Vukan Dešić):

1. *princip evidencije:* Smatrati tačnim samo ono što se može dokazati,
2. *princip analize:* Raščlaniti problem na sastavne dijelove i svaki proučiti detaljno,
3. *princip sinteze:* Analizirane elemente postupno povezivati u šire komplekse, sve dok se ne obuhvati i riješi cio problem.
4. *princip kontrole:* Donositi zaključke poslije detaljnog provjeravanju pretpostavki.

2. RAZVOJ NAUKE O ORGANIZACIJI

Početak razvoja naučne organizacije rada vezan je za radove Taylora (1856-1915) i Fayola (1841 – 1925) i oni se smatraju pionirima naučne organizacije rada. Nakon njih nastavlja se intenzivno naučno istraživanje organizacije i fenomena kulture organizacije.

2.1 Klasična teorija organizacije prema FAYOLU

Henri Fayol je tvorac klasične teorije organizacije. Kao čovjek koji je prošao faze razvoja od inženjera u rudničkom oknu do generalnog direktora udruženja rudničkih preduzeća, u svojoj *Administrativnoj doktrini*, on je dao četrnaest principa koji su i danas osnova svake organizacije:

1. *Podjela rada* – specijalizacija pojedinaca,
2. *Autoritet* – funkcija i odgovornost,

¹ Prof. dr Miodrag Bulatović, akademik IACG i IAS
Mašinski fakultet u Podgorici, Crna Gora, bulatovm@yahoo.com

3. *Disciplina* – respekt prema izvršenju povjerenih zadataka,
4. *Jedinstvo u komandovanju* – jedan nadređeni,
5. *Jedinstvo u upravljanju* – uslov za prethodni princip,
6. *Podređivanje pojedinačnih interesa opštim* – uslov za opstanak cjeline,
7. *Nagrađivanje* – zadovoljstvo zaposlenih,
8. *Centralizacija* – sa granicama centralizacije i decentralizacije,
9. *Hijerarhija* – vertikalni redosljed prenošenja naredjenja sa mogućnošću horizontalnog povezivanja uz saglasnost pretpostavljenih,
10. *Red* – svaka stvar i svaki čovjek na svom mjestu,
11. *Pravičnost* – uslov za jedinstvo i disciplinu zaposlenih,
12. *Stalnost osoblja* – kontrolisana promjena osoblja,
13. *Inicijativa* – podsticati i stipulisati inicijativu zaposlenih,
14. *Jedinstvenost osoblja* – za uspješan rad neophodan je jedinstven duh i srdanja zaposlenih.

2.2 Klasična teorija organizacije prema TAYLORU

Frederic Talor je imao put u profesiji od mehaničarskog zanatlije do mašinskog inženjera. On je svoja proučavanja više usmjeravao na problematiku radnog mjesta u cilju što racionalnijeg korišćenja ljudske energije (sl.2).

Određeni Taylorovi postulati organizacije i danas su suština naučnog prilaza organizaciji:

- Tačno i jedinstveno formulisanje cilja prije svakog rada,
- Izbor adekvatnih metoda (naučnih) za ostvarenje postavljenog cilja,
- Planiranje i priprema rada, priprema alata i materijala za izvršenje zadatka,
- Postupanje u skladu sa postavljenim planom i datim – propisanim uputstvima,
- Analitično proučavanje i mjerenje rada, i dr.

2.3 Neoklasična teorija organizacije

Povod za kritičku analizu klasične organizacije jeste nedovoljno uključivanje čovjeka odnosno njegove uloge u organizaciji, što je predstavljalo podlogu za nastanak postavki neoklasične teorije organizacije (tridesete godine 20-tog vijeka).

Osnovni zajednički elementi neoklasične teorije organizacije su: *motivacija, neformalna organizacija, komunikacija i participacija*.

Motivacija - Čovjek je osnov svake organizacije.

Neformalna organizacija - U formalnoj organizaciji nema mogućnosti da se afirmiše pojedinac i da pokaže svoje stvaralačke mogućnosti. Neoklasičari smatraju da je rješenje formiranje neformalnih grupa, koje postoje dok članovima grupe to odgovara (projektna organizacija).

Komunikacija - Komuniciranje je proces prenosa informacija između subjekata.

Participacija - Neoklasičari se zalažu za participaciju u menadžmentu, što znači uključivanje radnika u procesima odlučivanja o pitanjima koja su neposredno vezana za njihov rad i život.

2.4 Moderna teorija organizacije

U dvadesetom vijeku došlo je do eksplozije pronalazaka, novih proizvoda, potreba za brзом i kvalitetnom proizvodnjom, što je uslovalo porast obima i složenosti preduzeća pri čemu je sve praćeno potrebama za sve složenijim organizacionim strukturama.

- Moderna organizacija sastoji se od sljedećih osnovnih podsistema:
- Ciljevi i vrijednosti (zadatak organizacije),
- Tehnički – tehnološki (neophodni za ostvarenje cilja),
- Psiho-socijalni (želje pojedinaca u organizaciji),
- Struktura (za regulisanje odnosa u organizaciji),
- Menadžment (povezuje elemente organizacije međusobom i sa organizacijom).

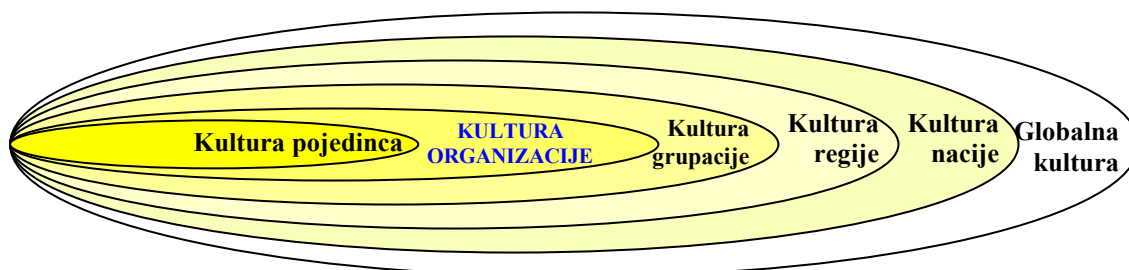
Moderna teorija organizacije ne predstavlja zaokruženu cjelinu i predstavlja kontinualni izazov za istraživanje.

3. KULTURA ORGANIZACIJE

Kultura organizacije (organizaciona kultura) neuzbježno je definisana samim pojmom kulture.

Jedna od definicija kulture je "kultura je ukupnost moralne, društvene i proizvodne djelatnosti društva." Istovremeno, kultura je "...skup obrazovanja, znanja, vještina, etičkih i socijalnih osjećaja, društvenog

ophođenja i ponašanja nekog pojedinca u odnosu prema drugima“. Taj niz počinje kulturom pojedinca, širi se na kulturu organizacije, zatim kulturu grupacije, regije, nacije, sve do globalne kulture.(sl.1).



Sl.1 Nivoi kulture organizacije

Kao sinonimi pojmu *kultura organizacije* u literaturi se sretaju pojmovi: korporacijska kultura, kultura preduzeća, kultura društva, poslovna kultura, preduzetničko-poslovna kultura, preduzetnička kultura, organizaciona kultura i sl.

U literaturi se mogu naći brojne i različite definicije organizacione kulture, odnosno kulture preduzeća, kao na primjer:

- Kultura preduzeća se može definisati kao suma zajedničkih normi, pravila, vrijednosti i stavova kojih se drži menadžment preduzeća, menadžeri i zaposleni.
- Kultura preduzeća je zajednički sistem vrijednosti uprave preduzeća, menadžera i zaposlenih koji bi trebalo širiti odgovarajućim mjerama.
- Kultura organizacije je zgrada koja je utemeljena u prošlosti, ali utiče na misaone šeme i način rješavanja problema u sadašnjosti i određuje budućnost kroz potsticanje ili sprečavanje organizacionih promjena.

Osnovni faktori organizacione kulture preduzeća su:

- *kadrovi* - kao najznačajniji resurs kojim svako preduzeće raspolaže,
- *ciljevi* – značajan faktor organizacione kulture u procesu transformacije preduzeća,
- *strategija razvoja preduzeća* – ima bitan uticaj na izbor tipa organizacione kulture,
- *djelatnost* – kreativni zadaci opredjeljuju preduzetničku kulturu, a rutinski birokratsku,
- *tehnologija* – rezultat organizacione kulture,
- *starost* – faze životnog ciklusa, njihova dužina i sadržaj veoma značajno utiču na organizacionu kulturu,
- *veličina* – dimenzija preduzeća svakako utiče na organizacionu kulturu kao i svaka veličina,
- *vlasništvo* - privatno vlasništvo opredjeljuje preduzetnički tip organizacione kulture,
- *okruženje* – sa aspekta zahtjeva tržišta i nacionalne strukture i dr.

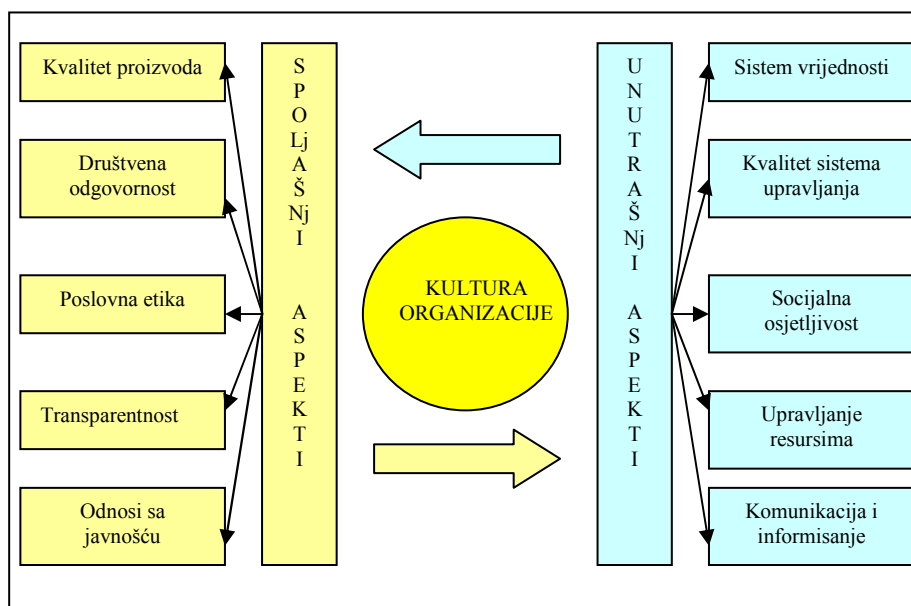
Kod uvođenja nove strategije preduzeća, promjene organizacione kulture, iskustvo pokazuje da glavni problem nije projektovanje inovativnih zahvata (nije problem angažovati projektantske i naučno-istraživačke funkcije ili eksperte) već je problem njena realizacija.

Kultura preduzeća zavisi od brojnih faktora kao što su: specifičnost grane, istorija i tradicija preduzeća, kvalifikaciona struktura i nivo obrazovanja zaposlenih, profesionalni način razmišljanja top menadžmenta i dr. Posebno značajan uticaj na kulturu preduzeća ima ponašanje top menadžera – lidera. Njegov zadatak je da koordinira različite interese i obezbijedi saglasnost i zajedničko uvjerenje o najznačajnijim pitanjima preduzeća. Na taj način se stvaraju uslovi za razvoj kulture preduzeća.

4. ASPEKTI KULTURE ORGANIZACIJE

Kultura organizacije izgrađuje se unutar organizacije, a manifestuje se, kako unutar organizacije tako i izvan nje. U tom kontekstu određuju se unutrašnji i spoljašnji aspekti kulture organizacije (sl.2). Aspekti kulture organizacije predstavljaju grupe kriterijuma za njenu ocjenu.

Da bi se nivo kvaliteta spoljašnjih aspekata podigao do željenog nivoa u javnosti, obavezno je izgraditi unutrašnje aspekte kulture organizacije.



Sl. 2 Aspekti kulture organizacije

4.1 Unutrašnji aspekti kulture organizacije

Sistem vrijednosti je dio unutrašnjeg spektra koji govori kako se treba ponašati i kojem stanju treba težiti. Dolazeći u organizaciju pojedinac donosi individualni sistem vrijednosti koji može biti, u većoj ili manjoj mjeri, (ne)kompatibilan sa sistemom vrijednosti koji je već izgrađen u organizaciji. Tada pojedinac prilagođava svoj sistem vrijednosti organizacijskom (socijalizacija). Nekada može se desiti i suprotan proces (individualizacija), kada se sistem vrijednosti organizacije prilagođava onome koji je donio pojedinac – obično uticajan lider.

Kvalitet sistema upravljanja je skup karakteristika koje ga čine sposobnim da ispuni zahtjeve interesnih grupa.

Socijalna osjetljivost kao unutrašnji aspekt kulture organizacije ima za cilj da osigura zadovoljstvo zaposlenih kao ključnog faktora sistema kvaliteta i kvaliteta kulture organizacije.

Resursi su jedan od strukturnih elemenata sistema upravljanja. Oni mogu obuhvatiti: ljudske potencijale, dobavljače i partnere, informacije, infrastrukturu, radnu sredinu, prirodne resurse i finansijska sredstva.

Komunikacija i informisanje – u funkciji su transparentnosti poslovanja, a imaju i zadatak motivacije zaposlenih. Posebno je važno osigurati kvalitetnu komunikaciju i informisanje unutar pojedinog poslovnog procesa i među poslovnim procesima.

4.2 Spoljašnji aspekti kulture organizacije

Kvalitet proizvoda ili usluga je skup karakteristika koje ih čine sposobnim da ispune zahtjeve kupaca/korisnika. Kultura organizacije podrazumijeva uvažavanje zahtjeva kupaca/korisnika kroz kvalitet proizvoda ili usluga. Kultura organizacije, sa aspekta kvaliteta kao spoljašnjeg aspekta, zahtijeva izgrađen i implementiran sistem prikupljanja, evidentiranja, obrade, analize i izvještavanja o reklamacijama kao i informisanje kupca/korisnika o preduzetim aktivnostima i mjerama. Kompetentna ocjena kvaliteta kao spoljašnjeg aspekta kulture organizacije jeste ocjena koju daje tržište.

Društvena odgovornost znači odgovornost menadžmenta za njegove postupke koji su bazirani na ekološkim normama, a za njihovu realizaciju, menadžment je odgovoran pred javnošću okruženja (tabela 1).

Tabela 1: Praćenje društvene odgovornosti

Odgovornost prema zajednici:	Uključivanje u rad zajednice:
<ul style="list-style-type: none"> - objavljivanje informacija važnih za zajednicu - osiguranje jednakih uslova - uticaj na lokalnu i nacionalnu ekonomiju - odnosi s predstavnicima vlasti - etičko ponašanje 	<ul style="list-style-type: none"> - uključivanje u obrazovanje - podrška zdravstvenom i socijalnom okruženju - podrška sportu - dobrovoljni rad
Aktivnosti smanjivanja i prevencije šteta iz poslovanja	Izvještavanje o aktivnostima koje pomažu u očuvanju i održivosti resursa

- zdravstveni rizici i nezgode - buka i neugodni mirisi - opasnosti (sigurnost) - zagađenje i emisija toksičnih materija	- izbor transporta - ekološki uticaj - smanjivanje i zbrinjavanje otpada - zamjena sirovina i drugih inputa - korištenje komunalnih usluga
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Poslovna etika se odnosi na one vrste poslova koji se obavljaju za druge i to s ciljem ostvarenja koristi i za druge, kao i direktne ili indirektno koristi za matičnu organizaciju.

Transparentnost znači jasnoću, preglednost i razumljivost (posebno korektnom prezentacijom korisnih informacija neophodnih za odlučivanje) i direktno doprinosi kulturi organizacije. objavljivanjem i korektnom prezentacijom korisnih informacija neophodnih za odlučivanje.

Odnosi s javnostima i proces komunikacija imaju samo jedan smisao – javno mnjenje.

6. KULTURA KVALITETA U ORGANIZACIJI

Kultura kvaliteta pojam je koji se često spominje u kontekstu kulture organizacije. Kultura kvaliteta je skup principa i legalnih postupaka kojima se osnovni koncepti TQM-a integrišu u kulturu organizacije. Oni uključuju orijentaciju na primjenu principa upravljanja kvalitetom u poslovanju organizacije (usmjerenost na kupca – marketinška orijentacija, liderstvo, uključivanje zaposlenih, procesni pristup, sistemski pristup upravljanju, stalno poboljšanje, donošenje poslovnih odluka na osnovu činjenica, partnerski odnos sa dobavljačima. Vrijednosti kulture organizacije mogu se posmatrati u četiri kategorije (tabela 2).

Tabela 2: Kategorije vrijednosti kulture organizacije

Rb.	Kategorija vrijednosti	Karakteristike
1.	Osnovne vrijednosti	- duboko ukorijenjene u principe poslovanja organizacije, - često utvrđuju način na koji organizacija radi, - pokazuju originalnost organizacije u odnosu na druge.
2.	Aspirativne vrijednosti	- potrebne su organizaciji da bi ostvarila svoje ciljeve, stim što joj neke od tih karakteristika nedostaju, - mogu nastati izgradnjom nove strategije ili iz nužde (promjena tržišta).
3.	Karakteristike dopuštenog ponašanja	- odražava ponašanje i socijalni zaposleni moraju zadovoljiti
4.	Slučajne vrijednosti	- razvijaju se spontano bez nekog snažnog uticaja od strane menadžmenta i tokom vremena jačaju.

6.1 TQM - Potpuno upravljanje kvalitetom

Potpuno upravljanje kvalitetom (*Total Quality Management -TQM*) je pristup upravljanju koji podrazumijeva dugoročnu orijentaciju ka kontinuiranom poboljšanju kvaliteta koja će zadovoljiti očekivanja kupaca i istovremeno to je uzrok i posljedica kulture kvaliteta i organizacije.

Da bi TQM funkcionisao neophodno je da postoji:

- *odlučnost uprave* da se orijentiše na kvalitet kao konkurentsku prednost i da TQM postane način života organizacije,
- *aktivna participacija* svih zaposlenika na svim organizacijskim nivoma,
- *saradnja dobavljača* da bi proces bio u potpunosti efikasan,
- *naglasak na permanentom obrazovanju* i razvijanju vještina → organizacija koja uči, timski rad
- *prikupljanje podataka, vrjednovanje i povratna veza* pomoću koje se uspostavljaju programi poboljšanja.

6.2 Osnovne prepreke na putu prema kulturi kvaliteta u organizaciji

Osnovne prepreke na putu prema kulturi kvaliteta su:

1. **Kratkoročne mjere** – zahtjevi usmjereni na kratkoročne finansijske rezultate uguši će nastojanja za implementaciju sistema kvaliteta.
2. **Nesigurnost radnog mjesta** – ukoliko se zbog uvođenja sistema upravljanja kvalitetom treba da smanji broj radnih mjesta, radnicima se moraju objasniti razlozi.
3. **Loše projektovani poslovi** – jedan od prvih koraka u izgradnji kulture kvaliteta trebalo bi da bude uključivanje radnika u projektovanje metoda vlastitoga rada.
4. **Nedostaci menadžmenta** – ako top menadžment nije aktivan u planiranju i sprovođenju programa kvaliteta, neće se razviti kultura kvaliteta.
5. **Nema dugoročne opredijeljenosti za kvalitetu.**

Postoje tehnike koje su se pokazale uspješnim kod izgradnje kulture kvaliteta: pokazati opredijeljenost, ostvariti vezu s kupcem/korisnikom, participacija zaposlenih u rješavanju problema kvaliteta, rješavanje unutrašnjih problema organizacije, timski rad, primjenjivati jezik kvaliteta, promocija uloge zaposlenih u poslovnim procesima

7. ZAKLJUČCI

Kvalitet svake organizacije ogleda se u tome koliko je organizacija u stanju da elemente proizvodnje pravilno postavi, uskladi i usmjeri na ostvarivanje optimalnih rezultata, uz racionalno korišćenje svih resursa a prije svega ljudski rad i sredstva za proizvodnju.

Početak razvoja naučne organizacije rada vezan je za radove Taylora i Fayola koji se smatraju pionirima naučne organizacije rada. Nakon njih nastavlja se intenzivno naučno istraživanje organizacije i fenomena kulture organizacije.

Kultura preduzeća zavisi od brojnih faktora kao što su: specifičnost grane, istorija i tradicija preduzeća, kvalifikaciona struktura i nivo obrazovanja zaposlenih, profesionalni način razmišljanja top menadžmenta i dr.

Kultura kvaliteta je skup principa i legalnih postupaka kojima se osnovni koncepti TQM-a integrišu u kulturu organizacije.

Osnovne prepreke na putu prema kulturi kvaliteta su: kratkoročnost mjera, nesigurnost radnog mjesta, loše projektovani poslovi, slabosti menadžmenta i nedostatak dugoročne opredijeljenosti za kvalitet.

Poslovni rezultat se ne očekuje već njima treba upravljati. U tom kontekstu koncept kulture organizacije u funkciji je dugoročne poslovne uspješnosti. Kultura kvaliteta kompatibilna je kulturi organizacije u svojim ciljevima.

LITERATURA:

- [1] Bulat V., *Teorija organizacije*, ICIM, Kruševac, 1999.
- [2] Bulatović, M., *Organizacija i menadžment u saobraćaju – organizaciona kultura*, Mašinski fakultet, Podgorica, 2008.
- [3] Dešić, V., *Metode naučne organizacije rada*, Naučna knjiga, Beograd, 1966.
- [4] Drljača, M., *Kultura kvaliteta i organizacija*, Zagreb, 2008.
- [5] Drucker FP, *Menadžment za budućnost*, Grmeč, Beograd, 1995
- [6] Vešović, V., *Organizacija saobraćajnih preduzeća*, Saobraćajni fakultet, Beograd, 2002
- [7] Janičijević, N., *Organizaciona kultura*, Ekonomski fakultet Beograd i Ulixes Novi Sad, 1997.

M. Bulatovic

ORGANIZATIONAL CULTURE - FACTOR BUSINESS EXCELLENCE

ABSTRACT

A system of quality in an organization signifies an existence of culture on a certain level, whereas changes in the system of quality signify certain cultural changes in the organization. The culture of quality is a factor within the culture of an organisation and it means the implementation of TQM (Total Quality Management) in the culture of the organisation. Creating a culture is a long-term and multidisciplinary process that should result in comparative advantages for the organisation at hand: lower expenditure, higher savings, more productive work, increased reputation of the organisation in its surroundings and success on the market, which taken together means increased successfulness of business. The culture of an organisation is a condition and a constant, whereas the level and the quality of its elements determine its characteristics.

Key words: *quality, the culture of quality, organisation, successfulness of business.*

IN MEMORIAM
Prof. Dr Dragiša M. Mandić

IN MEMORIAM

Prof. Dr Dragiša M. Mandić



Govoriti o prof. D. Mandiću znači, pre svega, govoriti o čoveku velike profesionalne odgovornosti, velikom prijatelju i saradniku, pedagogu i čoveku najviših moralnih i radnih kvaliteta, čoveku uvek spremnom da svakom ukaže zatraženu uslugu i pomoć.

Životni put prof. Mandića je obeležen izuzetnom dinamikom i sjajnim primerima ljudske upornosti, istrajnosti i radnim elanom. Rođen je 22.11.1928. godine u selu Kamenici, SO Koceljeva. On je dete zemljoradničke višebrojne porodice (sa šatoro dece) oca Momčila i majke Angeline (Petrović).

Osnovnu školu (četiri razreda) završio je u Kamenici 1939. godine sa odličnim uspehom. Posle oslobođenja zemlje, odnosno oktobra 1945. godine, došao je u Beograd i započeo izučavanje preciznomehaničarskog zanata u privatnoj radioni „Robot“. Kada je posle nacionalizacije 1947. godine formirano društveno preduzeće za preciznu mehaniku „Borac“ u njemu je završio preciznomehaničarski zanat oktobra 1947. godine. Uporedo sa izučavanjem zanata završio je sa odličnim uspehom i dva razreda Stručne produžne škole. Uz rad u preduzeću „Borac“ završio je jednogodišnju školu za kvalifikovane alatničare. Kao kvalifikovani alatničar radio je sve do odlaska u JNA 1948. godine. Školu rezervnih oficira „Tenkista“, u III klasi završio je sa odličnim uspehom. Po dolasku iz JNA 1949. godine zaposlio se u Industriji preciznih uređaja i aparata „Sutjeska“ u Beogradu. Iste godine upisao se u Industrijski radnički tehnikum, koji je uz rad završio sa odličnim uspehom 1952. godine. Od 1952. godine radio je: kao tehničar mašinstva i alatničara u Industriji mašina i traktora (kasnije IMT), potom od oktobra 1952. godine do maja 1953. godine u Preduzeću preciznih instrumenata „Teleoptik“ u Zemunu i do maja 1953 do septembra 1955. godine u Industriji elektrotehnike „Obod“ u Cetinju.

U toku studija na Mašinskom fakultetu, koje je upisao 1955. godine, a diplomirao januara 1961, sa prosečnom ocenom 8,19, radio je u nekoliko radnih organizacija u svojstvu tehničara konstruktora (IMT, IKARUS idr.). Posle diplomiranja izabran je za asistenta za predmet Mašine alatke na Mašinskom fakultetu u Beogradu. Posle diplomirane studije (III stepen) upisao je 1963. godine, a magistarski rad pod naslovom „Obrada venca cilindričnih zupčanika metodom plastične deformacije“ odbranio je 10. marta 1977. godine na Mašinskom fakultetu u Beogradu. Doktorsku disertaciju pod naslovom „Prilog određivanju karakteristika cilindričnih zupčanika izradjenih plastičnom deformacijom relativnim kotrljanjem“, odbranio je 8.10.1981. godine, takodje na Mašinskom fakultetu u Beogradu.

Pored obavljanja niza nastavnih i drugih obaveza na Mašinskom fakultetu, od avgusta 1961. do januara 1963. godine, radio je honorarno kao samostalni konstruktor specijalnih alata i uređaja u preduzeću „Alatnica“ u Beogradu.

Od osnivanja Instituta za alatne mašine i alate (IAMA) 1963. godine učestvovao je u realizaciji više razvojno-istraživačkih projekata u ovom Institutu. Posebno, u istraživačkom timu pod rukovodstvom prof. Dr Pavla Stankovića, radio je na projektu „Izrada zupčanika plastičnom deformacijom relativnim kotrljanjem“ na kojem je nastavio da radi i posle smrti prof. Stankovića 1969. godine. Ovaj projekat bio je osnova za izradu njegovog magistarskog rada i doktorske teze.

Svi nastavni i naučno-istraživački rezultati rada prof. Mandića ostvareni su u periodu njegovog rada na Mašinskom fakultetu u Beogradu i to, od 1961 do 1994. godine. Kao asistent održavao je vežbe iz predmeta Katedre za proizvodno mašinstvo (laboratorijske, pregled

grafičkih radova i projekata iz većeg broja nastavnih disciplina-Mašina alatki, Mašinske obrade, Tehnologija mašinogradnje, Alata i pribora I i II, Mašinske obrade II, Usmerenih tehnologija, Teorije obrade metala, Proizvodni sistemi) i to: na Mašinskom fakultetu u Beogradu i u njegovim Centrima i Odelenjima: u Kragujevcu, Trsteniku, Valjevu, Užicu i Žarkovu i fakultetima van Beograda u Novom Sadu.

Posle izbora u nastavničko zvanje držao je i predavanja iz većeg broja navedenih predmeta na Mašinskom fakultetu u Beogradu i centrima Mašinskog fakulteta van Beograda U ovoj aktivnosti dostigao je visoke domete i primernog rada univerzitetskog poslenika. Neophodno je posebno istaći da je Prof. Mandić *samo svojim velikim, mukotrpnim i savesnim radom u svom obrazovanju i razvoju prešao put do kvalifikovanog alatničara, a potom do naučnog radnika i profesora univerziteta.*

Prof. D. Mandić i Prof. D. Nikolić su se upoznali neposredno posle njegovog izbora za asistenta i vrlo intezivno su saradjivali u ostvarenju i nastavnih i naučno-istraživačkog rada sve do naših odlazaka u penziju. U toj saradnji nikada i ni jednog trenutka nije došlo do bilo kakvih nesporazuma. Na početku te saradnje veoma mnogo smo radili na definisanju i pripremi novih, posebno na definisanju sadržaja i obima projrkta i laboratorijskih vežbi iz trosemestralnog predmeta Mašine alatke (po Statutu 1964). Sve predloge u tom cilju je, prof. P. Stanković, predmetni nastavnik, svesrdno podržavao. U tom periodu, porast broja studenata na Grupi za proizvodno mašinstvo je bio izuzetan, čak i do trećine svih studenata upisanih u VII semestar na Mašinskom fakultetu u Beogradu.

Posebno je impresivan opus rezultata naučno-istraživačkog rada prof. Mandića. Sama prilika, za koju se piše ovo slovo, nameće da se napiše nešto samo o manjem ali značajnijem delu tih rezultata. Saopštio je, kao autor ili koautor, na naučno-stručnim konferencijama i skupovima i objavio, više od 100 naučno-stručnih radova u domaćim i međunarodnim naučnim i naučno-stručnim publikacijama. Posebno treba istaći veliki broj i veliki značaj i elaborata ograničene cirkulacije. Objavljeni radovi i elaborati ograničene cirkulacije su tematski veoma saglasni.

Nekoliko značajnijih rezultat:

1. rezultati istraživanja i data konkretna rešenja mnogih problema većeg broja Radnih organizacija (IMR, IKL, Zavodi Crvena zastava, Teleoptik, ILR, Termoelektrana Nikola tesla-B, MKS Smederevo, Zmaj, Minel, Petar Drapšin Mladenovac, Jelšin Grad-Banja Luka itd.);
2. rezultati kompleksnih ispitivanja prototipova nekoliko proizvođača Mašina alatki: ekscentar presa (EPR-100: EP-63 itd) Hidrauličnih makaza (HM-5), Vertikalnog struga K-10 (ILR);
3. rezultati istraživanja uzroka havarije većeg broja mašina za obradu deformisanjem (npr. lom zavijne spojnice pritiskivača i ekscentra glavnog vratila ekscentar prese EP-55 i rešenje da se uspešno spreče nove havarije (IKL); havarije mehaničke prese-KES-630 (MKS-Kovačnica) itd.

Koautor je ili autor više izvedenih konstrukcija mašina i uređaja neobhodnih za iatraživanja, razvoj i primenu novih tehnologija:

A. Izrade zupčanika plastičnim deformisanjem (1. Projektovanje i konstruisanje uređaja za modelsko ispitivanje tečenja materijala i formiranje zubaca metodom valjanja relativnim kotrljanjem 2. Projektovanje i konstruisanje eksperimentalne mašine za obradu venaca zupčanika plastičnom deformacijom relativnim kotrljanjem; 3. Projektovanje i konstruisanje uređaja za završno valjanje zupčanika u hladnom stanju; 4. Projektovanje i konstrukcija uređaja za uporedno ispitivanje čvrstoće podnožja zubaca na lom, zupčanika izradjenih rezanjem i valjanjem; 5. Projektovanje i konstruisanje uređaja za dinamičko ispitivanje zupčanika). Ova istraživanja su nastavak ranijih istraživanja prof. Pavla Stankovića i ostvarena su pod njegovim rukovodstvom. Kasnija istraživanja ostvario je prof. Mandić. Rezultati modelskih istraživanja, od nemetalnih materijala, iskorišćeni su za projektovanje mašine za oblikovanje zuba zupčanika (od metala) u hladnom i toplom stanju. Ove je prva mašina ove vrste konstruisana i proizvedena u našoj zemlji.

B. Topljenje metala pod troskom-EPŽ (1. Rekonstrukcija običnog uređaja za topljenje metala u uređaj za eksperimentalno istraživanje i primenu EPŽ u izradi kovačkih alata i dr.; 2.

Konstruisanje i izrada specijalnog lonca za topljenje troske; 3. Konstrukcija i izrada nekoliko kristalizatora za izradu kovačkih alata za potrebe Zavoda CZ i Prvi Partizan; 4. Konstrukcija i izrada specijalnog podmetača kristalizatora za topljenje metala pod troskom). Određenom primenom ove tehnologije moguće je ostvarenje veoma značajnih ušteda regeneracijom mnogih delova mašina i postrojenja i to znatno uspešnije od primene klasičnih metoda. Ona omogućava i: 1. regeneraciju kovačkih alata; 2. kompletnu izradu kovačkih alata i to istovremenim oblikovanjem tela i udubljenja i to takvog kvaliteta i tačnosti da naknadna obrada udubljenja alata za prethodno i priprmo kovanje nije potrebna, a udubljenje za završno oblikovanje, naknadno treba polirati i, eventualno, brusiti i to samo u slučajevima kada se radi o oblikovanju otkovaka visoke tačnosti; 3. oblikovanje samo blokova alata s tim što se naknadnom obradom rezanjem izradjuju odgovarajuća udubljenja. Posebno je nophodno naglasiti da za kompletnu izradu novih alata ili izradu samo blokova alata koristi se pretapanje starih istrošenih alat, što je veoma mnogo korišćeno i koristi se u ZCZ. Primenom ove tehnologije ostvaruju se velike uštede visoko kvalitetnih, deficitarnih i uvoznih čelika i troškova izrade kovačkih alata. Broj pretapanja starih alata nije posebno ograničen. Kompletno izradjeni kovački alata su znatno veće postojanosti, čak 2-4 puta, prvenstveno u zavisnosti od složenosti njihovih udubljenja.

C. Oblikovanje čeličnih delova specijalnim livenjem pod prisiskom. Poznato je da se livenjem pod pritiskom koristi u izradi mnogih delova od obojenih metala. Za posebne potrebe namenske proizvodnje u Krušiku u Valjevu bilo je potrebno istražiti mogućnosti primene ove tehnologije i za izradu delova od čelika. Ostvarena su modelska ispitivanja, definisani tehnološki parametri i izradjen je alat i prva oblikovanja delova za potrebe namenske proizvodnje u Krušiku.

Kratak osvrt na još nekoliko značajnijih rezultata rada Prof. Mandića.

Zapaženo je da su mnoge Mašine za obradu deformisanjem, u mnogim našim fabrikama, veoma često preopterećivane i da su, prvenstveno zbog toga, nastajale njihove havarije. Da bi se to sprečilo istraživene su naknadne mogućnosti (pored onih koje su njihovi proizvođači ugradili) za sprečavanje njihovih preopterećenja. **Projektovan je i praćena je izrada hidrauličnog uređaja** i njegova ugradnja na poresi „PELS IWK-400 u Pogonu „ZMAJ“ u Zemunu. Ispitivanjem je utvrđeno da uspešno ostvaruje svoju funkciju u dužem vremenskom periodu.

Projektovanje, konstruisanje i izrada dinamometara za merenje intenziteta i centričnosti udarnih sila kovačkih mašina, prvenstveno presa od 100 i do 3.000 t, koji to omogućavaju i u proizvodnim uslovima. Korišćenjem dinamometra od 3.000 t izvršena su merenja u „Kovačnici“ Zavoda CZ u Kragujevcu i to na presama „ŠMERAL“ nominalnih sila od 630, 1.600 i 2.500 t. Rezultati merenja su pokazali da npr. presa nominalne sile 2.500 t može ostariti maksimalnu silu na pritiskivaču prese, odnosno njena stvarna nominalna sila, u njenom tadašnjem stanju, ne može biti veća od 1.900 t, što je značajno manje od navedene od proizvođača ovih presa. Ovim je ukazano: 1. da je neophodna verifikacija stvarnih nominalnih sila presa, posebno posle svake remontne intervencije, reglaže i pripreme; 2. da je neophodna verifikacija mogućnosti izrade određenih otkovaka na određenim mašinama, da bi se sprečilo njihovo preopterećenje i eventualne moguće havarije. Ostvareno je i ispitivanje pritisne sile hidraulične prese model 693-HP-315 u pogonima RO „Heroj Srba“ u Smederevu. Prijavljen je i priznat je patent „Vičecelijski dinamometar sa mernim trakama za merenje udarnih sila kovačkih mašina“ od strane Saveznog zavoda za patente br.21586-P3324/75.

Izradjen je **bazni tehnološki projekat kovanja** delova od obojenih materijala za potrebe namenske industrije Jugoslavije. Na osnovu ovog projekta projektovana je potpuno nova i praćena realizacija Kovačnice u preduzeću „Petar Drapšin“ u Mladenovcu. Pored toga, definisovane su osnovne tehnološke karakteristike hidrauličnih presa (za oblikovanje potpornih točkova tenkova) nominalnih sila pritiskivača od 30.000 i 7.000 t (instalisan u tadašnjem KAT-h u Titogradu-ada Podgorici) i prese (za oblikovanje poda tenkova) instalisan u „Djuri Djaković“ u Slavanskom Brodu.

Delimična rekonstrukcija i revitalizacija dve brusilice i jednog struga za obradu valjaka Valjaoničkih stanova, koji su jako oštećeni u požaru pogona hladne valjaonice u MKS. Revitalizaciju niko nije prihvatio čak i njihov proizvođač iz Istočne Nemačke. Prema detaljnom pregledu konstatovano je da je revitalizacija itekako moguća. Prihvatili smo da pod našim

rukovodstvom i kontrolom i u zajednici sa ILR-Železnik, „Sever“ Subotica i MKS ostvarimo i delimičnu rekonstrukciju i revitalizaciju. Veoma uspešno su ostvareni svi zahevi a Društvu su uštedjena veoma velika finansijska sredstva

Konstrukcija i proračun elektrootporne peći za proizvodnju kvarcnog stakla-EPKS-03. Konstrukcija je uradjena po zahtevu Instituta za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina. Peć je izradjena i instalirana u Organizaciji „ŠAMOT-PARTIZANI“ u Arandjelovcu. U proizvodnji više tona kvarcnog stakla dobijeni su pozitivni rezultati pa je na osnovu tih rezultata proizvedeno još šest peći sličnog kapaciteta.

Stručne ekspertize i veštačenja, recenzije rukopisa knjiga, udžbenika, radova (članaka) i razni prevodi (26). Učešće na stručnim i naučnim skupovima (19), **Studijski boravci** u inostranstvu-SSSR (dva puta), zapadna Nemačka, Madjarska i Istočna Nemačka.

Iz dosada navedenog može se konstatovati da je prof. Dragiša Mandić ostvario visoke naučne i posebno vrlo visoke stručne rezultate u oblasti proizvodnog mašinstva.

Pored obimnog angažovanja na održavanju nastave i u naučno-istraživačkom radu prof Mandić je aktivno učestvovao u raznim komisijama i organima upravljanja na Mašinskom fakultetu i u društvenim aktivnostima van Fakulteta.

Od velikog broja navešću samo nekoliko značajnijih aktivnosti na **Mašinskom fakultetu**:

- član Saveta,
- šlan Izvršnog odbora Saveta,
- član Saveta OOUR-a,
- član Komisije za usavršavanje nastavnih planova i programa MF i član komisije za nastavne planove i Odeljenja u Valjevu,
- član Veća Grupe za proizvodno mašinstvo (u više mandata),
- član Izvršnog odbora Saveza sindikata,
- član Predsedništva Saveza sindikata,
- delegat MF u Privrednoj komori Beograda,
- delegat u koordinacionom odboru za razvoj i izgradnju Odeljenja MF u Valjevu,
- član većeg broja komisija MF. Itd.

Od **aktivnosti van Mašinskog fakulteta** ističe se: 1. predsednik Aktiva saveza alatničara Mašinskog fakulteta i IAMA; 2. Predsednik predsedništva saveza alatničara Beograda (1984-86); 3. član Medjuopštinskog žirija takmičenja metalnih radnika-Palilule i Zvezdare 1975; 4. član žirija Gradskog takmičenja metalnih radnika Beograda (u periodu od 1976 do 1988) i predsednik tog žirija 1989.godine; 4. član Žirija takmičenja metalnih radnika Srbije (1987-89), i 5.. član Žirija takmičenja metalnih radnika Jugoslavije (1987 i 1989).

Društvo, mnoge Radne organizacije i Univerzitetska javnost iskazali su mu priznanje za rezultate njegovog plodnog rada dodeljujući mu više Nagrada, Povelja i Zahvalnica. Među njima se posebno ističu: Orden rada sa srebrenim vencem za zasluge i postignute uspehe u radu od značaja za napredak zemlje, kojim ga je odlikovalo svojim Ukazom Predsedništva SFRJ,(1984); Povelja sa srebrnom značkom, za doprinos radu i razvoju Sindikata i Socijalističkih samoupravnih odnosa u Socijalističkoj Republici Srbiji, dobijene od Saveza sindikata Srbije (1985).

Neumitnost kraja ovozemaljskog života, kojom je priroda ili Bog podario svim živim bićima pa i ljudskom rodu, učinila je kraj fizičkog prisustva kolege Mandića ali ne i, duboko sam uveren, našim sećanjima, trajnom pamćenju i uspomena na izuzetno dobrog saradnika i prijateljuža Dragiše.

Iskazujmo duboku zahvalnost, ne samo naše Katedre za proizvodno mašinstvo, već celog kolektiva Mašinskog fakulteta u Beogradu prof Mandišu, za njegov doprinos: razvoju i unapređenju i nastavnih procesa i naučno-istraživačke misli i napretku društva u celini.

Neka mu je večna slava i hvala!

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

658.5:004.382(082)
004.896(082)
621.7/.9-52(082)
007.52:658.5(082)
005.22(082)

ZBORNIK radova = Proceedings / 30.
simpozijum CIM u strategiji tehnološkog
razvoja industrije prerade metala [i] 24.
simpozijum CAD/CAM [i] 33. simpozijum NU -
ROBOTI - FTS [i] 39. simpozijum Upravljanje
proizvodnjom u industriji prerade metala [i]
17. simpozijum Menadžment kvalitetom [sve ovo
u okviru] 37. Jupiter konferencija [sa
međunarodnim učešćem] = [37th Jupiter
Conference with Foreign Participants],
Beograd, maj 2011. ; organizator Univerzitet
u Beogradu, Mašinski fakultet = [University
of Belgrade, Faculty of Mechanical
Engineering]. - Beograd : Mašinski fakultet,
2011 (Beograd : Planeta print). - 1 knj.
(razl. pag.) : ilustr. ; 30 cm

Radovi na srp., engl. i rus. jeziku. - Tekst
ćir. i lat. - Tiraž 150. - Str. V: Predgovor
/ Ljubodrag Tanović. - Napomene i
bibliografske reference uz tekst. -
Abstracts. - Bibliografija uz svaki rad.

ISBN 978-86-7083-724-9

1. Јупитер Конференција (37 ; 2011 ;
Београд) 2. Симпозијум СИМ у стратегији
технолошког развоја индустрије прераде метала
(30 ; 2011 ; Београд) 3. Симпозијум CAD/CAM
(24 ; 2011 ; Београд) 4. Симпозијум NU -
ROBOTI - FTS (33 ; 2011 ; Београд) 5.
Симпозијум Управљање производњом у
индустрији прераде метала (39 ; 2011 ;
Београд) 6. Симпозијум Менаџмент квалитетом
(17 ; 2011 ; Београд) 7. Машински факултет
(Београд)
а) Производно машинство - Зборници б) СИМ
системи - Зборници с) CAD/CAM системи -
Зборници д) Вештачка интелигенција -
Зборници е) Флексибилни технолошки системи
- Зборници ф) Машине алатке - Нумеричко
управљање - Зборници г) Управљање
квалитетом - Зборници
COBISS.SR-ID 183538444

ISBN 978-86-7083-724-9



9 788670 837249 >