



P.B. Petrović<sup>1</sup>, J. Hodolič<sup>2</sup>, A. Vićentić<sup>3</sup>, M. Pilipović<sup>1</sup>, Ž. Jakovljević<sup>1</sup>, I. Danilov<sup>1</sup>, N. Lukić<sup>1</sup>, P. Baltić<sup>3</sup>, Dj. Vukelić<sup>2</sup>, I. Budak<sup>2</sup>, M. Hažistević<sup>2</sup>, V. Miković<sup>1</sup>

## INTELIGENTNI ROBOTSKI SISTEMI ZA EKSTREMNO DIVERZIFIKOVANU PROIZVODNJU – TR35007

### Rezime

*U okviru ovog rada navode se rezultati sprovedenih istraživanja na četvorogodišnjem projektu TR35007 koji zajednički realizuju Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu i kompanija Ikarbus iz Beograda. Ovaj projekat finansijskih podržava Ministarstvo prosvete i nauke u okviru četvorogodišnjeg ciklusa istraživačkih projekata za tehnološki razvoj, od 2011. do 2014. godine. Prvo se navode istraživački okvir projekta, osnovni ciljevi koji postavljeni pred istraživački tim i organizacija projekta koja je izvedena po modelu radnih paketa. U drugom delu rada navode se osnovni rezultati ostvarenih u prvoj istraživačkoj godini, sa odgovarajućim opisom i osnovnim detaljima tehničke i organizacione prirode.*

### 1. UVOD

Projekat TR 35007<sup>4</sup>, je četvorogodišnji projekat koji je finansijski podržan od strane Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije za period 2011-2014. godina. Na ovom projektu učestvuje Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Katedra za proizvodno mašinstvo i Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, u svojstvu nosioca istraživačko-razvojnih aktivnosti (koordinator projekta je Mašinski fakultet) i kompanija IKARBUS iz Beograda, kao korisnik istraživanja za domen industrije prerade metala. U širem smislu, konzorcijum ima svoju 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. Poslovna interesna grupa obuhvata dva velika i tri mala i srednja preduzeća, koja sa Mašinskim fakultetom imaju formalne (konkretni ugovori o poslovnoj saradnji) i neformalne oblike saradnje. Poslovno interesnu grupu čine sledeće kompanije: Kolubara Metal, Vreoci; Goša, Simićevo; Milan Blagojević, Smederevo; FAP, Priboj; kompanija CINI iz Čačka i kompanija Mikroelektronika iz Beograda. Poslovno interesna grupa ima poseban značaj sa aspekta diseminacije i praktične implementacije rezultata istraživanja u industrijski sistem za domen industrije prerade metala.

### 2. SADRŽAJ ISTRAŽIVANJA I CILJEVI

Predmet istraživanja na ovom projektu su novi koncepti proizvodnih sistema za ekstremno diverzifikovanu proizvodnju i izgradnja modela za njihovu primenu u domaćoj industriji.

<sup>1</sup> Prof. dr Petar B. Petrović, Prof. dr Miroslav Pilipović, Doc. dr Živana Jakovljević, Ivan Danilov, Nikola Lukić, Vladimir Miković, Katedra za proizvodno mašinstvo, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Kraljice Marije 16, 11120 Beograd, Srbija; e-mail: [pbpetrovic@mas.bg.ac.rs](mailto:pbpetrovic@mas.bg.ac.rs)

<sup>2</sup> Prof. dr Janko Hodolič, Doc. dr Igor Budak, Doc. dr Djordje Vukelić i Prof. dr Miodrag Hažistević Milanov, Fakultet tehničkih nauka, Dep. za proizvodno maš., Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad

<sup>3</sup> Aleksandar Vićentić, dipl. ing., Generalni direktor, Petar Baltić, dipl. ing., Direktor proizvodnje, IKARBUS a.d., Autoput 24, 11080 Beograd

<sup>4</sup> Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije kroz projekat TR35007 Inteligentni robotski sistemi za ekstremno diverzifikovanu proizvodnju.

Ključno svojstvo koncepta ekstremno diverzifikovane proizvodnje, odnosno personalizovane proizvodnje, jeste ekstremna fleksibilnost proizvodne opreme, čija se svojstva približavaju ili izjednačavaju onim koja čovek poseduje u okviru manuelnih sistema. U generičkom smislu, osnovni sadržaj ovakvog koncepta jeste inteligencija, koja je ugrađena u opremu i proizvodni sistem u celini [6].

Postojeće stanje kao i trendovi u stvaranju generičkih znanja iz domena veštačke inteligencije ukazuju na činjenicu da izgradnja inteligentnih proizvodnih sistema, praktično primenljivih u industrijskim uslovima, nije realna u skorijoj budućnosti. Zato se u okviru ovog projekta istražuje jedno prelazno rešenje - hibridni sistem, ostvaren kroz simbiotsku interakciju čoveka sa mašinskim sistemom. Unutar ovog koncepta robot ili druga automatska oprema, izvršava repetitivne rutinske zadatke, a čovek, koristeći svoja izuzetna senzorska svojstva i superiornu inteligenciju, obezbeđuje autonomnu funkciju sistema u realnom vremenu. Ovaj koncept se detaljno istražuje u okvirima robotske montaže i robotskog zavarivanja, pri čemu se zadatak simbiotske interakcije robota i čoveka ostvaruje kroz tutorsku funkciju čoveka i nove mehanizme prenosa znanja i veština sa čoveka na robota. Dakle, u okviru hibridnog proizvodnog sistema, roboti imaju sposobnost da uče.

Planirana istraživanja su ograničena na domen tehnologije montaže i zavarivanja, gde se kao osnovni tehnološki entitet pojavljuje manipulacioni robot, odgovarajuće mehaničke konfiguracije i konstrukcije, opremljen ekstenzivnim senzorskim sistemom, inteligentnim upravljačkim sistemom, i okružen odgovarajućom proizvodnom opremom.

Projekat je strukturiran i sastoji se iz pet radnih paketa: RP\_1 - Menadžment projekta, RP\_2 - Interfejs za simbiotsku spregu čovek-mašina i transfer znanja/veština na mašinski sistem, RP\_3 - Virtuelni model proizvodnog procesa i planiranje tehnološkog zadatka, RP\_4 - Praktična verifikacija i izgradnja demonstracionih instalacija, RP\_5 - Diseminacija i transfer znanja u industrijsko okruženje i obrazovanje inženjera.

Navedeni radni paketi obuhvataju sledeće istraživačke sadržaje:

#### **RP\_2 - Interfejs za simbiotsku spregu čovek-mašina i transfer znanja/veština na mašinski sistem**

- a. konceptualne osnove i razrada modela dvosmerne komunikacije čoveka i mašine i transfer znanja i veština sa čoveka na mašinu;
- b. konceptualne osnove i razrada modela sistematske akvizicije čovekovog ponašanja u razrešavanju kompleksnih situacija tokom izvršavanja postavljenog zadatka;
- c. Senzorski sistem - sila, veštačko gledanje;
- d. Sistem za obradu, fuziju i prepoznavanje senzorskih signala, posebno sistem za optičku triangulaciju strukturirane svetlosti;
- e. Konceptualne osnove i razrada modela semantičke interpretacije obrađenih senzorskih signala - svest robota o stanju okruženja u kome deluje;
- f. Eksperimentalna verifikacija na laboratorijskim instalacijama za domen tehnologije montaže:
  - Instalacija 1: montiranje zavarenih sklopova, robotsko zavarivanje, robotsko sečenje (operacije dorade zavarenog sklopa), digitalizacija geometrije zavarenog sklopa i dimenziona metrologija laserskom triangulacijom i triangulacijom strukturirane svetlosti;
  - Instalacija 2: montaža malih mehaničkih sklopova, operacije robotizovanog spajanja delova s uključenom funkcijom adaptivnog ponašanja akvizicijom generalizovanog vektora sile spajanja, uvođenje delova u proces primenom visokorezolutnih optičkih sistema na bazi triangulacije strukturirane svetlosti, dimenziona metrologija i kontrola kvaliteta (međufazna i završna), interfejs za simbiotsku spregu kolonije kooperativnih robota sa čovekom;
- g. Izgradnja konceptualnih osnova za izgradnju specijalnog haptičkog interfejsa koji omogućava fizičku spregu manipulacionog robota i čoveka, pri čemu čovek ima nadređeni status tutora i može da saopštava kretanja robotu po teleoperatorskom konceptu.

#### **RP\_3 - Virtuelni model proizvodnog procesa i planiranje tehnološkog zadatka**

- a. Dogradnja funkcije robotskog simulatora u razvojno okruženje u izabrani komercijalno raspoloživi CAD paket za prostorno geometrijsko modeliranje;
- b. Dogradnja funkcije akvizicije geometrijskih informacija iz realnog okruženja u izabrani komercijalno raspoloživi CAD paket za prostorno geometrijsko modeliranje;
- c. Izgradnja interaktivnog interfejsa za vizuelizaciju odstupanja nominalnog od stvarnog stanja okruženja i generatora/simulatora izmenjenog plana izvršenja tehnološkog zadatka;
- d. Izgradnja hardverskog interfejsa za vizuelizaciju robotskog sistema u realnom vremenu i tutorsku interakciju čovek-robot u izvršenju zadatka.

#### **RP\_4 - Praktična verifikacija i izgradnja demonstracionih instalacija**

- a. Izgradnja regionalnog Competence Center na Mašinskom fakultetu u Beogradu za domen inteligentnih robotskih sistema za tehnologiju montaže i zavarivanje / plazma rezanje.
- b. Demonstraciona instalacija 1 - IKARBUS hibridni sistem za robotsko zavarivanje modula nove generacije noseće strukture niskopodnih autobusa - izgradnja tehnološke ćelije koja će u završnoj fazi projekta TR35007 biti dovedena u potpuno funkcionalno stanje i dalje, kao referentna instalacija, replikovana za potrebe kompanije i kompanija domaće industrije.
- c. Demonstraciona instalacija 2 - Hibridni sistem za robotsku montažu modula sklopa izabranog elektromehaničkog proizvoda - izgradnja modularne tehnološke linije ili ćelije koja će u završnoj fazi projekta TR35007 biti dovedena u potpuno funkcionalno stanje i dalje, kao referentna instalacija, biti replikovana za potrebe kompanija domaće industrije.

#### **RP\_5 - Diseminacija i transfer znanja u industrijsko okruženje i obrazovanje inženjera**

- a. Osavremenjavanje kurseva za obrazovanje mladih inženjera na Mašinskom fakultetu u Beogradu i Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, posebno kursa za Mehatronske sisteme i srodnih multidisciplinarnih kurseva;
- b. Uvođenje novih sadržaja i tematskih okvira za izradu doktorskih disertacija na doktorskim studijama Mašinskog fakulteta u Beogradu i Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu;
- c. Specijalni Workshop na temu inteligentnih robotskih sistema;
- d. Transfer tehnologije i organizacionih/funkcionalnih modela kroz uspostavljanje bliske saradnje na prostoru Evropske unije u okviru programa Evropskih tehnoloških platformi.

### **3. CILJEVI PROJEKTA I PREGLED OSNOVNIH REZULTATA SPROVEDENIH ISTRAŽIVANJA**

U prvoj godini istraživački napori su bili fokusirani na: 1)formulaciju, identifikaciju stanja stvari i predikciju budućeg razvoja u okvirima nove proizvodne paradigme masovne personalizacije / kastomizacije, odnosno ekstremno diverzifikovane proizvodnje, uključujući i prepoznavanje osnovnih istraživačkih pravaca u onome što je u evropskom industrijskom prostoru definisano kao program Fabrike budućnosti (*Factories of Future*) [2, 3], i 2)postavka, sistem analiza i izgradnja teoretskih modela za simbiotsku spregu čovek-mašina, i transfer znanja/veština na mašinski sistem, odnosno, akvizicije čovekovog ponašanja u razrešavanju kompleksnih situacija u okviru nedovoljno struktuiranog radnog okruženja.

U cilju praktične verifikacije i provere kritičnih teoretskih modela, koncepata ili hipoteza, u okviru prve istraživačke godine napori su bili fokusirani na koncipiranje i početak izgradnje laboratorijskih instalacija u okviru Laboratorije za kibernetiku i mehatronske sisteme CMSysLab, Centra za nove tehnologije, Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Redukovanje cene koštanja ostvareno je kroz pristup samogradnje, odnosno primenu postojeće opreme, projektovanje i izradu nedostajućih specijalizovanih komponenti i podсистema i nabavke gotovih komponenti i podсистema. Sopstvenim znanjem kojim je raspolagao projektni tim, izvršena je sistem integracija i dovođenje pojedinih podсистema u funkciju. Pristup samogradnje omogućava inherentnu fleksibilnost eksperimentalne opreme, koja pre svega podrazumeva mogućnost sistema da se prilagodi širokom spektru zahteva, uključujući i one koji nisu ranije prepoznati u fazi inicijalnih aktivnosti koncipiranja i projektovanja. Polazeći od prethodno navedenog pristupa, u prvoj istraživačkoj godini započeta je realizacija dve laboratorijske instalacije: 1)Laboratorijska instalacija za robotsko gledanje bazirano na laserskoj tačkastoj i linijskoj triangulaciji i superbrzoj akviziciji geometrijskog prostora baziranoj na optičkoj triangulaciji struktuirane (kodirane) svetlosti, i 2)Haptički interfejs baziran na šestokomponentnom senzoru sile za identifikaciju interakcije sa okruženjem i transfer veština na manipulacioni robot antropomorfne konfiguracije. Sve navedeno poseduje pored hardverske strukture i odgovarajuću softversku strukturu specijalizovane namene, prilagođene specifičnostima upotrebljenog hardvera i postavljenim istraživačkim zadacima.

U istraživačkom smislu, prethodno navedeni sadržaji teoretske i eksperimentalne prirode stvaraju osnovu za formiranje tematskih okvira doktorskih disertacija najmlađih članova projektnog tima.

Poseban cilj istraživanja u prvoj godini, koji će biti razrađivan i proširivan u narednim istraživačkim godinama, jeste diseminacija rezultata istraživanja, pre svega u domen industrije Srbije. Nova paradigma proizvodnih tehnologija je realnost koja više od jedne decenije egzistira u istraživačkom i industrijskom prostoru Evrope. Ovakvi sadržaji moraju da se prenesu u domaće okvire, između ostalog i u kontekstu evropskih integracionih procesa Srbije. U tom smislu, tokom prve istraživačke godine učinjeni su veliki napori na uvođenju koncepta Evropskih tehnoloških platformi, odnosno njihovog nacionalnog ekvivalenta u

industrijski prostor Srbije. Aktivnosti na projektu TR35007 su povezane sa aktivnostima koje se realizuju u okviru Akademije inženjerskih nauka Srbije, gde je tokom 2010. godine uspostavljen program Nacionalnih tehnoloških platformi Srbije, koji ima široki zahvat i prostire se kroz kompletan tehnološki prostor ekonomije Srbije. Aktivnosti u okviru realizacije ovog programa, posebno u delu razvoja proizvodnih tehnologija, odnosno oporavaka industrije Srbije i jačanja njenih tehnoloških osnova, prezentirane su javnosti kroz dva jednodnevna skupa organizovana u obliku Foruma. Predsednik organizacionog odbora oba NTPS Foruma bio je prof. Petar B. Petrović, rukovodilac projekta TR35007. Deo ovih aktivnosti saopšten je i međunarodnoj javnosti na skupu ManuFUTURE 2011 – Future European Manufacturing Technologies, koji je održan oktobra 2011. godine u Vroclavu, Poljska.

Dalje se navodi detaljniji pregled ostvarenih rezultata u okviru istraživačke 2011. godine.

### **3.1. Masovno personalizovana proizvodnja – tehnološki okvir i stanje stvari**

Savremeni trendovi u razvoju proizvodnih tehnologija nastali pod uticajem tržišta i intenzivnog rasta u domenu informacionih tehnologija, dovode do njihove transformacije iz koncepta masovne proizvodnje u novi koncept proizvodnje po zahtevu, odnosno masovne personalizacije proizvoda. Ovim se struktura modela masovne proizvodnje: projektovanje – proizvodnja – prodaja, drastično transformiše u novu strukturu: prodaja – projektovanje – proizvodnja. U fokus poslovnih aktivnosti se postavlja kupac, odnosno tržište, a proizvodni sistem mora da poseduje takve performanse da zadovolji specifične potreba kupca kroz **ekstremnu diverzifikaciju** proizvoda. Reakcija na zahteve tržišta mora da bude brza, pri čemu proizvodni proces treba da poseduje sve attribute tehnologije masovne proizvodnje, uključujući i tehnoekonomske aspekte, uz istovremeno uvažavanje narastajućeg kompleksa zahteva/ograničenja održivog razvoja.

Promene ove vrste iz osnova menjaju proizvodne tehnologije, postavljajući pred istraživače i industriju nove izazove razvoja tehnologije sposobne da racionalno produkuje proizvode visokog kvaliteta u serijama vrlo malog obima, uključujući pojedinačnu i unikatnu proizvodnju. Proizvodni sistem komplementaran sa zahtevima nove proizvodne paradigme, po svojim svojstvima fleksibilnosti, odnosno, sposobnosti prilagođavanja promenama (planiranim i neplaniranim), mora da se približi i izjednači sa svojstvima manuelnih sistema, što obuhvata: 1) sposobnost da se brzo prilagodi naglim promenama proizvodnih zadataka (ekstremna diverzifikacija istovremeno vodi ka ekstremno malim serijama, koje se spuštaju ka pojedinačnoj i unikatnoj proizvodnji), uključujući i reagovanje u realnom vremenu na širok spektar poremećaja; 2) sposobnost rekonfiguracije na svim organizacionim nivoima i tehničkim podsystemima, 3) svojstvo kompleksne informacione integracije funkcionalnih podstruktura, i 4) sposobnost ekstenzivne interaktivnosti sa okruženjem i visoka autonomnost koja obuhvata i sposobnost fuzije senzorskih informacija, učenja kroz generalizaciju ponašanja sa inherentnim mehanizmom za prenos znanja i veština sa čoveka na mašinu. Proizvodni sistem ove vrste kao svoje osnovno obeležje ima inteligenciju, i zato je koncept ekstremno diverzifikovane proizvodnje u suštini koncept inteligentnih proizvodnih sistema, a njegova praktična realizacija je u najvećoj meri uslovljena merom kojom su svojstva inteligentnog ponašanja ugrađena u proizvodni sistem u celini i/ili njegove komponente [6].

Postojeće stanje kao i trendovi u stvaranju generičkih znanja iz domena veštačke inteligencije ukazuju na činjenicu da izgradnja inteligentnih robotskih sistema koji bi bili praktično primenljivi u industrijskim uslovima nije realna u skorijoj budućnosti. Zato se rešenje mora da potraži kroz izgradnju hibridnih sistema, odnosno sistema koji će sadržati radikalno nove oblike interakcije čoveka sa robotom i njegovim okruženjem, obezbeđujući kritične sadržaje kao što su: sposobnost kompleksne dvosmerne interakcije sa nepoznatim okruženjem, donošenje odluka i sinteza rešenja u realnom vremenu, i sposobnost učenja bez i sa nadzorom kroz različite tehnike prepoznavanja oblika i mehanizme generalizacije. Pored navedenog, ovakav hibridni sistem mora da ima svojstvo transfera znanja i veština sa čovaka na mašinu, što podrazumeva da je mašina komunikativna i sposobna da se usavršava, a da čovek, sa funkcijom tutora i asistenta u jednom ovakvom kontekstu, poseduje mehanizme za prenos znanja i veština, korišćenjem odgovarajućeg interfejsa. Ovakav scenario razvoja novih tehnoloških osnova kao odgovora na zahteve koje nameće praktična implementacije koncepta ekstremno diverzifikovane/personalizovane proizvodnje je po svojoj svojoj prirodi evolutivnog karaktera i zato realističan. On je u osnovi prihvatljiv za industriju, jer ne zahteva radikalne promene u postojećoj industrijskoj praksi i sadrži inherentne mehanizme za upravljanje rizikom.

Proizvodna paradigma ekstremno diverzifikovane, odnosno kastomizovane proizvodnje u skorijoj budućnosti evoluirae u novu paradigmu, paradigmu održive proizvodnje. Pritisak globalnih megatrendova povezanih sa klimatskim promenama, ograničenim energetskim i materijalnim resursima, u industrijskom kontekstu postaje sve izraženiji i sa tim u vezi postoje predviđanja da će u prvoj polovini dvadesetprvog veka (najverovatnije već tokom tridesetih godina, a čak možda i jednu deceniju ranije), biti zamenjena proizvodnom paradigmom održive proizvodnje, u kojoj će interakcija proizvodnih procesa i okruženja

postati dominantna, odnosno opredeljujuća u odnosu na interakciju proizvodnih procesa i tržišta koja je sada aktuelna. Konkretna nagoveštaj ovakvog razvoja stvari je već sada prisutna fraza, koja se provlači kroz veliki broj političkih dokumenata u delu strategije industrijskog razvoja: *'As much as possible Clean, Lean and Green manufacturing'*.

Za nove tehnološke osnove proizvodnih sistema, posmatrano u evropskim i globalnim okvirima, značajne su takozvane ključne generičke tehnologije (*Key Enabling Technologies - KETs*) i nove proizvodne tehnologije (*Advanced Manufacturing Technologies - AMTs*).

Ključne generičke tehnologije su one tehnologije koje poseduju veliki potencijal za radikalne promene u životnom kontekstu. To su tehnološki diskontinuiteti, koji dovode do skokovitog tehničkog progressa sa velikim uticajem na industrijski i ekonomski sistem u celini (na primer pronazak tehnologije parne mašine ili tehnologija poluprovodnika). U savremenom kontekstu, definisano je pet ključnih generičkih tehnologija od strateškog značaja za domen proizvodnih tehnologija: nanotehnologija, industrijska biotehnologija, novi materijali, mikro i nanoelektronika (uključujući poluprovodnike) i fotonika. U najnovijim dokumentima EU, kao ključna generička tehnologija pojavljuju se i proizvodne tehnologije (*manufacturing technologies*). U ovom kontekstu posebno je značajan program Fabrike budućnosti (*Factories of Future – FoF*) koji je inicirala Evropska tehnološka platforma *ManuFuture – Future Manufacturing technologies of Europe*, kao odziv na ekonomsku krizu 2008. godine i sa tim u vezi reakcije Evropske komisije u delu iniciranja i podsticaja širokog korpusa aktivnosti privatnog i javnog partnerstva, u čiju realizaciju je uključena industrija i naučno-istraživačka zajednica. Za operacionalizaciju programa FoF formirana je specijalna asocijacija *EFFRA - European Factories of the Future Research Association*, locirana u Briselu, koja operativno sprovodi FoF program i u tom kontekstu generiše dokumente, relevantne za razvoj evropskog industrijskog, istraživačkog i obrazovnog prostora. U konceptualnom smislu, FoF program nije novost za Srbiju. Sličan program je razvijan u Srbiji osamdesetih godina prošlog veka. Ovaj program treba obnoviti i postaviti ga u novi kontekst.

Pored prethodno navedenih ključnih generičkih tehnologija - *KETs* [1], na razvoj proizvodnog sistema ključni uticaj imaju i proizvodne informacione tehnologije. Osnovi izazovi sa kojima se suočavaju industrijske kompanije odnose se na ubrzani rast kompleksnosti njihovih proizvodnih procesa i lanaca snabdevanja, cenovnih pritisaka, rasta očekivanja kupaca za kvalitetom i ekstremnom varijantnošću proizvoda, i održivosti proizvodnog sistema u odnosu na nove zahteve tržišta. U okviru FoF programa i FP7 okvirnog programa, u delu koji se odnosi na informacione i komunikacione tehnologije, definišu se tri osnovna strateška programa koji se direktno odnose na proizvodne tehnologije i razvoj industrijskog sistema[2]:

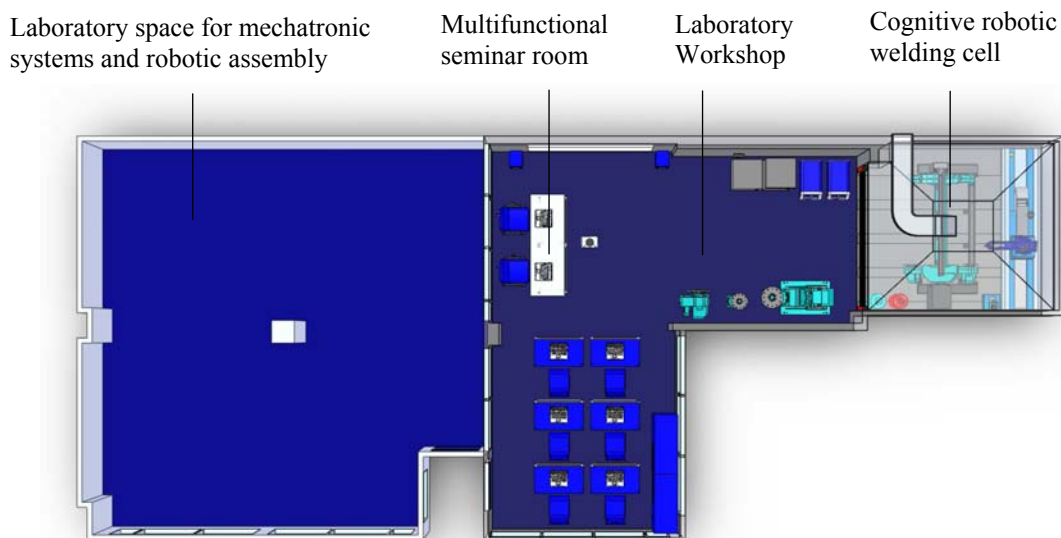
- Program PAMETNE FABRIKE (*Smart Factories*) – agilna proizvodnja i personalizacija, uključujući: automatsko upravljanje proizvodnim procesima, planiranje, simulaciju i optimizaciju, robotika, i alati za održivi razvoj;
- Program VIRTUELNE FABRIKE (*Virtual Factories*) – stvaranje nove vrednosti u okvirima globalno umreženog poslovanja, uključujući: menadžment proizvod-usluga, i interakcije i menadžment distribuiranih proizvodnih resursa i proizvodnih celina;
- Program DIGITALNE FABRIKE (*Digital Factories*) – bolje razumevanje i projektovanje proizvodnih procesa i proizvodnih sistema za efektivnije upravljanje životnim ciklusom proizvoda, uključujući: simulaciju, modeliranje, i druge ICT bazirane tehnike, koje zahvataju kompletan životni ciklus proizvoda, od koncepta, proizvodnje pa do održavanja i demontaže/recikliranja.

Za razvoj proizvodnih tehnologija, pored ICT, kao posebno značajne izdvajaju se: industrijska automatizacija, robotika, mehatronske tehnologije i kognitivni sistemi. Samo za oblast istraživanja koja se odnosi na kognitivnu robotiku Evropska komisija je opredelila 536 miliona EUR za petogodišnji period 2007. – 2012. godine, kao ključni sadržaj za razvoj nove proizvodne paradigme.

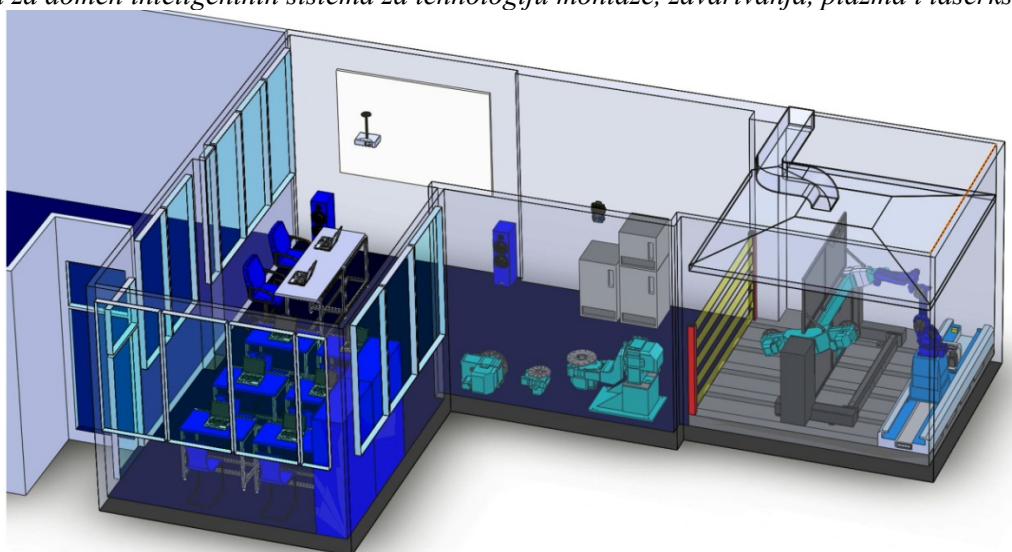
Sledeći postavljene istraživačke okvire projekta TR35007 i sledeći okvire NTPS Programa, pristupilo se pripremnim radnjama na izgradnji regionalnog Competence Center na Mašinskom fakultetu u Beogradu za domen inteligentnih robotskih sistema za tehnologiju montaže i zavarivanje/plazma i lasersko sečenje. U tom smislu formiran je konzorcijum poslovno zainteresovanih domaćih kompanija koji čine: Ikarbus a.d. (Zemun), Kolubara Metal (Vreoci), Goša a.d. (Simićevo), Milan Blagojević (Smederevo), CINI (Čačak), Mikroelektronika (Beograd), kao i inostrane kompanije: MILLER USA (tehnologija zvarivanja), Yaskawa (Japan), Phoenix Contact (Nemačka), Henkel LOCTITE (Nemačka). Predviđeno je da se iskoristi postojeća oprema na Mašinskom fakultetu, oprema koja će biti obezbeđena na projektu TR35007, oprema

koju doniraju inostrane kompanije članice konzorcijuma, odnosno poslovno interesne grupe projekta TR35007, i predviđeno je da se izvrši adaptacija postojećeg prostora na Mašinskom fakultetu). Na slikama 1 i 2 prikazan je budući izgled ovog prostora.

## Smart Robotic Systems for Customized Manufacturing Regional Competence Center



*Slika 1: Osnova Regional Competence Center koji će biti izgrađen na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu za domen inteligentnih sistema za tehnologiju montaže, zavarivanja, plazma i laserskog rezanja.*



*Slika 2: Prostorni prikaz Regional Competence Center sa detaljima seminar sale i robotskom ćelijom u punoj konfiguraciji za demonstraciju koncepta hibridnog sistema baziranog na kolaborativnom odnosu čovek-mašina.*

### 3.2 Konceptualne osnove i razrada modela dvosmerne komunikacije čoveka i mašine i transfer znanja i veština sa čoveka na mašinu

Ovo je jedna od ključnih istraživačkih celina projekta TR35007, a pripada radnom paketu TR35007-RP\_2: Interfejs za simbiotsku spregu čovek-mašina i transfer znanja/veština na mašinski sistem.

U okviru ove istraživačke aktivnosti sprovedena je sistemska identifikacija varijantnih koncepata za dvosmernu komunikaciju čoveka i robota u cilju transfera čovekovog znanja na mašinski sistem u okviru izvođenja kompleksnih tehnoloških operacija, kao što je spajanje delova u robotskoj montaži ili formiranje šava u okviru sistema za robotsko elektrolučno zavarivanje [4, 5, 8]. U okviru prve istraživačke godine,

fokus je stavljen na robotsku montažu i kolaborativni rad čoveka i robota u okviru jednog hibridnog sistema, koji po svojim performansama može da odgovori aktuelnim tehnološkim zahtevima koji se postavljaju kroz novu paradigmu ekstremno diverzifikovane proizvodnje. U ovim aktivnostima najveća pažnja posvećena je jednom novom konceptu robotskih sistema koji je prepoznat kao najviši istraživački prioritet u oblasti robotike, a odnosi se na robote specifične inovativne konstrukcije, koji zajednički nose naziv **humanoidni roboti**. U pitanju je stari termin kome se kroz ova istraživanja daje novo značenje, polazeći od toga da se inicijalna korelacija između čovekove ruke ili ruku, i geometrijsko-kinematske konfiguracije, sada proširuje na mnogo bitniji aspekt, a to je korelacija u dinamičkom, upravljačkom i funkcionalnom smislu. Prema novoj definiciji humanoidnog antropomornog robota, to je robot koji je sličan čoveku pre svega u kontekstu ponašanja. Pokazuje se da se konvencionalna konstrukcija industrijskog robota ne može na adekvatan način primeniti za kolaborativni rad čoveka i mašine u okviru hibridnih tehnoloških sistema pogodnih za praktičnu implementaciju koncepta ekstremno diverzifikovane proizvodnje. Industrijski robot i čovek mogu da rade jedan pored drugog, ali nikada zajedno, deleći isti radni prostor i međusobno saradujući u izvršavanju zadatka na simbiotskoj osnovi. Industrijski roboti su isuviše glomazne mašine da bi mogle da postanu inherentno bezopasne za čoveka. Problem je u tome što su industrijski roboti građeni po konceptu mašina alatki, odnosno oni su projektovani da budu precizni i brzi, što dalje implicira visoku krutost mehaničke strukture i upravljačkog sistema, a to dalje znači veliku masu robota. Tipičan industrijski robot ima odnos sopstvene mase i mase kojom može da manipuliše 10:1 pa do 100:1 (u izvesnim situacijama i više). Humanoidni industrijski robot, odnosno industrijski humanoid je onaj robot kod koga je ovaj odnos blizak jediničnom! Ovakav robot tada može da bude dovoljno dinamična struktura koja će posedovati svojstvo pune interaktivnosti sa okruženjem, a njegovo upravljanje će iz tipičnog PID linearnog koncepta moći da bude prevedeno u upravljanje na bazi modela (robota i okruženja), sa potpunom kontrolom impedanse ili admitanse robota, zavisno od zadatka u kome se on nalazi.

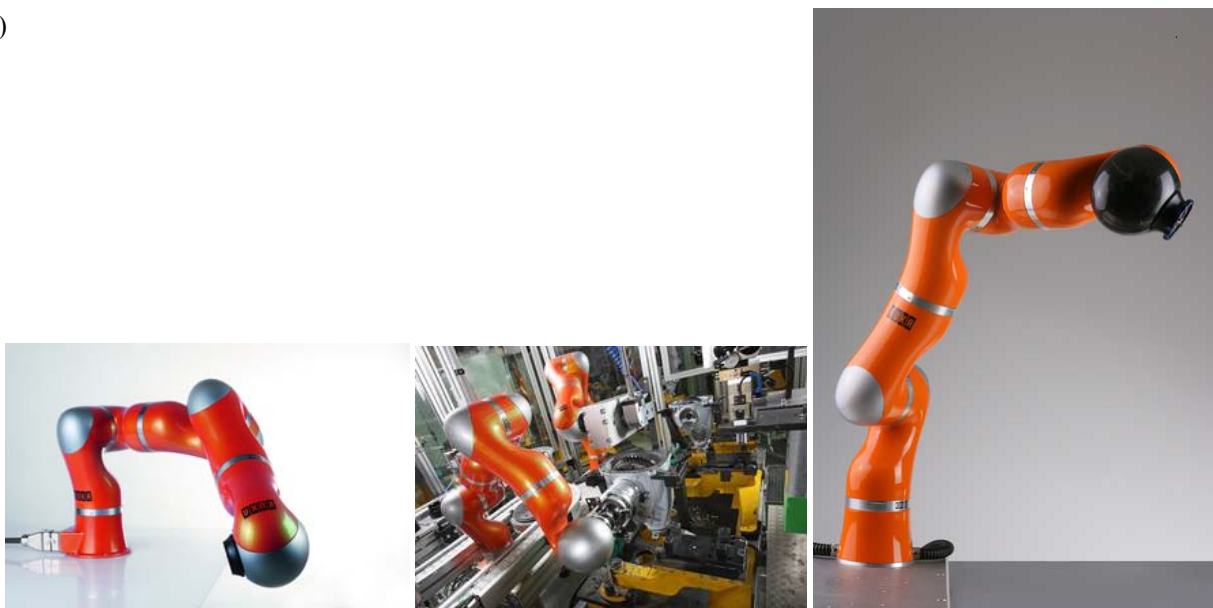
Sprovedenom sistem analizom identifikovana su dva robota ovakvih performansi koji postoje samo u okviru istraživačke zajednice i koji su rezultat najnovijih istraživačkih aktivnosti. To su roboti: 1) FRIDA, koji je u razvojnom smislu nastao u okviru FP7 projekta ROZETTA, a kao industrijski prototip realizovan od strane kompanije ABB za potrebe praktične verifikacije koncepta, i 2) LWR robot kompanije KUKA, koji je nastao kroz evoluciju inicijalnog razvoja sprovedenog od strane istraživačkog konzorcijuma predvođenog od strane DLR - Institute of Robotics and Mechatronics, koji je evolutivno razvijan dugi niz godina pod nazivom DLR Light Weight Robot (LWR). Na slici 3 prikazani su ovi roboti. Oba robota su kinematski redundantna, sa specijalnim integrisanim senzorsko-aktuacionim sistemima u svakom zglobo. Primena novih materijala omogućila je da roboti poseduju gotovo jedinični odnos sopstvene mase i nosivosti, a koncept popustljivog upravljanja na bazi upravljanja mehaničkom impedansom čini ih idealnim za eksperimentalne radnje u domenu uspostavljanja mehanizama za transfer znanja i veština sa čoveka na mašinu.



a)



b)



**Slika 3:** *Koncept humanoidnih robota za kolaborativni rad čovke-mašina na hibridnim robotskim linijama za montažu: a)ABB FRIDA i b)KUKA LWR.*

Navedeni primeri humanoidnih robota poseduju bitno drugačije osobine u odnosu na klasu industrijskih robota koji se danas masovno primenjuju na proizvodnim linijama u industriji. Ove osobine čine da humanoidni roboti konačno postaju platforma na kojoj će moći da bude izgrađen univerzalni tehnološki entitet za montažu (analogija sa strugom koji je univerzalni tehnološki entitet za izradu cilindričnih delova metodom odvajanja strugotine). Ovi roboti su istinski interaktivni sa okruženjem i poseduju mogućnost pune kontrole sopstvene impedanse ili admitanse, što stvara odličnu podlogu za dalju praktičnu implementaciju različitih strategija inteligentnog ponašanja u okviru hibridnog tehnološkog sistema za montažu, i pre svega proaktivnog pristupa u rešavanju suštinskog problema/fenomena procesa montaže, a to je kompenzacija geometrijske nesavršenosti objekata koji se spajaju i nesavršenosti okruženja u kome se ovaj proces izvodi. U istraživačkom smislu, industrijski humanoidi će biti u najužem fokusu



projekta TR35007, a jedan od mladih istraživača će težište u svojoj doktorskoj tezi imati upravo na nekom od aspekata projektovanja ili primene industrijskih humanoida u okviru tehnologije robotske montaže.

### **3.3. Transfer znanja/veština na mašinski sistem - Senzorski sistem - interakcija sa okruženjem preko generalizovanog vektora sile**

Ovaj rezultat ostvaren je kroz aktivnosti na radnom paketu TR35007-RP\_2: Interfejs za simbiotsku spregu čovek-mašina i transfer znanja/veština na mašinski sistem.

U okviru ove istraživačke aktivnosti studiran je fenomen spajanja delova u tehnologiji robotske montaže sa ciljem transfera neformalizovanih znanja i veština kojima raspolaže čovek na robotski sistem. Ključni problem u tehnologiji montaže jeste geometrijska nesavršenost, koja nastaje kao posledica: nesavršenosti geometrije objekata koji se spajaju, nesavršenosti pozicionog sistema (pribor i alati kojima se izvode operacije montaže), i inherentne nesavršenosti geometrije i upravljanja robota koji izvodi operaciju montaže. Problem je u tome što su geometrijske nesavršenosti veće od zazora koji postoji kod objekata koji se spajaju, što dalje dovodi do različitih kolizionih stanja, od kojih je većina takva da proces spajanja čini neuspešnim. Trivijalni pristup u rešavanju ovog problema povećavanjem stepena tačnosti ukupnog sistema, uključujući i intervencije na tolerancijskim poljima objekata koji se spajaju, je neodrživ u kontekstu ekstremno diverzifikovane proizvodnje. Realno upotrebljiv pristup jeste onaj koji koristi čovek kada izvodi operacije montaže, a to je sposobnost za aktivnu kompenzaciju nesavršenosti korišćenjem ekstenzivne senzorske informacije i korišćenjem svojih kognitivnih sposobnosti kojima u realnom vremenu sintetiše optimalne strategije za rešavanje prepoznatog problema, a zatim i za njihovu operacionalizaciju na nivou detalja. Ključna sposobnost ovog sistema je dakle sposobnost prepoznavanja oblika sadržanih u senzorskim informacijama i zatim sposobnost sinteze optimalnog plana na bazi odgovarajućeg mehanizma za donošenje odluka.

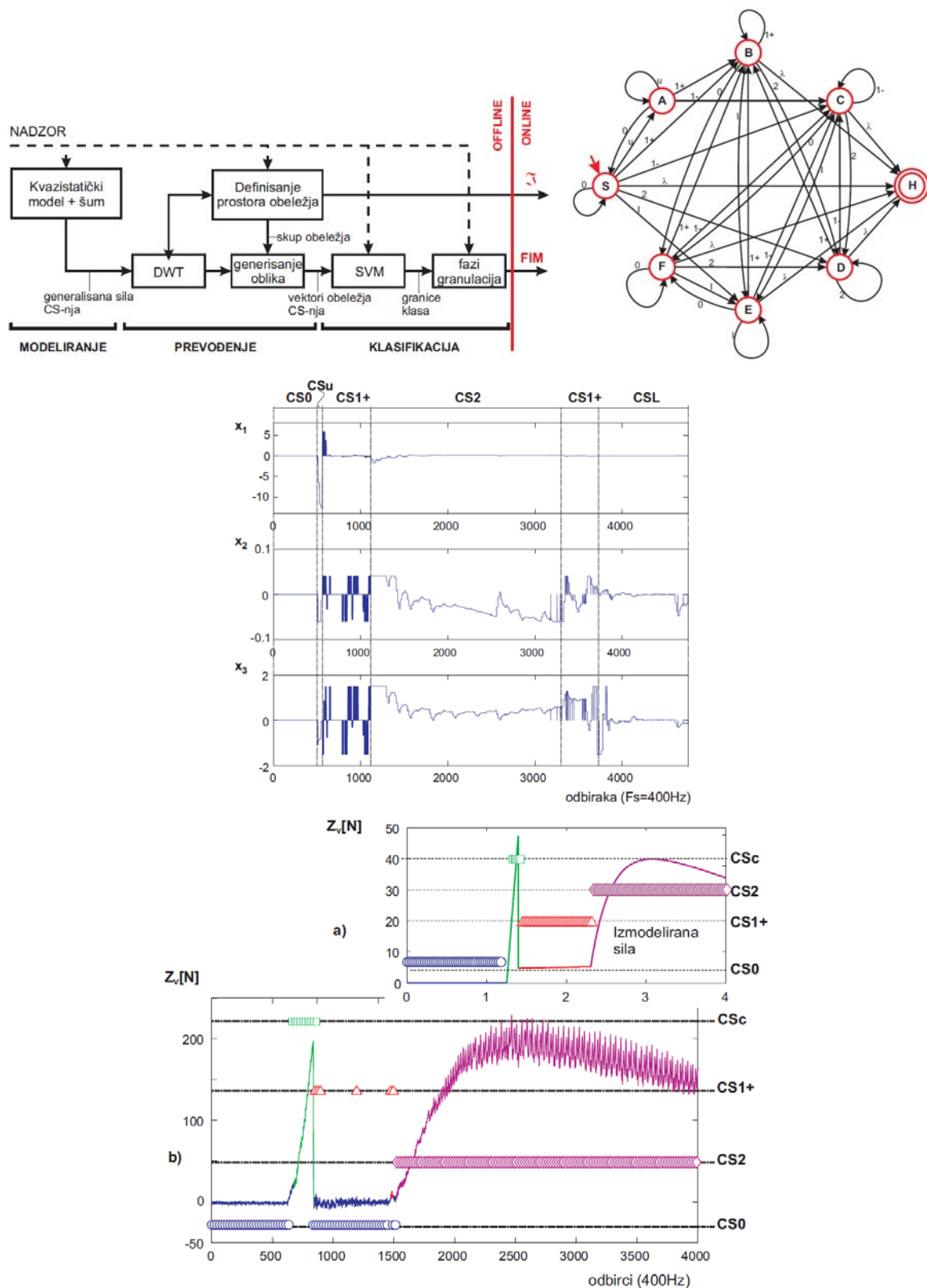
U prvoj istraživačkoj godini, detaljno je razrađivana problematika prepoznavanja karakterističnih kontaktnih stanja objekata koji se spajaju i prepoznavanje odgovarajućih strategija za sintezu kolizione trajektorije koja će izbeći katastrofalna stanja, odnosno neregularnosti koja nužno zaustavljaju proces spajanja. Kao rezultat ovih istraživačkih aktivnosti, razvijena je fazidinamička formalna struktura u obliku fazi konačnog automata koja sadrži ekstrahovana znanja izvedena iz aproksimativnih analitičkih modela, koji imitiraju ponašanje čoveka u izvođenju zadatka spajanja.

U metodološkom smislu korišćena je moderna matematička aparatura za obradu vremenskih serija na bazi diskretne vejtlet transformacije, teorija fazi skupova i aproksimativnog zaključivanja, formalno rigorozna teorija optimalne particije prostora stanja na bazi nosećih vektora, i klasična teorija konačnih automata (akceptor stanja). Na slici 4 naveden je koncept razvijene inferentne mašine i primer praktične verifikacije izvedene na razvijenoj eksperimentalnoj instalaciji za akviziciju vektora generalizovane sile robotskog cilindričnog spajanja.

### **3.4. Projektovanje i realizacija demonstracione instalacije**

Ovaj rezultat ostvaren je kroz aktivnosti koje pripadaju radnom paketu TR35007-RP\_4 - Praktična verifikacija i izgradnja demonstracionih instalacija.

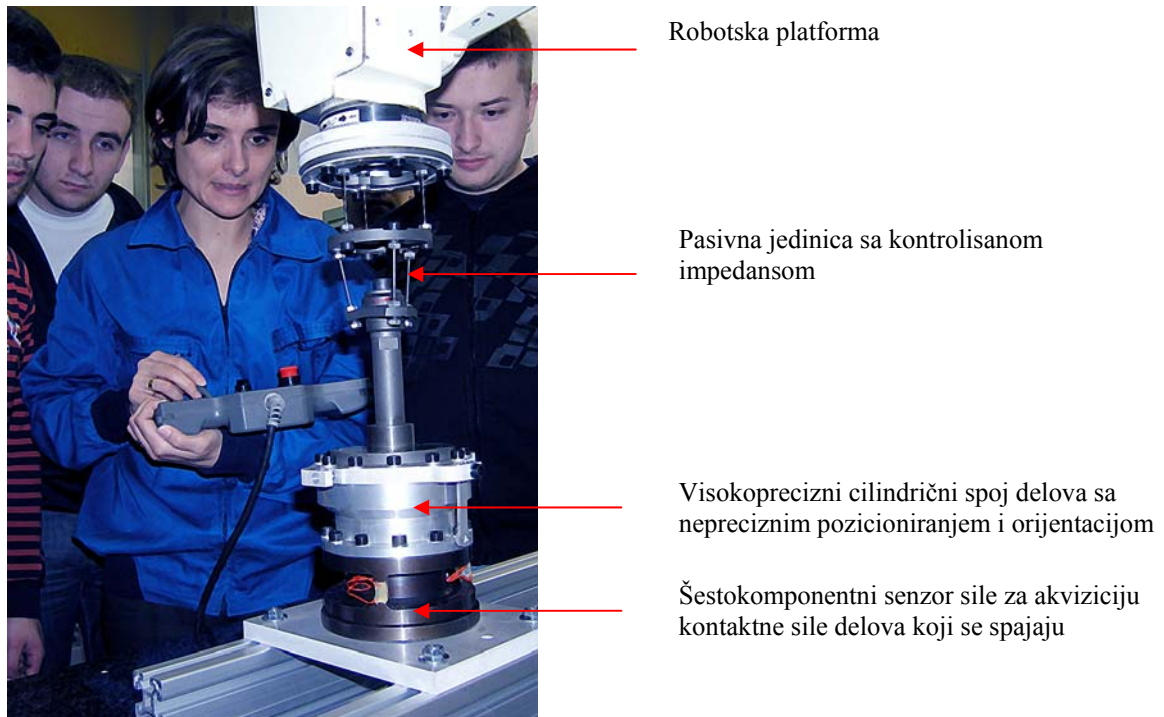
Za potrebe praktične provere postavljenih modela interakcije čoveka i robota u izvršavanju kompleksnih zadataka predviđena je izgradnja namenskih eksperimentalnih instalacija laboratorijskog tipa u okviru Centra za nove tehnologije, Mašinskog fakulteta u Beogradu. Za domen tehnologije montaže i upravljanja ograničenim kretanjem robota, u prvoj godini istraživačke aktivnosti su bile fokusirane na izgradnju jednog sistema za akviziciju vektora generalizovane sile. Samogradnjom, koja je zbog ograničenih sredstava bila bazirana na postojećoj opremi i njenoj rekompoziciji, konfigurisana je instalacija koja se sastoji iz industrijskog robota, specijalne popustljive jedinice za pasivnu kontrolu mehaničke impedanse sistema, i specijalnog višekanalnog senzora sile, opremljenog odgovarajućim akvizicionim sistemom. Ključne komponente ovog sistema su popustljiva jedinica i senzor sile.



**Slika 4:** Koncept inferentne mašine za sistemsku akviziciju znanja i veština koje čovek koristi u rešavanju kompleksnih tehnoloških situacija u zadacima robotskog spajanja nedeformabilnih geometrijski komplementarnih cilindričnih objekata visoke krutosti i preciznosti spoja [4, 5].

Obe komponente su realizovane samogradnjom. Popustljiva jedinica je projektovana tako da poseduje specifičnu impedansu koja obezbeđuje mehaničku izotropnost i sposobnost projektovanja tačke izotropnosti izvan geometrijskih okvira sopstvene konstrukcije. Sensor sile poseduje mogućnost simultanog registrovanja 6 kanala, odnosno 3 ortogonalne komponente sile i tri ortogonalne komponente momenta. Precizno rasporezanje pojedinih kanala je vrlo delikatan inženjerski zadatak. Ovaj zadatak je rešen primenom inovativnog koncepta baziranog na softverskom rasporezanju. Suština ovog pristupa je u tome da se umesto

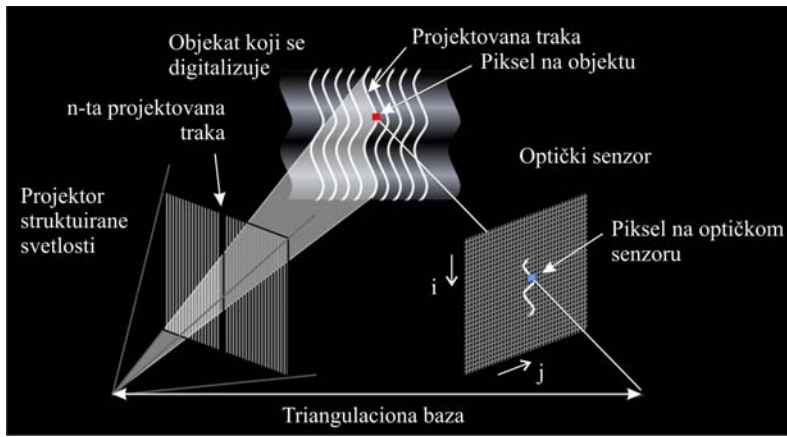
mehaničkog i/ili električnog raspredanja koje kod višekanalnih senzora dovodi do ekstremne tehničke kompleksnosti, dozvoli potpuna sprega, odnosno mešanje pojedinih kanala. Ovim se omogućava vrlo jednostavno rešenje mehanike i pretvaračkog bloka, koji se sastoje iz jednog monolitnog tela, na koji je ugrađeno šest pretvaračkih mostova mernih traka odgovarajuće konfiguracije. Raspredanje se ostvaruje množenjem generisanog izlaza odgovarajućom transformacionom matricom. Transformaciona matrica se dobija odgovarajućom procedurom, čija je suština da se senzorski sistem pobuđuje poznatim skupom linearno nezavisnih vektora generalisane sile. Konfiguracija ove eksperimentalne instalacije prikazana je na slici 5.



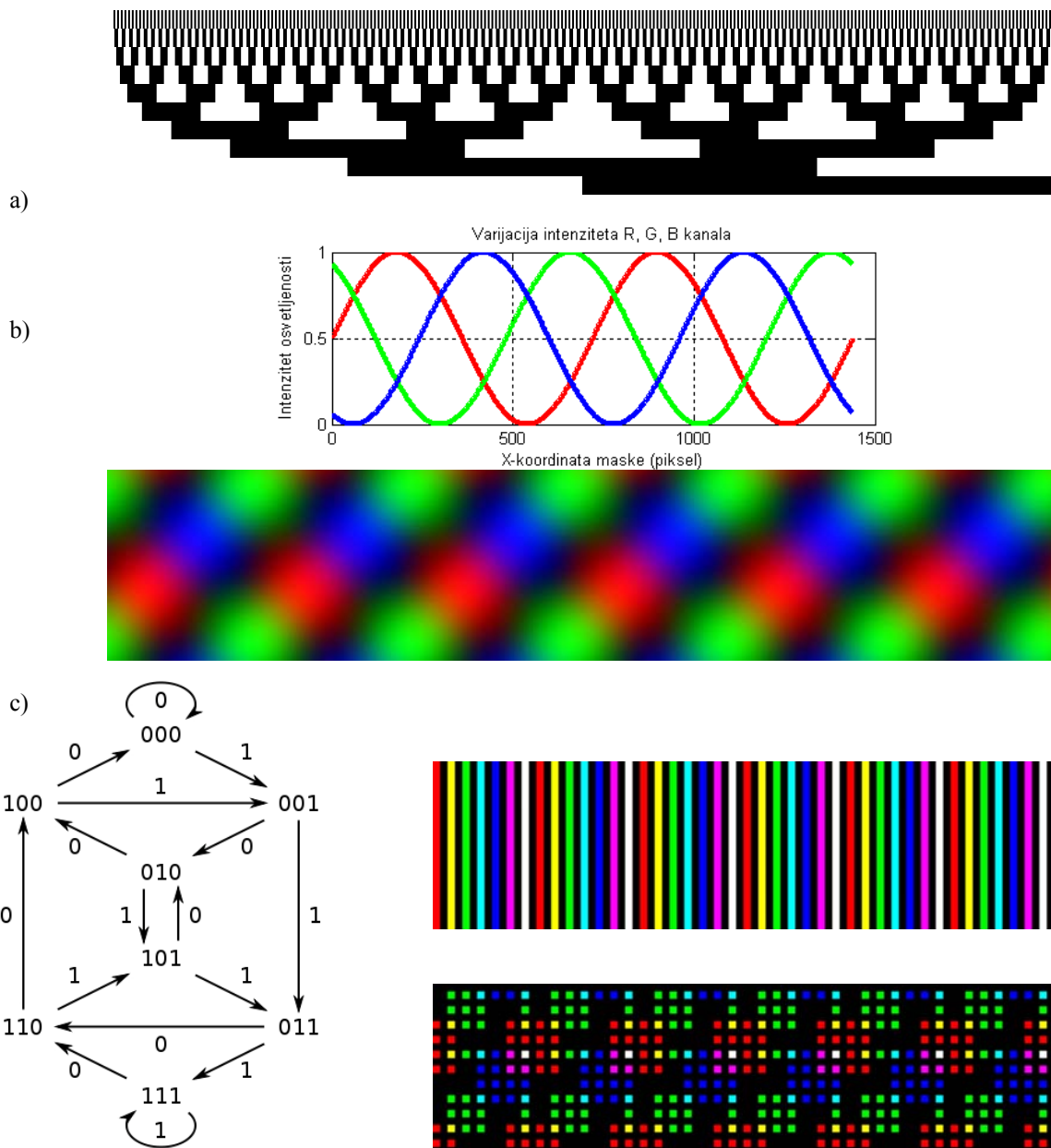
*Slika 5: Fotografije eksperimentalne instalacije za akviziciju sile u zadacima robotske montaže.*

Za ove potrebe razvijeno je specijalno softversko rešenje koje obezbeđuje obradu signala koje generiše pretvarački blok i tako ekstrahuje informaciju o vektoru generalisane sile koji nastaje u interakciji robota i okruženja u zadatku spajanja. Nedostatak ovog rešenja je u tome što se proces obrade generisanih signala ostvaruje naknadno, dakle, ne u toku procesa generisanja senzorskih signala. U narednoj istraživačkoj godini ovaj nedostatak će biti razrešen kroz izgradnju specijalizovanog elektronskog sklopa baziranog na primeni mikroprocesora integrisanog u mehaničku strukturu senzora. Ovaj sklop će posedovati mogućnost dvosmerne digitalne komunikacije, čime će postojeće rešenje biti prevedeno u visokovredan sistem – inteligentni senzor sile u formi mikroelektromehaničkog sklopa, sposoban da komunicira sa robotom i čovekom tokom izvršenja postavljenog zadatka.

Za potrebe praktične provere postavljenih modela interakcije čoveka i robota u izvršavanju kompleksnih zadataka predviđena je izgradnja namenskih eksperimentalnih instalacija laboratorijskog tipa u okviru Centra za nove tehnologije, Mašinskog fakulteta u Beogradu. Za domen tehnologije montaže i robotskog zavarivanja, u prvoj godini istraživačke aktivnosti su bile fokusirane na izgradnju jednog sistema za veštačko gledanje. Kao i u prethodnom slučaju, primenjen je pristup samogradnje zbog ograničenih finansijskih resursa. Razvijen je i realizovan jedan merni sto koji je opremljen laserskim i programabilnim izvorom svetlosti, metrološkim obrtnim stolom, i senzorskim sistemom za akviziciju odraza emitovanog svetlosnog signala.



Slika 6: Princip optičke triangulacije strukturiranom svetlošću.



Slika 7: Varijantni oblici kodiranja svetlosti. Monohromatsko kodiranje Grejovim cikličnim kodom (a). Kodiranje primenom manipulacije i superpozicije RGB kanala: a) manipulacija faznim pomakom i iz toga generisana ortogonalno superponirana mapa; b) slobodna manipulacija faznim pomakom i intenzitetom - mapa kodirana na bazi modifikovanih De Bruijn-ovih sekvenci u linijskoj i ortogonalnoj formi.

U istraživačkom smislu, posebno je značajan koncept koji je baziran na kodiranoj svetlosti. Kod ovog koncepta sistema veštačkog gledanja, svetlosni izvor emituje svetlost koja u sebi poseduje poznatu kodiranu strukturu. Na scenu koja se posmatra usmerava se ovakva svetlost, koja u opštem slučaju obuhvata jednu sekvencu proizvoljne dužine različito kodiranih dvodimenzionalnih mapa. Svetlost se odgovarajućim kolimacionim optičkim sistemom fokusira na objekat koji se digitalizuje. Svetlost se zatim difuzno reflektuje i jedan deo te svetlosti se fokusira na optoelektronski sklop senzora koji vrši njegovu akviziciju. Zbog interakcije sa neuniformnim prostornim objektima, odraz sadrži izobličeni kodirani signal. Primenom triangulacionog principa i algoritama za ekstrakciju i prepoznavanje izobličenja originalnog kodiranog signala, moguće je postići vrlo robusnu digitalizaciju prostornog okruženja. U poređenju sa tačkastim ili linijskim izvorom svetlosti, ovakav sistem ima sposobnost ekstremno brze triangulacije. Na slikama 6 i 7 dat je koncept sistema i varijantni oblici kodiranja monohromatskom svetlošću i svetlošću sa punim frekventnim spektrom (vidljiv deo spektra).

Eksperimentalna instalacija je laboratorijskog tipa i stacionarna. Njena prevashodna namena je precizna verifikacija koncepta samog po sebi i razvoja odgovarajućih algoritama uz mogućnost provere pod precizno kontrolisanim uslovima. Na slici 8 je prikazana fotografija ove instalacije. U narednoj godini, ova instalacija će biti dalje unapređivana i započete aktivnosti razvoja funkcionalnog ekvivalenta koji će biti minijaturnih dimenzija i koji će moći da bude postavljen na vrh industrijskog robota. Ovakav robot će biti testiran na zadacima elektrolučnog zavarivanja, gde je problem geometrijske nesavršenosti sklopova koji se zavaruju drastično izražen i ne može se uspešno realizovati bez kvalitetne senzorske povratne sprege.

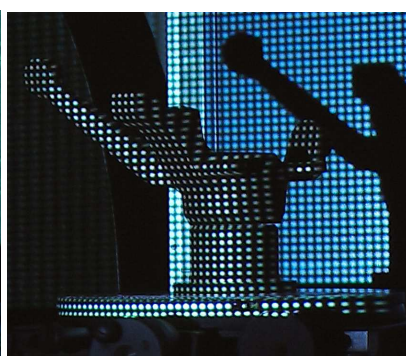
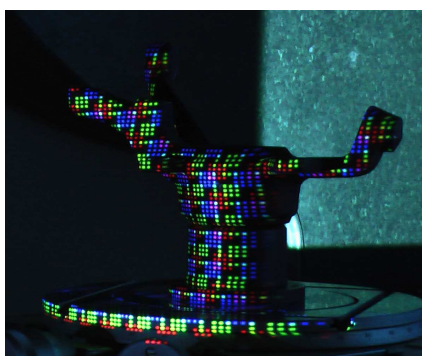
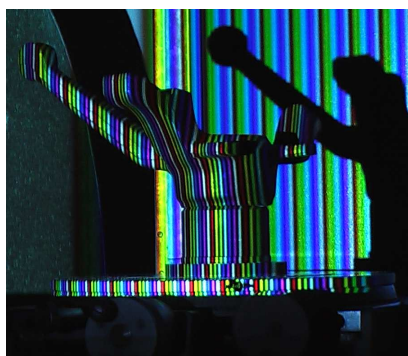
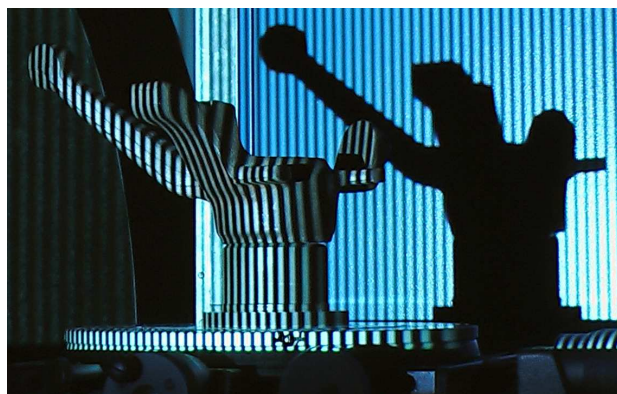
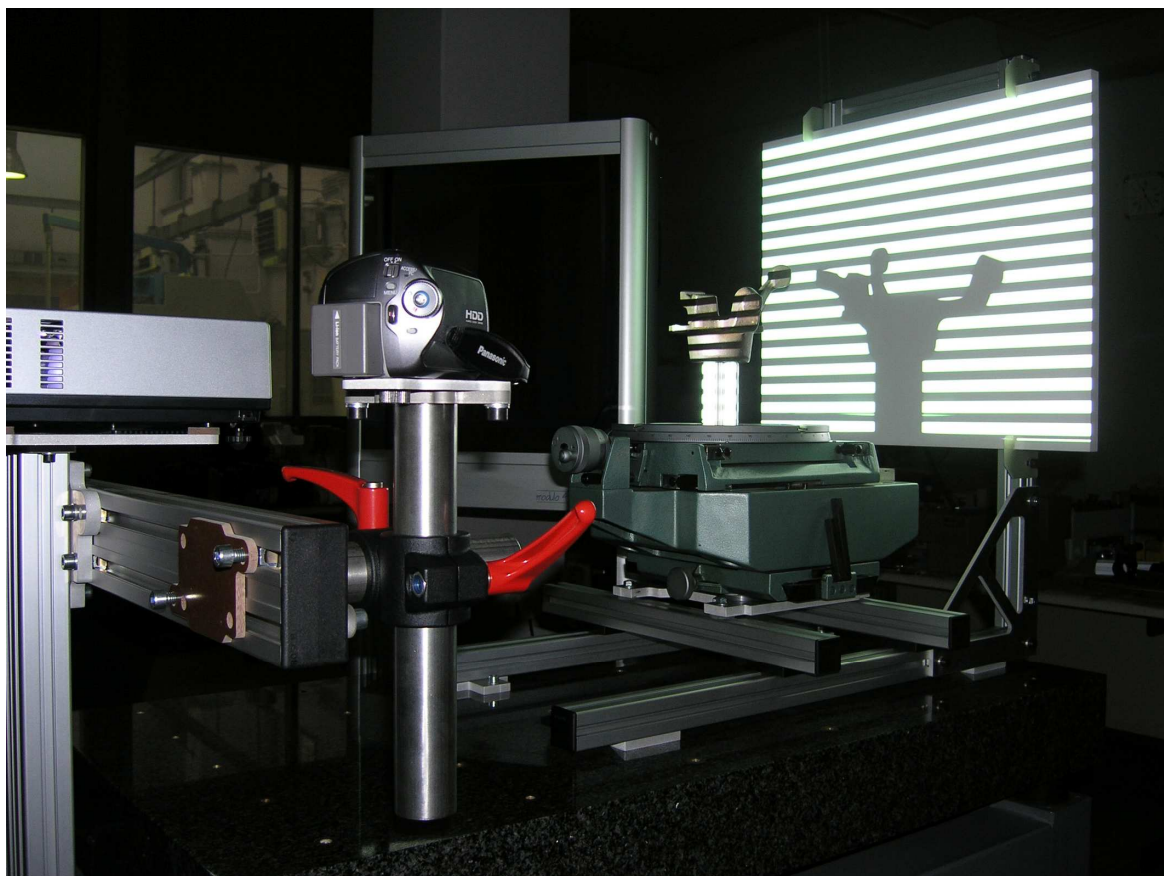
### **3.5. Virtuelni model proizvodnog procesa i planiranje tehnološkog zadatka**

Ova aktivnost pripada radnom paketu TR35007-RP\_3 - Virtuelni model proizvodnog procesa i planiranje tehnološkog zadatka. U okviru ove aktivnosti istraživanja su bila usmerena u pravcu izgradnje odgovarajućeg virtuelnog okruženja u okviru kojeg će pored uobičajenih sadržaja: geometrijski model proizvodnih entiteta u okviru jednog proizvodnog sistema (na primer, tehnološka ćelija za robotsko zavarivanje) i kinematski model procesnih aktivnosti opreme, biti ugrađena još jedna dodatna komponenta, a to je modul za identifikaciju stanja izabranog tehnološkog entiteta na bazi senzorskih informacija koje generiše realni sistem [9]. Ovaj modul ne treba izjednačiti sa funkcijom monitoringa i vizuelizacije koja se sreće u konvencionalnim SCADA sistemima. Ovaj modul obavlja vrlo značajnu aktivnost, koja prethodi i bez koje nije moguće sprovesti sintezu radnog zadatka u realnim uslovima za slučaj rada modeliranog proizvodnog sistema u nedovoljno struktuiranom i nedovoljno poznatom okruženju (nekompletni informacioni sadržaj). Na primer, kod robotskog zavarivanja, nominalni radni zadatak u opštem slučaju je direktno neprimenljiv, jer se stanje geometrije predmontiranog sklopa koji se zavaruje bitno razlikuje, na mikro i makro nivou, od nominala, koji je definisan geometrijskim modelom.

U prvoj etapi realizacije ovog zadatka, za konkretne i pažljivo izabrane primere iz proizvodnje u kompanijama iz poslovno interesne grupe projekta TR35007, generisani su kompletni virtuelni modeli geometrije i procesa montaže, odnosno finalne faze zavarivanja predmontiranog sklopa. Ovi modeli su razvijani u okviru CAD paketa CATIA, odnosno njegovog tehnološkog modula DELMIA. Ovim je realizovan slučaj idealnog virtuelnog sistema. Ovi modeli su prikazani na slikama 9, 10 i 11.

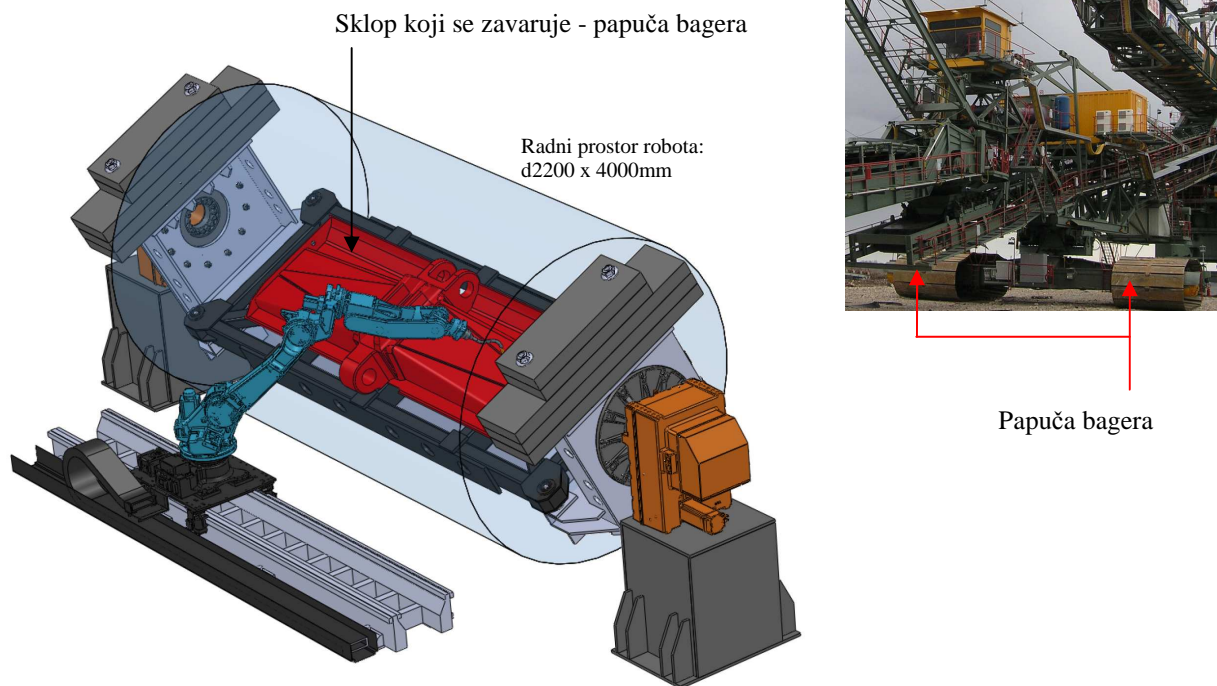
Druga etapa koja je započeta krajem prve istraživačke godine i koja će biti nastavljena tokom druge istraživačke godine, odnosi se na izgradnju neidealizovanog modela, odnosno modela koji pored idealnog sadrži i informacije o realnom stanju stvari, generisane odgovarajućim senzorskim sistemom. Cilj je da se tekući položaj manipulacionog robota, sprege koordinata položaja robota sa signalima koje generiše senzorski sistem (na primer laserski triangulacioni sistem) integrišu u CAD razvojno okruženje (virtuelni metrološki sistem). Ključni problem koji se ovde pojavio odnosi se na zatvorenost komercijalno raspoloživih upravljačkih sistema u smislu dostupnosti koordinata položaja robotskog mehanizma u prostoru, odnosno informacija koje se čitaju sa enkodera akcionog sistema robota u realnom vremenu i koje su sinhronizovane sa radom senzorskog sistema. Rešenje ovog problema će biti razrešeno kroz primenu otvorenog robotskog upravljačkog sistema, baziranog na PC platformi ili, izgradnjom specijalnog interfejsa u saradnji sa proizvođačem robota, koji bi preuzimao tekuće koordinate neposredno sa regulatora servo motora, ili iz modula za slaganje kretanja (interpolator) centralne procesorske jedinice.



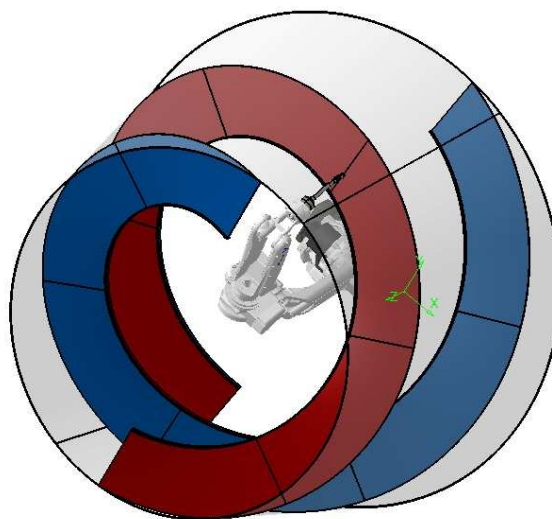


*Slika 8: Fotografije eksperimentalne instalacije za optičku triangulaciju strukturane svetlosti za ekstremno brzu akviziciju prostorne geometrije okruženja: a) eksperimentalna oprema razvijena kroz samogradnju (etapa 1) i b) fotografije probnih ispitivanja razvijenog sistema za kodiranje svetlosnog izvora.*

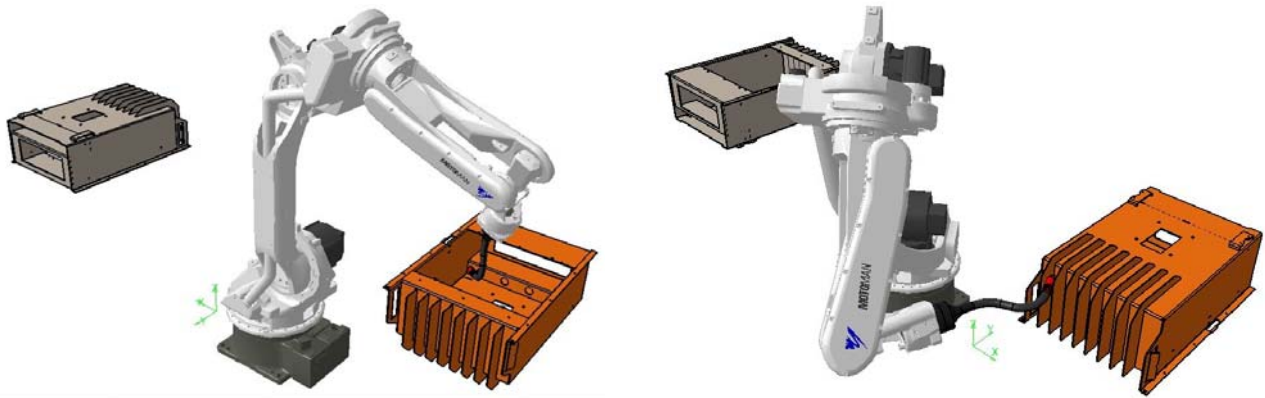




*Slika 9: Virtuelni model robotske tehnološke ćelije za završnu montažu sklopa papuče bagera iz proizvodnog programa kompanije Kolubara Metal (9 sinhronih servo osa; preuzeto iz Studije izvodljivosti koja se nalazi u završnoj fazi realizacije, po bilateralnom ugovoru Mašinskog fakulteta i Kolubara - Metal ).*



*Slika 10: Virtuelni model robotske tehnološke ćelije za završnu montažu familije sklopova doboša kamionskog miksera za beton koji proizvodi kompanija Goša a.d. Simičevo prema dokumentaciji i za potrebe kompanije SCHWING-STETTER GmbH, Nemačka (Kompanija Goša je proglašena za izvoznika godine u 2011.). Virtuelni model je izrađen za potrebe preliminarnih analiza izvodljivosti robotizacije montaže ovog vrlo delikatnog sklopa. Sistem je tako koncipiran da robot malog dohvata ulazi u unutrašnjost doboša i obavlja zadatak. Programiranje kretanja robota je ekstremno komplikovano zbog ograničenja prostora i neprekidno se zahteva provera kolizije bilo kog dela robota sa okruženjem. Virtuelni model ovakvog sistema čini ovaj zadatak izvodljivim. Postojeća montaža se izvodi manuelno u izuzetno teškim uslovima, opasnim po zdravlje radnika (prikazano na priloženoj fotografiji). U ovim aktivnostima je bila uključena kompanija Yaskawa MOTOMAN iz Japana, vodeći svetski proizvođač robota.*



*Slika 11: Virtuelni model robotske tehnološke ćelije za završnu montažu sklopa ložišta peći na pelet iz proizvodnog programa kompanije Milan Blagojević iz Smedereva. Virtuelni model je izrađen za potrebe preliminarnih analiza izvodljivosti robotizacije montaže ovog sklopa i praktično je demonstriran na Sajmu tehnike u Beogradu, maja meseca 2011. godine (na fotografiji se vide dva mlada istraživača na projektu TR35007, doktoranti Nikola Lukić i Ivan Danilov, koji su programirali robotski sistem, prenoseći virtuelni model robotske ćelije razvijen u CAD okruženju u fizički prostor upravljačkog sistema robota).*

Drugi problem, slične prirode odnosi se na zatvorenost standardnih razvojnih CAD sistema za dogradnju. U tom smislu uspostavljen je kontakt sa predstavnikom Dassault Systèmes SolidWorks Corp. gde je posle dužih pregovora dobijena saglasnost za dostavljanje projektnom timu TR35007 sistemskog razvojnog okruženja za dogradnju Solid Works CAD paketa. Plan je da se u standardni grafički paket ugradi dodatni modul, kao posebna funkcionalna celina koja će omogućiti simulaciju robotskog sistema (složena kinematska simulacija, uključujući i redundantne konfiguracije) i akvizicija + vizuelizacija senzorskih podataka – prostorna digitalizacija objekata proizvoljne geometrijske forme spregom robota i optičkih triangulacionih senzora baziranih na laserskoj ili strukturiranoj (kodiranoj) svetlosti. Ovo je zadatak vrhunske tehničke kompleksnosti, a Dassault Systèmes SolidWorks Corp. je izrazila spremnost da u slučaju pozitivnog ishoda uvrsti ovaj softverski modul u svoju standardnu ponudu.

### **3.6. Izgradnja WEB portala projekta**

Za potrebe interne komunikacije istraživačkih timova, diseminacije rezultata i edukacije koncipiran je i izgrađen WEB portal projekta TR35007.

### **3.7. Diseminacija rezultata projekta**

Ova aktivnost pripada radnom paketu TR35007-RP\_5 - Diseminacija i transfer znanja u industrijsko okruženje i obrazovanje inženjera.

Kao platforma za diseminaciju rezultata projekta TR35007 iskorišćen je programski okvir za transfer tehnologije i organizacionih/funkcionalnih model kroz uspostavljanje bliske saradnje na prostoru Evropske unije u okviru programa Evropskih tehnoloških platformi sa programski komplementarnim individualnim tehnološkim platformama: Future Manufacturing Technologies - ManuFUTURE, European Robotics Platform - EUROP, European Platform on Micro - and Nanomanufacturing - MINAM, Advanced Research and Technology for Embedded Intelligence and Systems - ARTEMIS, European Platform on Smart Systems Integration - EPoSS, koristeći instrumente nacionalnog i regionalnog nivoa.



U sklopu prethodnog, ostvarene su sledeće aktivnosti diseminacije ostvarene su kroz kontekst Programa Nacionalnih tehnoloških platformi Srbije [7]. U toku 2011. godine organizovana su dva skupa (detalji na [www.ntp.rs](http://www.ntp.rs)):

Forum 1: NACIONALNE TEHNOLOŠKE PLATFORME SRBIJE - Novi formalni okvir za reinženjering industrije u sklopu evropskih integracija  
Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 17. februar 2011.



Forum 2: NACIONALNE TEHNOLOŠKE PLATFORME SRBIJE - Univerzitet i njegova uloga u transformaciji tehnoloških osnova industrije Srbije  
Rektorat Univerziteta u Beogradu, 01. jun 2011.



Na Savetovanju proizvodnog mašinstva Srbije koji je kao vodeći nacionalni skup za oblast proizvodnih tehnologija u 2011. godini po prvi put održan kao međunarodni skup, organizovana je specijalna plenarna sesija posvećena programu Nacionalnih tehnoloških platformi, gde je saopšten uvodni referat sa temom:

NATIONAL TECHNOLOGY PLATFORMS OF SERBIA, Petar B. Petrović, Vladimir R. Milačić, Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

U okviru skupa: **MANUFuture** - Future Manufacturing Technologies of Europe – **Manufuture 2011** Conference: West and East Europe in global High Added Value manufacturing - facts of today and challenges of tomorrow, Wroclaw, Poland, 24-25 oktobar 2011., saopšten je referat po pozivu na sesiji: West-East Europe cooperation support and interaction - WS2: SMEs in transforming European economies, sa temom:

#### 4. ZAKLJUČAK

U okviru ovog rada izložen je osnovni istraživački okvir, sadržaj istraživanja, ciljevi i pregled ostvarenih rezultata na projektu TR35007 koji zajednički realizuju Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Fakultet tehničkih nauka iz Novog Sada i kompanija IKARBUS iz Beograda. Sprovedene istraživačko-razvojne aktivnosti stvaraju prostor za dalji rad u narednim istraživačkim godinama, u skladu sa postavljenim planom i programom istraživačkih aktivnosti. Od posebnog je značaja što ostvareni rezultati stvaraju prostor za njihovu primenu u industrijskim uslovima. U tom smislu, planirane su dve demonstracione instalacije. U kompaniji Ikarbus: razvoj modularnog sistema za CNC konturno rezanje limova, kao ključne inovacije postojeće tehnologije u okviru ove kompanije koja ima cilj da povećanje produktivnosti i kvaliteta za proizvodnju autobusa. U kompaniji Kolubara Metal, koja je član Poslovno interesne grupe projekta TR35007, u toku je realizacija studije izvodljivosti uvođenja robotskog zavarivanja kojom treba da se stvore preduslovi za sistemsko unapređenje tehnologije zavarivanja, kao ključne tehnologije za izradu metalnih konstrukcija.

#### Reference

- [1] Aschhoff, B., Crass, D., Cremers, K., Grimpe, C., and Rammer, C., European Competitiveness in Key Enabling Technologies - FINAL REPORT, Centre for European Economic Research (ZEW), Mannheim, Germany, 2010.
- [2] European commission, Directorate-general for research, Directorate G – Industrial technologies, FACTORIES OF THE FUTURE - PPP Strategic Multi-annual Roadmap, 2010, ISBN 978-92-79-15227-6.
- [3] Jakovljevic, Z., Petrovic, P., B., Recognition of Contact States in Robotized Assembly Using Qualitative Wavelet Based Features and Support Vector Machines, Scientific paper printed in „Proceedings of the 36th International MATADOR Conference“, Edited by Hinduja Srichand and Li Lin, Published by Springer Verlag London Ltd, ISBN: 978-1-84996-431-9, pp. 305-308, 1st Edition, 2010, DOI: 10.1007/978-1-84996-432-6\_69
- [4] Jakovljević, Ž., Petrović P. B., "Prepoznavanje kontaktnih stanja u robotizovanoj montaži", Mašinski fakultet u Beogradu, 2011, ISBN: 978-86-7083-750-8.
- [5] Jovane, F., Westkämper, E., and Williams, D., THE MANUFUTURE ROAD - Towards Competitive and Sustainable High-Adding-Value Manufacturing, 2009, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-540-77011-4.
- [6] Petrovic, P., Jakovljevic, Z., Milacic, V., Context sensitive recognition of abrupt changes in cutting process, Expert Systems with Applications 37, 2010, pp: 3721–3729, 10.1016/j.eswa.2009.11.053
- [7] Jakovljevic, Z., Petrovic, P., B., Hodolic, J., Contact states recognition in robotic part mating based on support vector machines, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, pp: 1-19, DOI 10.1007/s00170-011-3501-5, ISSN 0268-3768
- [8] Petrovic, P., B., Milacic, V., R., National Technology Platforms of Serbia, Proceedings, 34th International Conference on Production Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, University of Nis, 2011, pp. 15-25, ISBN: 978-86-6055-019-6.
- [9] Pilipović, M., Danilov, I., Lukić, N., Petrović, P.B., Virtual Manufacturing - Advanced Manufacturing Examples, Proceedings, 34th International Conference on Production Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, University of Nis, 2011, pp. 217-220, ISBN: 978-86-6055-019-6.

## INTELLIGENT ROBOTIC SYSTEMS FOR EXTREMELY DIVERSIFIED PRODUCTION – TR35007

### Abstract

*This paper outlines the results of research conducted on the four-year project TR35007 jointly implemented by Mechanical Engineering Faculty University of Belgrade, Faculty of Technical Sciences in Novi Sad and Belgrade Ikarbus company. This project is financially supported by the Ministry of Education and Science within four-year cycle of research projects for technological development, from 2011 to 2014. The research framework of this project, the main objectives imposed to the research team and project organization structured by work packages are given first. In the second part, this paper outlines the main results achieved in the first research year, with appropriate description and basic details of the technical and organizational nature.*