

Milutinović, D., Glavonjić, M., Živanović, S., Dimić Z.

MULTIFUNKCIONALNI REKONFIGURABILNI OBRADNI SISTEM NA BAZI ROBOTA

Rezime: Istraživanje u oblastima tehnologija višeosne obrade i multifunkcionalnih obradnih sistema su danas veoma aktuelna u svetu i značajne su teme istraživanja kako u FP6 i FP7 tako i u EUREKA programu. Ova istraživanja su snažno podržana od industrija visokorazvijenih zemalja. Istraživanje i razvoj tehnologija višeosne obrade i multifunkcionalnih rekonfigurabilnih obradnih sistema čiji se deo rezultata opisuje u ovom radu se odnosi na obradu složenih estetskih i funkcionalnih površina na delovima većih gabarita, niže i srednje klase tačnosti. Za ove oblasti primene u domaćoj industriji se umesto velikih i skupih petoosnih mašina alatki u ovom radu opisuje planirana realizacija multifunkcionalnog rekonfigurabilnog obradnog sistema na bazi postojećeg šestoosnog industrijskog robota domaće proizvodnje.

Cljučne reči: mašine alatke, roboti, multifunkcionalni obradni sistem

ROBOT BASED MULTIFUNCTIONAL RECONFIGURABLE MACHINING SYSTEM

Abstract: Research and development in the fields of multi-axis machining and multifunctional machine tools are very intensive world wide. Also they are significant research topics in FP6, FP7 and EUREKA! programs. These research activities or supported from industries of developed countries. This paper presents the part of research results in the development of robot based reconfigurable multi-functioned machining system for large parts of soft materials with modest tolerances and sculptured surfaces.

Key words: machine tool, robot, multi-functional machining system

1. UVOD

Stalni i sve brži razvoj novih proizvoda nametnut oštrm konkurencijom u mnogim industrijama kao što su avio i automobilska industrija, vojna industrija, energetski sektor itd., uslovljava izuzetno brz i dinamičan razvoj u domenu proizvodnih tehnologija. Ovakav razvoj pred proizvođače mašina alatki postavlja sve teže i vrlo oprečne zahteve. Sa jedne strane radi se o vrlo složenoj geometriji delova u malim serijama ili čak unikatnoj proizvodnji, dok se sa druge strane zahteva visoka tačnost i kvalitet obrade kao i visoka produktivnost.

Traženje rešenja za ove sve složenije zahteve je veoma inteziviralo istraživanja u ovoj oblasti koja su snažno podržana od proizvođača mašina alatki i druge proizvodne opreme. Pored 5-oosnih mašina alatki i rekonfigurabilnih obradnih sistema danas su veoma aktuelna istraživanja u oblasti multifunkcionalnih mašina alatki. Iz ove oblasti je pokrenuto i nekoliko velikih projekata u Japanu, SAD i EU (FP7 i EUREKA!). Međunarodna akademija za istraživanja u proizvodnom mašinstvu – CIRP (The International Academy for Production Engineering), sa sedištem u Parizu, je u okviru Naučno tehničkog komiteta za mašine (STC-M) kroz dva uvodna referata [1,2] dala preseke stanja i pravce istraživanja u oblasti rekonfigurabilnih obradnih sistema i virtuelnih mašina alatki. Za Generalnu skupštinu CIRP-a avgusta ove godine je u pripremi uvodni referat od većeg broja koautora na temu multifunkcionalnih mašina alatki koje odlikuje veliki broj osa, mogućnost izvođenja različitih metoda obrade rezanjem pa čak i laserskih metoda lokalne termičke obrade. Koncept multifunkcionalnih mašina takođe uključuje merenje i kontrolu delova, automatsku izmenu alata itd [3]. Osnovna ideja je da se složeni delovi iz date klase kompletno obrade na jednoj mašini i u jednom postavljanju. Ovaj koncept je zasnovan na velikom broju upravljanih osa

mašine i višeosnom obradom različitim kombinacijama osa mašina.

Multifunkcionalne mašine alatke za delove složene geometrije i visoke tačnosti, zbog svoje cene i dimenzija radnog prostora, ne pokrivaju oblast delova velikih dimenzija od mekših materijala i niže klase tačnosti koji se takođe odlikuju složenim funkcionalnim i estetskim površinama. Kao jedno od mogućih rešenja multifunkcionalnih mašina za ovu oblast predstavljaju industrijski roboti.

Polazeći od dugogodišnjeg iskustva Katedre za proizvodno mašinstvo Mašinskog fakulteta u Beogradu, pokrenut je projekat razvoja pilot rekonfigurabilnog multifunkcionalnog obradnog sistema na bazi robota za delove većih gabarita od mekših materijala, niže klase tačnosti i sa složenim estetskim i funkcionalnim površinama. U ovom radu se daje postavka koncepta multifunkcionalnog obradnog sistema na bazi robota domaće proizvodnje.

2. ROBOTI U OBRADI REZANJEM

Kao što je pomenuto, savremene 5-oosne i multifunkcionalne mašine alatke karakteriše visoka cena i relativno mali radni prostor. Ove činjenice su snažno motivisale proizvođače robota da pokriju prostor obrade velikih delova sa složenim površinama od mekih materijala i niže klase tačnosti. Industrijski roboti na današnjem nivou razvoja imaju izuzetne karakteristike u pogledu nosivosti, tačnosti i dinamike. Poredeći ih sa 5-oosnim mašinama alatkama, za pomenutu klasu zadataka, odlikuje mnogo veći radni prostor i cena koja je niža za red veličine (prosečno 50 do 60 hiljada evra). Međutim, osnovni nedostatak današnjih robota je njihovo programiranje. Naime, svaki proizvođač robota ima svoj jezik za programiranje. S obzirom da su roboti po definiciji multifunkcionalne mašine, robotski jezici pokrivaju vrlo različite oblasti primene robota kao što su

manipulacija, zavarivanje, bojenje i tzv. pomoćne operacije obrade kao što su obaranje ivica, čišćenje, poliranje i slično. Programski jezici za robote su u kombinaciji sa obučavanjem pogodni za slučajeve gde se jednom napisan program koristi duže vremena. Međutim, za primenu robota u brzom izradi prototipova ili u višeosnoj obradi programiranje robota programskim jezicima je veoma složeno i dugotrajno. Razlog za ovo leži u nedovoljnoj kooperativnosti proizvođača robota u poređenju sa proizvođačima mašina alatki koji su bili spremni da koriste CAD/CAM sisteme na bazi standarda RS274, odnosno G kod. Prema [4,5] razlog za ovo je ležao u relativno malom tržištu robota, ali i nespremnosti proizvođača robota da otkriju detalje svog upravljačkog softvera.

U cilju savladavanja ove ozbiljne barijere za primenu robota u višeosnoj obradi mekših delova velikih gabarita danas je pokrenuto nekoliko projekata kako od velikih i renomiranih proizvođača robota (KUKA, Motoman, Fanuc, Staubli), tako i od proizvođača softvera (Delcam). Osnovni cilj ovih projekata je razvoj softvera za prevođenje G koda generisanih iz postojećih postprocesora za petoosne mašine alatke, na njihove robotske programske jezike.

3. POSTAVKA KONCEPTA SISTEMA

Potrebu za tehnologijom višeosne obrade složenih estetskih i funkcionalnih površina kao i za rekonfigurabilnim multifunkcionalnim obradnim sistemima imaju preduzeća u oblastima: izrade delova od lakih legura, obrade drveta, obrada drugih nemetala (kamen, plastika, staklo, kompozit), livenje metala (modeli, kalupi za jezgra i sl.), izrada alata za proizvode od kompozita (korita čamaca, kabine vozila, ljski lopatica, branika i sl.). Takođe značajan prostor za primenu multifunkcionalnih obradnih sistema predstavljaju i potrebe za restauracijom objekata kulturne baštine (crkve, manastiri, spomenici i sl.), kao i pozorišna i filmska scenografija.

Planirani rekonfigurabilni multifunkcionalni obradni sistem na bazi robota za izabranu klasu delova treba da obezbedi brzu izradu, na jednom mestu, složenih delova velikih gabarita od mekših materijala niže klase tačnosti sa složenim površinama generisanim raspoloživim CAD/CAM sistemima i metodama reverznog inženjersva.

Ovakav sistem bi imao višestruko nižu cenu od postojećih multifunkcionalnih mašina alatki i zadovoljio zahteve u pogledu obrade niže klase tačnosti.

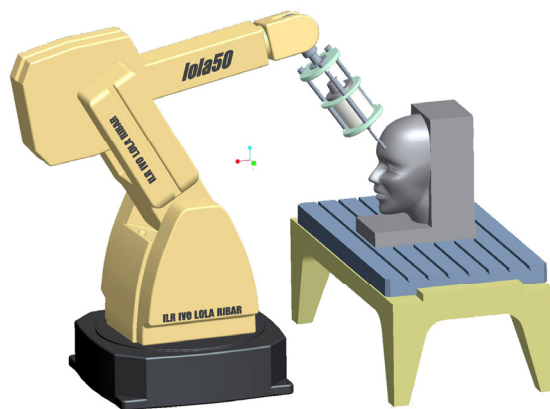
Postavka koncepta multifunkcionalnog rekonfigurabilnog obradnog sistema na bazi robota koja se ovde ukratko daje se bazira na:

- raspoloživom 6-ooenom robotu domaće proizvodnje LOLA 50, velikog radnog prostora, nosivosti i krutosti, slika 1.

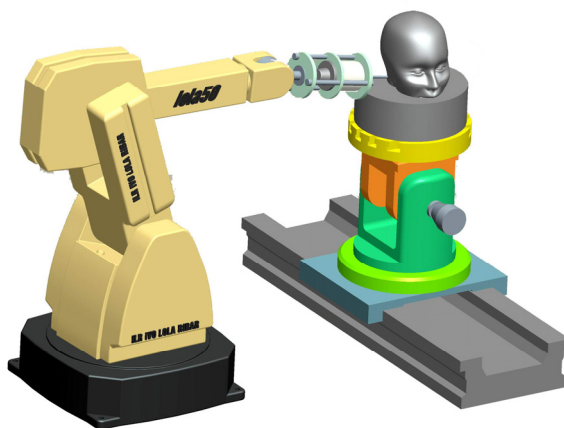


Slika 1. Industrijski robot LOLA 50

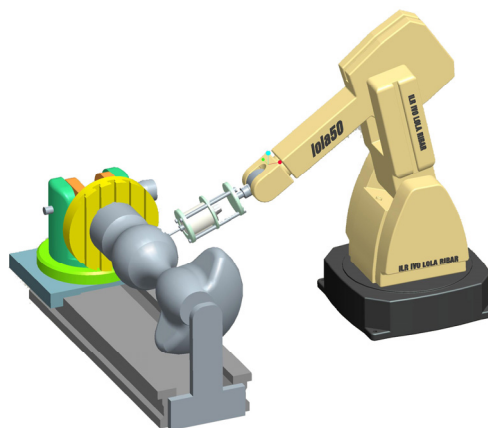
- iako je ovaj robot relativno starije konstrukcije poseduje zadovoljavajuću krutost i tačnost za ovaj pilot multifunkcionalni rekonfigurabilni obradni sistem;
- upravljačkom sistemu koji se konfigurise na bazi EMC2 (*Enhanced Machine Controller*), softvera i PC hardvera, koji će omogućiti programiranje u G-kodu, za sva kretanja koja ostvaruje robot, slika 2.
- mogućnost dogradnje dodatnih osa (pozicionih i kontinualnih) za specifične višeosne obrade, slike 3 i 4.



Slika 2. CAD model robota LOLA 50 pri petoosnoj obradi nepokretnog obratka



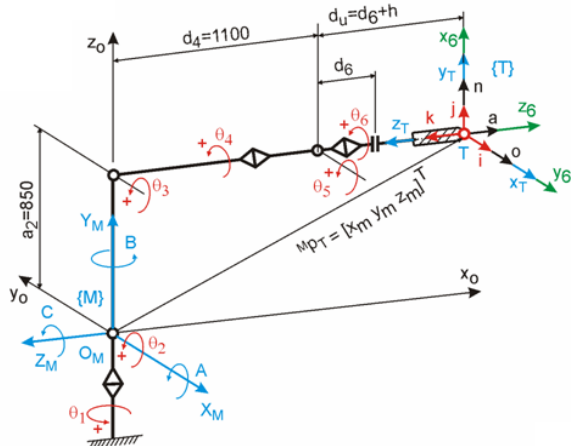
Slika 3. CAD model robota LOLA 50 pri petoosnoj obradi sa dodatnom kontinualnom obrtnom osom



Slika 4. CAD model robota LOLA 50 pri petoosnoj obradi nesimetričnog dugačkog obratka sa dodatnom obrtnom osom

3. UPRAVLJANJE I PROGRAMIRANJE

Upravljački sistem na bazi robota je baziran na PC Linux platformi i upravljačkom softveru otvorene arhitekture EMC2, koji je namenjen za upravljanje mašina alatki serijske i paralelne kinematike i robota. Ovaj softver je veoma popularan na univerzitetima širom sveta jer se jednostavno konfigurise za upravljanje različitim mašinama. EMC2 je izrađen na osnovi NIST-ove (National Institute of Standards and Technology) RCS (Real-time Control System) metodologije i programiran je korišćenjem RCS biblioteke. Kinematičko modeliranje robota LOLA 50 je izvršeno po konvenciji za petoosne horizontalne mašine alatke slika 5 [1].



Slika 5. Kinematički model robota LOLA 50

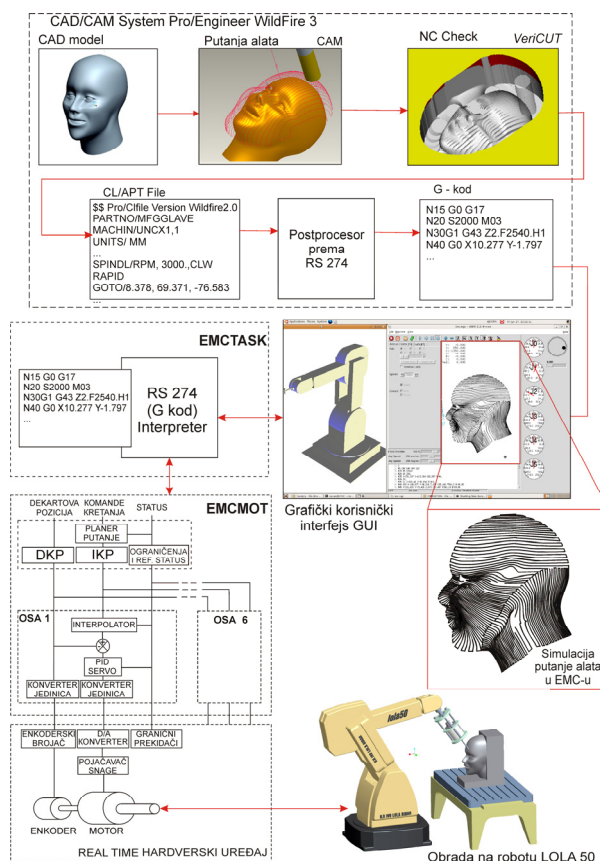
Modeliranje robota LOLA 50 je izvršeno po Denavit-Hartenberg-ovoj konvenciji s tim što su uvedene dve dodatne transformacije koje se odnose na koordinatne sisteme alata i mašine po konvenciji za petoosne horizontalne mašine alatke. Pozicija i orijentacija alata, odnosno koordinatnog sistema vezanog za vrh alata {T}, u odnosu na koordinatni sistem mašine {M} je definisana jednačinom (1)

$${}^M_T = {}^M_O T \cdot {}^O_6 T \cdot {}^6_T T = \begin{bmatrix} i_x & j_x & k_x & x_m \\ i_y & j_y & k_y & y_m \\ i_z & j_z & k_z & z_m \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

gde matrica ${}^O_6 T$ određuje poziciju i orijentaciju koordinatnog sistema $Ox_6y_6z_6$ vezanog za vrh endefektora u odnosu na koordinatni sistem $Ox_0y_0z_0$, vezanog za bazu robota. Matrica ${}^6_T T$, definiše poziciju i orijentaciju koordinatnog sistema {T} u odnosu na koordinatni sistem $Ox_6y_6z_6$. Matrica ${}^M_O T$ definiše poziciju i orijentaciju baznog koordinatnog sistema robota u odnosu na usvojeni koordinatni sistem mašine.

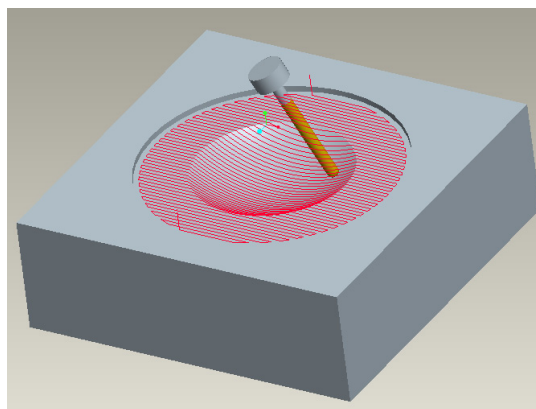
Za ovako postavljene kinematički model rešeni su direktni i inverzni kinematički problem, napisane su odgovarajuće funkcije u C++ jeziku i integrisane sa HAL (Hardware Abstarct Layer) u EMC2-u.

Polazeći od postavljenog cilja da se planirani multifunkcionalni rekonfigurabilni obradni sistem na bazi robota programira kao CNC mašina alatka primenom G-koda (RS274), dobijenog iz raspoloživih CAD/CAM sistema, sistem upravljanja i programiranja je konfigurisan kao što je pokazano na slici 6.

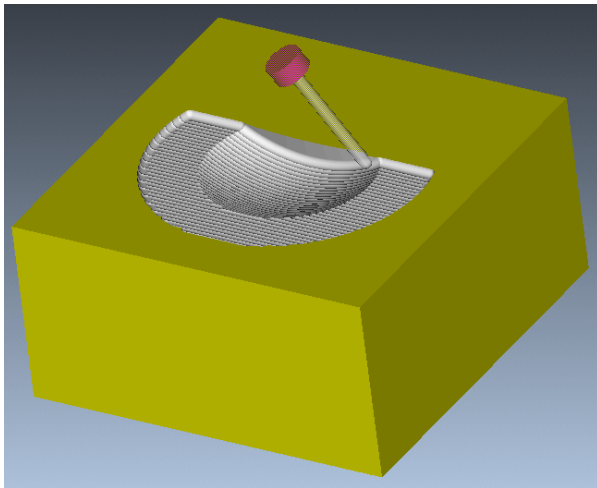


Slika 6. Koncept sistema upravljanja i programiranja

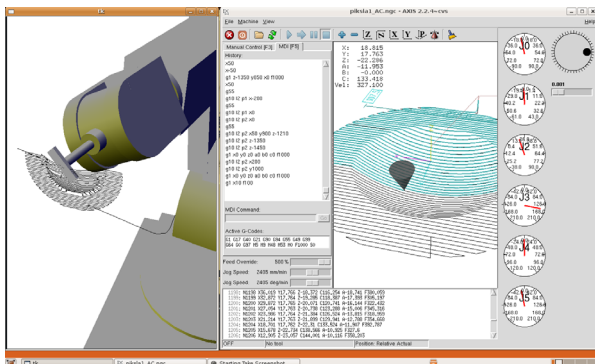
Polazi se od CAD modela za koji se u CAD/CAM sistemu (Pro/Engineer) generiše putanja alata (CLF – Cutter Location File), slika 7. Za dobijenu putanju alata prvo se vrši njena verifikacija u VeriCUT okruženju (slika 8), a zatim pristupa postprocesiranju CLF radi dobijanja G-koda za petoosnu horizontalnu glodalicu. Razmatrane su varijante postprocesora za konfiguracije mašina (X,Y, Z,A,B) i (X,Y, Z,A,C), gde X,Y,Z predstavlja poziciju vrha alata, a A,B i C uglove orijentacije alata. Za varijantu sistema sa slike 2, odnosno slike 5, gde sva kretanja izvodi robot usvojen je postprocesor za konfiguraciju mašine (X,Y, Z,A,C). Tako dobijeni G-kod se učitava u upravljački softver EMC2 gde se najpre vrši verifikacija programa na virtualnoj mašini u realnom vremenu, slika 9, a zatim se upravljački signali sa sigurnošću mogu usmeriti ka realnoj mašini. Verifikacija programa u realnom vremenu na virtualnoj mašini je neophodno zbog kinematike robota koja se bitno razlikuje od kinematike petoosnih mašina alatki (3 translatorne + 2 obrtne ose) čiji se G-kod preuzima.



Slika 7. Generisanje putanje alata u CAD/CAM sistemu



Slika 8. Verifikacija programa u VeriCUT okruženju



Slika 9. Verifikacija programa na virtuelnoj mašini

4. ZAKLJUČAK

U radu je pokazan koncept rekonfigurabilnog multifunkcionalnog obradnog sistema na bazi robota, kao deo istraživanja na projektu Razvoj tehnologija višeosne obrade složenih alata za potrebe domaće industrije.

U ovoj fazi istraživanja prvo je konfigurisan virtuelni sistem upravljanja i programiranja za slučaj 5-oosne obrade robotom sa 6 stepeni slobode pri čemu sva kretanja ostvaruje robot. Nakon toga je tako konfigurisan sistem implementiran na realnom robotu LOLA 50, čime je zamenjena postojeća upravljačka jedinica, koja je imala PTP (Point to Point) uravljanje i sistem programiranja obučavanjem.

Suštinu novo konfigurisanog sistema upravljanja i programiranja čini mogućnost programiranja robota u višeosnoj obradi pomoću G-koda. Ovaj pristup se bitno razlikuje od postojećih sistema programiranja robota robotskim jezicima, što je za obradu veoma komplikovano. Takođe, ovako konfigurisan sistem upravljanja i programiranja se razlikuje i od danas aktuelnih pokušaja da se za obradu robotima, vrši prevođenje G-koda u robotske jezike.

Sistem je testiran na većem broju primera, koji su programirani u raspoloživom CAD/CAM sistemu.

U narednim fazama istraživanja definišće se broj, vrste i rapored dodatnih pomoćnih i pozicionih translatorskih i obrtnih osa. Ovo znači da će se sistem upravljanja i programiranja modifikovati tako da će omogućiti petoosnu obradu različitim kombinacijama osa robota i dodatnih pomoćnih osa.

5. IZJAVA ZAHVALNOSTI

Ovaj rad je nastao u okviru istraživanja na projektu Razvoj tehnologija višeosne obrade složenih alata za potrebe domaće industrije, koji je podržan od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj, Vlade Republike Srbije.

6. LITERATURA

- [1] Koren, Y., Heisel, U., Jovane, F., Moriwaki, T., Pritschow, G., Usloy, G., Van Brassel, Reconfigurable Machining Systems, CIRP Annals, Vol.48/2/1999, pp. 527-540
- [2] Altintas, Y., Brecher, M., Weck, M., Witt, S., Virtual machine tool, CIRP Annals, Vol.54/2/2005, pp. 651-674
- [3] Moriwaki, T., Altintas, Y., Multi-Functional machine tool, CIRP Annals, Vol.57/2/2008 (u štampi)
- [4] Bates, C., Move over machine tools here come robots, American Machinist Vol. 02/17/2006.
- [5] Webb, G., Morel, M., K., Robots: The Lower Cost, More Flexible Process Improvement Alternative to CNC Machine Tools, <http://www.Robotmaching.com>
- [6] Milutinović, D., Kvirgić, V., Dimić, Z., Živanović, S., Glavonjić, M., Multifunkcionalni rekonfigurabilni obradni sistem za višeosnu obradu složenih alata i delova velikih gabarita, Elaborat, Mašinski fakultet Beograd, 2008.
- [7] EMC, Enhanced Machine controller web site, <http://www.linuxcnc.org>
- [8] NIST, National Institute of Standards and Technology web site, <http://www.nist.gov>
- [9] Dimić, Z., Živanović, S., Kvirgić, V., Konfigurisanje EMC2 za programiranje i simulaciju višeosnih mašina alatki u Python virtuelnom grafičkom okruženju, XXXII Savetovanje proizvodnog mašinstva sa međunarodnim učešćem, Novi Sad, 2008. (rad u pripremi)

Autori: prof dr Dragan Milutinović, prof dr Miloš Glavonjić, mr Saša Živanović¹⁾, Zoran Dimić²⁾.

¹⁾ Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Katedra za proizvodno mašinstvo, kraljice Marije 16, 11120 Beograd, Srbija, Tel: +381 11 3302-415, Fax: +381 11 3370-364.

²⁾ LOLA Institut, Kneza Višeslava 70a, Beograd, Srbija, Tel.: +381 11 254 2510.

E-mail: dmilutinovic@mas.bg.ac.yu
mglavonjic@mas.bg.ac.yu
szivanovic@mas.bg.ac.yu
dimic@lola-ins.co.yu