

**UNIVERZITET U BEOGRADU  
MAŠINSKI FAKULTET BEOGRAD  
Kraljice Marije 16**

**PARALELNI DELTA ROBOT ZA PAKOVANJE PROIZVODA  
KONDITORSKE I FARMACEUTSKE INDUSTRIJE I MONTAŽU  
MIKRO KOMPONENATA**

**BEOGRAD, 2012.**

<b>Vrsta tehničkog rešenja</b>	<b>Industrijski prototip DELTA robota M82</b>
<b>Autori tehničkog rešenja</b>	prof. dr Dragan Milutinović, Nikola Slavković, dipl.maš.inž, mr Branko Kokotović, dipl.maš.inž, Zoran Dimić, dipl. inž. el, prof. dr Miloš Glavonjić, mr Milan Milutinović, dipl.maš.inž, i doc. dr Saša Živanović
<b>Naziv tehničkog rešenja</b>	Paralelni delta robot za pakovanje proizvoda konditorske i farmaceutske industrije i montažu mikro komponenata
<b>Za koga je rađeno tehničko rešenje</b>	Industrijski prototip DELTA robota je razvijen na Mašinskom fakultetu u Beogradu u okviru projekta Razvoj nove generacije domaćih obradnih sistema TR-35022
<b>Ko koristi tehničko rešenje</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Istraživačko razvojni institut LOLA d.o.o., Kneza Višeslava 70A, 11030 Beograd, Srbija</li> <li>– Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu za potrebe istraživanja i izvođenja nastave (laboratorijskih vežbi iz dva predmeta na Katedri za proizvodno mašinstvo)</li> </ul>
<b>Godina izrade tehničkog rešenja</b>	2012
<b>Verifikacija rezultata</b>	Od strane recezenata: 1. Prof dr Miroslav Pilipović, redovni profesor Mašinskog fakulteta u penziji 2. Prof. dr Branislav Borovac, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad
<b>Ko je prihvatio tehničko rešenje</b>	Mašinski fakultet u Beogradu
<b>Primena rezultata</b>	Industrija - Pakovanje proizvoda konditorske i farmaceutske industrije i montažu mikro komponenata

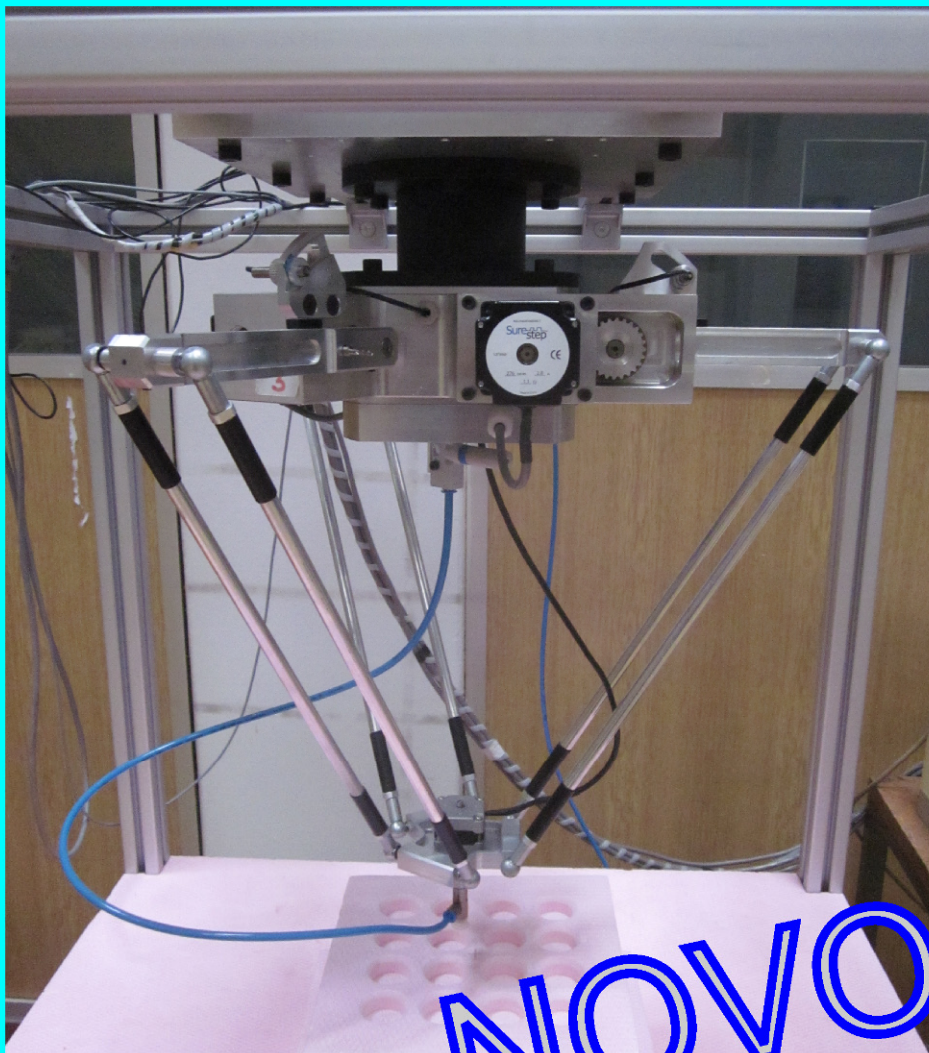
## SADRŽAJ

1	OBLAST NA KOJU SE TEHNIČKO REŠENJE ODNOSI.....	1
2	TEHNIČKI PROBLEM .....	1
3	STANJE TEHNIKE .....	1
4	SUŠTINA TEHNIČKOG REŠENJA .....	2
5	DETALJAN OPIS TEHNIČKOG REŠENJA.....	3
5.1	Modeliranje DELTA robota sa obrtnim zglobovima .....	4
5.1.1	Kinematičko modeliranje DELTA robota sa četiri stepena slobode i osnaženim obrtnim zglobovima .....	5
5.2	Projektovanje i izrada prototipa DELTA robota .....	11
5.2.1	Razvoj sistem upravljanja i programiranja .....	14
5.3	Tehničke karakteristike .....	15
6	ZAKLJUČAK.....	15
7	LITERATURA .....	16
8	PRILOZI.....	i
8.1	Prospekt.....	i
8.2	Mišljenje korisnika .....	v
8.3	Приказ излагања и рада DELTA робота на манифестацији Дани будућности „Роботика“ (24.09.-15.10.2012) коју је организовао Центар за промоцију науке.....	vi

8 PRILOZI

8.1 Prospekt

UNIVERZITET U BEOGRADU  
MAŠINSKI FAKULTET  
KATEDRA ZA PROIZVODNO  
MAŠINSTVO



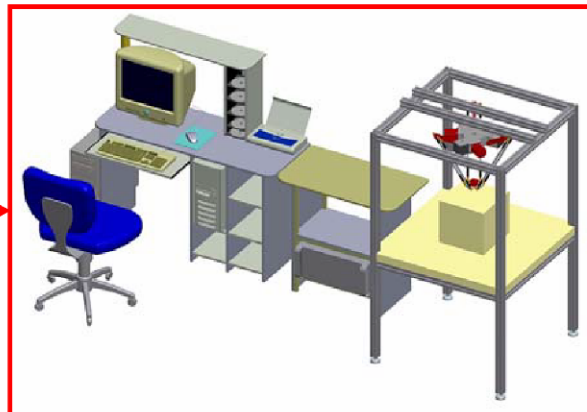
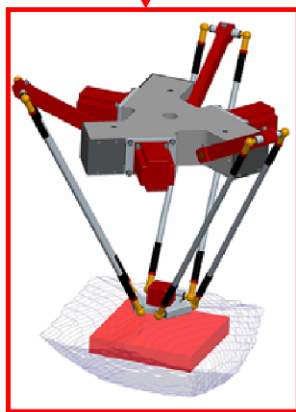
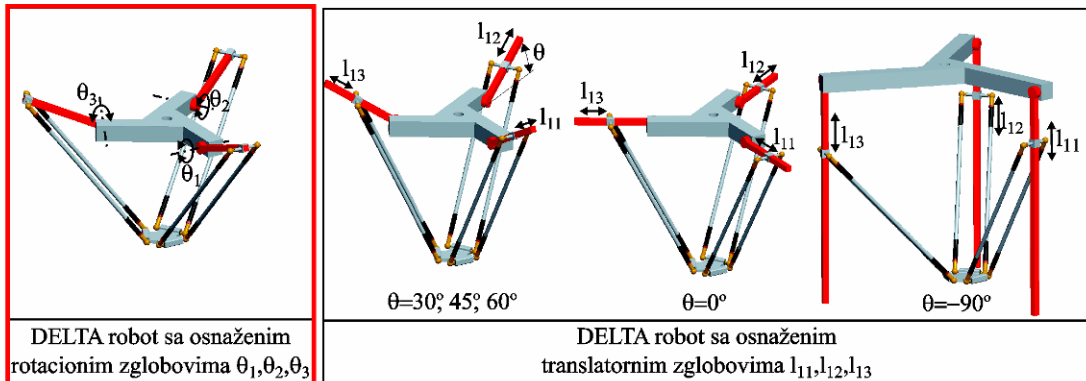
NOVO

DELTA ROBOT

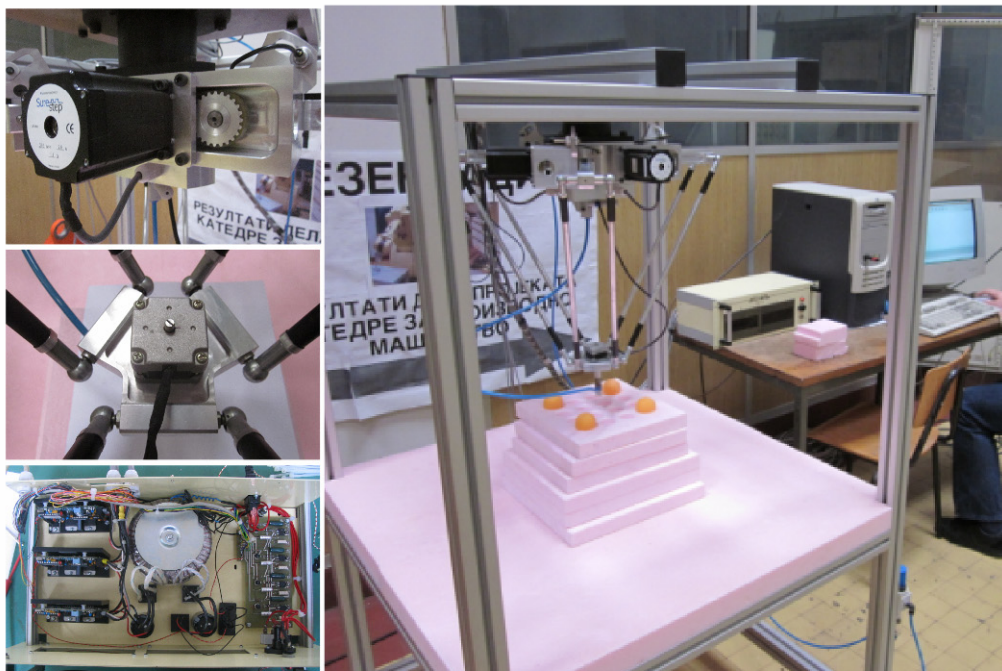


## DELTA KONCEPT

Opštost usvojenog DELTA koncepta omogućava izrazitu modularnost i rekonfigurabilnost kao i stepenast napredak u razvoju, gradnji i primeni robota i mašina alatki baziranih na ovom konceptu. Razvojem prvog domaćeg DELTA robota stvoreni su uslovi za razvoj varijantnih rešenja robota i manjih mašina alatki.

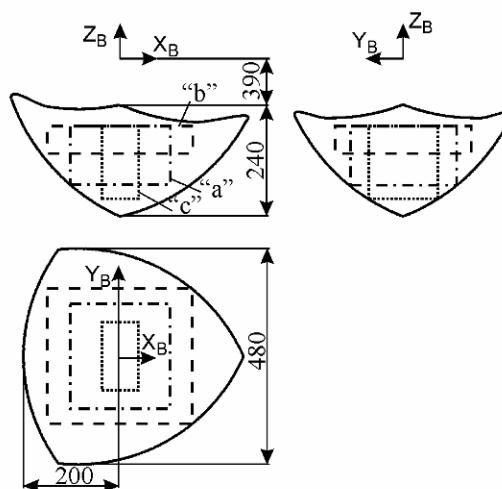
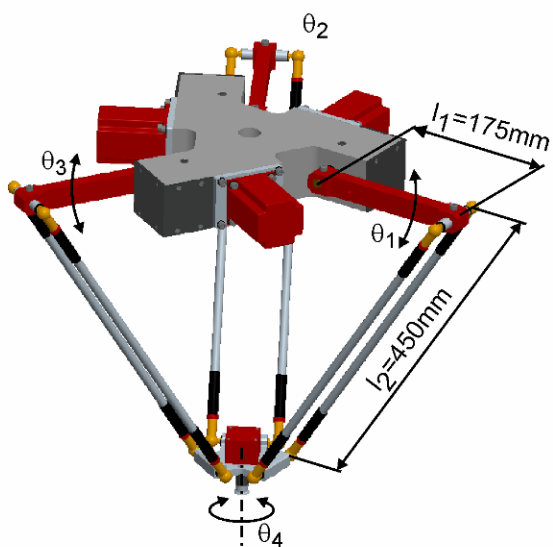


## RAZVOJ DELTA ROBOTA



## TEHNIČKE KARAKTERISTIKE

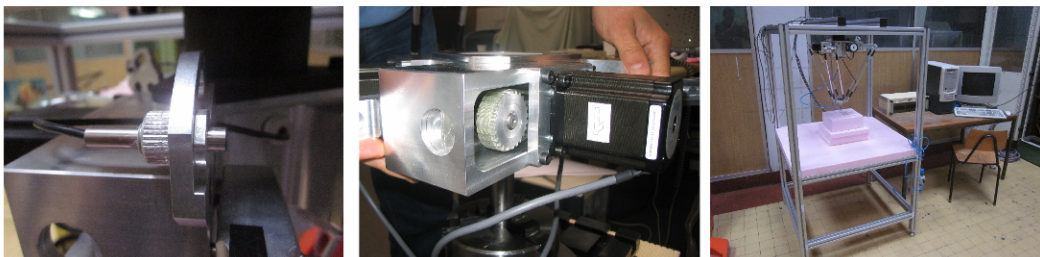
### ■ RADNI PROSTOR ■



Poluprečnik baze:  $R = 100\text{mm}$   
 Poluprečnik platforme:  $r = 40\text{mm}$   
 Dužina end-efektora:  $l_E = 100\text{mm}$

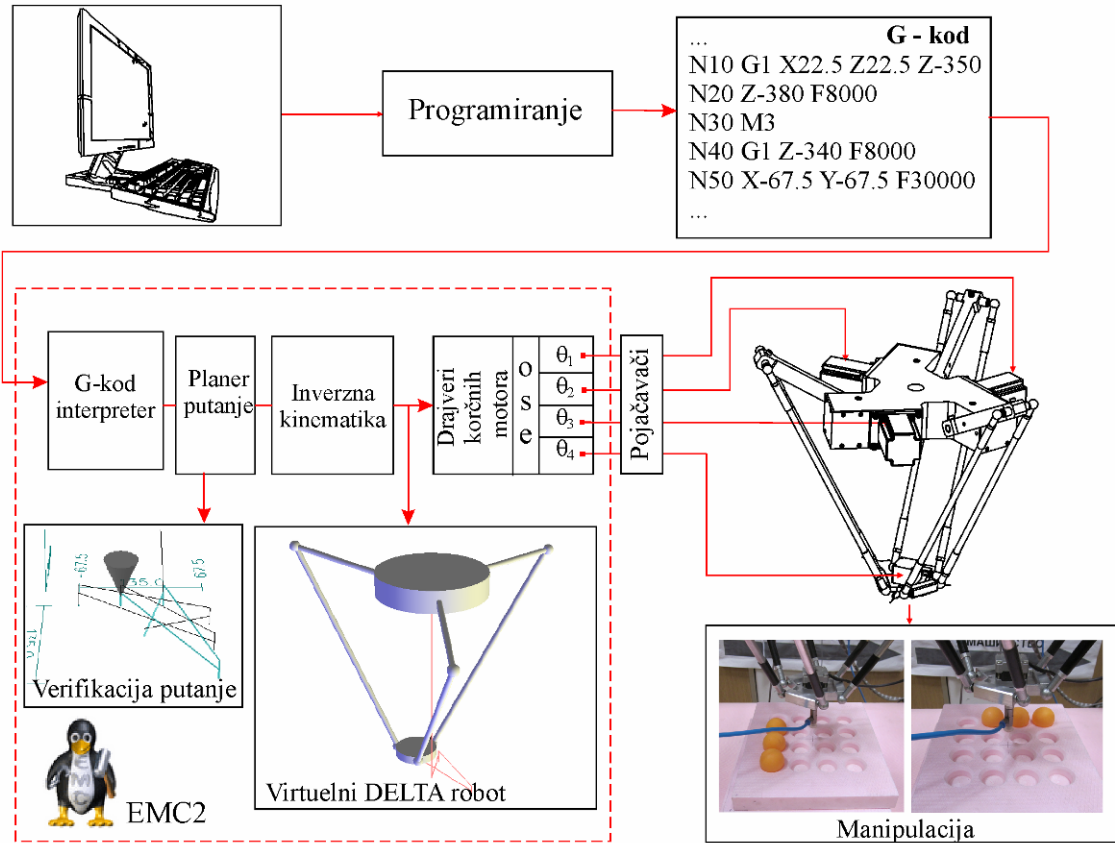
### ■ SPECIFIKACIJA ■

Opsezi kretanja osa pozicioniranja $\theta_1$ , $\theta_2$ i $\theta_3$	$\pm 45^\circ$	Nosivost sa osom orijentacije $\theta_4$	0.2 kg
Brzine osa pozicioniranja $\theta_1$ , $\theta_2$ i $\theta_3$	150 °/s	Nosivost bez ose orijentacije $\theta_4$	0.35 kg
Opseg kretanja ose orijentacije $\theta_4$	$\pm 180^\circ$	End - efektor	pneumatski hvatač
Brzina kretanja ose orijentacije $\theta_4$	240 °/s	Instalisana snaga	500 W
Ponovljivost	$\pm 0.5\text{ mm}$	Masa sa nosećom strukturom	40 kg



## UPRAVLJANJE I PROGRAMIRANJE

Rešenja inverzne i direktne kinematike DELTA robota integrisana su u jezgro EMC2 softvera. Format programa koji koristi EMC2 zasniva se na G kodu po standardu RS274.



```
%
G90 G17
G61
(LOPTICA1)
G1 X-67.5 Y22.5 Z-350 F15000
Z-366 F4000
M3
G4 P1
G1 Z-340 F4000
X67.5 Y67.5 F15000
Z-360 F4000
M4
...
Z-350 F4000
G1 X0 Y0 F15000
M02
%
```

- EMC2 sistemski softver
- Linux operativni sistem
- Ručno programiranje u G - kodu
- Programiranje primenom CAD/CAM sistema
- JOG MOD pozicioniranja u unutrašnjim koordinatama  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ ,  $\theta_3$  i  $\theta_4$  i spoljašnjim koordinatama X, Y, Z i C.
- Proračun svih kretanja u realnom vremenu
- Virtuelni robot za verifikaciju programa i off-line programiranje



Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet  
Katedra za proizvodno mašinstvo  
Kraljice Marije 16, 11120 Beograd 35,  
SRBIJA  
<http://www.mas.bg.ac.rs/>  
<http://cent.mas.bg.ac.rs/>

## 8.2 Mišljenje korisnika



Istraživačko-razvojni institut Lola d.o.o, Kneza Višeslava 70a, 11030 Beograd, Srbija; Tel: +381 (0)11 25 41 303, 25 46 423  
Fax: +381 (0)11 25 44 096; info@li.rs; www.li.rs; Matični broj: 20215852; PIB: 104683803; TR: 200-2438490102871-78

Naš znak: 416 Datum:  
22.11.2012.

**Predmet: Paralelni DELTA robot za pakovanje proizvoda konditorske i farmaceutske industrije i montažu mikro komponenata**

Prototip paralelnog **DELTA robot za pakovanje proizvoda konditorske i farmaceutske industrije i montažu mikro komponenata** je razvijen na Mašinskom fakultetu u Beogradu.

Ovo tehničko rešenje su razvili autori: prof. dr Dragan Milutinović, Nikola Slavković, dipl.maš.inž, mr Branko Kokotović, dipl.maš.inž, Zoran Dimić, dipl. inž. el, prof. dr Miloš Glavonjić, mr Milan Milutinović, dipl.maš.inž, i doc. dr Saša Živanović u okviru projekta **TR-35022 („Razvoj nove generacije domaćih obradnih sistema“)**.

S obzirom da je prototip DELTA robota kompletno završen i ispitan, kao i da je kompletirana tehnička dokumentacija, planiramo njegovu proizvodnju kao baznog modula – radne stanice složenih linija za pakovanje proizvoda konditorske i farmaceutske industrije koje razvijamo za domaće proizvođače. Sam prototip već testiramo na postojećim instalisanim linijama za pakovanje pri čemu smo ustanovili da je zbog svoje paralelne strukture veoma efikasan kako u pogledu tačnosti i brzine tako i u pogledu upravljanja i programiranja.

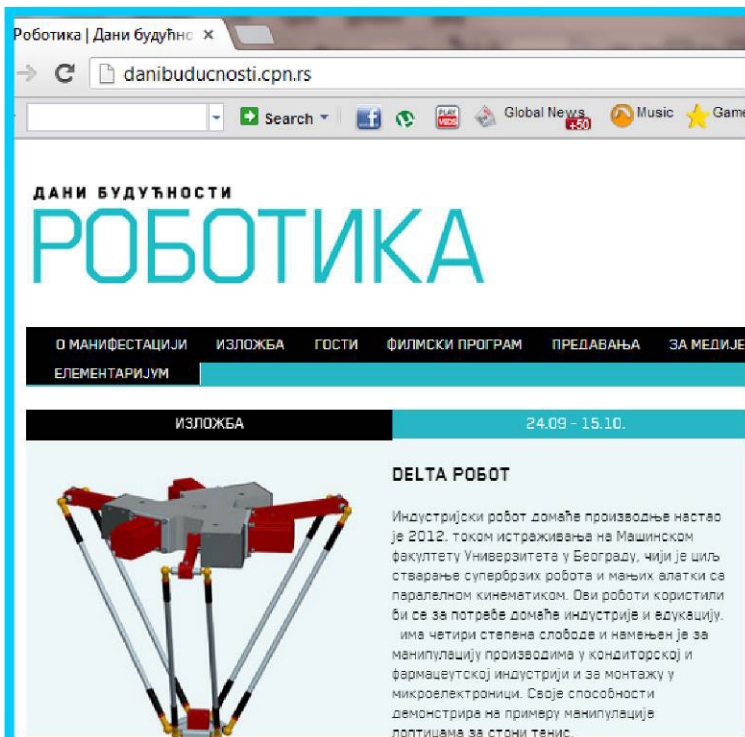


LOLA INSTITUT  
Direktor

Dr. Vladimir Kvrđić, dipl.inž.maš.



### 8.3 Приказ излагања и рада DELTA робота на манифестацији Дани будућности „Роботика“ (24.09.-15.10.2012) коју је организовао Центар за промоцију науке



Naš znak: *416* Datum:  
22.11.2012.

**Predmet: Paralelni DELTA robot za pakovanje proizvoda konditorske i farmaceutske industrije i montažu mikro komponenata**

Prototip paralelnog **DELTA robot za pakovanje proizvoda konditorske i farmaceutske industrije i montažu mikro komponenata** je razvijen na Mašinskom fakultetu u Beogradu.

Ovo tehničko rešenje su razvili autori: prof. dr Dragan Milutinović, Nikola Slavković, dipl.maš.inž, mr Branko Kokotović, dipl.maš.inž, Zoran Dimić, dipl. inž. el, prof. dr Miloš Glavonjić, mr Milan Milutinović, dipl.maš.inž, i doc. dr Saša Živanović u okviru projekta **TR-35022 („Razvoj nove generacije domaćih obradnih sistema“)**.

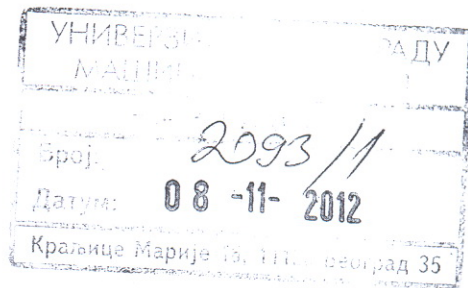
S obzirom da je prototip DELTA robota kompletno završen i ispitan, kao i da je kompletirana tehnička dokumentacija, planiramo njegovu proizvodnju kao baznog modula – radne stanice složenih linija za pakovanje proizvoda konditorske i farmaceutske industrije koje razvijamo za domaće proizvođače. Sam prototip već testiramo na postojećim instalisanim linijama za pakovanje pri čemu smo ustanovili da je zbog svoje paralelne strukture veoma efikasan kako u pogledu tačnosti i brzine tako i u pogledu upravljanja i programiranja.



LOLA INSTITUT  
Direktor

*Vladimir Kvirgić*  
Dr Vladimir Kvirgić, dipl.inž.maš.





ИСТРАЖИВАЧКО-СТРУЧНОМ ВЕЋУ  
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА  
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Продекану за НИД  
Проф. др Војкану Лучанину

**Предмет: Предлог за избор рецензената  
за техничко решење**

Молим Истраживачко-стручно веће да за техничко решење

" ПАРАЛЕЛНИ DELTA РОБОТ ЗА ПАКОВАЊЕ ПРОИЗВОДА КОНДИТОРСКЕ И  
ФАРМАЦЕУТСКЕ ИНДУСТРИЈЕ И МОНТАЖУ МИКРО КОМПОНЕНАТА "

именује два рецензента. Ово техничко решење је урађено у оквиру пројекта ТР-35022 "Развој нове генерације домаћих обрадних система".

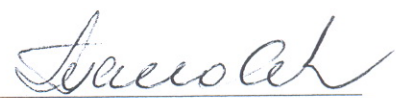
Аутори решења су:

проф. др Драган Милутиновић, дипл.маш.инж,  
Никола Славковић, дипл.маш.инж, асистент, студент докторских студија,  
мр Бранко Кокотовић, дипл.маш.инж, асистент,  
Зоран Димић, дипл. инж. ел, истраживач, студент докторских студија,  
проф. др Милош Главоњић, дипл.маш.инж,  
мр Милан Милутиновић, дипл.маш.инж, докторант и  
доц. др Саша Живановић, дипл.маш.инж.

Наш предлог је да рецензенти буду:

проф. др Мирослав Пилиповић, редовни професор Машинског факултета у пензији,  
проф. др Бранислав Боровац, Факултет техничких наука, Нови Сад

С поштовањем,

  
проф. др Љубодраг Тановић,  
руководилац пројекта

У Београду,  
09. новембра 2012. године

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -  
БРОЈ: 2093/2  
ДАТУМ: 01.11.2012.

На основу захтева проф.др Љубодрага Тановића бр. 2094/1 од 01.11.2012. године и чл. 12.5 Статута Машинског факултета, Истраживачко стручно веће на седници од 01.11.2012. године, донело је следећу

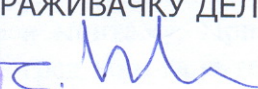
### О Д Л У К У

Да се за рецензенте Техничког решења под насловом: **„Паралелни DELTA робот за паковање производа кондиторске и фармацеутске индустрије и монтажу микро компонената“**, реализованог у оквиру пројекта ТР—35022, чији су аутори: проф.др Драган Милутиновић, Никола Славковић, дипл.инж.маш., мр Бранко Кокотовић, Зоран Димић, дипл.инж.ел., проф.др Милош Главоњић, мр Милан Милутиновић и доц.др Саша Живановић, именују:


- др Мирослав Пилиповић, ред.проф. у пензији и
- проф.др Бранислав Боровац, ФТН, Нови Сад.

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

ПРОДЕКАН  
ЗА НАУЧНОИСТРАЖИВАЧКУ ДЕЛАТНОСТ



Проф.др Војкан Лучанин





Одлуком Истраживачко-стручног већа Машинског факултета у Београду бр 2093/2 од 01.11.2012 године именовани смо за рецензенте техничког решења **"Паралелни DELTA робот за паковање производа кондиторске и фармацеутске индустрије и монтажу микро компонената"** аутора: проф. др Драган Милутиновић, Никола Славковић, дипл.маш.инж, мр Бранко Кокотовић, дипл.маш.инж, Зоран Димић, дипл. инж. ел, проф. др Милош Главоњић, мр Милан Милутиновић, дипл.маш.инж, и доц. др Саша Живановић. На основу предгледа овог техничког решења подносимо следећи:

## ИЗВЕШТАЈ

Техничко решење "Паралелни DELTA робот за паковање производа кондиторске и фармацеутске индустрије и монтажу микро компонената" аутора: проф. др Драган Милутиновић, Никола Славковић, дипл.маш.инж, мр Бранко Кокотовић, дипл.маш.инж, Зоран Димић, дипл. инж. ел, проф. др Милош Главоњић, мр Милан Милутиновић, дипл.маш.инж, и доц. др Саша Живановић је описано на 22 стране А4 формата, и обухвата основни текст и три прилога. Основни текст обухвата 16 страница А4 формата писаних са 12 pt, једним проредом, и садржи 16 слика. Основни текст садржи шест поглавља и списак литературе. Наслови поглавља су:

1. Област на коју се техничко решење односи
2. Технички проблем
3. Стање технике
4. Суштина техничког решења
5. Детаљан опис техничког решења,
6. Закључак, и
7. Литераута

Прилоге 8 чине:

- Прилог 8.1: Проспект DELTA робота на 4 стране са сликом израђеног робота, описом DELTA концепта и развијеним DELTA роботом, техничким карактеристикама, шемом управљачког система и описом програмирања;
- Прилог 8.2: Мишљење корисника;
- Прилог 8.3: Приказ излагања и рада DELTA робота на манифестацији Дани будућности „Роботика“ (24.09.-15.10.2012) коју је организовао Центар за промоцију науке;

Техничко решење припада области машина са паралелном кинематиком односно новој генерацији супербрзих робота за паковање и монтажу. Прихваћено је од стране Истраживачко развојни институт ЈОЛА Д.О.О. Београд који га је тестирао на постојећим инсталисаним линијама за паковање и који планира његову производњу као базног модула сложених линија за паковање производа кондиторске и фармацеутске индустрије које се развијају за домаће произвођаче. Паралелни DELTA робот је такође укључен и у лабораторијске вежбе из предмета Индустријски работи и Машине алатке и работи нове генерације на Катедри за производно машинство. Развијени прототип паралелног DELTA робота представља значајан допринос у развоју робота са паралелном кинематиком у нашој земљи.

Поглавље Технички проблем јасно указује да кинематичко моделирање представља основу за пројектовање, управљање и израду DELTA робота са данас захтеваним високим перформансама. Ову тврдњу поткрепљује чињеница да мали број произвођача робота укључује DELTA робот у свој производни програм.

Поглавље Стање технике указује да је DELTA робот данас основа савремених линија и система за манипулацију и паковање производа прехрамбене, кондиторске и



фармацеутске индустрије. Такође се указује и на недостатке постојећих метода кинематичког моделирања и на потребу за развојем нових приступа кинематичког моделирања на бази минималног броја параметара који треба да буду ефикаснији од постојећих приступа не само у погледу пројектовања, израде, управљања и програмирања већ и у погледу развоја ефикасних алгоритама за калибрацију и компензацију.

Јасно је истакнуто да суштину овог Техничког решења чине:

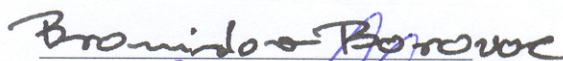
- Специфична метода кинематичког моделирања на бази минималног броја параметара;
- Развијени управљачки систем отворене архитектуре базиран на PC real-time Linux платформи и EMC2 (Enhanced Machine Control) софтверском систему;
- Развијени модулари и реконфигурабилни DELTA робот (израђен прототип са комплетом техничком документацијом за серијску производњу од стране корисника). Такође је показано да је општост DELTA концепта у овом Техничком решењу проширена развојем новог-генерализованог приступа кинематичког моделирања који омогућава изразиту модуларност и реконфигурабилност као и степеност напредак у развоју и градњи не само робота већ и мањих машина алатки;

Детаљним описом Техничког решења је обухваћено: (i) комплетно кинематичко моделирање (решена директна и инверзна кинематика, изведена Јакобијан матрица и Јакобијан матрице директне и инверзне кинематике), (ii) детаљни опис пројектовања и израде прототипа DELTA робота (одређивање и оптимизација пројектних параметара, анализа облика и димензија радног простора, детаљно пројектовање-CAD моделирање, техничка и технолошка документација, набавка и израда компонената, монтажа), и (iii) развој систем управљања и програмирања (развој управљачких алгоритама и софтвера и алгоритама за калибрацију и компензацију, набавка компонената, монтажа, имплементација развијеног управљачког софтвера, софтвера за програмирање у G-коду и виртуелног робота конфигурисаног у Python графичком окружењу). Могућности система су показане на сложеним примерима манипулације дефинисаних са корисником техничког решења.

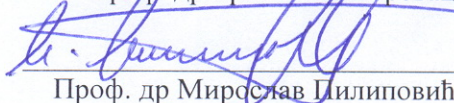
На крају, у оквиру закључка, се наводи да је развијени прототип тестиран од стране корисника који планира производњу DELTA робота као базног модула – радне станице сложених линија за паковање производа кондиторске и фармацеутске индустрије које развија за домаће произвођаче. Развијени прототип DELTA робота се користи и за лабораторијске вежбе из два предмета на Катедри за производно машинство Машинског факултета.

## МИШЉЕЊЕ

Аутори техничког решења **"Паралелни DELTA робот за паковање производа кондиторске и фармацеутске индустрије и монтажу микро компонената"** су јасно приказали и теоријски обрадили комплетну структуру техничког решења. Приказане могућности система на сложеним примерима манипулације дефинисаних са корисником техничког решења као и у извођењу лабораторијских вежби јасно указују да ово техничко решење представља нов допринос у развоју робота са паралелном кинематиком у нашој земљи. Са задовољством предлажемо Истраживачко-стручном већу Машинског факултета у Београду да индустријски прототип **"Паралелног DELTA робот за паковање производа кондиторске и фармацеутске индустрије и монтажу микро компонената"** прихвати као ново техничко решење.



Проф. др Бранислав Боровац



Проф. др Мирослав Филиповић



УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -  
БРОЈ: 2093/3  
ДАТУМ: 15.11.2012.

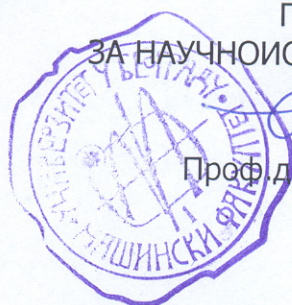
На основу захтева проф.др Љубодрага Тановића бр. 2094/1 од 01.11.2012. године, одлуке о именовању рецензента и чл. 12.5 Статута Машинског факултета, Истраживачко стручно веће на седници од 15.11.2012. године, донело је следећу

### О Д Л У К У

Прихвата се Техничко решење под насловом: **„Паралелни DELTA робот за паковање производа кондиторске и фармацеутске индустрије и монтажу микро компонената“**, реализованог у оквиру пројекта ТР—35022, чији су аутори: проф.др Драган Милутиновић, Никола Славковић, дипл.инж.маш., мр Бранко Кокотовић, Зоран Димић, дипл.инж.ел., проф.др Милош Главоњић, мр Милан Милутиновић и доц.др Саша Живановић, а позитивну рецензију поднели: др Мирослав Пилиповић, ред.проф. у пензији и проф.др Бранислав Боровац, ФТН, Нови Сад.

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

ПРОДЕКАН  
ЗА НАУЧНОИСТРАЖИВАЧКУ ДЕЛАТНОСТ



  
Проф.др Војкан Лучанин