



Љ. Тановић, П. Бојанић, Д. Милутиновић, М. Главоњић, Р. Пузовић, Б. Кокотовић, С. Живановић, М. Поповић, Н. Славковић, Г. Младеновић¹

РАЗВОЈ ТЕХНОЛОГИЈА ВИШЕОСНЕ ОБРАДЕ СЛОЖЕНИХ АЛАТА ЗА ПОТРЕБЕ ДОМАЋЕ ИНДУСТРИЈЕ- REKAPITULACIJA REZULTATA NA PROJEKTU MA14034

Резиме

У раду се даје приказ резултата истраживања спроведених у току прве истраживачке године на пројекту MA14034 који реализују пројектни тим формиран на Катедри за производно машинство Машинског факултета Универзитета у Београду. Поред прегледа теоретских и методолошких садржаја, посебна пажња се посвећује практичним излазима оствареним у оквиру овог пројекта где се предвиђа и реализација пилот Мултифункционалног реконфигурабилног обрадног система на бази робота за вишеосну обраду сложених алата и делова великих габарита од мекших материјала ниже и средње класе тачности, са једне стране, односно израда резних алата сложених површина од савремених алатних материјала на бази посебних сорти тврдог метала и специјалних челика, са друге стране.

Кључне речи: *Обрадни систем, реконфигурабилни робот, алати, сложена површина*

1. УВОД

Пројекат MA 14034² је двогодишњи пројекат који је финансијски подржан од стране Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије за период 2008-2010. година. На овом пројекту учествује Машински факултет Универзитета у Београду, Катедра за производно машинство, у својству носиоца истраживачко-развојних активности и координатора пројекта. Основни циљеви овог пројекта се могу сумирати на: Држање корака са развијеним земљама и земљама ЕУ у области технологија вишеосне обраде и реконфигурабилних мултифункционалних обрадних система као кључним сегментима савремених производних технологија и Развој нових стратегија вишеосне обраде и развој једног пилот реконфигурабилног мултифункционалног обрадног система домаће производње за вишеосну обраду алата и делова великих габарита са сложеним функционалним и естетским површинама. Планирана истраживања имају за циљ такође и подизање технолошког нивоа брзе израде алата сложених површина који треба да омогући подизање технолошког нивоа домаће алатне индустрије а тиме и њену конкурентност у европским оквирима.

2. САДРЖАЈ ИСТРАЖИВАЊА И ЦИЉЕВИ У ПРВОЈ ГОДИНИ

Основни циљ планираних истраживања је конципирање реконфигурабилног мултифункционалног обрадног система на бази робота и конципирање резних алата сложених површина од савремених алатних материјала на бази нових сорти тврдог метала и специјалних алатних челика. Према садржају пројекта циљеви истраживања у првој години се могу овако формулисати: Систем анализа стања технологија вишеосне обраде и реконфигурабилних мултифункционалних обрадних система. Систем

¹ Проф. др Љубодраг Тановић, Проф. др Павао Бојанић, Проф. др Драган Милутиновић, Проф. др Милош Главоњић, Доц. др Радован Пузовић, Мр Бранко Кокотовић, Мр Саша Живановић, Мр Михаило Поповић, Никола Славковић, дипл. инг. и Горан Младеновић, дипл. инг., Катедра за производно машинство, Машински факултет Универзитета у Београду, Краљице Марије 16, 11120 Београд, Србија; е-маил: ltanovic@mas.bg.ac.rs

² У оквиру овог рада саопштавају се резултати истраживања која се спроводе на пројекту MA14034: **Развој технологија вишеосне обраде сложених алата за потребе домаће индустрије**, који финансијски подржава Министарство за науку и технолошки развој Републике Србије.

анализа резних алата –призматичних профилних ножева ра радијалним и тангенцијалним примицањем. Формирање базе података о потребама партиципанта и домаће индустрије за израдом сложених алата и делова великих габарита са сложеним функционалним и естетским површинама. Конципирање мултифункционалног обрадног система на бази робота с обзиром на очекивани производни програм и одабране делове представнике партиципанта, кинематику и радни простор расположиве основне машине, шестоосног индустријског робота домаће производње и носивости 50 кг. Развој-прилагођавање CAD/CAM система за пројектовање алата сложених површина. Конципирање алата сложених површина базираном на модуларном принципу. Реализација постављених циљева у првој години истраживања треба да омогући успешну реализацију пилот реконфигурабилног мултифункционалног обрадног система на бази робота и конструктивна решења резних алата са сложеним површинама и да створи услове за наставак истраживања у овој области.

3. ПРЕГЛЕД ОСНОВНИХ РЕЗУЛТАТА СПРОВЕДЕНИХ ИСТРАЖИВАЊА

Преглед резултата који су остварени кроз истраживачке активности на пројекту у току прве истраживачке године наводи се по фазама садржаним у плану реализације пројекта. Материјал који се овде наводи преузет је у деловима из годишњег извештаја [1], који је руководилац пројекта поднео Министарству за науку и технолошки развој Републике Србије за текућу истраживачку годину.

3.1. Концепција реконфигурабилног мултифункционалног обрадног система на бази робота за изабране делове представнике из домена сложених алата и делова великих габарита са сложеним функционалним и естетским површинама од мекших материјала средње и ниже тачности

Као што је познато, савремене 5-оосне машине алатке карактеришу висока тачност, висока цена и релативно мали радни простор. Ове чињенице су снажно мотивисале произвођаче робота да покрију простор обраде великих делова са сложеним површинама од меканих материјала и ниже класе тачности. Индустријски роботи на данашњем нивоу развоја имају изузетне карактеристике у погледу носивости, тачности и динамике. Поредџи их са 5-осним машинама алаткама, за поменути класу задатака, одликује их много већи радни простор и цена која је нижа скоро за ред величине. Међутим, један од највећих недостатака данашњих робота је њихово програмирање. Наиме, сваки произвођач робота има свој језик за програмирање. С обзиром да су роботи по дефиницији мултифункционалне машине, роботски језици покривају врло различите области примене као што су манипулација, заваривање, бојење и тзв. помоћне операције обраде као што су обарање ивица, чишћење, полирање и слично. Програмски језици за роботе су у комбинацији са обучавањем погодни за случајеве где се једном написан програм користи дуже времена. Међутим, за примену робота у брзој изради прототипова или у вишеосној обради програмирање робота програмским језицима је веома сложено и дуготрајно. Разлог за ово лежи у недовољној кооперативности произвођача робота у поређењу са произвођачима машина алатки који су били спремни да користе CAD/CAM системе на бази стандарда RS274, односно G код. Разлози за за ово леже у релативно малом тржишту робота, али и неспремности произвођача робота да открију детаље својих управљачких алгоритама и софтвера. У циљу савладавања ове озбиљне баријере за примену робота у вишеосној обради мекших делова великих габарита данас је покренуто неколико пројеката како од великих и реномираних произвођача робота (KUKA, Motoman, Fanuc, Staubli), тако и од произвођача софтвера (Delcam). Примери робота за обраду произвођача робота KUKA и Staubli су показани на слици 1. Основни циљ ових пројеката је развој софтвера за превођење G кода генерисаних из постојећих постпроцесора за петоосне машине алатке, на њихове роботске програмске језике.



Слика 1. Примери робота за обраду произвођача робота KUKA и STAUBLI

Полазећи од дугогодишњег искуства у области робота, машина алатки, обраде и CAD/CAM-а на Катедри за производно машинство Машинског факултета у Београду, покренут је пројекат развоја пилот реконфигурабилног обрадног система на бази робота за делове већих габарита од мекших материјала, ниже класе тачности и са сложеним естетским и функционалним површинама. У овом извештају се даје поставка концепта и опис реконфигурабилног обрадног система на бази робота домаће производње.

3.2. Конципирање реконфигурабилног мултифункционалног обрадног система на бази робота

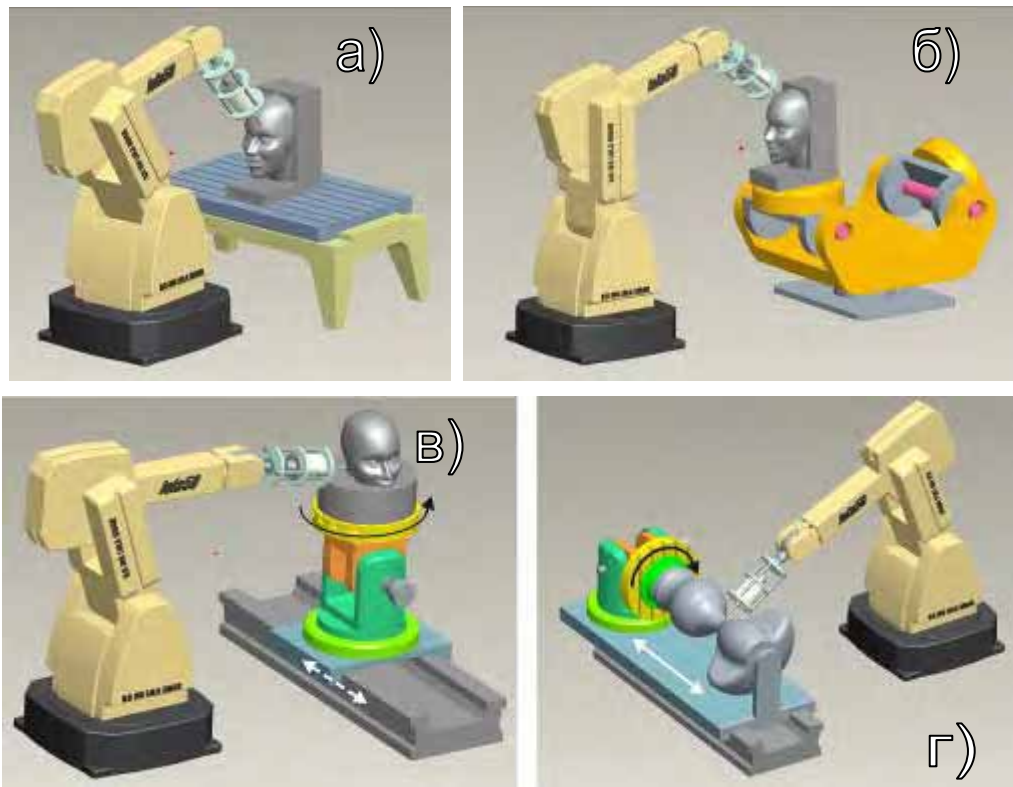
Потребу за технологијом вишеосне обраде глодањем сложених естетских и функционалних површина као и за реконфигурабилним мултифункционалним обрадним системима имају предузећа у областима: израде делова од лаких легура, обраде дрвета, обрада других неметала (камен, пластика, стакло, композит), ливење метала (моделни, калупи за језгра и сл.), израда алата за производе од композита (корита чамаца, кабине возила, љуски лопатица, браника и сл.). Такође значајан простор за примену оваквих обрадних система представљају и потребе за рестаурацијом објеката културне баштине (цркве, манастири, споменици и сл.), као и позоришна и филмска сценографија. Планирани реконфигурабилни обрадни систем на бази робота за изабрану класу делова треба да обезбеди брзу израду, на једном месту, сложених делова великих габарита од мекших материјала ниже класе тачности са сложеним површинама генерисаним расположивим CAD/CAM системима и методама реверзног инжењерства. Овакав систем би имао вишеструко нижу цену од постојећих петоосних машина алатки и задовољио захтеве у погледу обраде ниже класе тачности. Поставка концепта реконфигурабилног обрадног система на бази робота која се овде укратко даје се заснива на:

- Распољивом 6-осном роботу вертикалне зглобне конфигурације домаће производње, слика 2, великог радног простора, носивости и крутости са идејом управљања и програмирања као 5-осне машине,



Слика 2. Распољиви индустријски робот LOLA 50

- Управљачком систему отворене архитектуре базираном на PC Linux платформи и управљачком систему ECM2 (Enhanced Machine Control) са имплементираним управљачким алгоритмима и софтвером.
- Могућности програмирања робота као вертикалне петоосне глодалице помоћу G кода, чиме се елиминише потреба за транслятором G кода у роботски језик.
- Могућност коришћења свих CAD/CAM система са имплементираним 5-осном обрадом за програмирање овог обрадног система.
- Могућности реконфигурисања основне верзије са слике 3а у обрадни систем са изменљивим палетним позиционером, слика 3б, са додатним 2-осним вертикалним транслаторно-обртним столом, слика 3в и са додатним 2-осним хоризонталним транслаторно-обртним столом, слика 3г, и
- Виртуелном обрадном систему на бази робота за верификацију и симулацију програма. Систем је реализован у Python виртуелном графичком окружењу и имплементиран у управљачкој јединици.



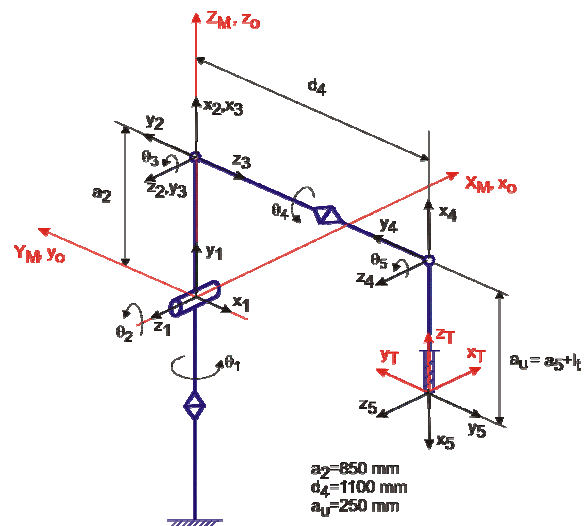
Слика 3. Концептуални модели реконфигурабилног обрадног система на бази робота као петоосне машине

3.3. Управљање и програмирање

Управљачки систем је базиран на PC Linux платформи и управљачком софтверу отворене архитектуре EMC2 (Enhanced Machine Control), који је намењен за управљање машина алаткама и роботима серијске и паралелне кинематике. EMC2 је израђен на основи NIST-ове (National Institute of Standards and Technology) RCS (Real-time Control System) методологије и програмиран је коришћењем RCS библиотеке. Специфичан приступ кинематичком моделирању робота LOLA 50 (решење инверзне и директне кинематике) је извршено по конвенцији за петоосне вертикалне машине алатке слика 4. Моделирање робота LOLA 50 је извршено по Denavit-Hartenberg-овој конвенцији с тим што су уведене две додатне трансформације које се односе на координатне системе алата и машине по конвенцији за петоосне вертикалне машине алатке.

Позиција и оријентација алата, односно координатног система везаног за врх алата {T}, у односу на координатни систем робота као машине {M} је дефинисана једначином (1)

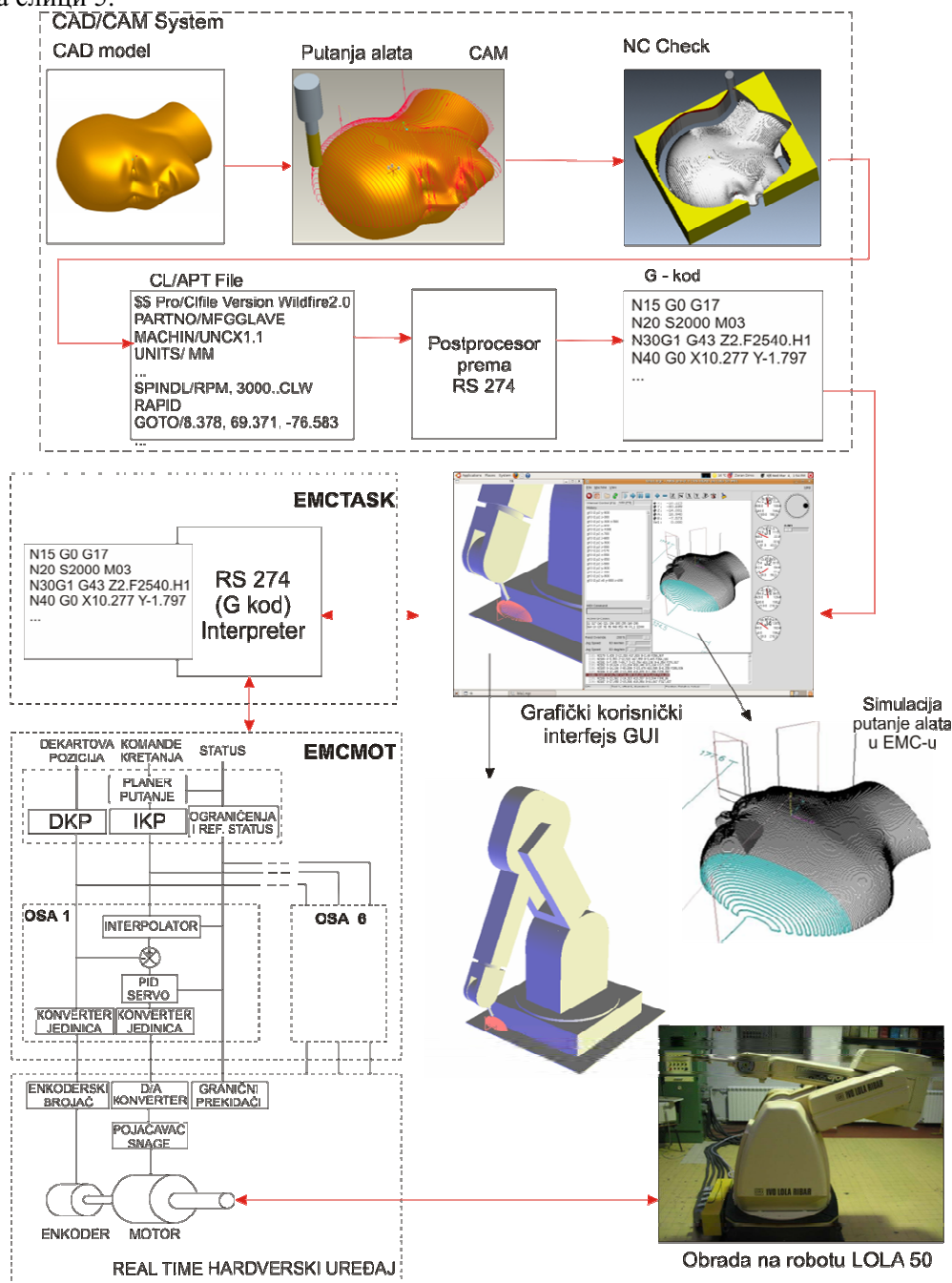
$${}^M_T = {}^M_o T \cdot {}^o_5 T \cdot {}^5_T T = \begin{bmatrix} i_x & j_x & k_x & x_m \\ i_y & j_y & k_y & y_m \\ i_z & j_z & k_z & z_m \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$



Слика 4. Кинематички модел робота LOLA50 као вертикалне петоосне глодалице

где матрица 0_5T одређује позицију и оријентацију координатног система $Ox_5y_5z_5$ везаног за врх енд-ефектора у односу на координатни систем $Ox_0y_0z_0$, везаног за базу робота. Матрица 5_7T , дефинише позицију и оријентацију координатног система $\{T\}$ у односу на координатни систем $Ox_5y_5z_5$. Матрица M_0T дефинише позицију и оријентацију базног координатног система робота у односу на усвојени координатни систем по конвенцији за петосне вертикалне машине алатке. За овако постављени кинематички модел решење директног кинематичког проблема је једноставно. Међутим решавање инверзног кинематичког проблема је веома специфично како за случај да само робот изводи сва кретања тако и у случајевима прерасподеле кретања између робота и додатних оса. За решени директни и инверзни кинематички проблем, написане су одговарајуће функције у C++ језику и интегрисане са HAL (Hardware Abstract Layer) у EMC2-у.

Полазећи од постављеног циља да се планирани реконфигурабилни обрадни систем на бази петосног робота програмира као CNC машина алатка применом G-кода (RS274), добијеног из расположивих CAD/CAM система, систем управљања и програмирања је конфигурисан као што је показано на слици 5.

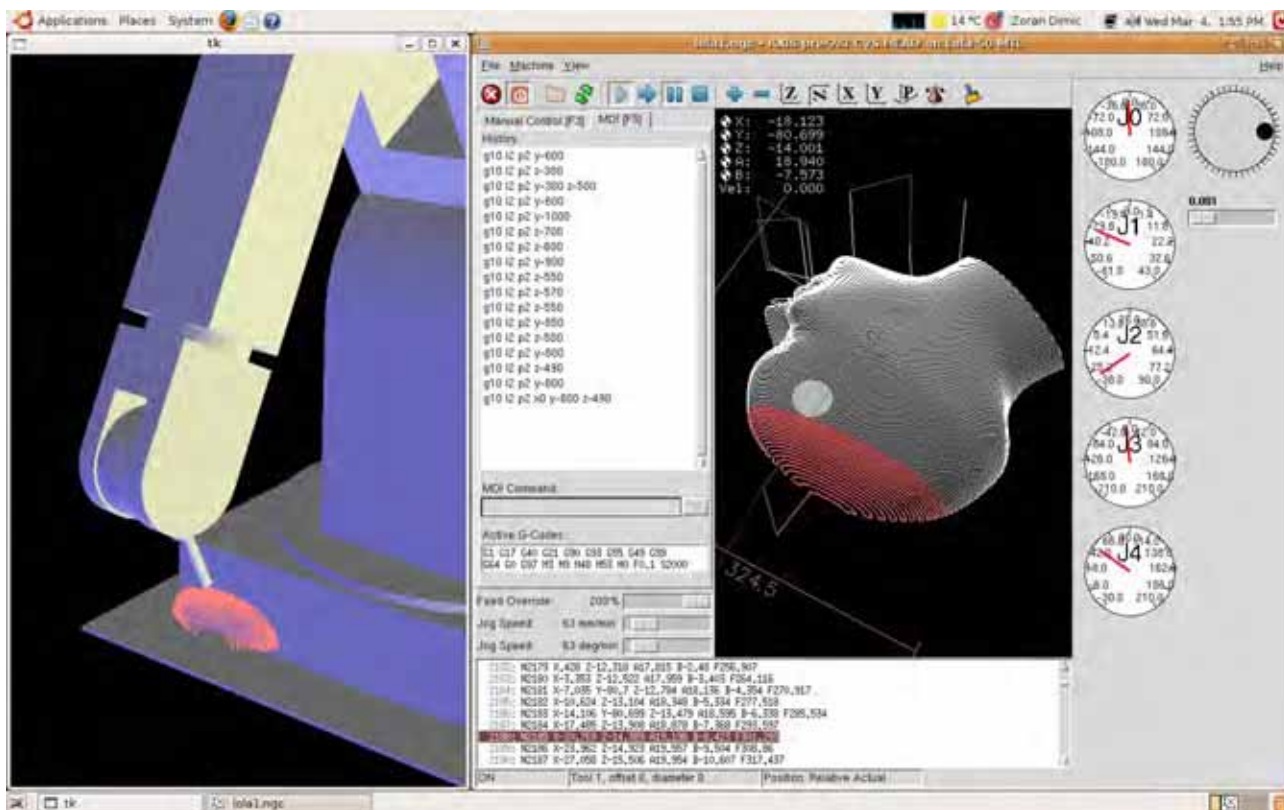


Слика 5. Концепт система управљања и програмирања за основну варијанту система са слике 3а

Полази се од CAD модела за који се у CAD/CAM систему (Pro/Engineer) генерише путања алата (CLF – Cutter Location File). За добијену путању алата прво се врши њена верификација у распложивом софтверу за симулацију уклањања материјала (слика 5), а затим приступа постпроцесирању CLF ради добијања G-кода за петоосну вертикалну глодалицу. Разматране су варијанте постпроцесора за конфигурације машина (X,Y,Z,A,B) и (X,Y,Z,A,C), где X,Y,Z представља позицију врха алата, а A, B и C углове оријентације алата. За варијанту система са слике 3а, где сва кретања изводи робот усвојен је постпроцесор за конфигурацију машине (X,Y, Z,A,B).

Тако добијени G-код се учитава у управљачки софтвер EMC2 где се најпре врши верификација програма на виртуелној машини у реалном времену, слика 6, а затим се управљачки сигнали са сигурношћу могу усмерити ка реалном роботу као петоосној вертикалној машини. Виртуелни робот је конфигуриран преко неколико класа предефинисаних у објектно оријентисаном језику Python.

Верификација програма у реалном времену на виртуелној машини је неопходно због кинематике робота која се битно разликује од кинематике петоосних машина алатки (3 транслаторне + 2 обртне осе) чији се G-код преузима. Такође је врло значајна анализа постављања обратка у радни простор вештине робота, тако да обрада буде изведена, до краја, а да ни једна оса не дође до краја свог хода. То се проверава управо на симулатору, односно на виртуелном роботу као машини, где се врши верификација G-кода, са померањем сегмената и исписивањем путање алата, као да је реч о реалном роботу, слика 6. Уколико дође до прекорачења хода неке осе, врши се корекција постављања обратка у радни простор и поступак понавља до испуњења свих услова за обраду.



Слика 6. Приказ екрана за симулацију путање алата и симулатор виртуелног робота

3.4. Приказ реализованог пилот реконфигурабилног мултифункционалног обрадног система на бази робота

Основна верзија пилот реконфигурабилног мултифункционалног обрадног система на бази робота, је показана на сликама 7 и 8.

Техничке карактеристике

- Број симултано управљаних оса:
 - На роботу 6 оса и
 - 1 или 2 додатне осе

- Радни простор:
 - Робота око 1 m^3 ,
 - Робота са додатном транслаторном осом до $3 \times 1 \text{ m}^3$
- Носивост робота: 50 kg
- Брзина главног кретања: 25000 o/min
- Контурна брзина помоћних кретања, у фази уходавања прототипа: 2 m/min
- Дужина програма: неограничена
- CAD/CAM систем: Pro/Engineer Wild fire 4
- Кинематичка структура машине из постпроцесора: X, Y, Z, A, B, вертикална глодалица
- Корекција алата: имплементирана у управљачком систему



Слика 7. Пилот реконфигурабилног мултифункционалног обрадног система на бази робота



Слика 8. Пројектни тим на првој интерној презентацији

Техничке могућности:

Систем омогућава 3-осну, 3+2 осну и 5- осну обраду глодањем делова од мекших материјала ниже и средње класе тачности са естетским и функционалним површинама у областима: израде делова од лакних легура, обраде дрвета, обраде других неметала (камен, пластика, стакло, композит), ливења метала (модел, калупи за језгра и сл.), израде алата за производе од композита (корита чамаца, кабине возила, љуски лопатица, браника и сл.). Такође, значајан простор за примену оваквих обрадних система представљају и потребе за рестаурацијом објеката културне баштине (цркве, манастири, споменици и сл.), као и позоришна и филмска сценографија.

3.5. Методологија пројектовања призматичних профилних ножева

Призматични профилни ножеви су алати помоћу којих се на стругу могу обрађивати предмети различите конфигурације, са квалитетима који се постављају према захтеву за дотични производ. У конструктивном смислу профилни призматични ножеви су далеко сложенији од обичних ножева и захтевају специјалне корекционе прорачуне, а сем тога су много сложенији и тежи за израду, из чега се може закључити да су знатно скупљи од стандардних ножева. Успостављање методологије пројектовања профилних стругарских ножева има за циљ ефикасно пројектовање ножева на бази математичког модела.

3.5.1. Познате чињенице од којих се полази

У теоријском и практичном делу полази се од следећих основних хипотеза:

- Дефинисање међусобног односа алата и обрада призматичним профилним стругарским ножем,
- Анализа издатка: облика, димензија, тачности, материјала...
- Препоручене вредности за дефинисање грудног, леђног и допунског грудног угла у зависности од материјала издатка,
- Основи аналитичке геометрије.

3.5.2. Формирање хипотезе

На основу скупа познатих чињеница формира се хипотеза о спрегнутости и односу површина призматичног профилног стругарског ножа. Постављена хипотеза дата је као математички модел којим се једнозначно дефинише геометрија резног дела ножа. Математички модел темељи се на основама аналитичке геометрије и законима трансцендентних функција.

Алгоритам за дефинисање профила и радионичке документације профилног ножа

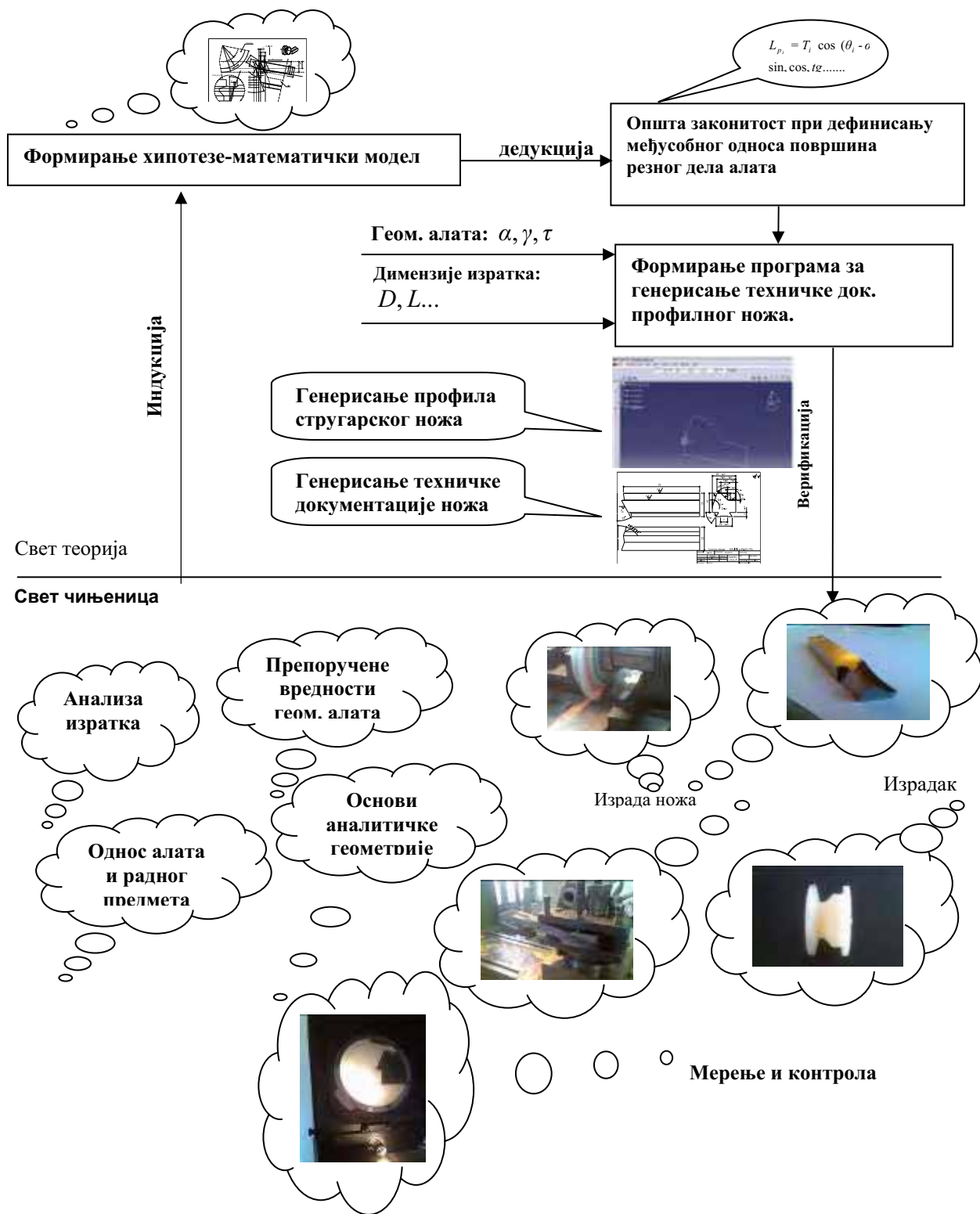
Након што је математички модел постављен развијен је алгоритам за одређен тип профила издатка који дефинише профил призматичног стругарског ножа на основу кога је лако генерише техничка документација неопходна за израду алата.

Верификација постављене хипотезе

Провера хипотезе – математичког модела извршена је на конкретном примеру што подразумева:

- Дефинисање облика, димензија и материјала издатка,
- На основу програма генерише се профил призматичног профилног стругарског ножа са техничком документацијом,
- Технологија израде призматичног профилног стругарског ножа на основу генерисане документације,
- Мерење и контрола израђеног стругарског ножа,
- Обрада дела на стругу направљеним профилним стругарским ножем,
- Мерење карактеристичних димензија издатка и поређење са димензијама које су дате радионичким цртежом издатка.

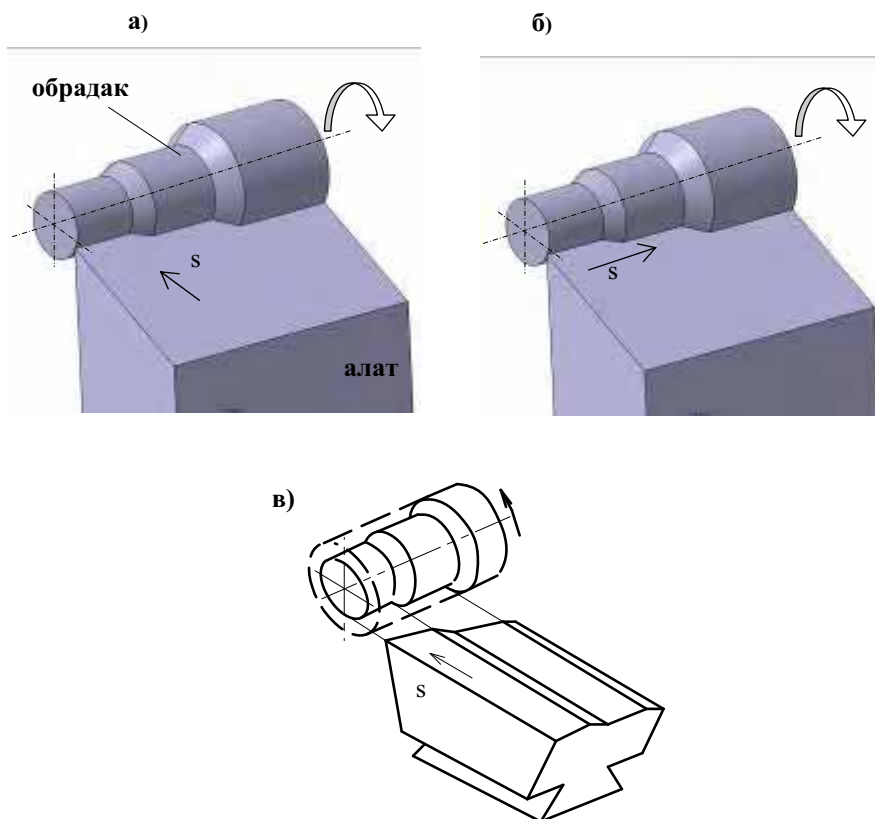
Шематски приказ методологије пројектовања призматичног профилног стругарског ножа приказан је на слици 9. Успостављена методологија пројектовања призматичних профилиних стругарских ножева примениће се на тангенцијалне и радијалне ножеве као типичне представнике ове групе ножева.



Слика 9. Шематски приказ методологије пројектовања призматичног профилног стругарског ножа

3.5.3. Карактеристике призматичних профилних стругарских ножева на којима се темељи математички модел

При обради профилним стругарским ножевима обрадак се обрће око своје осе и изводи главно кретање док се алат креће транслаторно и изводи помоћно кретање. Међусобни однос профилног ножа у односу на обрадак приказан је на слици 10.



Слика 10. Призматични профилни стругарски ножеви: а, б) радијани; в) тангенцијални

На слици 10 а) приказан је однос алата у односу на обрадак при обради радијалним профилним стругарским ножем док је на сликама 2 б) и в) приказан однос алата и обрачка при обради тангенцијалним призматичним профилним стругарским ножем.

3.5.4. Алгоритам за дефинисање профила и радионичке документације призматичног профилног стругарског ножа

На основу детаљно извршеног математичког моделирања тангенцијалног призматичног профилног стругарског ножа формира се алгоритам у циљу лакшег присања програма у програмском пакету FORTRAN.

Улазни подаци:

- Подаци о изратку:

D_1, D_2, D_4 - пречници изратка (услов $D_1 > D_4 > D_2$)

L_0, L_1, L_2, L_3 - карактеристичне дужине изратка (услов $L_1 > L_0 > L_2 > L_3$)

Вредности пречника и карактеристичних дужина изратка дате су у [мм]

- Подаци о геометрији алата:

Грудни угао $\gamma [^\circ]$, леђни угао $\alpha [^\circ]$, допунски грудни угао $\tau [^\circ]$

Обрада улазних података:

Израчунавање карактеристичних димензија профилног стругарског ножа у његовом нормалном попречном пресеку:

$$C_i = L_i \operatorname{tg} \tau \quad (1)$$

$$U_i = t_i \operatorname{tg} \gamma \quad (2)$$

$$G = C - U \quad (3)$$

$$\operatorname{tg} \theta_i = \frac{G_i}{t_i} \quad (4)$$

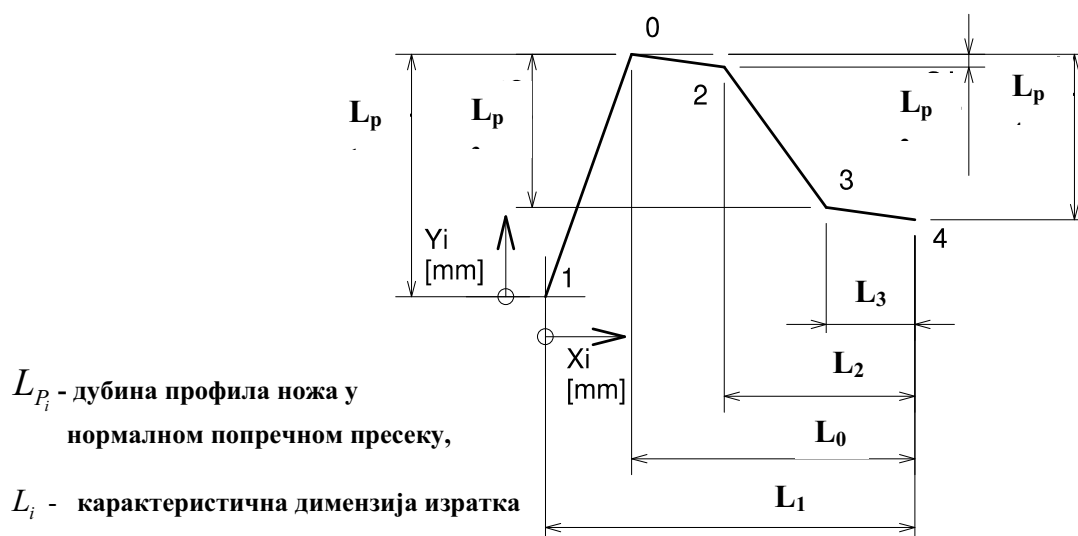
$$T_i = \frac{t_i}{\cos \theta_i} \quad (5)$$

$$L_{P_i} = T_i \cos (\theta_i - \alpha) \quad (6)$$

Једначине 1-6 дефинисане су на основу математичког модела.

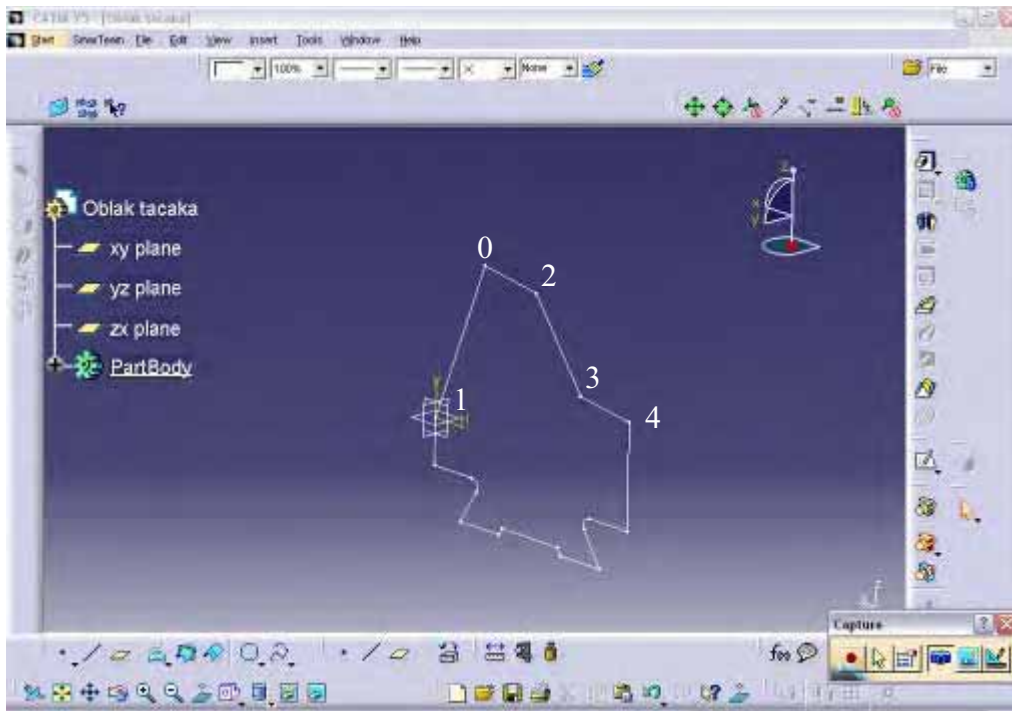
Успостављање координатног система у равни нормалног попречног пресека стругарског ножа Н-Н и дефинисање координата карактеристичних тачака профила:

На слици 11 је приказан начин одређивања координата карактеристичних тачака профила стругарског ножа на основу предходно израчунате величине L_{P_i} која представља дубину профила ножа у нормалном попречном пресеку и већ познате димензије која је карактерише израдак L_i .



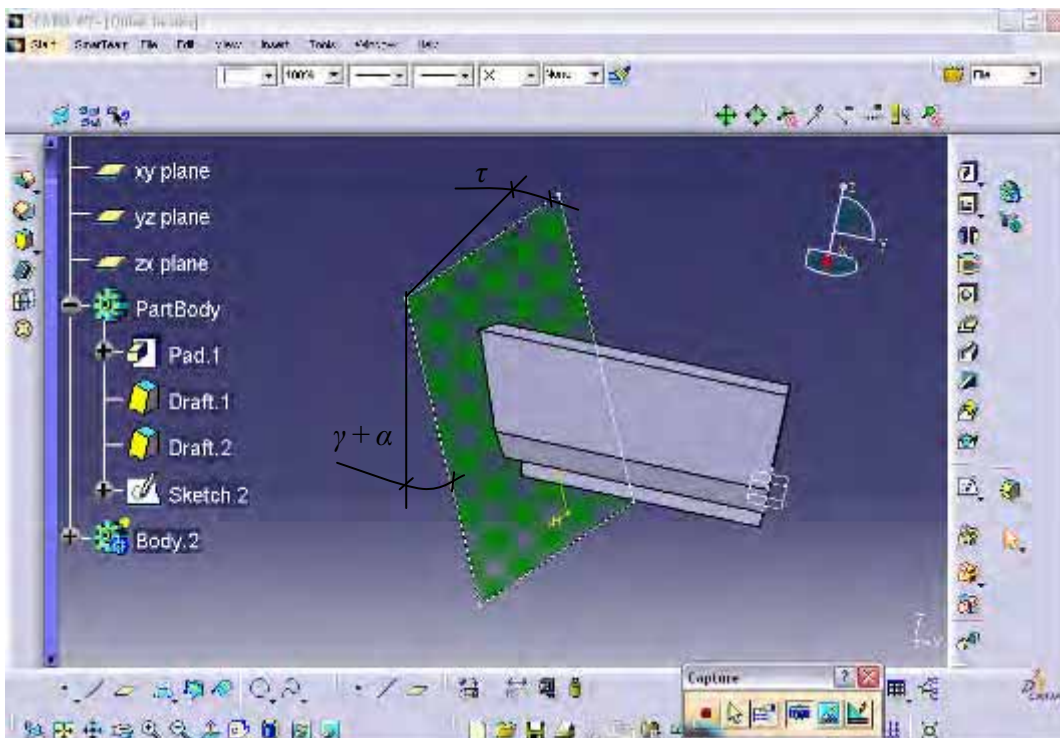
Слика 11. Одређивање координата карактеристичних тачака профила стругарског ножа у његовом

Датотека се састоји од координата карактеристичних тачака профила. Преименовањем имена датотеке koord.dat у [koordinate.rpm](#) и импортовањем као облака тачака у програмски пакет САТИА као и њиховим спајањем се добија профил који је приказан на слици 12.



Слика 12. Профил стругарског ножа генерисан у програмском пакету CATIA на основу датотеке координата карактеристичних тачака која је добијена као излаз из програма

Транслацијом генерисаног профила дуж праве линије и пресеком са равни која је дефинисана збиром грудног и леђног угла као и тангенцијалним углом добија се тродимензиони модел призматичног ножа на основу кога се лако добија радионичка документација, слика 13.



Слика 13. CAD модел призматичног профилног призматичног стругарског ножа

На основу овог алгоритма сачињен је једноставан програм *GeomTanStNoza.f* у програмском језику FORTRAN на основу кога се генерише техничка документација призматичног профилног тангенцијалног стругарског ножа.

4. ЗАКЉУЧАК

Реализација постављених циљева у првој години истраживања омогућила је израду пилот реконфигурабилног мултифункционалног обрадног система на бази робота и развој CAD/CAM система за пројектовање призматичних профилних ножева са радијалним и тангенцијалним примицањем. Остварени резултати у првој години истраживања дају нам за право да сматрамо изведена истраживања веома успешним и да она представљају предуслов за даље активности и завршетак целог пројекта. Пројекат нема партиципанта. У току смо преговора са Фабриком резног алата- Алатницом из Чачка где ћемо приказати досадашње остварене резултате како би им предложили да буду корисници-партиципанти за другу годину истраживања на пројекту. Као проблем реализације пројекта може се навести само недостатак директних материјалних трошкова за набавку хардвера МЦ2 плоче , обрадне јединице , мотора, контролера , вођица, завојних вретена за три додатне осе у комбинацији 1 –ротациона и 1 ротациона и транслагациона као и алата за пресовање тврдог метала ради израде профилног ножа.

5. РЕФЕРЕНЦЕ

- [1] Годишњи извештај пројекта МА14034, Интерни материјал у форми елабората и техничке документације за 2009. годину.
- [2] Бојанић П., Модел базиран на вокселима и његова примена у новим технологијама, 34. ЈУПИТЕР конференција, Зборник радова на ЦД, Београд, јун 2008
- [3] Бојанић П., Интеграција инжењерства на бази примене компјутерана вокселској платформи интерног модела објекта, 32. саветовање производног машинства Србије, Зборник радова, Нови Сад, септембар 2008
- [4] Главоњић, М., Живановић, С., Милутиновић, Д., Димић, З., Едукациона троосна машина са паралелном кинематиком, 34. ЈУПИТЕР конференција, 30. симпозијум НУ-Роботи-ФТС, Зборник радова, ISBN 978-86-7083-628-0, стр.3.27-3.34, Машински факултет, Београд, јун 2008.
- [5] Glavonjic M, Milutinovic D.: Parallel structured milling machines with long X travel, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing Vol 24, Issue 3, pp. 310-320, 2008.
- [6] Milutinovic, D., Glavonjic, M., Zivanovic, S., Dimic, Z., Kvirgic, V.: Mini educational 3-axis parallel kinematic milling machine, *Proceedings of 3rd Interanational Conference on Manufacturing Engineering IC MEN and EUREKA Brokerage Event*, 1-3 october 2008, Kallithea of Chalkidiki, Greece, pp.463-474
- [7] Гостимировић М., Секулић М., Пузовић Р., Modeling of drilling – predicting main cutting force, 12th International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology" ТМТ 2008, Proceedings, str. 101-104, Istanbul, Turska, 26-30.08.2008
- [8] Димић, З., Живановић, С., Квргић, В., Концепт развоја CNC управљања за машине алатке специфичне конфигурације на бази EMC софтвера, 34. ЈУПИТЕР конференција, 30. симпозијум НУ-Роботи-ФТС, Зборник радова, ISBN 978-86-7083-628-0, стр.3.19-3.26, Машински факултет, Београд, јун 2008.
- [9] Димић, З., Живановић, С., Квргић, В., Конфигурање EMC2 за програмирање и симулацију вишеосних машина алатки у Путхон виртуелном графичком окружењу, 32.Саветовање производног машинства са међународним учешћем, Зборник радова ISBN 978-86-7892-131-5, стр.353-356, ФТН Департаман за производно машинство, Нови Сад, 2008.
- [10] Кокотовић Б., АЛГОРИТАМ ЗА ОТКРИВАЊЕ УЛАСКА ЛИНЕАРНОГ ДИНАМИЧКОГ СИСТЕМА У НЕСТАБИЛНО ПОДРУЧЈЕ, 34. ЈУПИТЕР конференција, Зборник радова на ЦД, стр. 3.118-3.125, Београд, јун 2008
- [11] Милићев А., Јанковић Н., Бојанић П., Нека искуства у примени CAD/CAM система при пројектовању дела машинског система – дозера, 34. ЈУПИТЕР конференција, Зборник радова на ЦД, Београд, јун 2008
- [12] Милутиновић, Д., Квргић, В., Димић, З., Живановић, С., Главоњић, М., Мултифункционални реконфигурабилни обрадни систем за вишеосну обраду сложених алата и делова великих габарита, Елаборат, Машински факултет Београд, 2008.

- [13] Милутиновић, Д., Главоњић, М., Живановић, С., Димић, З., Мултифункционални реконфигурабилни обрадни систем на бази робота, 32. Саветовање производног машинства са међународним учешћем, Зборник радова ISBN 978-86-7892-131-5, стр. 369-372, ФТН Департаман за производно машинство, Нови Сад, 2008.
- [14] Димић, З., Живановић, С., Квргић, В., Конфигурисање EMC2 за програмирање и симулацију вишеосних машина алатки у Python виртуелном графичком окружењу, 32. Саветовање производног машинства са међународним учешћем, Зборник радова ISBN 978-86-7892-131-5, стр. 353-356, ФТН Департаман за производно машинство, Нови Сад, 2008.
- [15] Милутиновић, Д., Главоњић, М., Живановић, С., Славковић, Н., Реконфигурабилни обрадни системи на бази петоосног робота, 9. Међународна конференција о достигнућима електротехнике, машинства информатике ДЕМИ 2009, Зборник радова, стр. 273-280, Универзитет у Бањалуци, Машински факултет, Бања Лука, 28.-29. маја, 2009.
- [16] Милутиновић Д., Главоњић М., Живановић С., Кокотовић Б., Славковић Н., Концепција реконфигурабилног мултифункционалног обрадног система на бази робота, Елаборат, 2009.
- [17] Милутиновић М., Методологија пројектовања призматичних профилних ножева, Магистарска теза, Машински факултет у Београду, 21.07.2008
- [18] Тановић Љ., ОДРЖИВОСТ ИНДУСТРИЈЕ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ, 34. ЈУПИТЕР конференција, Зборник радова на ЦД, стр. ТФ.1-ТФ.5, Београд, јун 2008
- [19] Тановић Љ., МЕТАЛОПРЕРАЂИВАЧКА ИНДУСТРИЈА РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ-СТАЊЕ И ПЕРСПЕКТИВА, 32. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA SRBIJE SA MEĐUNARODNIM UČEŠĆEM, 32. саветовање производног машинства Србије, Зборник радова, стр. 595-598, Нови Сад, септембар 2008
- [20] Тановић Љ., Мељничук А. Клименко С.А., ПОСТОЈАНОСТ АЛАТА ПРИ СТРУГАЊУ ПРЕВЛАКА АМОРФНО-КРИСТАЛНЕ СТРУКТУРЕ, Часопис ТЕХНИКА, ИССН 0461-2531, Вол. 57, Број 3, стр. 1-6, 2008

THE DEVELOPMENT OF MULTIAxes MACHINING OF COMPLEX TOOLS FOR DOMESTIC INDUSTRY – RECAPITULATION OF RESULTS ON PROJECT MA14034

Summary

This paper gives a review of research carried out during the first research year on project MA14034 which is carried out by project team formed at Production Engineering Chair at Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade. Besides the review of theoretical and methodological contents a special attention is paid to practical results obtained in this project which anticipate the realization of pilot multifunctional reconfigurable machining system based on robot for multiaxes machining of complex tools and huge parts made of soft materials with lower and medium accuracy class, and on the other hand, machining of cutting tools with complex geometry made of contemporary tool materials based on special kind of hard metal and special steels.

Key words: *Machining system, reconfigurable robot, tool, complex surfaces*