

ГОДИШЊИ ИЗВЕШТАЈ О РЕАЛИЗАЦИЈИ ПРОЈЕКТА
за период: 01.01.2013. до 31.12.2013.
Програм истраживања у области технолошког развоја
Област: Машинство и индустријски софтвер

Наслов:

**Интелигентни роботски системи за екстремно
диверзификовану производњу**

Smart Robotic Systems for Customized Manufacturing

Евиденциони број:	TR 35007
Руководилац:	Др Петар Б. Петровић, редовни професор
Организација координатор:	Машински факултет Универзитета у Београду
Организације учесници:	Факултет техничких наука у Новом Саду
Корисник:	ИКАРБУС а.д. – Фабрика аутобуса и специјалних возила – у реструктурирању, Земун
Број месеци истраживача:	56
Трајање пројекта:	4 године

1. Кратак приказ предмета, садржаја и циљева истраживања (Прилог.1 Уговора)

Предмет истраживања на овом пројекту су нови концепти производних система за екстремно диверзификовану производњу и различити аспекти њиховог трансфера у домаћу индустрију.

Кључних захтев екстремно диверзификоване производње, односно персонализоване производње, јесте екстремна флексибилност производне опреме, чија се својства приближавају или изједначавају оним која човек поседује у оквиру мануелних система. У генеричком смислу, основни садржај оваквог концепта јесте интелигенција, која је уграђена у опрему и производни систем у целини.

Постојеће стање као и трендови у стварању генеричких знања из домена вештачке интелигенције указују на чињеницу да изградња интелигентних производних система високог степена аутономности, који би поседовали довољну робусност за практичну применљивост у индустријским условима, није реална у скоријој будућности (неколико деценија).

У циљу превазилажења овог ограничења и истовремено проналажења практично употребљивог одговора на реалне потребе индустрије, постепено се уобличава једно прелазно и у технолошком смислу, еволутивно решење, у облику хибридног система. **Хибридни систем за екстремно диверзификовану производњу** јесте нови технолошки ентитет који се постепено изграђује и који ће у будућности која је непосредно пред нама представљати технолошку основу за нову производну парадигму масовне кастомизације. Основа хибридног производног система је симбиотска интеракција човека и машине, на новим основама, које се битно разликују од постојеће индустријске праксе. Унутар хибридног производног система радни задаци се остварују у тесном колаборативном, односно тимском раду, тако што робот или друга аутоматска опрема, извршавају репетитивне рутинске задатке, а човек, користећи своја изузетна сензорска својства и супериорну интелигенцију, обезбеђује функцију аутономности производног система у реалном времену. Хибридни производни систем је основни истраживачки оквир на пројекту TP35007, при чему се његово истраживање ограничава на домен роботске монтаже и роботског заваривања, са фокусом на истраживање симбиотске интеракције човека и робота кроз турску функцију, односно на поставку нових механизма преноса знања и вештина са робота на човека и стварање предуслова за тимски рад човека и робота у заједничком радном простору. Дакле, у оквиру хибридног производног система, работи имају способност да уче и поседују својства за безбедан рад са човеком у заједничком радном простору.

Пројекат је структуриран и састоји се из пет радних пакета:

- | | |
|----------------|--|
| TP35007-PP_1 - | Менаџмент пројекта; |
| TP35007-PP_2 - | Интерфејс за симбиотску спрегу човек-машина и трансфер знања/вештина на машински систем; |
| TP35007-PP_3 - | Виртуелни модел производног процеса и планирање технолошког задатка; |
| TP35007-PP_4 - | Практична верификација и изградња демонстрационих инсталација; |
| TP35007-PP_5 - | Дисеминација и трансфер знања у индустријско окружење и образовање инжењера. |

Као **основни истраживачки циљ** поставља се задатак изградње научно заснованих теоретских основа генеричке природе практичних приступа за пројектовање и развој интелигентних роботских система базираних на симбиотском односу робота и човека. Човек је на различите начине директно укључен у производни процес (на нивоу извршења задатка) и има улогу да кроз своје деловање обезбеди производном систему потребан и довољан ниво аутономног понашања. Кључни садржај у овом симбиотском односу је трансфер вештина и знања са човека на роботски систем и односи се на оне ситуације у којима роботски систем без присуства човека не може да изврши постављени задатак. Робот и њему придружена мехатронска опрема изводи репетитивне задатке различите врсте, укључујући и оне који носе ризик по здравље човека, а човек који је спрегнут са овим системом, својим чулима допуњује сензорски систем машине и својом супериорном интелигенцијом разрешава деликатне проблеме у реалном времену, посебно оне који се односе на доношење одлука у недовољно познатом окружењу, укључујући и реаговање у потпуно новим ситуацијама, које се драстично разликују од номиналног плана за извршавање постављеног технолошког задатка, а све то у контексту малосеријске и екстремно диверзификоване производње.

Други циљ је да се у домаћу индустрију, која је после екстензивних разарања економског система Србије доведена на врло низак технолошки ниво и своју конкурентност на светском тржишту базира пре свега на јефтином физичком раду и примарној преради сировина, уведу нови, високотехнолошки и иновативни садржаји кроз примере позитивне индустријске праксе. Позитивна индустријска пракса подразумева изградњу пилот демонстрационих система, који ће показати применљивост и практичну вредност за домаћу индустрију и тако покренути трансформационе процесе у смеру стварања индустрије знања. У овом контексту планирано је да се до окончања пројекта TP35007 изграде демонстрационе инсталације на Машинском факултету и у производним погонима компанија чланица конзорцијума и/или компанија које чине групу компанија пословно заинтересованих за резултате пројекта TP35007. Основни садржај ових демонстрационих инсталација ће бити хибридни роботски систем, односно роботске технолошке ћелије у којима је остварен неки вид симбиотске спреге човека и робота у извршавању постављеног задатка. На овим инсталацијама ће бити верификовани критични истраживачки садржаји и практично примењен концепт нове симбиотске интеракције човека и машинског система, фокусирајући се на изабране примере технолошких задатака, који су: 1)високоваријантне природе, 2)традиционално се изводе екстензивним ангажовањем мануелног рада, и 3)који носе инхерентне ризике по здравље човека (премештање човека на технолошки комплексније/квалитетније задатке). Практична применљивост резултата пројекта подједнако обухвата велике компаније као и сектор малих и средњих предузећа, посебно она која су усмерена на извоз и друге облике кооперативне сарадње на међународном нивоу, суштински мењајући постојеће стање у домаћој индустрији кроз отварање нових високотехнолошких и развојних радних места и препуштање постојећих, радно интензивних задатака, делимично или у целости, интелигентним роботским системима.

Трећи циљ је да се концепт интелигентних технолошких система, интелигентних робота и мехатронике као генеричких мултидисциплинарних технологија за градњу оваквих система, промовише и дисеминира у едукативни систем за образовање инжењера и у привреду, кроз успостављање нових курсева, лабораторијских вежбања у настави, и семинара и других облика иновације знања за компаније чланице конзорцијума и пословно заинтересоване компаније ван конзорцијума пројекта. У оквиру ове групе активности систематски се развија иницијатива шире мобилизације индустрије, носиоца инвестиционог капитала и истраживачко-развојних институција на изградњи нових механизма за успостављање нових технолошких основа индустрије Србије, компатибилних са европским моделима технолошког развоја, првенствено смештених у концепт Европских технолошких платформи (ETP-European Technology Platforms). Суштина је у томе да је неопходно створити опште повољан амбијент, у националним размерама, који ће овакве процесе учинити изводљивим и потребним.

Планирани и до сада остварени резултати пројекта се групишу у две групе:

Научни резултати и иновације: Нове формално-теоретске основе за изградњу система за симбиотску спрегу човек-машина у оквиру роботизованих система за аутоматску монтажу и операција заваривања које обухватају: а)Концептуалне основе и разраду модела двосмерне комуникације човека и машине и трансфер знања и вештина са човека на машину; б)Концептуалне основе и разраду модела систематске аквизиције човековог понашања у разрешавању комплексних ситуација; ц)Сензорски систем - сила, вештачко гледање и оптичка триангулација структуриране светлости; д)Систем за обраду, фузију и препознавање сензорских сигнала; е)Концептуалне основе и разрада модела семантичке интерпретације обрађених сензорских сигнала - свест робота о стању окружења у коме делује; ф)Изградња концептуалних основа хаптичког интерфејса за физичку спрегу манипулационог робота и човека (тутора). Овај комплексан истраживачки резултат би имао садржаје значајног продора у области вештачке интелигенције, мерљиве у интернационалним размерама и као такав, представљао основни иновативни садржај пројекта, који би у случају реализације свих планираних функција имао вредност радикалне технолошке иновације генеричког карактера.

Техничка решења: а)Изградња Regional Competence Center на Машинском факултету у Београду у оквиру Центра за нове технологије, специјализована за домен интелигентних роботских система за технологију монтаже и заваривање + плазма/ласеррезање (постојећа опрема, опрема коју донира компанија MILLER USA, опрема коју донира компанија HYPERTHERMUSA, опрема ФТН доступна за коришћење кроз пројекат TP35007, додатна опрема коју финансира МНТР, адаптација постојећег простора коју финансирају компаније чланице конзорцијума); б)Демонстрационе инсталације: Демонстрациона инсталација 1 - ИКАРБУС хибридни систем за роботско заваривање модула нове генерације носеће структуре нископодних аутобуса - изградња технолошке ћелије која ће у завршној фази пројекта TP35007 бити доведена у потпуно функционално стање и даље, као референтна инсталација, репликована за потребе компаније и компанија домаће индустрије; ц)Демонстрациона инсталација 2 - Хибридни систем за роботску монтажу фамилије модула склопа изабраног електромеханичког производа - изградња модуларне технолошке линије/ћелије која ће у завршној фази

пројекта TP35007 бити доведена у потпуно функционално стање и даље, као референтна инсталација, репликована за потребе компаније и компанија домаће индустрије.

2. Циљ истраживања у трећој години (Прилог.1 Уговора)

У трећој години истраживачко-развојне активности судоминантно имале за циљ практичну проверу у лабораторијским условима резултата који су остварени у оквиру корпуса теоретских истраживања спроведених у претходне две године. У том смислу посебно је значајна набавка капиталне опреме, која је испоручена крајем првог и крајем другог квартала 2013. године, чиме је била омогућена изградња базних лабораторијских инсталација за спровођење широког комплекса експерименталних активности, у распону од микро до концептуалних размера.

Истраживачко развојне и експерименталне активности су биле фокусиране на четири базне теме:

1. Теоретски модели система за симбиотску спрегу човек-машина и трансфер знања/вештина на машински систем:

Даља разрада концептуалних основа антропоморфних робота за комплексне задатке интеракције са окружењем и тимски рад са човеком у домену технологије роботске монтаже - концепт индустријских хуманоидних робота, где су настављене активности теоретско-експерименталног типа на експерименталном зглобу са управљивом попустљивошћу – меки зглоб EHR-MZ01. Паралелно, вршена су истраживања примене хуманоидних робота са управљивом попустљивошћу и у домену медицинских апликација, конкретно роботски асистирани ултрасонографије, што је једним делом било смештено у оквир пројекта TP35020 чији је координатор Факултет техничких наука у Новом Саду, а део пројектног тима пројекта TP35007 је имао активно ангажовање и на пројекту TP35020.

2. Виртуелни модел производног процеса и планирање технолошког задатка:

Наставак развојних активности из друге истраживачке године у делу изградње специјализованог интерфејса као допунског модула комерцијално расположивог CAD пакета за просторно геометријско моделирање SolidWorks, са циљем изградње комплексног и мултифункционалног интерфејса који ће омогућити драстично убрзање синтезе радног задатка и генерисање извршног управљачког кода. Развијени су прелиминарни модули (plug-in) софтверски модули за приступ SolidWorksCAD пакету и софтверски функционални модули за домен манипулације сензорским подацима које генерише робот опремљен одговарајућим триангулационим сензором за просторну дигитализацију геометрије склопа који се заварује и/или његовог радног окружења и преко тога остварује адаптивно понашање.

3. Експериментална верификација/демонстрација у лабораторијским условима:

Кључни садржај истраживачко-развојних активности у трећој и четвртој години, са фокусом на изградњу две лабораторијске инсталације за практичну демонстрацију и усавршавање концепта хибридног роботског система прилагођеног захтевима нове производне парадигме масовне кастомизације и посебно ширег концепта кибернетско-физичких система за домен производних технологија:

- a) Инсталација 1: Монтажа заварених склопова / роботско заваривање са адаптивним/аутономним понашањем базираним на дигитализацији геометрије склопа који се заварује применом ласерске триангулације и триангулације структуриране светлости, који су интегрисани у роботску структуру антропоморфног робота специјализованог за операције заваривања конвенционалним МИГ/МАГ/ТИГ поступцима и за операције ласерског заваривања;
 - b) Инсталација 2: Монтажа малих механичких склопова, операције роботизованог спајања делова с укљученом функцијом адаптивног понашања аквизицијом генерализованог вектора силе спајања имплементирана на редувантну роботску платформу антропоморфне конфигурације, са перформансама врло блиским ригорозним оквирима индустријских хуманоида.
4. Завршне активности развоја модуларног CNC система за плазма резање са уграђеном функцијом адаптивног управљања режимом резања:

Истраживачко-експерименталне активности биле су усмерене на развој модула (хардвер и софтвер) за адаптивно управљање дистанцом (z-osa). Због лошег пословног стања партиципанта, компанија Икарбус, физичка реализација демонстрационе инсталације CNC система за плазма резање су померене на 2014. годину. Због своје објективне комплексности и обима потребних радова, активности 1, 2 и 3 ће бити продужене и на четврту истраживачку годину, са превасходним фокусом на доградњу садржаја који ће омогућити излазак из лабораторијске средине и примену у индустрији.

Нова производна парадигма масовне кастомизације је реалност која више од једне деценије егзистира у истраживачком и индустријском простору Европе, и представља нови оквир за екстензивна мултидисциплинарна и екстензивна истраживања великог степена значајности за индустријски развој. У циљу преношења оваквих садржаја у домаћи истраживачки простор и индустрију, између осталог и у контексту европских интеграционих процеса Србије који новим статусом Србије у овом процесу добијају велики степен општег друштвеног приоритета, током треће истраживачке године настављене су раније започете активности на увођењу и имплементацији концепта Европских технолошких платформи, односно њиховог националног еквивалента, у индустријски простор Србије. Активности на пројекту TP35007 су повезане са активностима које се реализују у оквиру Академије инжењерских наука Србије, где је током 2010. године успостављен програм Националних технолошких платформи Србије.

3. Фазе и активности у трећој години истраживања (Прилог.1 Уговора)

- Фаза реализације 2:** Теоретски модели система за симбиотску спрегу човек-машина и трансферзнања/вештина на машински систем
- Активност 5: Концептуалне основе антропоморфних робота за комплексне задатке интеракцијеса окружењем у процесу монтаже – концепт индустријских хуманоида- део 2;
- Временски оквир: 01/01/2013- 31/12/2013
 Резултат: M51 Број резултата: 1
- Фаза реализације 3:** Виртуелни модел производног процеса и планирање технолошког задатка
- Активност 2: Доградња функције аквизиције геометријских информација из реалног окружења у изабрани комерцијално расположиви CAD пакет за просторно геометријско моделирање / део 2;
- Временски оквир: 01/06/2013- 31/12/2013
 Резултат: M52 Број резултата: 1
- Фаза реализације 4:** Експериментална верификација/демонстрација у лабораторијским условима
- Активност 3: Модуларни CNC систем за плазма резање са уграђеном функцијом адаптивногуправљања режимом резања – Демонстрациона инсталација у индустријској средини;
- Временски оквир: 01/01/2013- 30/06/2013
 Резултат: M82 Број резултата: 1
- Фаза реализације 4:** Експериментална верификација/демонстрација у лабораторијским условима
- Активност 4: Инсталација 1: Монтажа заварених склопова / роботско заваривање, дигитализацијагеометрије завареног склопа и димензиона метрологија ласерском триангулацијоми триангулацијом структуриране светлости – Трансфер на роботску платформу YASKAWA MA1400;
- Временски оквир: 01/03/2013- 31/12/2013
 Резултат: M85 Број резултата: 1
- Фаза реализације 4:** Експериментална верификација/демонстрација у лабораторијским условима
- Активност 5: Инсталација 2: Монтажа малих механичких склопова, операције роботизованогспајања делова с укљученом функцијом адаптивног понашања аквизицијомгенерализованог вектора силе спајања – Трансфер на роботску платформу YASKAWA SIA 10F;
- Временски оквир: 01/06/2013- 31/12/2013
 Резултат: M85 Број резултата: 1
- Фаза реализације 5:** Изградња и одржавање WEB поратала пројекта TP35007
- Активност 3: Доградња WEB портала пројекта TP35007;
- Временски оквир: 01/01/2013- 31/12/2013
 Резултат: M85 Број резултата: 1
- Фаза реализације 5:** Изградња и одржавање WEB поратала пројекта TP35007
- Активност 4: Интеракција и дисеминација резултата у оквиру Програма Националнихтехнолошких платформи Републике Србије;
- Временски оквир: 01/01/2013- 31/12/2013
 Резултат: M63 Број резултата: 1

Б Реализација обавеза дефинисане Уговором

1. Конкретан опис резултата пројекта, по активностима и фазама, који су остварени у извештајном периоду (до 15 страница), са упоређењем са обавезама и резултатима дефинисаним Уговором.

Фаза реализације 2:	Теоретски модели система за симбиотску спрегу човек-машина и трансферзнања/вештина на машински систем
Активност 5:	Концептуалне основе антропоморфних робота за комплексне задатке интеракцијеса окружењем у процесу монтаже – концепт индустријских хуманоида- део 2;
Временски оквир:	01/01/2013- 31/12/2013

Ова активност припада радном пакету TP35007-ПП_2: Интерфејс за симбиотску спрегу човек-машина и трансфер знања/вештина на машински систем.

Током 2013. године истраживања у оквиру ове теме била су фокусирана на три групе активности: а) Меки зглоб EHR-MZ01- наставак теоретско-експерименталних радњи у домену индустријских хуманоида са фокусом на меки зглоб и б) MEMS 9dof сензор - развој специфичног интерфејса за интеракцију човек – машина који је базиран на MEMS технологији (MEMS = микро електромеханички систем) сензорског система за идентификацију угаоних координата тела у простору, и в) Ускоспецијализована међународна сарадња - успостављање међународне сарадње са водећим лабораторијама и истраживачима за истраживања у домену когнитивне роботике.

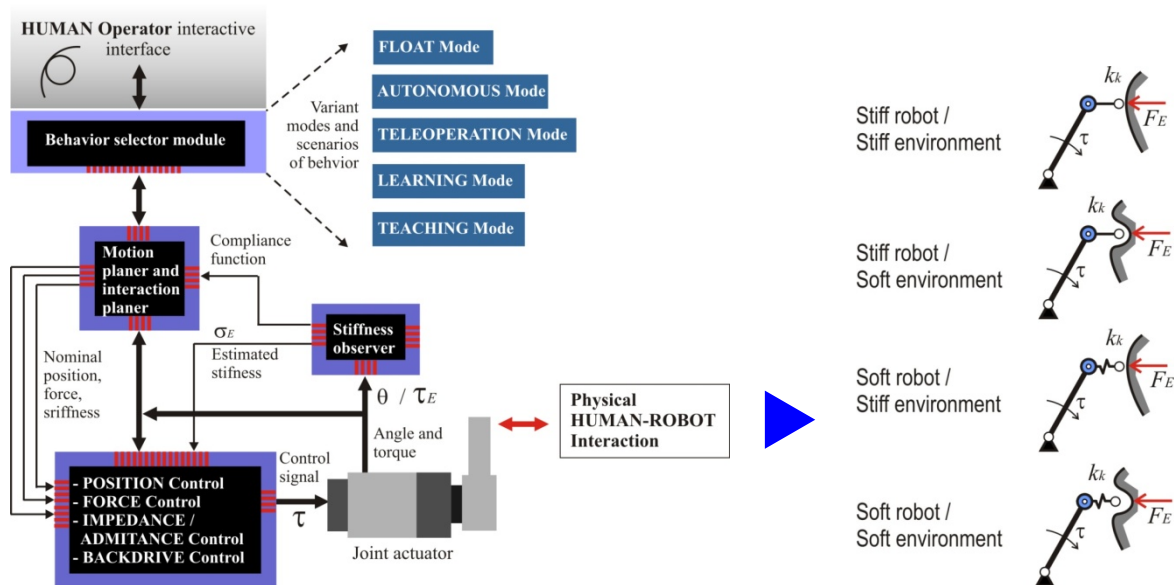
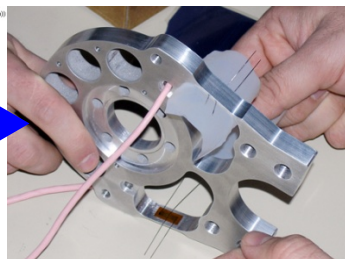
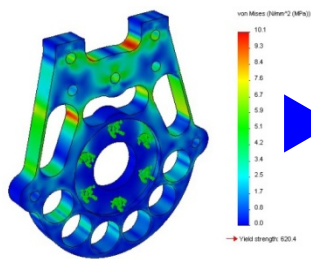
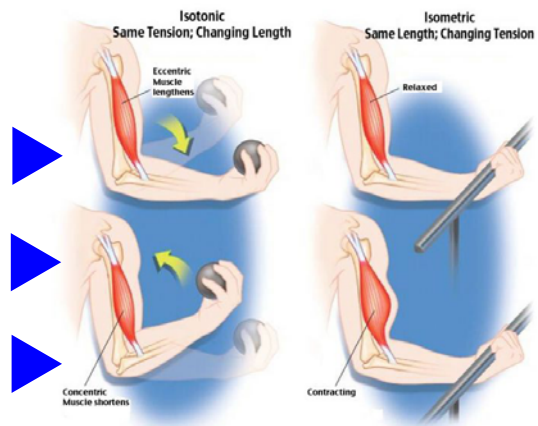
а) Меки зглоб EHR-MZ01: Активности у овом домену биле су везане за експерименталну инсталацију за тестирање концепта меког зглоба EHR-MZ01. Ова инсталација је урађена у целости самоградњом и комплетирана крајем 2012. године (механика, сензорика, управљање и базни управљачки софтвер), приказано на слици 1. Истраживања у овој области односе се на изградњу нове, концептуално битно другачије генерације индустријских робота – индустријских хуманоида, који омогућавају блиску физичку и когнитивну интеракцију човека и робота у извршавању производних задатака. У својој основи, ово је пионирска активност у нашем научно-истраживачком простору и она има за циљ стицање основних практичних искустава, подједнако у домену управљања механичком импедансом/адмитансом и у домену механичког и електричног хардвера.

Хардверска основа управљачког система базирана је на дистрибуираном концепту управљања, што омогућава расподелу управљачког задатка на већи број микропроцесорских јединица и ефикасно извршавање комплексних алгоритама у реалном времену. Обрада сензорске информације коју генерише сензор момента, уграђен у структуру излазног сегмента меког зглоба, остварује се помоћу посебног микропроцесорског склопа, који између осталог реализује и задатак конверзије аналогног сигнала у дигитални. На исти начин се врши и обрада сигнала који генерише сензор угаоног помераја зглоба, који због велике резолутности захтева изразити временски синхронизам рада процесора и рада електромеханичког хардвера инкременталног дигиталног генератора импулса, на шта се своди суштина сензора помераја. Секундарна обрада сензорских сигнала и управљачки алгоритам реализују се посебним микропроцесором, а посебан микропроцесор даље обрађује актуациони сигнал и управља излазним степеном који регулише рад сервомотора меког зглоба, односно његову функцију крутости и конвенционалне кинематике.

Интеграција овако хардверски и функционално дистрибуираног система остварује се брзом серијском комуникацијом на елементарном хардверском нивоу који захтева стандардни SPI интерфејс. Микропроцесорску основу овог управљачког система чини микроконтролер PIC 18F45K22. Овако организован управљачки систем је повезан са надређеним рачунарским системима преко којих се остварују: НМІ функција за елементарне команде и задавање жељених модова рада и / или механичког понашања, функција двосмерне спреге развојног окружења и микроконтролера, и функција аквизиције понашања меког зглоба у циљу верификације његових перформанси. Генеричка структура архитектуре овог система приказана је на слици 1.

Са аспекта синтезе закона управљања који ће омогућити слободу у избору механичког понашања меког зглоба у механичкој интеракцији са физичким окружењем, пошло се од става да су контактна сила, без обзира на њен карактер, и померај референтне тачке робота у односу на које се врши управљање понашањем, повезани преко елементарне векторске једначине:

$$\tau_E = k_K \theta$$



Слика 1: Меки зглоб EHR-MZ01 као основни градивни елемент индустријског хуманоида. Фотографије које приказују изглед реализованог хардвера (потпуна самоградња остварена у Лабораторији за кибернетичку и мехатронске системе Машиноског факултета у Београду) и приказ структуре система управљања померајем и варијабилном попустљивошћу.

Из те релације је даље извршена синтеза јединственог управљачког закона, који симултано стабилизује силу и позицију меког зглоба:

$$\tau = H(q)[\ddot{q}_o + M_q(q)^{-1} - B_q(q)\delta\dot{q} - K_q(q)\delta q + J^T(q)(F_{TCP} - F_o)] + h(q, \dot{q}) - J^T(q)F_{TCP}$$

$$M_q(q) = J^T(q)M_X J(q), B_q(q) = J^T(q)B_X J(q), K_q(q) = J^T(q)K_X J(q), \delta q = (q - q_o)$$

Вредност овог приступа је у томе што овакав управљачки закон поседује довољну унутрашњу структурираност / модуларност, која даље омогућава формирање различитих деривата управљачког закона, прилагођених ограничењима практичне имплементације на конкретној микропроцесорској платформи. Инхерентно нелинеарна својства остварена су кроз оквир партиције управљачког закона на део који је базиран на управљању по грешци и део који је базиран на управљању по моделу. Део који је управљан по моделу уводи естимирану нелинеарну природу кроз компензаторе уграђене у повратне спреге (линеаризација повратном спрегом):

$$\tau = \alpha\tau' + \beta$$

Одакле се из механичког модела меког зглоба лако изводи закон управљања по позицији у којем је експлицитно видљива контактна сила са окружењем:

$$\tau' = \ddot{\theta}_o + k_v\dot{\theta} + k_p\theta$$

$$\alpha = \hat{m}l^2, \quad \beta = \hat{v}\dot{\theta} + \hat{\mu}\operatorname{sgn}\dot{\theta} + \hat{m}gl\cos\theta + \tau_E$$

Или еквивалентно, закон управљања по сили, у којем је такође експлицитно видљива контактна сила са окружењем:

$$\tau_f = \alpha_f\tau'_f + \beta_f$$

$$\tau'_f = \ddot{\tau}_o + k_{vf}\dot{\tau}_f + k_{pf}\tau_f$$

$$\alpha_f = \hat{m}l^2\hat{k}_K^{-1}, \quad \beta_f = h(\dot{\tau}_E, \tau_E, \hat{k}_K^{-1}, \hat{\phi}) + \hat{m}gl\cos(k_K^{-1}\tau_E) + \tau_E$$

Контактна сила са окружењем је компонента повратне спреге која је мерена одговарајућим сензорским системом.

Посебан корпус истраживања у овом домену односи осе на физичку интеракцију меког зглоба и човековог тела. Разматрана су два основна колизиона случаја, односно колизија са слободним делом људског тела и колизија са људским телом које није слободно, већ је са једне своје стране ослоњено на круту основу апроксимативно бесконачне крутости и апроксимативно бесконачне масе. На слици 2 је приказан низ фотографија који илуструје комплетну секвенцу колизионог сценарија са слободним људским телом. Одговарајућим избором варијантних облика управљачког закона и параметара, ефикасно је контролисана колизиона механичка енергија и постигнуто такво понашање меког зглоба у контакту са људским телом да тај контакт не уноси осећај непријатности – механички параметри слични природној колизији човек-човек, мада је проблем нелагодности евидентан што указује на психолошку димензију проблема.

UNCONSTRAINED human-robot impact scenario



Слика 2: Практични експерименти колизије меког зглоба и људског тела – базна истраживања безбедне и психолошки прихватљиве физичке интеракције индустријског хуманоида и човека у контексту колаборативног и/или тимског извршавања радних задатака.

Корпус спроведених истраживачких активности у овом тематском оквиру је стављен у контекст израде докторских дисертација два млада истраживача, докторанта, чије су докторске тезе усмерене у област интелигентних роботских система за флексибилну аутоматизацију процеса монтаже и заваривања у условима екстремно малих серија и велике варијантности производа – нова производна парадигма масовне кастомизације. Истраживања су екстремно комплексна и до сада су постављени основни концептуални оквири за кооперативни однос човек-робот на бази сензора који генерише информацију о генерализованом вектору контактне силе и/или оптичких сензора за квантитативну идентификацију стања у физичком простору радног задатка на бази оптичке триангулације ласерске или структуриране светлости.

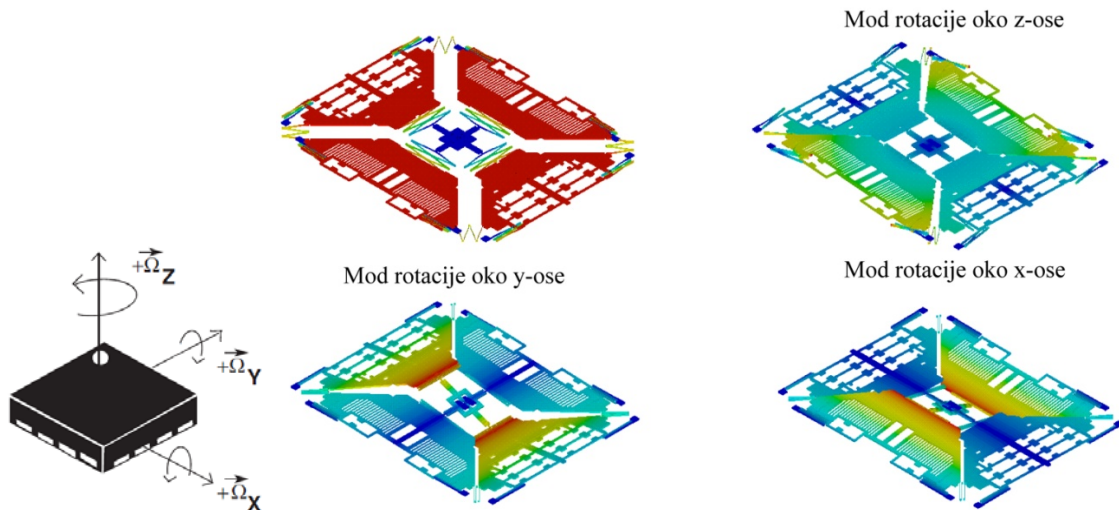
б) MEMS 9dof сензор: Активности у овом домену биле су везане за развој специјализованог интелигентног сензорског хардвера за потребе: i) аквизиције понашања човека у извршавању типичних задатака у индустријској производњи и ii) интеракције човек-робот кроз команде које се задају помоћу гестова покретима, а повезане су са извршавањем конкретног радног задатка робота. На слици 3 (лево) приказана је хардверска основа ове технологије произвођача Xsens (3D motion tracking), Холандија. У оквиру пројекта TP35007 покренуте су развојне активности развоја напреднијег решења које је базирано на екстремно компактним претварачима и бежичној технологији за њихово умрежавање.



Слика 3: Концепт аквизиције понашања човека у извршавању конкретних радних задатака у индустријској производњи (лево) и пример азбуке за гестуалну комуникацију покретима између човека и робота (сензор интегрисан у рукав или у облику рукавице или наруквице може да генерише довољно информација за довољно дискриминативне временске секвенце које се могу препознати као слова наведене азбуке).

Основу овог сензорског интерфејса чини MEMS технологија, односно технологија микро електромеханичких система, који интегришу функцију претварача и кондиционера у један склоп минијатурних димензија (слика 4). За мерење 3 угаоне координате објекта у простору неопходан је комплексан сензорски систем који се састоји из 3 претварача: троосни акцелерометар, троосни жирокоп и троосни магнетометар. Овако висок степен редунадансе неопходан је за активну компензацију грешке интеграције.

Примарни претварач за идентификацију угаоног триплета је жирокоп. Жирокоп није осетљив на убрзање и није осетљив на магнетско поље Земље или других магнетски активних објеката. Интеграцијом три сензорска сигнала, сваки за по једну од координатних оса које чине локални координатни систем сензора који је везан за тело електронског склопа жирокопа, односно кућиште интегрисаног кола, добијају се три угаоне координате. Интеграцијом се нагомилава грешка, што има велики утицај на метролошке перформансе жирокопа. Такође, жирокоп нема природну референцу у односу на спољашњи координатни систем. Грешке које се генеришу по овом основу су такве да жирокоп чине практично неупотребљивим.



Слика 4: Жироскоп L3GD20, димензија кућишта 4x4x1мм, и MEMS конструкција претварача. Поред електронског склопа (ASIC), интегрисано коло жироскопа садржи и механичку покретну структуру претварача, која има облик деформабилне решетке микрометарских размера. Та решетка се доводи у стање резонансе и затим се применом концепта Кориолисовог вибрационог жироскопа могу да региструју поремећаји у режиму њеног осциловања који су пропорционални спољашњим силама изазваних њеним просторним померањем (суштина је у томе да се унутрашњи делови MEMS чипа физички померају!). Овакав склоп екстремне комплексности добијен је микромеханичком обрадом (нелитографским поступком!).

Да би се решио претходно наведени проблем, у сензорски систем се уводе два додатна троосна сензора, чије је основно својство да обезбеде стабилну референцу у односу на спољашњи координатни систем.

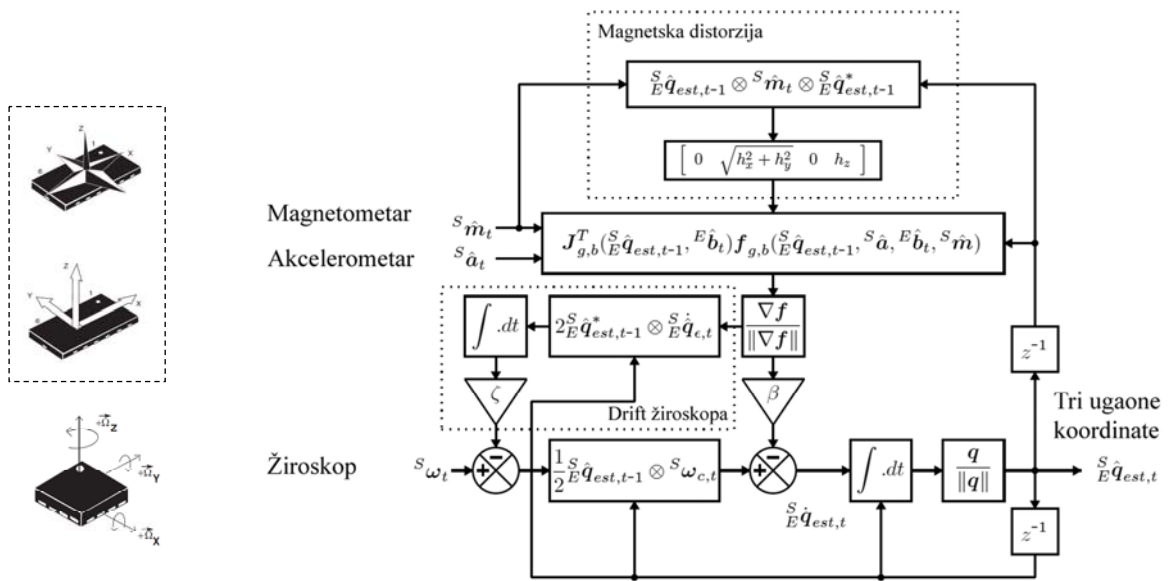
Прво, то је акцелерометар који даје информацију о убрзању дуж три ортогоналне осе сопственог локалног координатног система. Да би се одредио угаони померај неопходна је двострука интеграција сензорских сигнала акцелерометра. Двострука интеграција генерише велику грешку, али акцелерометар природно има једну врло стабилну референцу, а то је вектор убрзања гравитационог поља Земље. Недостатак акцелерометра је у томе што он само у мировању може да региструје ову референцу на директан начин, сваки други померај, укључујући и вибрације, уноси поремећај, у општем случају по све три координатне осе.

Други сензор који се додаје жироскопу за генерисање стабилне референце јесте магнетометар, односно електронски компас. Овај склоп који у својој основи има Халов претварач који је осетљив на интензитет магнетског поља, региструје компоненте вектора магнетског поља које постоји на физичкој локацији на којој се сензор налази у одређеном тренутку. У општем случају, доминантно је магнетско поље Земље, тако да сензор има једну априори познату стабилну референцу и то по координатној оси која је ортогонална у односу на референцу гравитационог поља које региструје троосни акцелерометар. Проблем са магнетометром је у томе што геомагнетско поље није униформно у статичком домену а такође ни у динамичком домену. Динамички домен се односи на поремећаје које изазивају локално присутни магнетски извори (електромеханички уређаји, мотори, металне конструкције, ...).

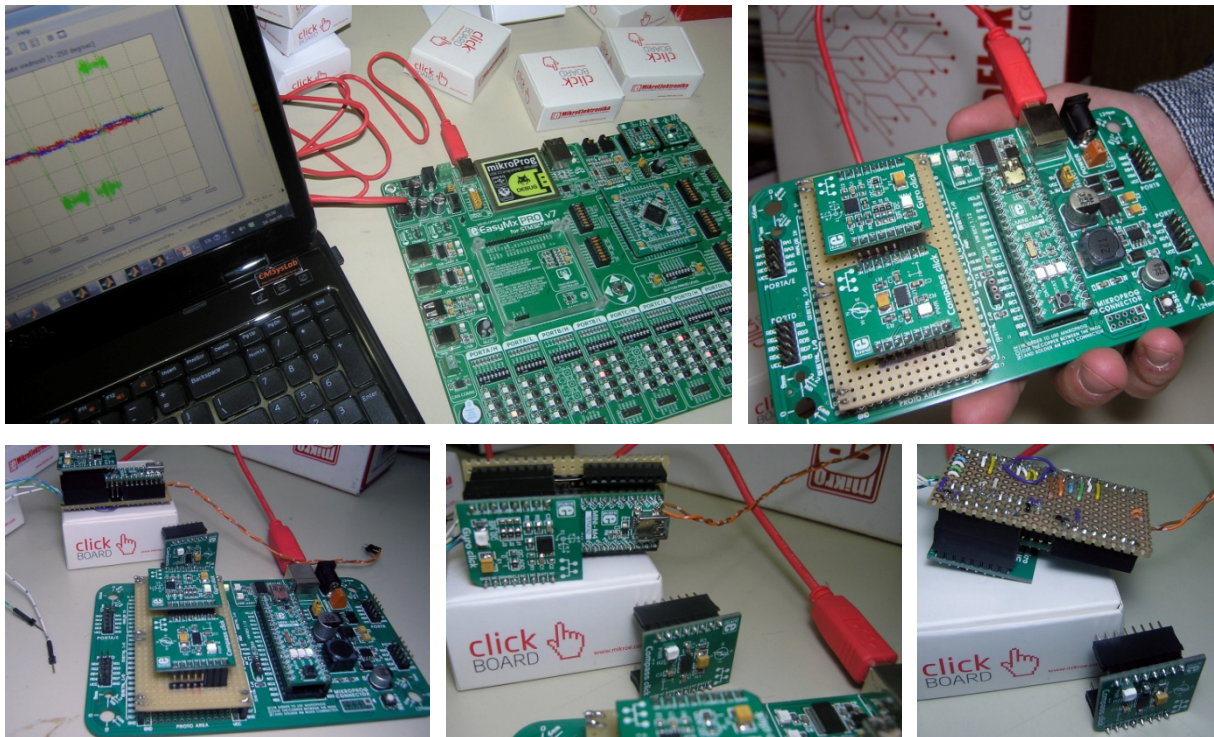
Суштина приступа који је примењен за изградњу троосног сензорског модула је у томе да се врши фузија сензорских сигнала жироскопа, акцелерометра и магнетометра. Фузија ових сензорских сигнала није тривијалан проблем, већ напротив, врло деликатан задатак који нема једнозначно решење. На слици 5 приказан је један од варијантних алгоритама за сензорску фузију ове врсте.

На слици 6 приказан је развојни систем који је коришћен у првој фази развоја сензорског модула на овом пројекту. Кључне компоненте су: 1) L3GD20 ST Microelectronics жироскоп са интегрисаним температурним сензором, смештен у минијатурно кућиште 4x4x1мм, са 16 контактних извода, температурним радним опсегом од -40 до +85°C, са три радна интервала осетљивости $±250 / ±500 / ±2000$ dps, аналогно-дигиталном конверзијом резолуције 16 bit и I2C/SPI серијским интерфејсом за комуникацију са надређеним дигиталним уређајем и 2) LSM303DLHC ST Microelectronics комбиновани склоп акцелерометра и магнетометра који је смештен у кућиште димензија 3x5x1мм, са 14 контактних извода, температурним радним опсегом од -40 до +85°C, радним опсегом магнетометра од $±1.3$ до $±8.1$ Gauss, радним опсегом акцелерометра у следећим интервалима $±2g / ±4g / ±8g / ±16g$, аналогно-

дигиталном конверзијом резолуције 16 bit и I2C серијским интерфејсом за комуникацију са надређеним дигиталним уређајем.

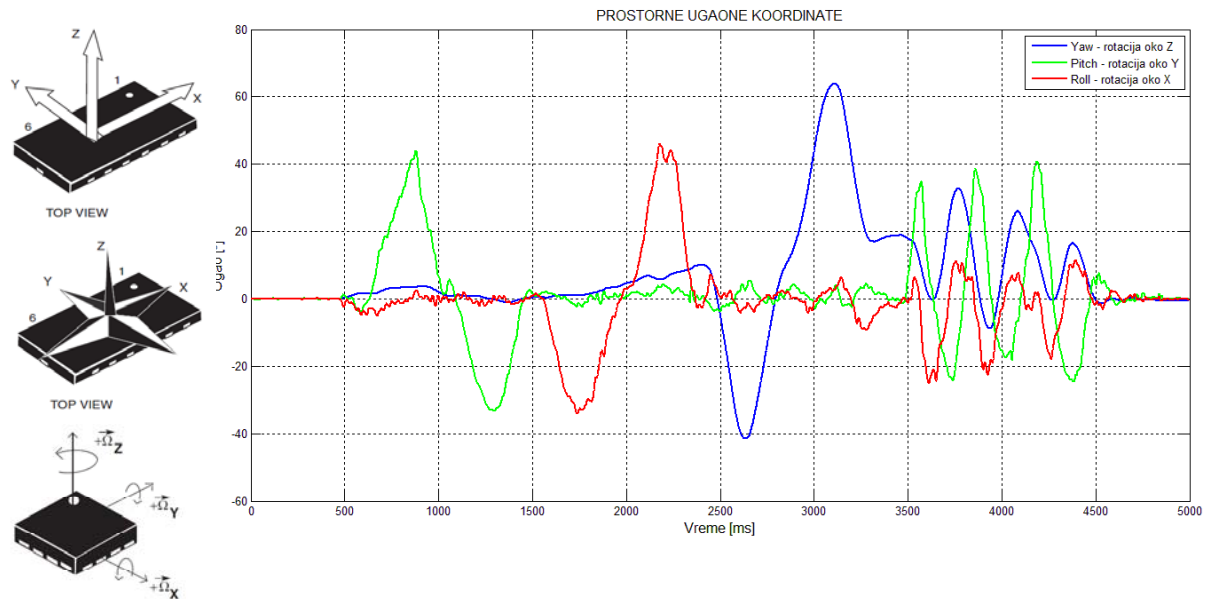


Слика 5: Један од варијантних алгорита развијених за фузију деветоканалног излаза редувантног претварачког блока који се састоји из троосног жiroskopa, троосног акцелерометра и троосног магнетометра, и генерисање излаза у облику триплета угаоних координата. Алгоритам садржи интензивна израчунавања у реалном времену и зато захтева моћни микропроцесорски ресурс за обраду сензорских сигнала у реалном времену.



Слика 6: Фотографије система који је коришћен за развој сензорског модула током прве фазе развојних активности.

На слици 7 су приказани резултати добијени у првој фази развоја, односно графици који илуструју перформансе примењеног компензационог алгорита за фузију 9 редувантних сензорских канала у триплет угаоних координата. Обрада сензорских сигнала остварена је на развојном систему Микроелектроника EasyMxPROv7 for STM32, 32-bitne архитектуре, са 160 MHz тактом процесора.



Слика 7: Пример записа генерисаних триплета угаоних координата за сензорски модул развијен у првој фази активности ове врсте (случајно изабрана трајекторија са повратком у исти иницијални положај – грешка интеграције практично није видљива).

На основу резултата добијених током прве развојне фазе, у сарадњи са компанијом Микроелектроника из Београда покренуте су даље развојне активности које имају за циљ изградњу једног интегрисаног 9dof сензорског модула са заокруженим сетом фирмверских рутина које ће омогућити једноставну изградњу најразличитијих апликација, укључујући уградњу овог модула у одело радника на некој производној линији или у тренерку спортиста (праћење кретања фудбалера током утакмице и објективна метрика његових перформанси, идентификација предности и слабости), праћење рехабилитације болесника и квантитативно снимање моторичких перформанси и слично.

в) Ускоспецијализована међународна сарадња: У циљу убрзања развојно-истраживачких активности у домену когнитивне интеракције човека и робота, остварене су конкретне активности на успостављању међународне сарадње са водећим лабораторијама и истраживачима за истраживања у домену когнитивне роботике. У том контексту, два истраживача који су на пројекту TP35007 ангажовани као млади докторанти учествовали су у раду летње школе посвећене низу високорелевантних тема за когнитивну роботiku. Ова летња школа организована је на Универзитету у Цириху, Лабораторија за вештачку интелигенцију (Artificial Intelligence Laboratory), а све у контексту FP7 европског пројекта: eSMCs: Extending Sensorimotor Contingencies to Cognition. Даље се наводе основне информације:

***eSMCs Robotics Summer School on Embodiment and Morphological Computation
22-28 sept. 2013, University of Zurich, Suisse.***

Content: The five-day school will be structured around the following themes:

1. *embodiment and morphology*
2. *active perception and sensorimotor contingencies*
3. *information theory*
4. *neuroscience of motor cognition*
5. *embodiment and awareness*

The school will comprise keynote lectures in the mornings and workshops in the afternoons, which serve for in-depth discussions of topics from the keynote lectures. The workshops will feature hands-on tutorials where students will have the opportunity to build their own robots using the robotic toolkit EmbedIT (embed-it.ch/) to study the impact of morphology on locomotion behavior.

Speakers:

1. *Auke Ijspeert, EPFL Lausanne, Switzerland.*
2. *Josh Bongard, University of Vermont, USA*
3. *Fumiya Ida, ETH Zurich, Switzerland*

4. *Marek McGann, Mary Immaculate College, Limerick, Ireland*
5. *Wolfgang Prinz, University of Münster, Germany*
6. *Daniel Polani, University of Hertfordshire, UK*
7. *Rajesh Rao, University of Washington, USA*
8. *Ricarda Schubotz, University of Münster, Germany*
9. *Angelo Maravita, University of Milano-Bicocca, Italy*
10. *Catherine Tallon-Baudry, École Normale Supérieure, Paris, France*
11. *Herbert Peremans, University of Antwerp, Belgium*
12. *Rolf Pfeifer, University of Zurich, Switzerland*
13. *Helmut Hauser, University of Zurich, Switzerland*

Корпус спроведених истраживачких активности у овом тематском оквиру је стављен у контекст израде докторских дисертација два млада истраживача, доктораната чије су докторске тезе усмерене у област интелигентних роботских система за флексибилну аутоматизацију процеса монтаже и заваривања у условима екстремно малих серија и велике варијантности производа.

Резултати:

Планирано:	M51 Број резултата: 1
Остварено:	M52 Број резултата: 1
	M33 Број резултата: 1
	M63 Број резултата: 1

Фаза реализације 3:	Виртуелни модел производног процеса и планирање технолошког задатка
Активност 2:	Доградња функције аквизиције геометријских информација из реалног окружења у изабрани комерцијално расположиви CAD пакет за просторно геометријско моделирање / део 2;
Временски оквир:	01/06/2013- 31/12/2013

Ова активност припада радном пакету TP35007-PP_3: Виртуелни модел производног процеса и планирање технолошког задатка.

Производна парадигма масовне кастомизације пред истраживачку заједницу наметнула је потребу израде нових производних технологија које ће омогућити одрживу употребљивост у условима екстремно малих производних серија и потребе екстремно брзе реакције на захтеве тржишта (*rapid-to-market*). Паралелно, намеће се и додатни захтев, који је подједнако деликатан, а односи се на применљивост нових производних технологија, укључујући и роботску, у производним окружењима малих и средњих предузећа.

Овакви захтеви имају значајне импликације на све базне перформансе производних технологија. На пример, програмирање робота мора да буде драстично поједностављено и убрзано, јер постојећи стереотипи развоја апликативних програма који се протежу месецима и у којем учествују на десетине специјализованих инжењера технолога су у новом контексту неодрживи. Полазећи од ове чињенице, кроз Шести оквирни програм (FP6) Европске уније реализован је пројекат *SMErobot - The European Robot Initiative for Strengthening the Competitiveness of SMEs in Manufacturing*, финансиран у периоду од 2005. до 2009. године, координатор Fraunhofer IPA, буџет пројекта 14.9 милиона ЕУР, са паневропским конзорцијумом од 22 институције од којих 14 индустријских компанија. Проблем приступа роботским технологијама означен је као технолошка замка (*'automation trap'*), јер због претходно наведених разлога мала и средња предузећа своју конкурентност могу развијати само ван оквира роботских и других високих технологија. За решење овог проблема пројекат *SMErobot* полази од става да се ограничење обима финансирања, ограничења у расположивим инжењерским ресурсима и инхерентна динамичност у производном процесу може превазићи уколико се развије нова генерација робота који ће омогућити ниске трошкове примене ове технологије, односно ниске трошкове иницијалне инвестиције, ниске трошкове њеног коришћења, ниске трошкове промена намене као последице промена у производном програму и ефикасан рад у условима ограничења у људском ресурсу. Решење се тражи кроз решавање три основна задатка:

- Изградња *SMErobot* технологије роботских система различитог степена аутоматизације по цени која није већа од 1/3 цене постојеће аутоматизације ове врсте;

- Нови poslovni modeli koji nude opcije za finansiranje i korišćenje robotskih sistema u uslovima nesigurnosti u obimu proizvodnje, tržišnog veća proizvoda i promenljive kvalifikacije radne snage;
- Jačanje lanca snabdevanja za robotske sistema kroz fokusiranje na potrebe i specifičnu kulturu industrijske proizvodnje u malim i srednjim preduzećima, u odnosu na planiranje, primenu i održavanje.

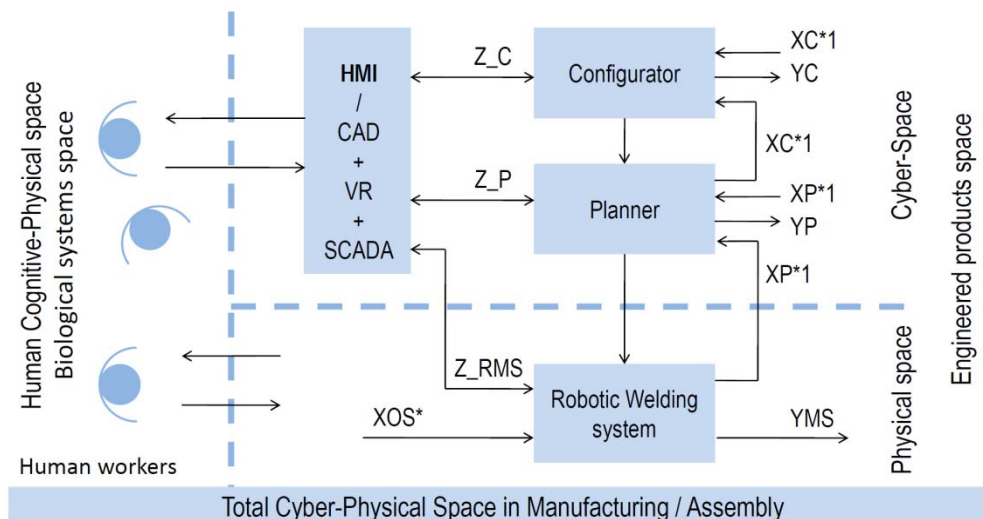
koji su bazirani na tri osnovna inovativna sadržaja:

- Robot sposoban da **razume instrukcije u formi koju koristi čovek u međusobnoj komunikaciji** (govor, gestikulacija i grafika);
- **Bezbedan i produktivan robot svestan čovekovog prisustva u zajedničkom radnom prostoru** (kooperativan, bez ograda);
- **Instalisanje i konfigurisanje robotskog sistema u roku od tri dana** (modularan sa *plug-and-produce* komponentama).

Polazeći od ovog okvira, ulažu se napori da se kroz projekat TP35007 razvije odgovarajuća platforma koja će omogućiti da se okviri definisani projektom *SMErobot* približe malim i srednjim preduzećima u domaćoj industriji. Ova istraživanja smestena su u jedan širi istraživački kontekst: kibernetско-физички системи за домен производних технологија. Значајан импулс за ове развојне активности пружила је капитална опрема која је испоручена током 2013. године (робот најновије генерације, специјализован за задатке електролучног заваривања YASKAWA MA1400).

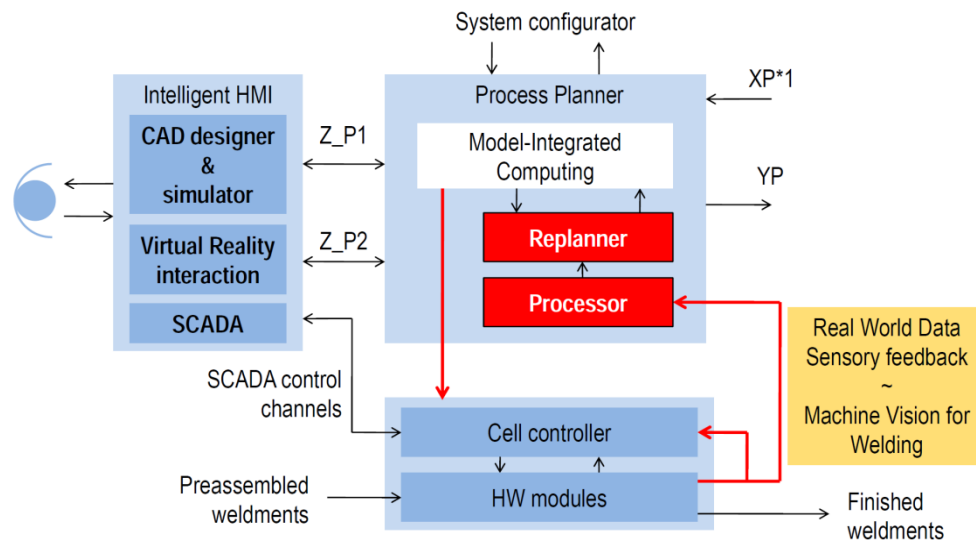
На слици 8 приказана је основна архитектура платформе која се развија у оквиру пројекта TP35007 под називом CyberFABRICATOR. Током 2013. године CyberFABRICATOR платформа је једним делом практично имплементирана у лабораторијским условима и тиме су прикупљена рана искуства о практичној изводљивости и потенцијалу усвојеног приступа у целини. Овај систем се састоји из три основне целине: 1) физички систем robotske радне станице, 2) kibernetски (апстрактни) систем са интелигентним интерфејсом, и 3) биолошки систем у коме се налазе радници, оператори који управљају и надзиру рад производног система у целини. Kибernetски систем је кључна компонента, од виталног значаја за одговор на нове захтеве које намеће производна парадигма масовне кастомизације.

Kибernetски систем се састоји из три компоненте: 1) конфигуратор физичког система, 2) планер радних активности физичког система, и 3) интелигентни интерфејс који остварује спрегу између kibernetског и биолошког простора.



Слика 8: Основна архитектура kibernetско-физичке платформе за парадигму масовне кастомизације фокусирана на домен малих и средњих производних предузећа - CyberFABRICATOR Platform.

Детаљна структура планера и HMI интерфејса приказана је на слици 9. Истраживачко развојне активности током 2013. године биле су усмерене управо на ова два подсистема, са основним циљем да се потврди практична изводљивост и практична употребљивост у смислу остваривања претходно наведених циљаних перформанси.



Слика 9: Архитектура подсистема планера и HMI CyberFABRICATOR платформе.

Модул планера полази од номиналног задатка, изведеног из неког CAD моделера или кроз интерактивно дефинисање задатка обучавањем. У оквиру пројекта TP35007 за ове намене је коришћен комерцијално расположив CAD пакет SolidWorks, мада у 2013. години није разматран проблем генерисања номиналног задатка (у овој фази се полази од претпоставке да номинални задатак постоји). У оквиру роботске ћелије за заваривање (заваривање је један од производних процеса који у Србији има врло велику технолошку актуелност и суочава се са хроничним проблемом недостатка квалификоване мануелне радне снаге за његово извођење), номинални задатак, односно номинални план заваривања, има малу практичну вредност, јер је стање склопа који се заварује увек битно другачије од номиналног. Решавање овог проблема, односно унапређење квалитета припремка (саставних делова и предмонтираног склопа) није прихватљив приступ, јер он непотребно подиже цену коштања завареног склопа. Зато су истраживачки напори фокусирани на домен адаптивног понашања, односно на разраду модула репланера. Репланер на основу сензорских информација модификује номинални план заваривања на параметарском и у одређеним случајевима структурном нивоу. Основни истраживачки циљ је конструкција репланера који поседује способност аутономног рада. Овако дефинисан циљ је превише амбициозан и зато је он релаксиран на конструисање репланера који је способан да своју функцију остварује на делимично аутономан начин (максимално могуће) и који поседује интелигентан интерфејс за спрегу са човеком, који ће омогућити једноставну и временски ефикасну комуникацију са репланером и пуну интерактивност човека и кибернетске основе репланера. У том смислу, остварена су два значајна резултата: 1)изградња базних plug-in модула у оквиру SolidWorks 3D CAD моделера и 2)изградња изабраних функционалних модула репланера.

Изградња базних plug-in модула у оквиру SolidWorks 3D CAD моделера остварена је применом SolidWorksdll библиотеке, која дозвољава пуну кастомизацију овог пакета и његову специјализацију за функције које оригинално не постоје. Конкретно, израђени су модули који омогућавају: 1)конфигурацију физичког система (кинематску и параметарску), 2)интерактивност физичког система (робота) и просторног модела склопа који се заварује, 3)аквизицију сензорских сигнала ласерског триангулационог сензора којим робот скенира склоп који се заварује и тако генерише примарну информацију о стварном стању физичког система, 4)визуелизацију сензорских информација и приказ одступања реалног стања физичког система у односу на његов номинални модел и 5)визуелизацију репланираног задатка у односу на стварно стање физичког система. Висок степен интерактивности и аутоматизација рутинских процеса, чини да се овакав интерфејс може назвати интелигентним. Својства интелигенције обезбеђују лакоћу у коришћењу, робусност у коришћењу и драстично убрзање свих активности на синтези коригованог плана заваривања.

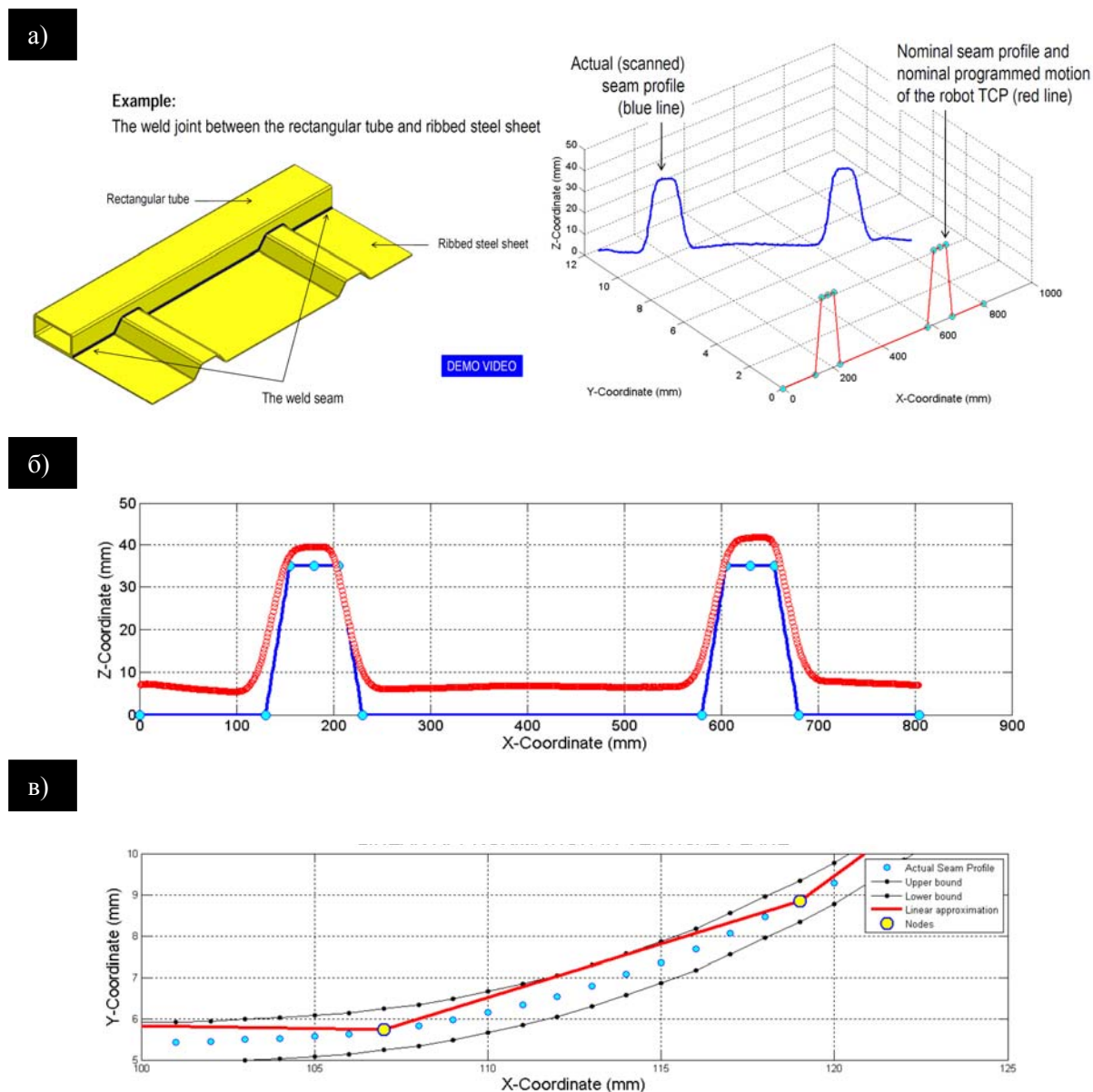
На слици 10 приказан је изглед мултифункционалног графичког интерфејса оствареног кастомизацијом SolidWorks 3D CAD моделера. Овај интерфејс омогућава оператору да активира шест функционалних модула:

1. Модул конфигурациона роботске технолошке ћелије – омогућава оператору да изврши избор робота, избор периферне опреме (стандардне или специјалне), избор алата (стандардног или специјалног) и да у геометријском и кинематском смислу конфигурише структуру роботског система и дефинише скуп припадајућих параметара;
2. Модул за скенирање геометрије склопа који се заварује – омогућава оператору да у складу са просторним моделом дефинише задатак скенирања геометрије (трајекторију кретања робота и локацију дискретне или континуалне аквизиције података са ласерског триангулационог сензора), подешавање мода рада ласерског триангулационог сензора, аквизирање секвенце скенирања и преузимања података, обрада података, преглед и визуелизација сензорских података у радном простору SolidWorks 3D моделера, ...
3. Модул геометрије и технологије – у себи садржи низ функционалних рутина које омогућавају оператору да оствари једноставну интеракцију са роботом у смислу лоцирања врха робота унутар радног простора, извршавања низа кинематских примитива, дефинисање параметара процеса заваривања, рад са дигиталним улазно/излазним каналима управљачке јединице робота (користи се посебан микропроцесорски интерфејс који је развијен у оквиру пројекта TP35007), ...
4. Модул документовања – остварује функцију архивирања и прегледа свих активности које оператор спроводи у интеракцији са роботским (физичким) системом;
5. Модул прорачуна – остварује функцију синтезе извршног кода за кретање робота на основу сензорских података и захтева које императивно намеће оператор роботске ћелије (човек), генерисани код је компатибилан са YASKAWA MA1400 роботом и памти се као txt фајл са екстензијом JBI (трансфер у управљачку јединицу се остварује преко Ethernet интерфејса);
6. Модул симулације – омогућава оператору да провери синтетисане задатке у физичком или виртуелном простору SolidWorks 3D моделера.

Наведени модули припадају основном нивоу функција развијеног прототипског интерфејса. Сваки од модула има ниже нивое преко којих се позивају претходно наведене функције овог комплексног интерфејса. Суштина овог интерфејса је у томе да он остварује спрегу између кибернетског простора који као свој основни садржај има 3D моделе роботске ћелије за заваривање и склопа који се заварује, и физичког простора у којем се налазе роботска ћелија и склоп који се заварује, при чему склоп који се заварује није савршен и значајно одступа од њему еквивалентног 3D модела који је постоји као референца у кибернетском простору овог комплексног роботског система хибридног типа. Поред тога, суштина овог интерфејса је у томе да се све рутинске, али рачунски интензивне активности везане за аквизицију стварне геометрије склопа који се заварује, обраде сензорских информација и комплетан скуп активности које обухвата репланер који генерише извршни код који одговара стварном, а не номиналном стању склопа који се заварује у потпуности аутоматизоване. Улога човека је сведена само на управљачке активности највишег нивоа, избор жељених опција и надзор, односно проверу свих резултата које генерише интерфејс својим аутономним функцијама. Чак је и тривијална, али у ручном моду комплексна функција преноса извршног кода у управљачку јединицу робота у потпуности аутоматизована (teach pendant, односно ручна јединица за програмирање је непотребна). На крају, трећа, али подједнако значајна суштинска вредност, јесте брзина, једноставност и интуитивност у коришћењу овог интерфејса, тако да његова практична примена не захтева посебно обучене, нити висококвалификоване оператере, а то је један од кључних захтева за ширу примену роботских технологија у домену малих и средњих предузећа.

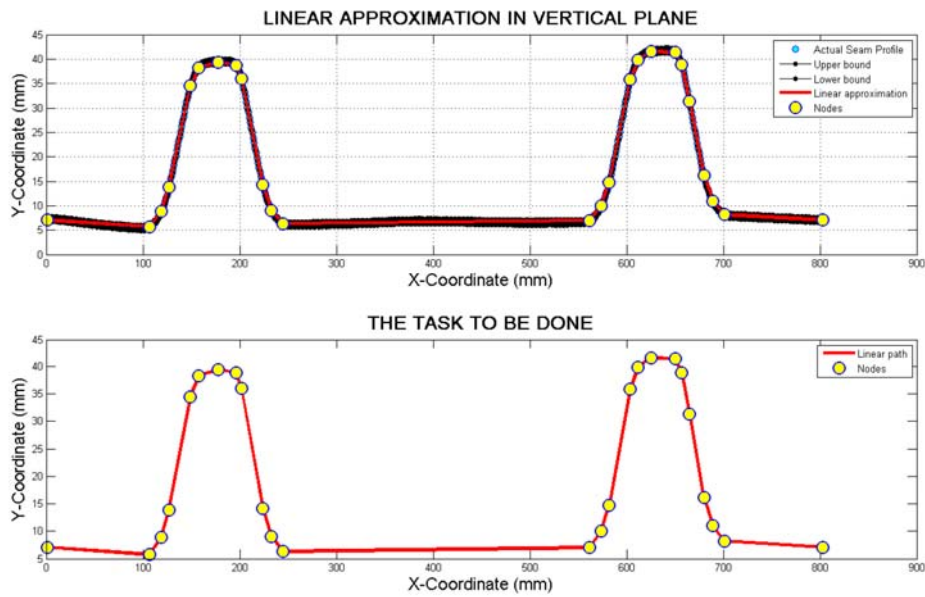
Интерфејс који је развијен током 2013. године представља прототип чији је основни циљ био провера практичне изводљивости и практичне вредности концепта у целини. У наредној, 2014. години планира се интензивирање активности у овом домену са циљем изградње друге генерације овог интерфејса у којој ће бити отклоњени уочени недостаци концептуалне и партикуларне природе и примењен низ позитивних искустава која су стечена током развоја прототипа. Такође, овај интерфејс ће бити имплементиран на новој хардверској платформи, која поседује техничке перформансе које ће омогућити несметано остваривање и неких нових функционалности, пре свега у делу унапређења функције физичке комуникације човека и интерфејса, применом техника виртуелне и аугментираних реалности, као и могућност интеграције нових, мултифункционалних сензорских модула за интензивнију интеракцију са физичким системом (поред тачкастог ласерског триангулационог сензора, биће примењен линијски триангулациони сензор и сензор вештачког гледања који омогућава оператору детаљан увид у стање

Изградња изабраних функционалних модула репланера је током 2013. године била фокусирана на четири активности: 1)модул за постпроцесирање 3D модела склопа који се заварује генерисаног триангулацијом структуриране светлости, 2)модул за постпроцесирање сензорских података скенираног склопа оствареног применом тачкасте ласерске триангулације, 3)модул за синтезу линијске апроксимације идентификоване стварне геометрије шава који се заварује, и 4)модул за аутоматско генерисање и пренос извршног кода у управљачку јединицу робота YASKAWA MA1400. На сликама 11 и 12 приказана је функционалност развијених модула на примеру споја бочне стране металног контејнера из производног програма компаније WERNER & WEBER који се мануелном технологијом производи у компанији ВЕЛПАН из Кикинде (целокупна производња се пласира у извоз!).

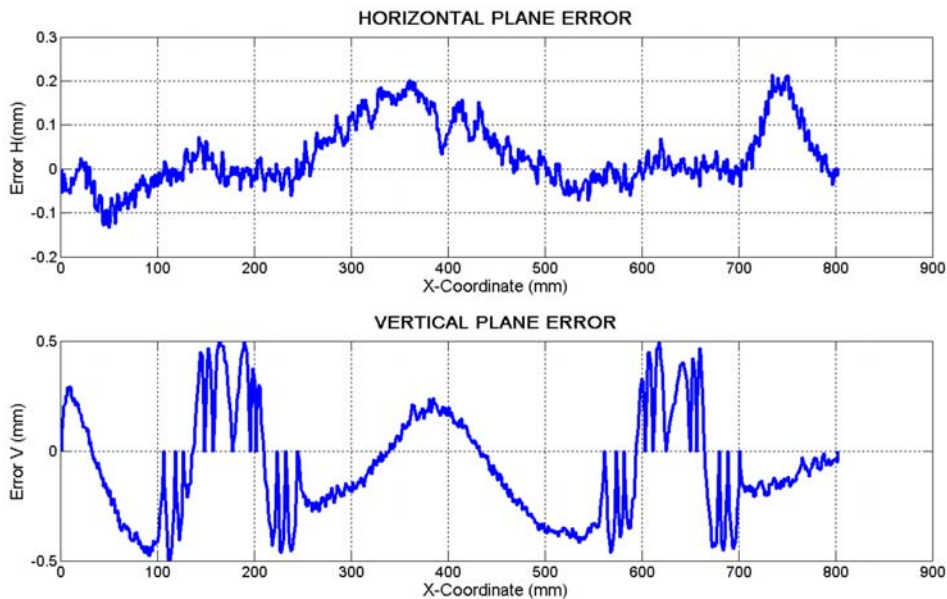


Слика 11: Пример који илуструје функције развијених рутина репланера током 2013. године: а)Детаљ склопа оребрене бочне стране металног контејнера и просторни приказ номиналне и скениране геометрије шава – шав је дислоциран и измењене геометрије, б)Геометрија шава, интервал $x(0,804.1\text{ mm})$, номинална геометрија (плава), мерена геометрија редукована на униформну резолуцију од 1 mm (оригинални сензорски запис је садржао 74592 тачке), и в)принцип рада алгоритма линеарне сегментације ресемплованог сензорског записа наведеног под б) за услов ширине толеранцијског поља $+0.5 / -0.5\text{ mm}$ – полазна серија тачака се овим своди на мали скуп тачака које дефинишу линијске сегменте / дужи од којих се свака императивно налази унутар толеранцијског поља задате ширине.

a)



B)



Слика 12: Наставак примера са слике 11: а) Резултат линеарне апроксимације добијен развијеним алгоритмом за брзу неитеративну линеарну сегментацију просторне серије; оригинални скуп од 74592 мерене тачке сведен је на 25 чворне тачке које су међусобно повезане са 24 линијска сегмента који категорички задовољавају задату ширину толеранцијског поља локације TCP робота од $+0.5 / -0.5$ mm. б) Приказ грешке између линеарно сегментиране апроксимативне трајекторије TCP и мереног профила шава помоћу ласерског триангулационог сензора; Овакав резултат је у потпуности прихватљив за технологију електролучног роботског заваривања и омогућава аутоматско генерисање извршног кода за конкретан роботски манипулатор.

Паралелно, развијени су и неопходни хардверски модули за директну комуникацију развијеног интерфејса и репланера са сензорским системом за роботско скенирање геометрије и управљачким системом робота.

Резултати:

Планирано:	M51 Број резултата: 1
Остварено:	M24 Број резултата: 1
	M33 Број резултата: 2

Фаза реализације 4:	Експериментална верификација/демонстрација у лабораторијским условима
Активност 3:	Модуларни CNC систем за плазма резање са уграђеном функцијом адаптивног управљања режимом резања – Демонстрациона инсталација у индустријској средини;
Временски оквир:	01/01/2013- 30/06/2013

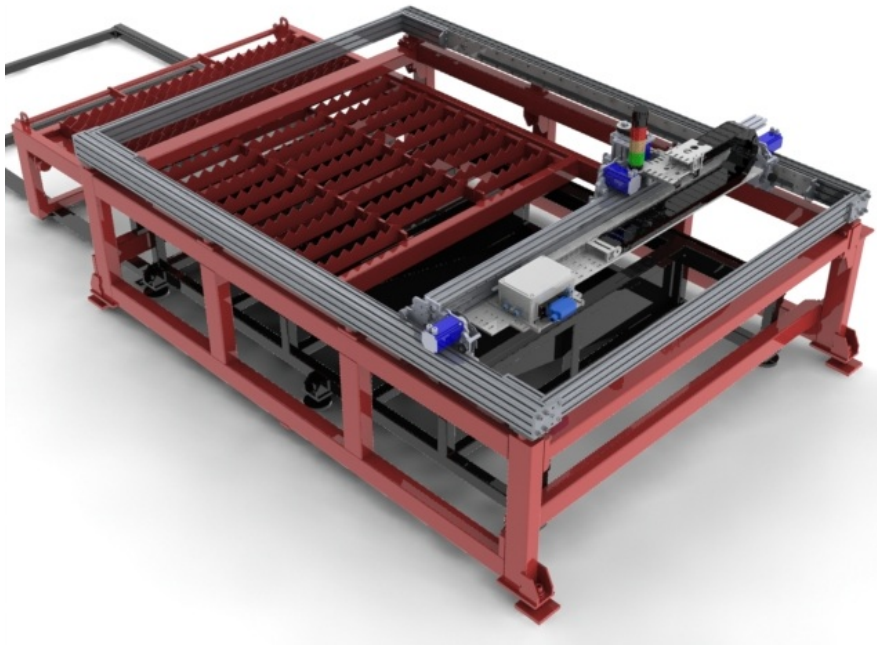
Ова активност припада радном пакету TP35007-РП_4: Практична верификација и изградња демонстрационих инсталација.

Машински факултет је у току 2012. године реализовао комплетне пројектне активности модуларног CNC система за плазма резање, на основу чега је даље покренут процес физичке реализације.

Икарбус је за набавку компонената у 2012. години уложио 658.500,00 динара, што износи 30% процењене вредности свих компонената и саставних делова обрадног система.

Због екстремно лошег финансијског стања Икарбуса које је настало губитком посла од 200 аутобуса за београдски ГСП, активности физичке реализације демонстрационе инсталације CNC система за плазма резање су померене на 2014. годину.

У међувремену Машински факултет је примењујући принцип модуларне градње и параметризације просторног дигиталног модела механичке структуре који омогућавају савремени 3D CAD пакет, израдио виртуелни конструкциони модел механике комплетног обрадног система. Овим је постигнуто да се за било које промене радног простора машине може генерисати комплетна документација за пар минута. Детаљ приказан на слици 13.



Слика 13: Приказ виртуелног параметризованог модела CNC обрадног система за плазма резање – аутоматизација процеса пројектовања са практично тренутним одзивом на захтеве корисника. Пројектовање нове машине траје неколико минута после дефинисања захтева корисника. Поред уштеде у времену, појава грешке је практично немогућа. Уз радионичку документацију формира се и спецификација стандардних саставних делова.

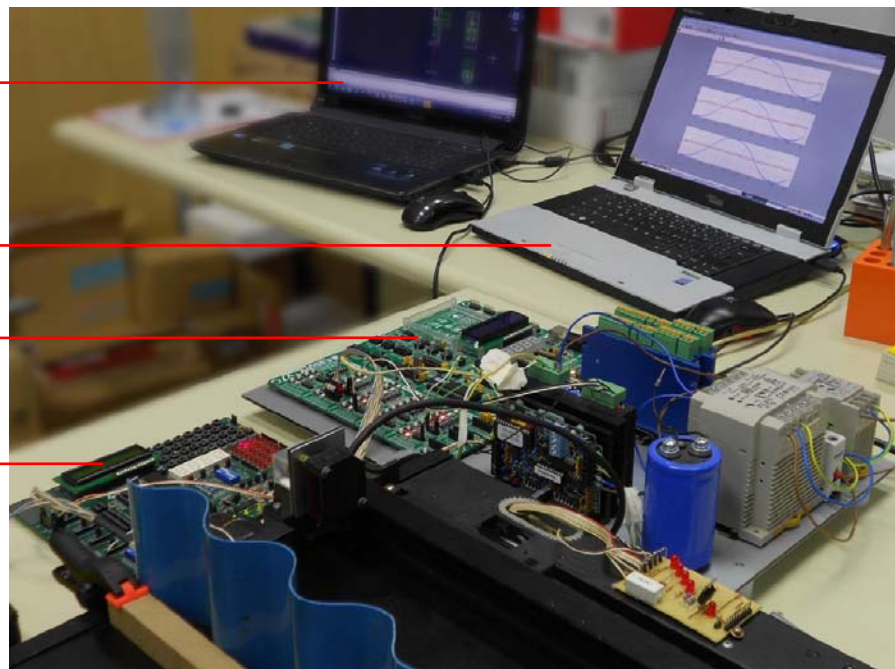
Током 2013. године спроведена су интензивне развојне активности са циљем постизања квалитетне функције адаптивног понашања z-осе којим се остварује прецизно одржавање задате дистанце између млазнице и плазма горионика и површине објекта који се реже. У том смислу развијен је један тест сто са отвореним управљачким системом базираним на коришћењу високорезолутног триангулационог сензора који генерише информацију о дистанци у реалном времену и тако представља еквивалент реалном систему за плазма резање који такође, из напона волтиног лука генерише посредно информацију о дистанци између електроде смештене у млазници горионика (негативна електрода) и површине објекта који се реже (позитивно поларисана електрода). На овај начин је омогућено несметано експериментисање са свим техничким аспектима система адаптивног управљања али без непожељних садржаја које природно прате процес плазма резања (зрачење, емисија гасовитих продуката и контаминаната, укључујући и потрошњу материјала и потрошних делова горионика). На слици 14 дате су фотографије које приказују изглед и структуру комплетног експерименталног система и један од тест објеката који су коришћени за проверу ефикасности алгоритма за одржавање задате дистанце.

Рачунар са развојним окружењем за програмирање микроконтролера

Рачунар за аквизицију сензорских података

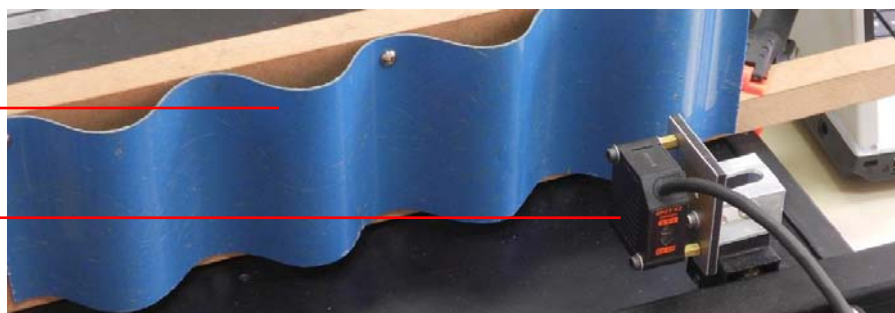
Микроконтролер за управљање адаптивним кретањем

Микроконтролер за управљање помоћним кретањем

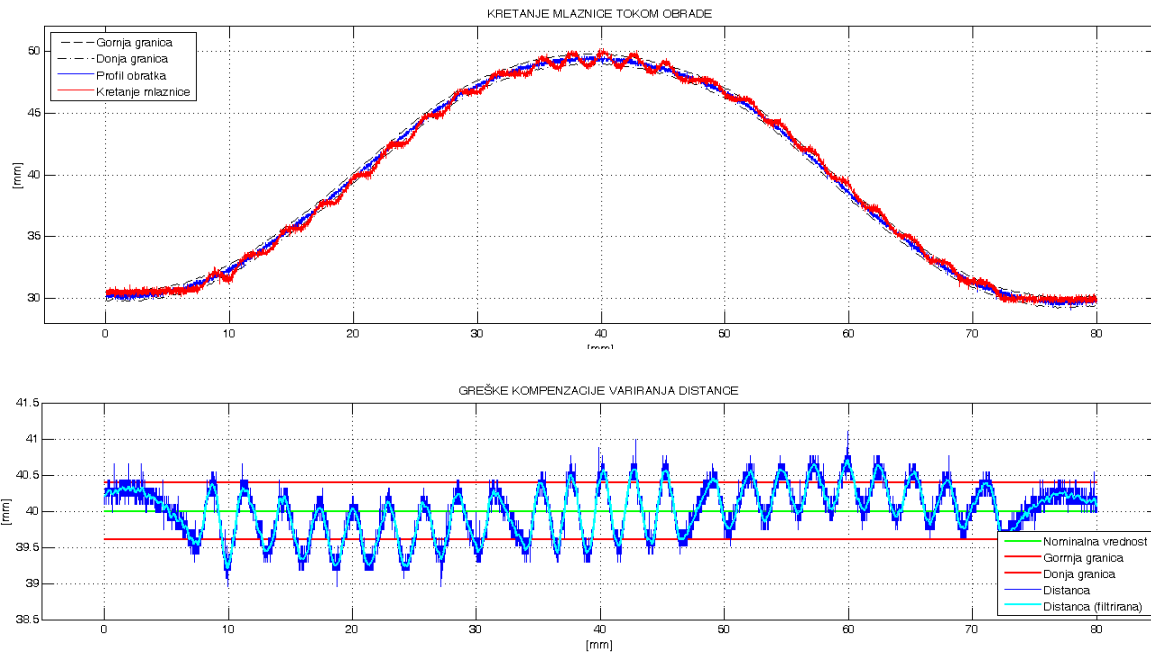


Тест објекат

Ласерски триангулациони сензор који емулира плазма млазницу



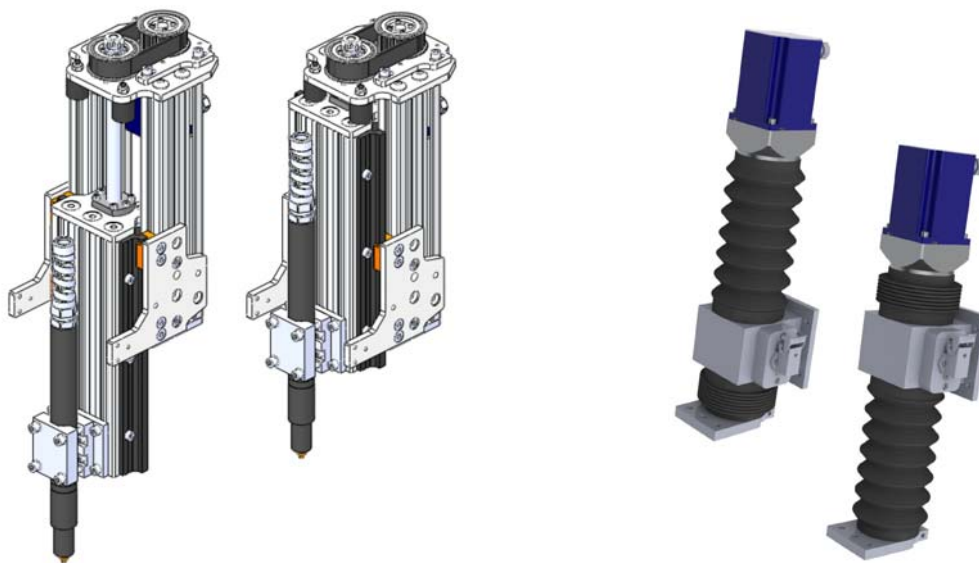
Слика 14: Експериментална инсталација за развој адаптивног алгоритма за управљање дистанцом између млазнице горионика и површине објекта који се реже. Слика доле приказује детаљ једног од коришћених тест објеката и ласерски триангулациони сензор који у реалном времену генерише аналогни сигнал пропорционалан варијацији дистанце објекта од номиналне дистанце која у овом случају износи 40mm.



Слика 15: Квантификација остварених перформанси адаптивног система за одржавање задате дистанце на систему којим се емулира (имитира) процес плазма резања: а) Приказ профила скенираног објекта (линија плаве боје, одговара тест објекту приказаном на слици 14), граничне линије толеранцијског поља $+0.5 / -0.5$ mm и стварно кретање 'врха млазнице' (линија црвене боје); б) График који приказује варијацију дистанце врха млазнице од референтне површине.

Ипак, дистанца изведена из напона Волтиног лука је, мада доминантан, само један од параметара који су релевантни за адаптивно управљање процесом плазма резања. Шири контекст укључује: струју Волтиног лука, напон Волтиног лука, притисак и проток плазма и заштитног гаса. Између ових физичких величина постоји сложена физичка зависност која се у потпуности може идентификовати само екстензивним експериментисањем над реалним процесом плазма резања. У том смислу, у наредној години истраживачке активности биће пренете са експерименталне инсталације за емулацију на реалан систем за плазма резање.

Паралелно са развојем система адаптивног управљања, извршен је и развој комплетног модула z-осе. На слици 16 приказана су два варијантна решења.



Слика 16: Варијантна конструктивна решења модула z-осе система за плазма резање.

Резултати:

Планирано: М82 Број резултата: 1
Остварено: М85 Број резултата: 1

Фаза реализације 4: Експериментална верификација/демонстрација у лабораторијским условима
Активност 4: Инсталација 1: Монтажа заварених склопова / роботско заваривање, дигитализација геометрије завареног склопа и димензиона метрологија ласерском триангулацијом триангулацијом структуриране светлости – Трансфер на роботску платформу МА1400;
Временски оквир: 01/03/2013- 31/12/2013

Ова активност припада радном пакету ТР35007-РП_4: Практична верификација и изградња демонстрационих инсталација.

Робот YASKAWA MA 1400 је део контингента капиталне опреме на пројекту ТР35007 који је испоручен у првом кварталу 2013. године. То је стратешка опрема за планиране истраживачко-развојне активности и по својим техничким карактеристикама представља јединствену експерименталну платформу у истраживачком простору Србије за домен технологије роботског електролучног заваривања. Даље се наводе основни технички подаци овог робота.

Shielded arc welding with the MA-series

The 6-axis MOTOMAN-MA1400 has been developed in order to achieve optimal results in extremely difficult conditions and especially for the high demands of arc welding applications. With its superior wire feed system, the maximum working range of 1,434 mm and integrated media hose package, the 6-axis robot MA1400 significantly improve welding quality. This enables the simple machining of bulky and hard-to-access workpieces. The fast motion sequences reduce welding cycle times. The torch cables are integrated in the robot arm in order to avoid collisions with the workpiece or other robots. This not only ensures greater accessibility to the devices; the reduced torsional and flexural loads on the torch dress package also result in less wear. Additionally, the possible number of robots in the production cells can be increased considerably. Further new features are the integration of the power cable as well as the gas and air connections in the base and an enlarged turning range of more than 360°.

**NEW GENERATION!
DX100**

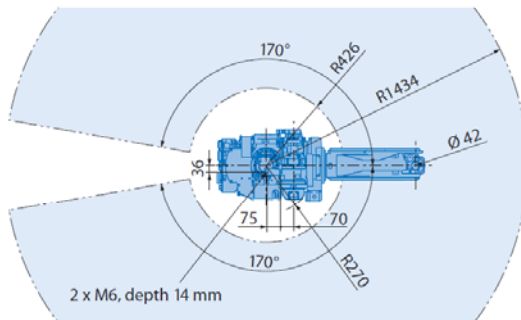
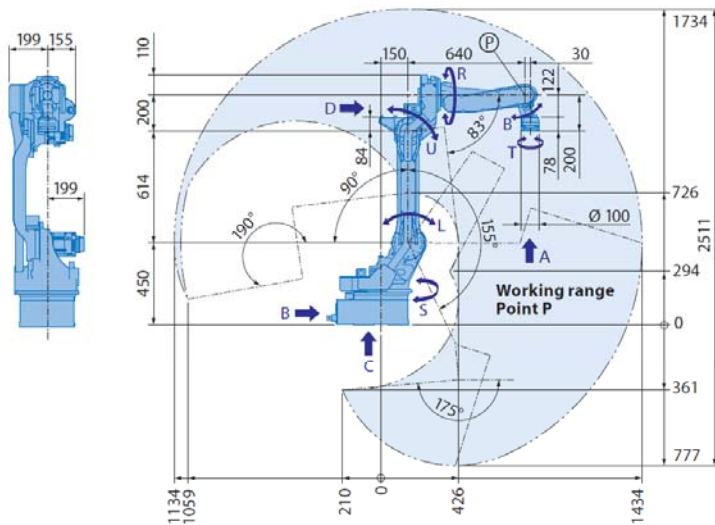
Key benefits

- Enlarged welding reach with maximum working range

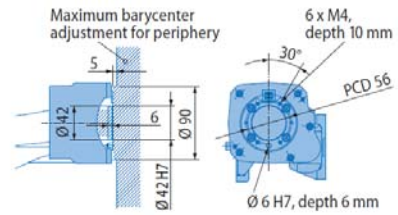
MOTOMAN-MA1400
Shielded arc welding



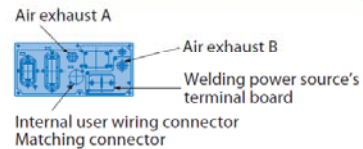
MOTOMAN-MA1400 Technical Data



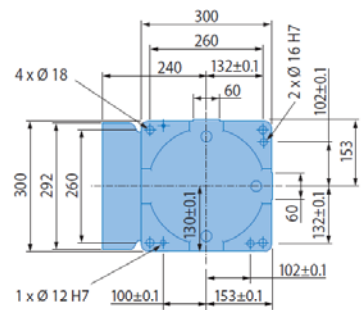
View A



View B

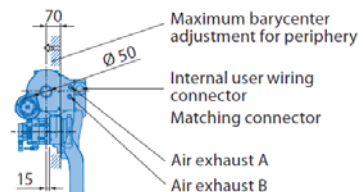


View C



Mounting options: Floor, ceiling, wall

View D



All dimensions in mm | Technical data may be subject to change without previous notice | Please request detailed drawings at info@motoman.de - MA1400, A-01-2010



Specifications MA1400

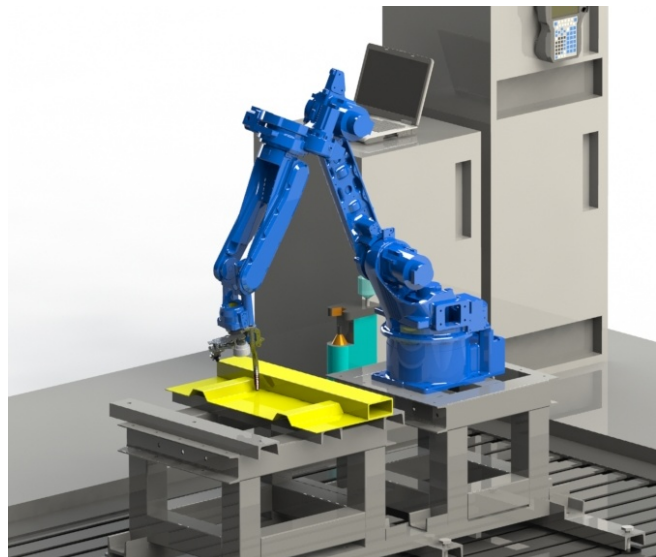
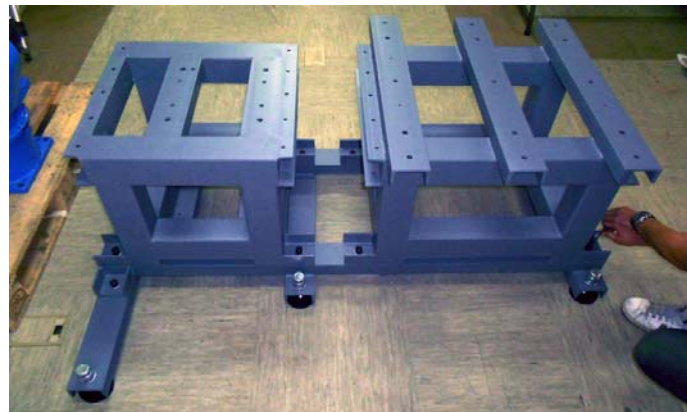
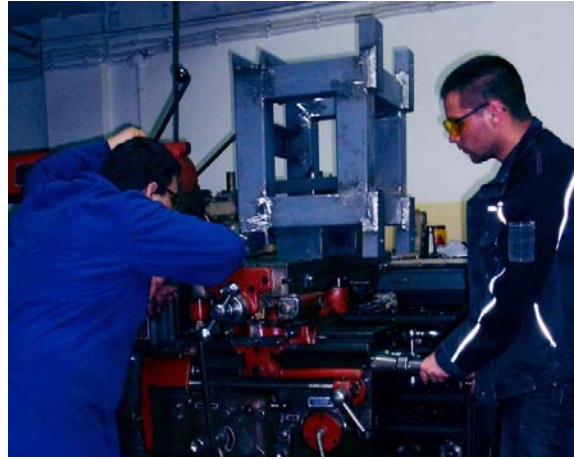
Axes	Maximum motion range [°]	Maximum speed [°/sec.]	Allowable moment [Nm]	Allowable moment of inertia [kg x m ²]	Controlled axes	6
S	± 170	220	-	-	Max. payload [kg]	3
L	+ 155/- 90	200	-	-	Repet. pos. accuracy [mm]	± 0.08
U	+ 190/- 175	220	-	-	Max. working range [mm]	R = 1434
R	± 150	410	8.8	0.27	Temperature [°C]	0 to +45
B	+ 180/- 45	410	8.8	0.27	Humidity [%]	20 - 80
T	± 200	610	2.9	0.03	Weight [kg]	130
					Power supply, average [KVA]	1.5



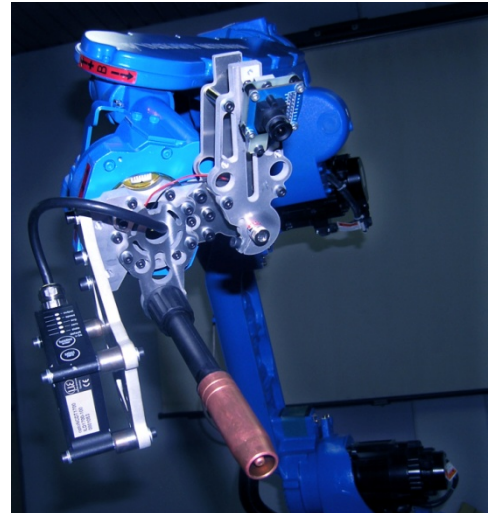
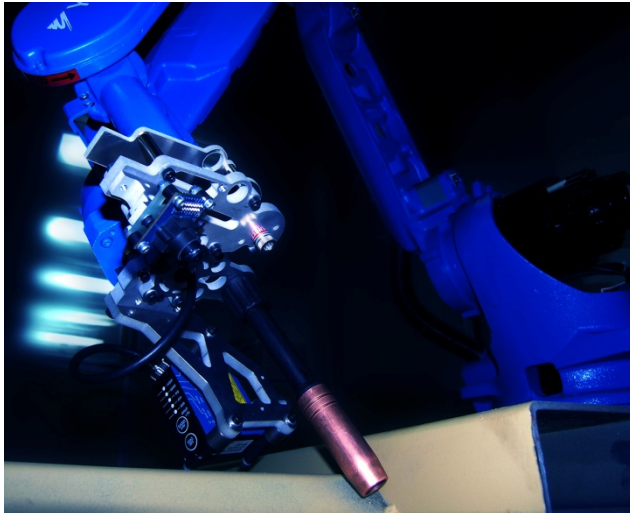
Headquarters
 Kammerfeldstraße 1
 D-85391 Allershausen
 Fon 0049-81 66-90-0
 Fax 0049-81 66-90-103
 info@motoman.de
 www.motoman.eu

Training centre and sales office Frankfurt
 Hauptstraße 185
 D-65760 Eschborn
 Fon 0049-61 96-777 25-0
 Fax 0049-61 96-777 25-39
 info@motoman.de
 www.motoman.eu

На бази овог робота, примењујући приступ самоградње и комбиновања постојеће и нове опреме, током 2013. године пројектована је и физички релизована експериментална инсталација универзалне употребљивости за домен монтажезаварених склопова и задатке димензионе метрологије. Ова инсталација је коришћена за прелиминарну практичну верификацију концепта CyberFABRICATOR платформе. Изглед ове експерименталне инсталације приказан је на слици 17.



Слика 17: Експериментална инсталација #1: Базирана на роботу YASKAWA MA1400 и специјализована за монтажу заварених склопова / роботско заваривање, дигитализацију геометрије завареног склопа и димензиону метрологију ласерском триангулацијом и триангулацијом структуриране светлости. Детаљи из фазе израде носеће структуре и финални изглед система са којим су спроведене експерименталне пробе у оквиру CyberFABRICATOR платформе (слика 10).



Слика 18: Детаљ мултифункционалног модуларног система за веитачко гледање и ласерску триангулацију (тачкасту и линијску) као сензорска надоградња робота YASKAWA MA1400. Сензорски систем је резултат самоградње на пројекту TP35007 (иницијална фаза).

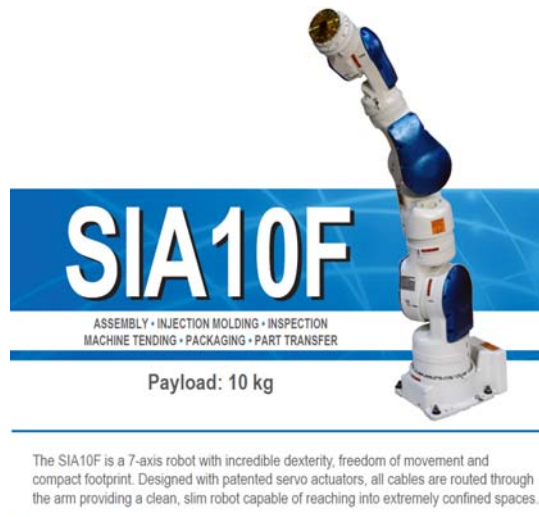
Резултати:

Планирано: M85 Број резултата: 1
 Остварено: M85 Број резултата: 1
 M33 Број резултата: 1
 M63 Број резултата: 1

Фаза реализације 4: Експериментална верификација/демонстрација у лабораторијским условима
 Активност 5: Инсталација 2: Монтажа малих механичких склопова, операције роботизованог спајања делова са укљученом функцијом адаптивног понашања аквизицијом генерализованог вектора силе спајања – Трансфер на роботску платформу SIA10F;
 Временски оквир: 01/06/2013- 31/12/2013

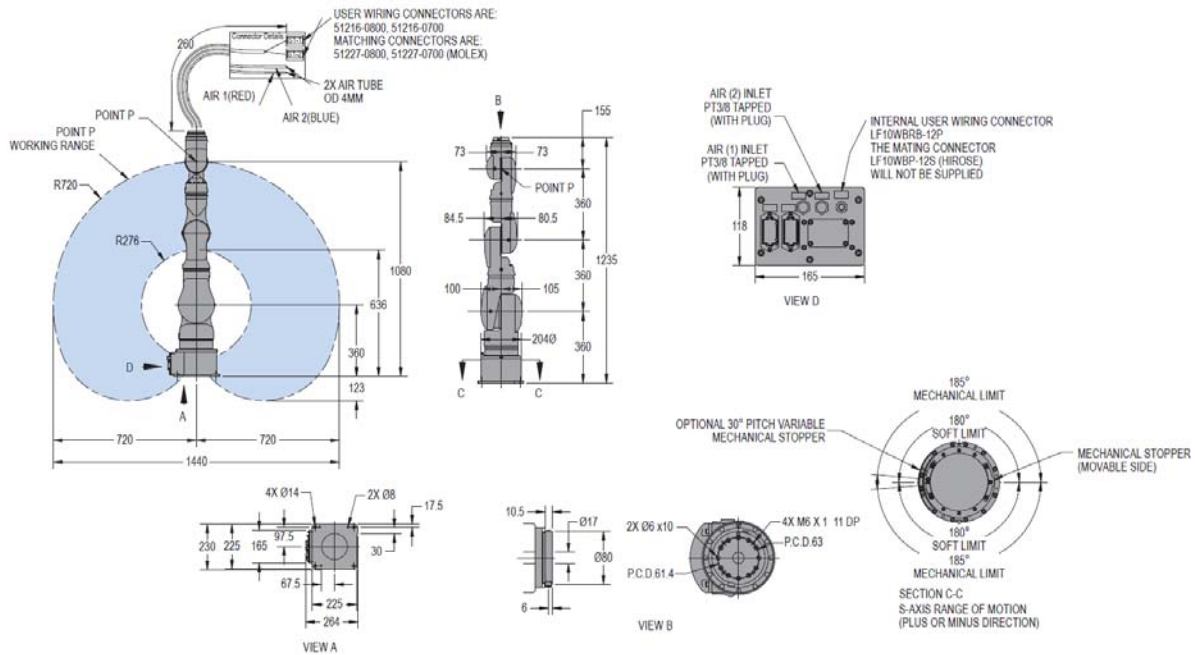
Ова активност припада радном пакету TP35007-PP_4: Практична верификација и изградња демонстрационих инсталација.

Робот YASKAWA SIA 10F је део континента капиталне опреме на пројекту TP35007 који је испоручен средином 2013. године. То је стратешка опрема за планиране истраживачко-развојне активности и по својим техничким карактеристикама представља јединствену експерименталну платформу у истраживачком простору Србије. Даље се наводе основни технички подаци овог робота.



SIA10F ROBOT

All dimensions are metric (mm) and for reference only. Please request detail drawings for all design/engineering requirements.



SIA10F SPECIFICATIONS		
Structure	Articulated	
Mounting	Floor, Wall or Ceiling	
Controlled Axes	7	
Payload	10 kg (22.1 lbs)	
Vertical Reach	1,203 mm (47.4")	
Horizontal Reach	720 mm (28.3")	
Repeatability	±0.1 mm (±0.004")	
Maximum Motion Range	S-Axis (Turning/Sweep)	±180°
	L-Axis (Lower Arm)	±110°
	E-Axis (Elbow)	±170°
	U-Axis (Upper Arm)	±135°
	R-Axis	±180°
	B-Axis (Bend/Pitch/Yaw)	±110°
Maximum Speed	T-Axis (Wrist Twist)	±180°
	S-Axis	170°/s
	L-Axis	170°/s
	E-Axis	170°/s
	U-Axis	170°/s
	R-Axis	200°/s
Approximate Mass	B-Axis	200°/s
	T-Axis	400°/s
Brakes	All axes	
Power Consumption	1.5 kVA	
Allowable Moment	R-Axis	31.4 N·m
	B-Axis	31.4 N·m
	T-Axis	19.6 N·m
Allowable Moment of Inertia	R-Axis	1 kg·m ²
	B-Axis	1 kg·m ²
	T-Axis	0.4 kg·m ²

FS100 CONTROLLER SPECIFICATIONS*	
Dimensions (mm)	470 (w) x 200 (h) x 420 (d) (18.5" x 7.9" x 16.5")
Approximate Mass	20 kg (44.1 lbs)
Cooling System	Direct cooling
Ambient Temperature	During operation: 0° to 40° C (32° to 104° F) During transit and storage: -10° to 60° C (14° to 140° F)
Relative Humidity	90% max. non-condensing
Primary Power Requirements	Single-phase or 3-phase power, 200/230 VAC at 50/60 Hz (MPP3, MPK2, MH6F, HP20F require 3-phase)
External Transformer (optional)	For 480/575 VAC installations
Digital I/O	Standard I/O: 16 inputs/16 outputs NPN-Standard PNP-Optional
Position Feedback	Absolute encoder
Program Memory	JOB: 10,000 steps, 1,000 instructions CIO Ladder: 1,500 steps
Pendant Dim. (mm)	169 (w) x 314.5 (h) x 50 (d) (6.7" x 12.4" x 2")
Pendant Weight	998 kg (2.2 lbs)
Interface	One Compact Flash slot; One USB port (1.1)
Pendant Playback Buttons	Teach/Play/Remote Keyswitch selector Servo On, Start, Hold, and Emergency Stop Buttons
Programming Language	INFORM III, menu-driven programming, MotoPlus SDK (C language) – optional
Maintenance Functions	Displays troubleshooting for alarms
Number of Robots/Axes	Up to 2 robots, 16 axes (requires 2 controllers)
Multi Tasking	Up to 6 concurrent jobs, 1 system job
Fieldbus	All common networks supported
Ethernet	10 Base T/100 Base TX
Safety	Dual-channel Emergency Stop Pushbuttons, 3-position Enable Switch, Manual Brake Release

Note: Use DX100 controller for arc welding applications.
* See FS100 Controller data sheet (DS-509) for complete specifications

www.motoman.com

YASKAWA

На бази овог робота, примењујући приступ самоградње и комбиновања постојеће и нове опреме, током 2013. године пројектована је и физички реализована експериментална инсталација универзалне употребљивости за домен монтаже малих механичких склопова, операције роботизованог спајања делова са укљученом функцијом адаптивног понашања аквизицијом генерализованог вектора силе спајања и визуелне информације. Изглед ове експерименталне инсталације приказан је на слици 19.

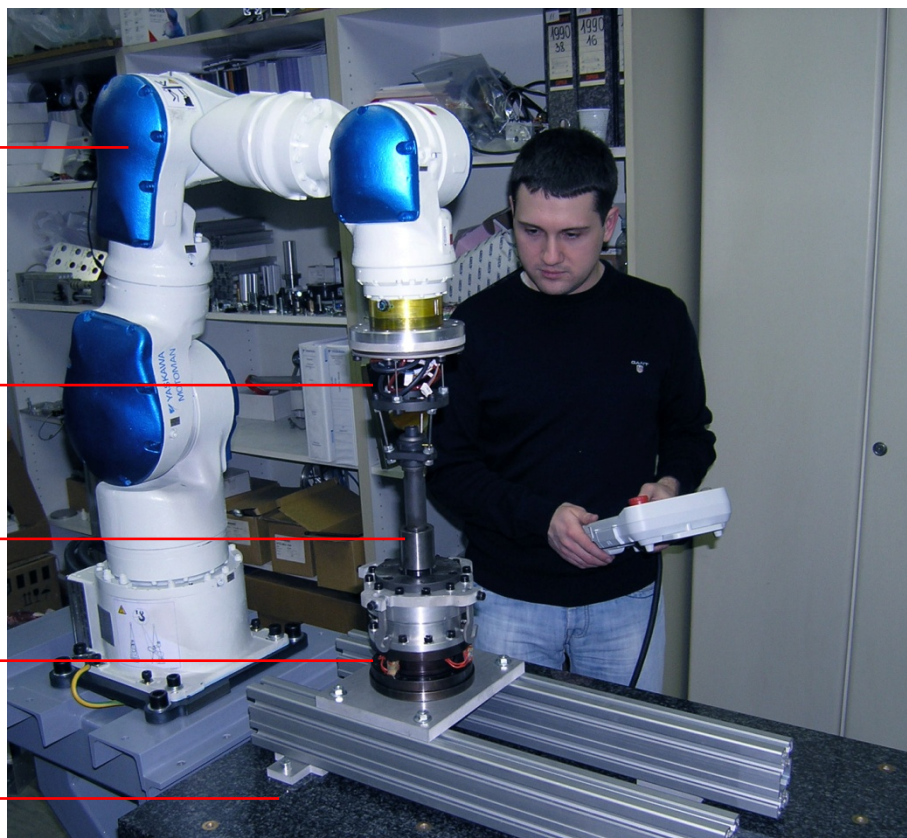
Робот SIA 10F
редундантна
антропоморфна рука
са 7 степени слобде
носивости 10 кг.

Механички
изотропна
попустљива јединица

Високопрецизни
цилиндрични пар

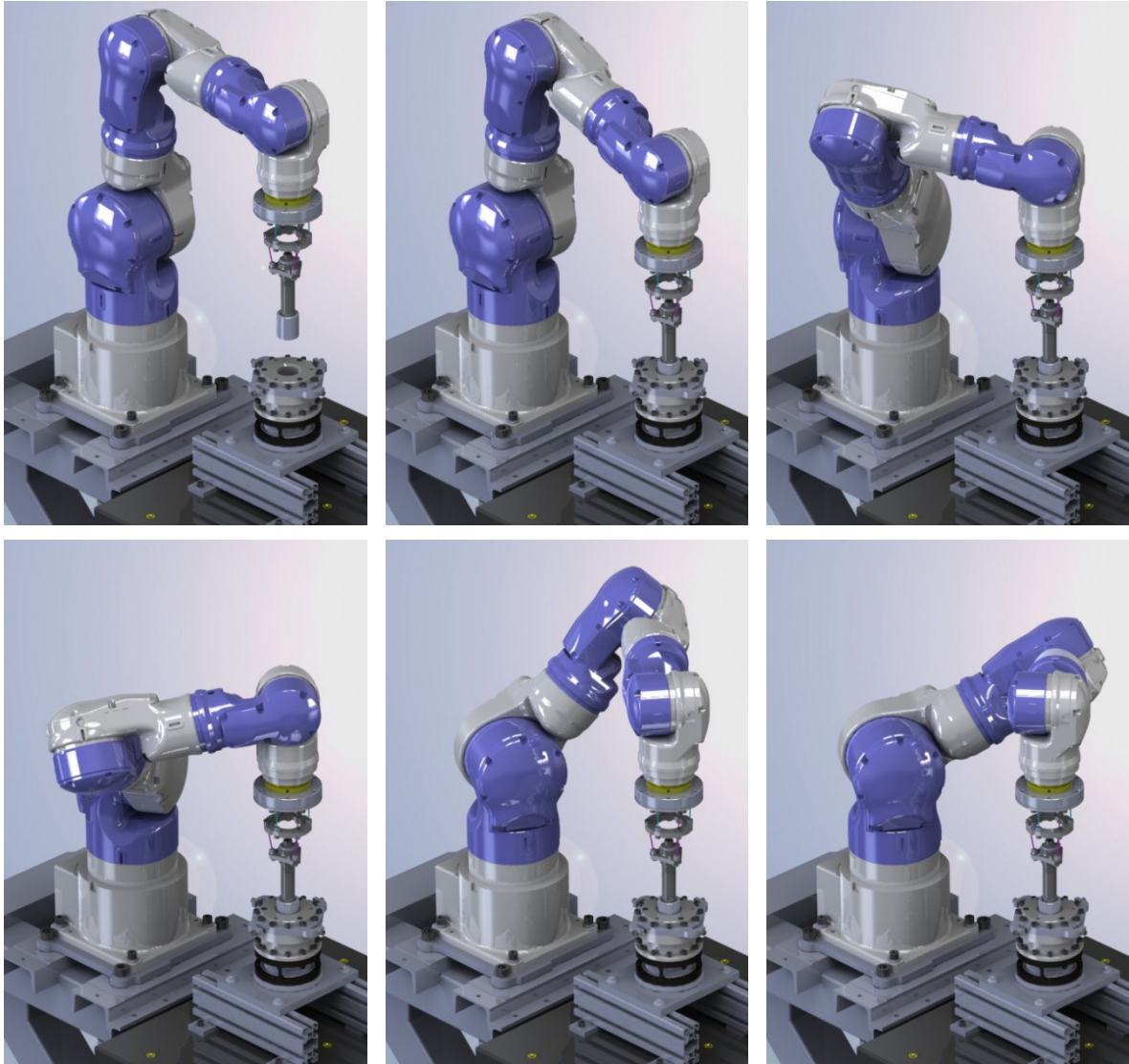
Шестокомпонентни
сензор силе

Гранитни сто и
носећа структура
велике крутости



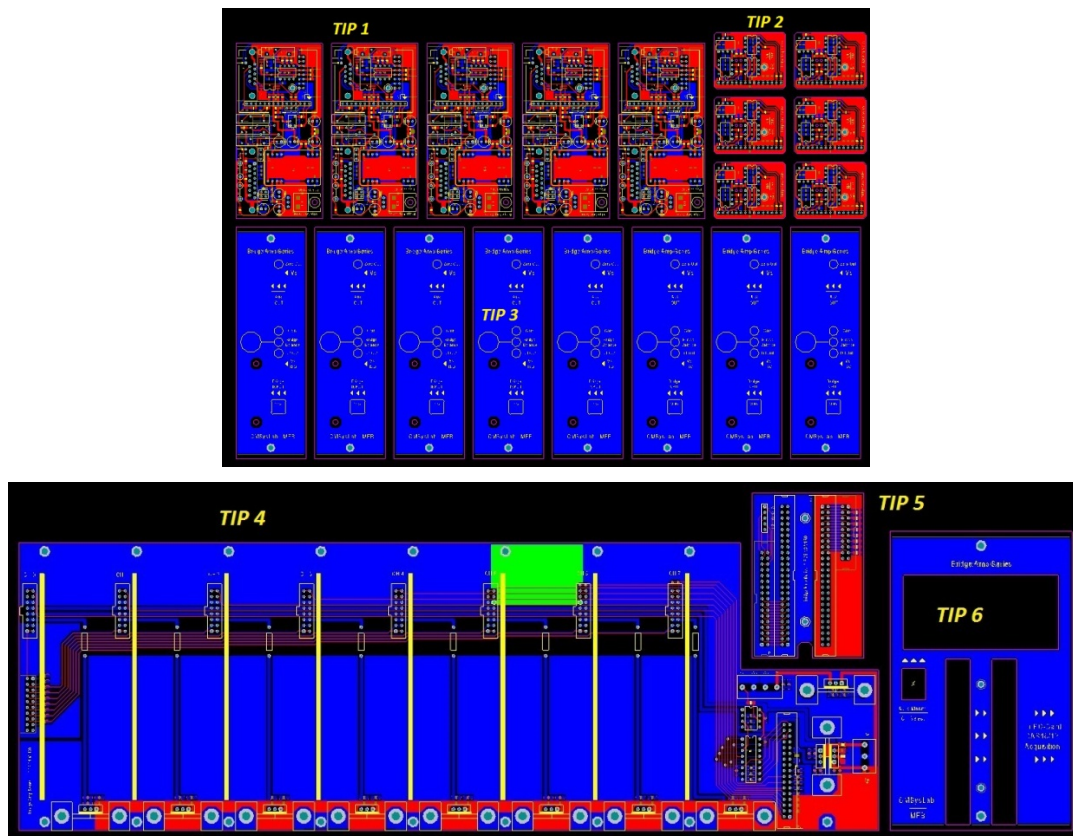
Слика 19: Експериментална инсталација #2: Роботски систем базиран на YASKAWA SIA 10F роботу, специјализован за монтажу малих механичких склоповаса функцијом адаптивног понашања базираног на аквизицији генерализованог вектора силе спајања.

Свакако најзначајнија истраживачка вредност ове експерименталне инсталације је у томе што робот поседује својство кинематске редундансе. Седам степени слобде омогућава улазак у једну сасвим нову димензију управљања својствима генерализоване крутости кроз такозвани конфигурациони простор нуле. Визуелизација конфигурационог простора нуле у оквиру задатка спајања приказана је на слици 20.



Слика 20: Приказ секвенце инсертовања осовине у отвор у условима постојања конфигурационог простора нуле – робот остварује унутрашња кретања без помераја врха робота, односно без кинематских ефеката на релативни положај осовине у односу на отвор. Кинематска редунданса омогућава промену унутрашње конфигурације робота и тиме промену његове генерализоване крутости, што има велики утицај на процес спајања. Редунданса YASKAWA SIA 10F робота отвара простор за управљање генерализованом крутошћу, што имплицира постизање високовредних технолошких перформанси у процесу монтаже и тиме га чини јединственом експерименталном платформом у истраживачком простору Србије.

Робот је опремљен шестокомпонентним сензором силе који је резултат сопственог развоја и по својим техничким карактеристикама јединствен је у истраживачком простору Србије. За ефективно коришћење овог сензора неопходан је одговарајући вишеканални систем за кондиционирање мерних мостова и аквизицију сензорских сигнала. Током 2013. године спроведене су активности развоја овог система, које се у овом тренутку налазе у завршној фази физичке реализације прототипа. Овај аквизициони систем је резултат сопственог развоја електронике и софтвера спроведен у целости у оквиру Лабораторије за кибернетику и мехатронске системе Машинског факултета у Београду. На слици 21 приказан је изглед штампаних плоча свих модула аквизиционог система (физички реализовано средином 2013. године). Финансијска ограничења успорила су набавку електронских компонената.



Слика 21: Изглед штампаних плоча саставних модула осмоканалног кондиционера сензора силе развијеног у Лабораторији за кибернетику и мехатронске системе, Машиноског факултета Универзитета у Београду за потребе експериментисања у домену роботске монтаже.

Резултати:

Планирано: M85 Број резултата: 1
 Остварено: M85 Број резултата: 1
 M61 Број резултата: 1

Фаза реализације 5: Изградња и одржавање WEB портала пројекта TP35007
 Активност 3: Доградња WEB портала пројекта TP35007;
 Временски оквир: 01/01/2013- 31/12/2013

Ова активност припада радном пакету TP35007-PP_5: Дисеминација и трансфер знања у индустријско окружење и образовање инжењера.

У оквиру треће истраживачке активности дограђиван је WEB портал пројекта за функцију комуникације истраживачких тимова, дисеминације резултата и едукације. WEB портал је смештен у оквир WEB портала Лабораторије за кибернетику и мехатронске системе. Адреса WEB портала пројекта:

<http://cmsyslab.mas.bg.ac.rs>

Резултати:

Планирано: M85 Број резултата: 1
 Остварено: M86 Број резултата: 1

Фаза реализације 5: Изградња и одржавање WEB портала пројекта TP35007
 Активност 4: Интеракција и дисеминација резултата у оквиру Програма Националних технолошких платформи Републике Србије;
 Временски оквир: 01/01/2013- 31/12/2013

Ова активност припада радном пакету TP35007-PP_5: Дисеминација и трансфер знања у индустријско окружење и образовање инжењера.

За широку дисеминацију резултата пројекта TP35007 искоришћен је програмски оквир Националних технолошких платформи Србије, као националног еквивалента програма Европских технолошких платформи и у оквиру тога успостављање блиске сарадње са програмски комплементарним индивидуалним технолошким платформама: 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, користећи ЕУ инструменте националног и регионалног нивоа. У том контексту је током 2013. године организован низ јавних наступа на скуповима и местима високе релевантности за домен развоја индустријских технологија и развој индустријског система Србије.

Свакако најзначајнији догађај ове врсте током 2013. године био је скуп под називом Инжењерски форум 4, НАЦИОНАЛНЕ ТЕХНОЛОШКЕ ПЛАТФОРМЕ СРБИЈЕ – 160 година индустрије и фабрике за будућност Србије. Инжењерски форум 4 је организован као дводневни скуп у сарадњи са Српском академијом наука и уметности и Привредном комором Србије.



Слика 22: Инжењерски форум 4: НАЦИОНАЛНЕ ТЕХНОЛОШКЕ ПЛАТФОРМЕ СРБИЈЕ – 160 година индустрије и фабрике за будућност Србије. Дводневни скуп одржан првог дана у Ректорату Универзитета у Крагујевцу 03. децембра 2013. године. Скуп је отворио Председник Републике Србије, Томислав Николић. Уводно излагање током церемоније отварања скупа имао је Министар привреде Саша Радуловић. У оквиру церемоније отварања скупа, у присуству највиших државних представника, потписан је документ у облику Меморандума о разумевању за оснивање прве технолошке платформе посвећене производним технологијама НТПС Производња (доле лево). Као финална активност церемоније отварања Председнику Републике Србије, Министру привреде и Председнику Привредне коморе Србије уручена је прва књига из серије монографских дела под називом Технолошке платформе за фабрике будућности, аутора Професора Владимира Милачића (доле десно). Скуп је имао велику медијску покривеност чиме је најширој јавности послата порука о значају индустријских технологија, технолошког развоја, инжењерства и науке за процес индустријализације и кроз тај оквир опоравка националне економије (детљи на www.ntp.rs). Учесиће на првом дану Инжењерског форума је било само по позиву.



Слика 23: Инжењерски форум 4: НАЦИОНАЛНЕ ТЕХНОЛОШКЕ ПЛАТФОРМЕ СРБИЈЕ – 160 година индустрије и фабрике за будућност Србије. Други дан скупа одржан у Свечаној сали Српске академије наука и уметности САНУ. Уводно излагање током церемоније отварања скупа имао је Председник САНУ Академик Никола Хајдин. Скуп је отворио Председник привредне коморе Србије Жељко Сертић.

Скуп је одржан у Ректорату Универзитета у Крагујевцу, 3. децембра 2013. године и у Српској академији наука и уметности, 05. децембра 2013. године. Овај скуп је био посвећен обележавању 160 година постојања индустрије Србије и једном ширем корпусу тема од великог значаја за опоравак и технолошки реинжењеринг индустрије Србије под називом Фабрике будућности Србије. На овом скупу формиран је иницијални конзорцијум за прву индивидуалну технолошку платформу НТПС програма под називом НТПС Производња, која је посвећена истраживачко-развојним и апликативним аспектима производних технологија нове генерације, посебно оних технологија које су од високог степена релевантности за практичну имплементацију нове производне парадигме масовне кастомизације, која је кључни тематски оквир истраживања на пројекту TR35007. Скуп је отворио Председник Републике Србије и Министар привреде, уз активно ангажовање ресорног министарства за науку и технолошки развој, као и ресорног министарства за одбрамбене технологије. Председник организационог одбора НТПС Форума био је проф. Петар Б. Петровић, руководилац пројекта TR35007 (детаљније на www.ntp.rs)

Такође, у овом контексту професор Петар Б. Петровић је активно учествовао са уводним предавањем посвећеним Националним технолошким платформама Србије на међународном скупу: International Conference on Technology Transfer ICTT2013 (Tempus Project 158881-TEMPUS-2009-RS-JPHES National Platform for Knowledge Triangle in Serbia), одржаном 20. јуна 2013. године у Ректорату Универзитета у Нишу, чији је организатор био Електротехнички факултет Универзитета у Нишу, и такође као један од модератора Округлог стола под називом: Изазови нове индустријализације, одржаног у Привредној комори Србије 06. новембра 2013. године, у оквиру IX Скупа привредника и научника СПИН 2013, чији је организатор био Факултет организационих наука, Универзитета у Београду.

Резултати:

Планирано:	M63	Број резултата:	1
Остварено:	M31	Број резултата:	1
	M33	Број резултата:	3
	M63	Број резултата:	1

2. Преглед резултата који нису реализовани са образложењем и прогнозом рока њихове реализације.

Све планиране истраживачко-развојне активности су реализоване у целости и сви планирани резултати су остварени по садржини и обиму (обим публикованих радова је већи од планираног!).

Изузетак је само активност везана за реализацију CNC обрадног система за плазма резање за потребе корисника истраживања, компаније Икарбус а.д., која је физички делимично реализована због финансијских проблема компаније Икарбус и са тим у вези застоја у набавци стандардних компоненти.

Машински факултет је у целости извршио своје обавезе пројектовања. Реализација овог обрадног система померена је за 2014. годину.

3. Преглед резултата који директно омогућају наставак реализације пројекта.

Кључни резултати који директно омогућавају наставак реализације пројекта у наредној истраживачкој години се односе на:

- Група теоретских резултата који се односе на нове методе/процедуре/технике обраде сензорских сигнала као и хардверско-софтверских алата за имплементацију сензора силе и оптичких сензора у системе који раде у реалном времену.
Развијени алати за генерисање виртуелних и интерактивних модела робота и његовог технолошког окружења, који стварају потребне предуслове за практичну примену роботских система у реалним условима индустријске производње, посебно роботског заваривања, што ће бити предмет истраживачко-развојних активности у другој и наредним истраживачким годинама.
- Група резултата који се односе на демонстрационе инсталације и са тим у вези окончање процеса набавке капиталне опреме за пројекат TP35007 који је у току. Највећи део капиталне опреме биће испоручен до јуна месеца 2013. године.
- Практична имплементација система плазма резања за унапређење технолошких основа производног система компаније Икарбус, у склопу њихових развојних активности за прелазак на производњу нископодних и еколошки компатибилних аутобуса за градски превоз.
- Интеракције Универзитет – Индустрија кроз развијен модел дисеминације знања у оквиру билатералних пројеката и кроз програм Националних технолошких платформи, спрегнут са релевантним индивидуалним Европским технолошким платформама.

4. Оцена успешности реализације пројекта и утицај резултата на даље активности и завршетак целог пројекта.

Пројекат се реализује по плану, а у извесним активностима реализовани обим истраживања је већи од планираног. Оваква ситуација се очекује и у наредној истраживачкој години која је значајна са аспекта практичне имплементације постављених модела и експериментално потврђених инсталацијау пракси. Критичан услов за реализацију планираних активности у наредној години биће стање домаће привреде у условима економске рецесије, која објективно отежава њихове пословне активности и успорава процесе модернизације производних ресурса.

5. Оцена корисника о успешности реализације пројекта и утицај резултата на даље активности и завршетак целог пројекта. Уколико имате корисника (партиципанта) приложите уз овај извештај оцену корисника (мишљење) о успешности реализације пројекта и утицај резултата на даље активности и завршетак целог пројекта (посебан прилог на меморандуму корисника).

Истраживачке активности овог пројекта подржане су од стране једне компаније из индустрије: **Икарбус а.д. – Фабрика аутобуса и специјалних возила – у реструктурирању**. Компанија Икарбус има дугу традицију и у индустрији Србије егзистира скоро један век (основана 20.11.1923. године као прва фабрика аеро и хидроплана на Балкану). Процес својинске трансформације се врло лоше одразио на пословне активности компаније. Компанија је 08.2008. године продата компанији Автодетал-Сервис из Руске федерације за 7.2 милиона ЕУР. Због неиспуњавања низа уговорних обавеза, а посебно због одсуства инвестиција, неисплаћивања зарада радницима и располагања имовином противно уговору, Агенција за приватизацију је после другог додатног рока, раскинула приватизациони уговор 04.2009. године. Производња је у потпуности заустављена, дошло је до штрајкова и других облика социјалних тензија, па су на крају сви радници послати на колективни одмор, а скоро 400 радника је до краја 2009. године трајно напустило Икарбус уз отпремнину.

Фабрика је децембра 2009. године ушла у поступак реструктурирања, а ново руководство компаније је активностима које су уследиле постепено успоставило производну функцију. Паралелно, Агенција за приватизацију је покренула нови приватизациони циклус. Као стратешки партнер појавила се холандска компанија VDL, водећи произвођач аутобуса у Европи. После готово једногодишњих преговора и низа варијантних сценарија, октобра месеца 2011. године овај процес је окончан неуспешно, повлачењем

ВДЛ-а. Тиме је окончан и успорени период производних активности (ови процеси по правилу имају такав ефекат на предузећа која су у стању промене својинског статуса), а ново руководство је покренуло амбициозне пословне активности и то у два смера: иновирање производног програма преласком на нископодне аутобусе и јачање производних потенцијала компаније кроз увођење нових технологија.

Пројекат TR35007 је препознат као значајан оквир за технолошки развој и у том контексту су дефинисана три основна развојна садржаја: 1)роботизација процеса заваривања, 2)увођење технологије плазма резања за израду делова из челичних плочастих материјала и 3)увођење иновативне технологије ласерског резања кутијастих и кружних профила, као основног градивног елемента за носеће структуре нископодних аутобуса.

Пословна 2011. година је после дугог низа година завршена позитивно у финансијском смислу. Почетком 2012. године испоручена су 25 аутобуса ГСП Београд, а јуна месеца 2012. године склопљен је уговор, такође са ГСП, за још 32 аутобуса. Због потпуног изостанка реализације финансијских обавеза од стране ГСП-а и одсуства подршке града у делу кредитирања производње, реализација овог пројекта је прво успорена, а затим и потпуно заустављена, што је Икарбус довело у врло неповољну финансијску ситуацију, јер је сва расположива средства из сопствене акумулације уложио у производне активности по овом уговору (вредност посла 6.3 MioEUR). Паралелно град Београд је расписао тендер за набавку нових 400 градских аутобуса у кредитном аранжману са European Bank for Reconstruction and Development (EBRD). Услови које је EBRD дефинисао за расписивање тендера су административним ограничењима онемогућиле Икарбус да конкурише чак и у својству добављача, што је додатно угрозило његово пословање, јер је у пословном смислу Икарбус традиционално везан за снабдевање ГСП аутобусима. Током 2013. године постепено су испоручивани аутобуси ГСП од стране пољске компаније СОЛАРИС, укупно 208 јединица. За Икарбус није било никаквог посла, сем послова одржавања. Оваква ситуација довела је Икарбус у врло тешко стање, тако да је комплетна 2013. година протекла у покушајима да се алтернативним пројектима компензује енормни губитак. **Децембра месеца, после вишемесечних преговора, Икарбус је успео да се квалификује за неку врсту партнерског односа са немачким Мерцедесом, потписивањем уговора о сарадњи у оквиру кога Икарбус добија статус овлашћеног надграђивача Мерцедесових шасија.**

У делу јачања технолошких основа, Икарбус је препознајући технологију израде делова из челичних плочастих материјала као лимитирајући фактор за остваривање потребних производних капацитета, крајем 2011. године иницирао развој CNC система за плазма резање по пројектном решењу Машинског факултета и у складу са специфичним потребама компаније Икарбус. Поред техничке вредности, ово пројектно решење је значајно и због великих финансијских уштеда и трансфера специфичних технолошких знања кроз механизам рада заједничких пројектних тимова Машинског факултета и компаније Икарбус. У току 2012. године настављене су активности на реализацији CNC система за плазма резање али је после почетног замаха, због претходно наведених разлога, Икарбус био спречен да настави инвестирање у набавку компонената, па је реализација пројектног решења Машинског факултета прво померена за другу половину 2013. године, а затим за наредну, 2014. годину.

Комплетна ситуација је врло индикативна и показује на конкретан начин са којим се ограничењима суочавају пројекти технолошког развоја када у свом конзорцијуму имају кориснике из индустрије. Просто, и поред потпуне спремности обе стране и чињенице да је Машински факултет у потпуности завршио своје обавезе у делу пројектовања, а те обавезе су биле врло комплексне јер су обухватиле комплетан обрадни систем – механику са конструкционом документацијом, управљачки и актуациони хардвер са конструкционом документацијом и управљачки софтвер, коначан резултат је изостао због споља наметнутих ограничења.

У претходном контексту, афирмативно мишљење корисника истраживања је прибављено у писаној форми (како је захтевано од стране Министарства) и приложено у папирној верзији извештаја. Без обзира на финансијске тешкоће, Икарбус је финансијски подржао пројекат TR35007 у обиму планираном за прву, другу и трећу истраживачку годину. Партиципација у трећој години је износила 575.000 динара. За набавку компонената Икарбус је инвестирао у 2012. години 658.500,00 динара. У току 2014. године Икарбус показује спремност за значајна финансијска улагања у набавку компонената и материјала за израду индустријског прототипа аутоматског система за плазма резање и роботизацију процеса заваривања, све у склопу активности јачања својих технолошких основа и подизања конкуритивности на домаћем и страном тржишту, посебно кроз најновији аранжман пословне сарадње са Мерцедесом.

Проблеми реализације пројекта

1. Навести проблеме које су постојали при реализацији пројекта

Проблеми који су били присутни током прве истраживачке године могу се сврстати у 3 групе:

1. **Проблем кашњења набавке опреме:** Кашњење у набавци планиране капиталне опреме и ситне опреме која је планирана кроз ДМТ2 оквир, има успоравајући ефекат на реализацију планираних истраживачких активности.
2. **Проблем својинске трансформације:** Компанија Икарбус а.д. је партиципант на пројекту и корисник резултата истраживања. Приватизациони процеси и процеси реструктурирања, који се паралелно обављају у овој компанији имају реметилачки утицај на планирану сарадњу због смањене способности компаније Икарбус за инвестирање у реализацију пројектованих демонстрационих система.
3. **Проблем економске кризе и опште стање индустрије Србије:** Економска криза која је захватила домаћу привреду одржава се несмањеним интензитетом. Насупрот статистичким показатељима који су последица хиперактивности компаније ФИАТ над слабом индустријском основом, током 2013. године уочљив је доминантан пад индустријских активности и последично, пад спремности компанија да инвестирају у модернизацију технологије. Оваква ситуација представља објективан ризик за апликативне аспекте пројекта ТР 35007. Опште стање индустрије Србије је такво да су домаће компаније доминантно фокусиране на егзистенцијална питања, а врло мало заинтересоване за увођење нових технологија, и посебно у том контексту сарадње са домаћим истраживачко-развојним институцијама.

2. Навести потребне активности неопходне за успешну реализацију пројекта.

Финализација набавке опреме у складу са спецификацијом датом у фази конкурисања за финансирање пројекта је кључна за спровођење планираних истраживачких и развојних активности. Охрабрујућа је чињеница да је током прве половине 2013. године један значајни део опреме набављен. Потребно је да се овај процес оконча, укључујући и набавку ситне опреме из фонда ДМТ2 средстава, где се налазе битне компоненте и системи неопходни за комплетирање експерименталних инсталација које се изграђују на основу испоручене капиталне опреме током 2013. године.