



S. Živanović¹

PROGRAMIRANJE MAŠINA SA PARALELNO KINEMATIKOM NA PRIMERU P3

Rezime

U radu se predstavlja pristup programiranju mašina sa paralelnom kinematikom, na bazi već realizovanog i instalisanog simulatora mašine sa paralelnom kinematikom pod nazivom P3. Izložena metodologija se koristi za edukaciju, kao i u daljim istraživanjima, jer ovakve mašine zahtevaju nova znanja, nove komponente za gradnju, nove sisteme za programiranje i nove korisnike, kojima će ovakva znanja sada ili kasnije biti potrebna.

1. UVOD

Mašine alatke se upravljaju geometrijom obratka, tako što se ova geometrija preslikava u odgovarajuća kretanja delova mašine, omogućavajući relativno kretanje alata i obratka, odnosno obradu. Cilj nam je da upravljanje mašina možemo interpretirati geometrijom obratka, tako što ćemo tu geometriju da digitalizujemo, odnosno opišemo je brojevima. U tom smislu možemo razlikovati nekoliko etapa:

1. pretvaranje geometrije u brojeve (ručno, primenom matematičkih formula, modeliranjem obratka primenom CAD tehnika,
2. proračun putanje alata (programiranje, upotreba CAM programskih paketa),
3. unutrašnja interpolacija (prevođenje geometrije obratka u cifarskom obliku preko linearne, kružne ili neke druge interpolacije u odgovarajuća kretanja alata i/ili obratka).

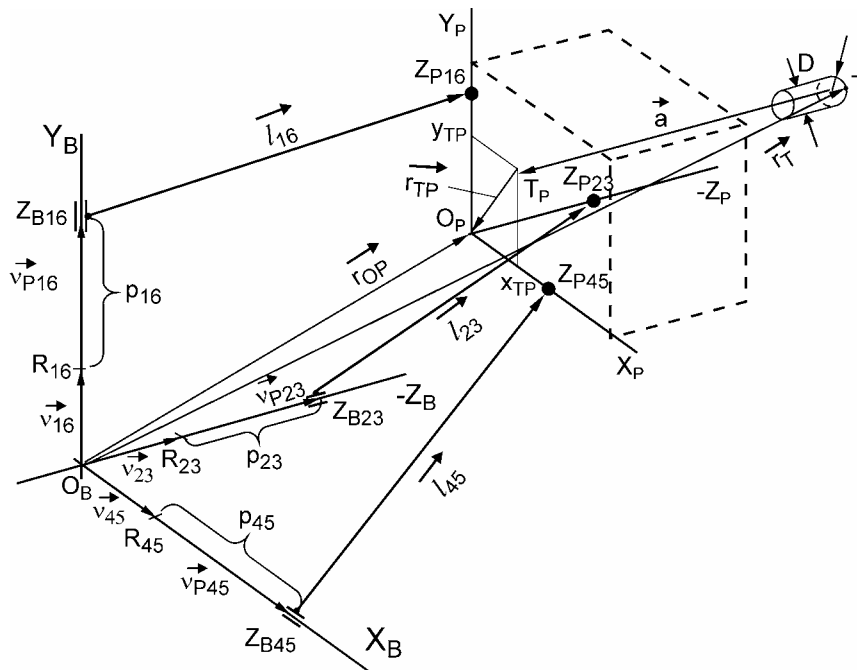
U radu se razmatra programiranje mašina sa paralelnom kinematikom (MPK), na primeru razvijene i instalisane mašine P3. Treba uočiti ključne razlike mašina sa paralelnom kinematikom u odnosu na one sa tradicionalnom koncepcijom (serijska kinematika). Serijske mašine alatke kod kojih se ose mašine sekvencijalno nadovezuju postoji uparenost osa mašine i potrebnih kretanja alata u odnosu na obradak. Međutim kod mašina sa paralelnom kinematikom, svojstvena je neuparenost osa mašine i potrebnih kretanja alata u odnosu na obradak u programiranju. Radi toga se i metod programiranja mora postaviti na nov način. Pogodnost je lakoća rešavanja inverznog kinematičkog problema za ovakve mehanizme. Ako je za upravljanje tradicionalnih NUMA bilo vrlo jednostavno ostvariti pravolinijsko kretanje po nekoj od osa, kod mašina sa paralelnom kinematikom za najobičnije pravolinijsko kretanje je potrebno ostvariti preračunavanje kretanja po svim raspoloživim osama.

Troosna mašina P3 je realizovana kao tehnološki modul koji se ugrađuje na postojeće ose obradnog centra HBG80, koji ćemo smatrati mašinom tipa P1. Uopštena skica, sa osnovnim parametrima mašine P3, data je na slici 1. Kretanje klizača na mašini P3 ostvaruje se pomoću osnovne mašine tipa P1. Za P3 to su pogonske ose. Kretanja platforme po koordinatnim pravcima ovde se zovu virtuelnim osama mašine. Ostvaruju se tek pomoću programiranja mašine sa paralelnom kinematikom, ovde P3.

¹ Mr Saša Živanović, dipl.maš.inž., Katedra za Proizvodno mašinstvo, Mašinski Fakultet, Beograd, 27.marta 80, zivanos@alfa.mas.bg.ac.yu

2. KINEMATIČKI MODEL P3

Ovde se daje uopšteni kinematički model, iako je o njemu bilo reči i u ranijim radovima, iz razloga objašnjavanja potrebnih parametara koji su predstavljeni u algoritmu na slici 3.



Slika 1. Kinematički model P3 sa parametrima

LEGENDA:

R_{16}, R_{23}, R_{45} - referentne tačke pogonskih osa, $Z_{B16}, Z_{B23}, Z_{B45}$ - zglobovi na bazama srednjih pogonskih osa, $Z_{P16}, Z_{P23}, Z_{P45}$ - zglobovi na platformi, $O_B (x_B, y_B, z_B)$ - bazni koordinatni sistem, $O_P (x_P, y_P, z_P)$ - koordinatni sistem platforme, \vec{r}_{OP} - vektor položaja O_P , $\vec{l}_{16}, \vec{l}_{23}, \vec{l}_{45}$ - vektori spojki, \vec{r}_T - vektor vrha alata, $T (x_T, y_T, z_T)$ - vrh alata, $T_P (x_{TP}, y_{TP})$ - podnožje alata u ravni (X_P, Y_P) .

Razmatrana mašina je troosna. Proračun se sprovodi sa srednjim računskim osama. Pretpostavlja se da su $O_B R_{16} = O_P Z_{P16}$, $O_B R_{23} = O_P Z_{P23}$, $O_B R_{45} = O_P Z_{P45}$. Sve spojke su iste dužine $l = 848.526$ mm. Koordinate podnožja alata u ravni (X_P, Y_P) iznose $x_{TP} = y_{TP} = 25$ mm. Vektor \vec{a} ima intenzitet $h = 110$ + prepust vrha alata T ispred čela platforme. Prečnik alata koji se koristi za obradu prilikom izvođenja eksperimenta je $D=6$ mm.

Zadatak je da se izvrši programiranje mašine tipa P1 (HBG80) za pokretanje simulatora P3, čime je u stvari realizovana mašina sa paralelnom kinematikom. Za ove potrebe treba rešiti inverzni kinematički problem. Zbog svoje jednostavnosti rešenje se može ostvariti pomoću vektorskog računa, polazeći od $\vec{r}_{OP} = \vec{r}_T - \vec{a} - \vec{r}_{TP}$. Pretpostavka je da će se realizovanim postprocesorom dobiti hodograf vektora \vec{r}_T , koji nije ništa drugo nego putanja alata. Sa slike 1. može se uočiti da je $\vec{v}_{ij} + \vec{v}_{Pij} + \vec{l}_{ij} - \vec{u}_{ij} = \vec{r}_{OP}$, odnosno $\vec{v}_{Pij} + \vec{l}_{ij} = \vec{r}_{OP}$. Ova vektorska jednačina se može napisati za primer $ij=16$ na sledeći način:

$l_{16x}\vec{i} + (p_{16} + l_{16x})\vec{j} + l_{16z}\vec{k} = x_P\vec{i} + y_P\vec{j} + z_P\vec{k}$. Odavde sledi da je $l_{16x} = x_P$, $p_{16} + l_{16y} = y_P$ i $l_{16z} = z_P$. Pošto je $l_{16x}^2 + l_{16y}^2 + l_{16z}^2 = l^2$, dobija se da je $x_P^2 + (y_P - p_{16})^2 + z_P^2 = l^2$.

Rešavanjem po p_{16} dobija se rešenje IKP za ovu osu. Na sličan način se određuju i preostala dva rešenja.

$$p_{45} = x_P \pm \sqrt{l^2 - y_P^2 - z_P^2}$$

Konačno sva rešenja IKP za P3 su predstavljena sledećim jednačinama: $p_{16} = y_P \pm \sqrt{l^2 - x_P^2 - z_P^2}$.

$$p_{23} = -z_P \pm \sqrt{l^2 - x_P^2 - y_P^2}$$

Od po dva rešenja za svaku pogonsku osu bira se povoljnije rešenje sa aspekta konfiguracije simulatora. U ovakvoj konfiguraciji, u kojoj je platforma isturena, koriste se donja rešenja sa znakom minus ispred korena.

Nulta tačka mašine je kada su pogonske ose u pozicijama G_{ij} , tada je bazna mašina (HBG80) u referentnim tačkama. Prema tome od korektno pozicije svake pogonske ose oduzima se po $G_{ij}R_{ij}$, a to iznosi u konkretnom slučaju po $g=200$ mm na svakoj pogonskoj osi.

Prema tome, budući postprocesor treba napraviti tako da se ose preračunavaju na sledeći način:

$x_{HBG} = p_{23} - 200$, $y_{HBG} = p_{16} - 200$ i $z_{HBG} = -p_{45} + 200$. Takođe treba voditi računa da se pogonske ose kreću u granicama $p_{ij} \in [200,600]$ mm, pa su prema tome dužine pogonskih osa po 400 mm.

Kretanja se dakle realizuju u sledećim granicama:

- HBG80 $(x_{HBG}, y_{HBG}, |z_{HBG}|) \in [0,400]$, odnosno sa rezervom u granicama $[5,395]$,
- P3 $(p_{16}, p_{23}, p_{45}) \in [200,600]$, odnosno sa rezervom u granicama $[205,595]$.

3. JEDAN PRISTUP IZRADI PROGRAMA ZA P3

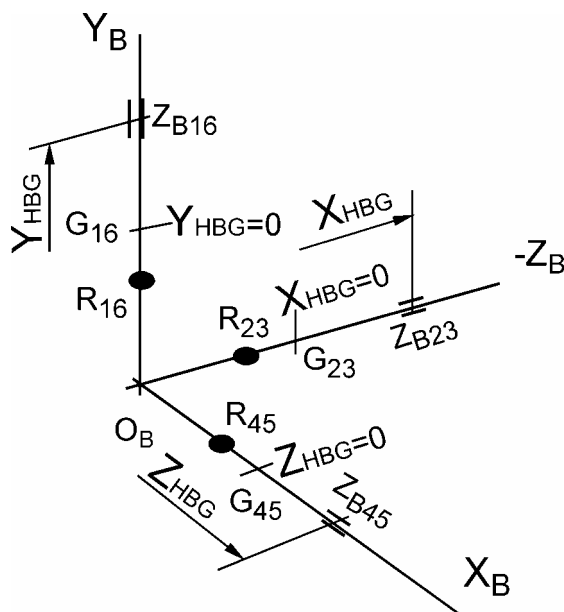
Ovde je prikazan osnovni algoritam prema prethodno izloženoj kinematici, po čijoj je strukturi napravljen program u Fortranu za preračunavanje putanje alata, u potrebna odovarajuća kretanja pogonskih osa bazne mašine tipa P1. Pri tome ove preračunate ose treba složiti u formatu koji odgovara mašini tipa P1. Osnovne karaktersitike programa su:

- 3D linearna interpolacija,
- ručno zadavanje koordinata,
- izbor finoće interpolacije između dve tačke, zadavanjem broja interpolisanih tetiva.

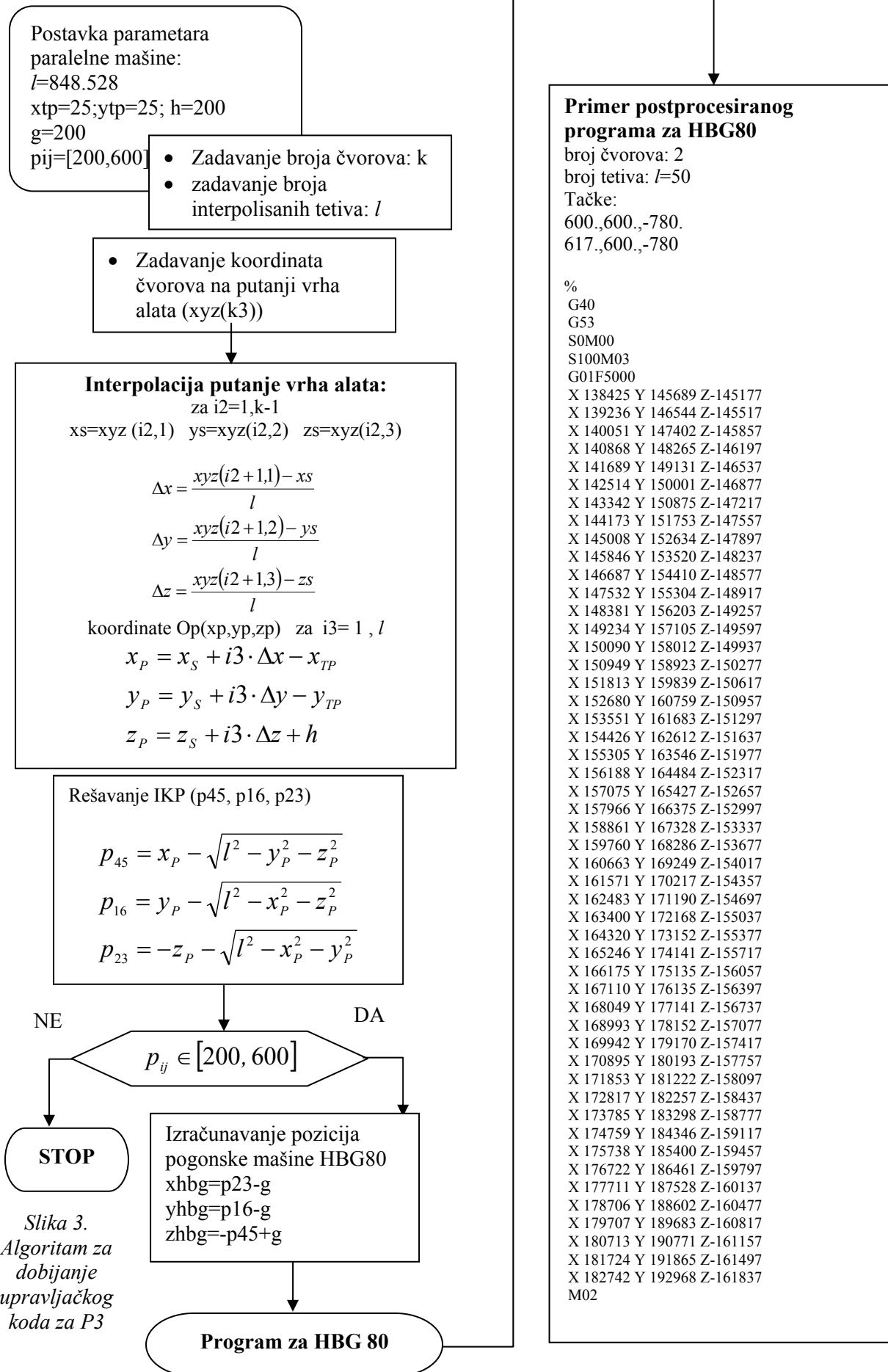
Primena ovog programa je za generisanje putanje alata mašine P3, za jednostavnije konture obrade, gde je broj tačaka za unos relativno mali, pa je ulaz moguće pripremiti ručno, a unos vršiti tačku po tačku. Program se koristi u edukacione svrhe tokom laboratorijskih vežbi iz mašina alatki.

U ovom programu se na početku definišu konstantni parametri mašine. Potom sledi unos broja čvorova konture, kao i zadavanje broja segmenata, na koliko se deli linija između dve čvorne tačke. Po završenom unosu koordinata čvornih tačaka, sledi izračunavanje svih potrebnih tačaka na kojima će biti primenjen inverzni kinematički proračun, a koji zavisi od finoće interpolacije. U principu su programi za obradu na ovakvim mašinama vrlo dugi. Kada se završi proračun primenom IKP, posao još uvek nije završen. potrebno je proveriti, da li izračunata kretanja odgovaraju opsegu koji je zadat. Ako odgovaraju može se vršiti preračunavanje kretanja pogonskih osa, na kretanje osa bazne mašine tipa P1 (HBG80). Ako ne odgovaraju obavezno zaustaviti program i potražiti razloge odstupanja, pošto bi rad sa takvim programom mogao da dovede do kolizije i oštećenja simulatora P3. U nastavku je na slici 2. prikazan i deo listinga programa za HBG80, za kretanje između dve čvorne tačke.

Za zahtevnije obrade, kao što je obrada reljefnih površina, koristi se mogućnost upotrebe CAD/CAM programskog okruženja na bazi Pro/Engineer-a V20. Algoritam za ovakav postprocesor dat je u radu [3].



Slika 2. Nulta tačka mašine



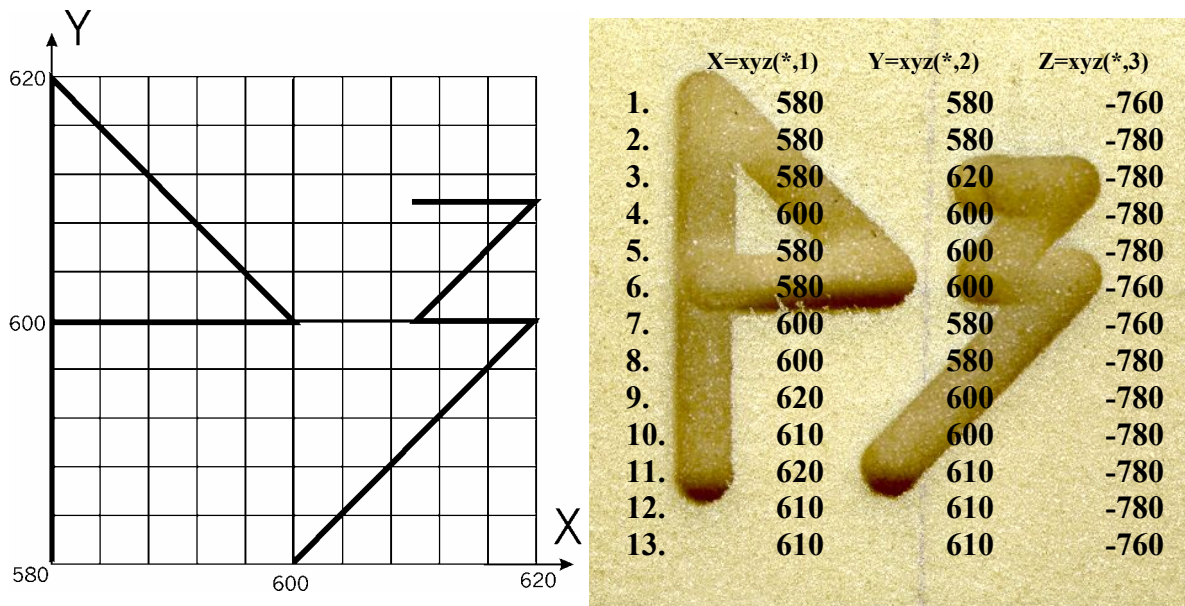
Slika 3.
Algoritam za
dobijanje
upravljačkog
koda za P3

4. PRIMERI PROGRAMIRANJA NA P3

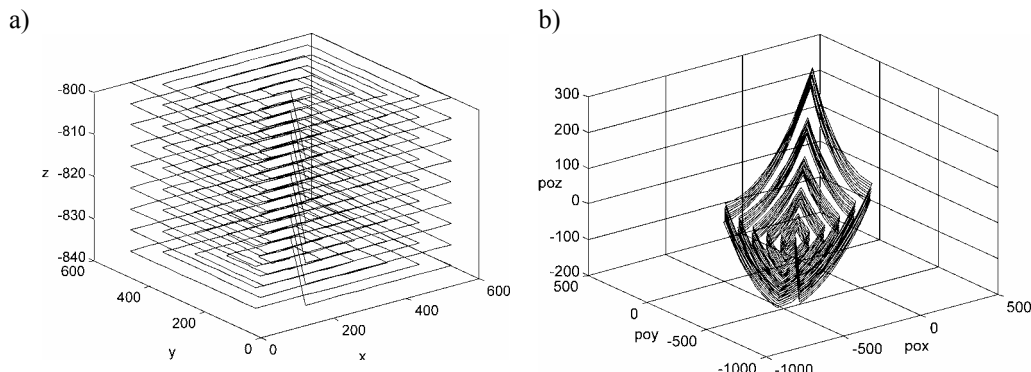
Upravljanje mašinom P3 moguće je ostvariti na više načina:

- izračunavanjima u Fortranu, za dobijanje programa, po principu tačka po tačka (slika 4),
- dobijanjem programa za obradu karakterističnih pravilnih oblika definisanih parametarski, u Matlab okruženju (obrada džepova - slika 5),
- upotrebom raspoloživog CAD sistema, na bazi PRO/Engineer-a V20, sa postprocesorima geometrije i tehnologije za P3 (slika 6).

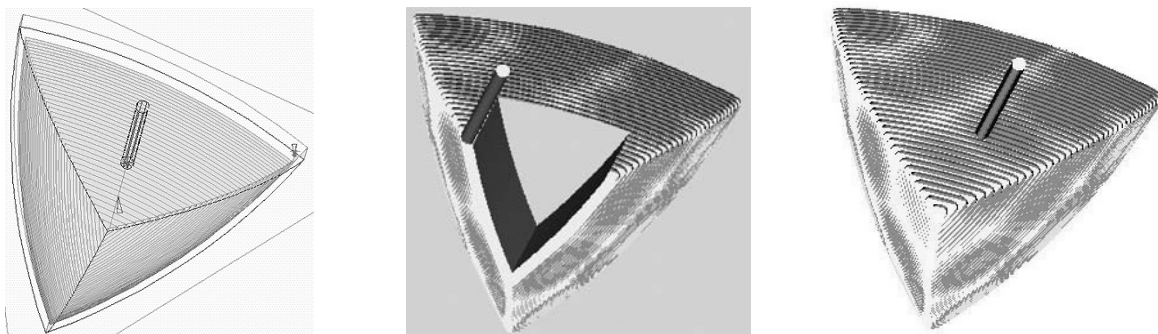
Potreban uslov da bi se program mogao naći u upravljačkoj jedinici je da postoji veza PC i HBG 80 za dvosmerni prenos programa. Ovo je neophodno jer su programi za upravljanje P3, veoma dugački.



Slika 4. Primer pretvaranja geometrije u brojeve radi obrade na mašini P3 i obrađena kontura



Slika 5. Simulacija obrade džepa u Matlab okruženju
a) putanja alata, b) unutrašnja interpolacija translatornih osa



Slika 6. Animacija obrade geometrijskog modela radnog prostora, primenom CAM modula Pro/Engineer-a

4. ZAKLJUČAK

Ručno upravljanje ovakvim mašinama je praktično nemoguće. Zbog toga se radni predmet zadat kao radionički crtež, mora pretvoriti u odgovarajuću računarsku (digitalnu) dokumentaciju. To uslovljava neophodnost upotrebe računara u pripremi geometrijske informacije o proizvodu. Ova informacija treba da bude 3D geometrija, koja će uz odgovarajući algoritam biti preslikana u potrebna kretanja mašine alatke. Mogući pravci daljeg istraživanja na ovoj eksperimentalnoj edukacionoj mašini sa paralelnom kinematikom, su: rešavanje problema pozicioniranja ove mašine po njenim translatorskim osama zadržavanjem navika rukovaoca tradicionalnih mašina, razvijanje programa, za obradu karakterističnih oblika, kao što su različiti oblici džepova, koji bi bili definisani parametarski. Ovim se stvaraju potrebna znanja za buduću gradnju i/ili korišćenje i upravljanje ovakvim koncepcijama mašina.



Slika 7. Simbioza HBG80 i simulatora mašine P3, koja koristi komunikaciju PC-Bosch za transfer programa u upravljačku jedinicu

5. LITERATURA

- [1] Živanović S., Tehnološki modul sa paralelnim mehanizmom, magistarski rad, Mašinski fakultet Beograd, 2000.
- [2] Čović N., Razvoj konceptijskog projektovanja jedne klase fleksibilnih tehnoloških sistema, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 2000.
- [3] Glavonjić M., Čović N., Naša prva troosna mašina sa paralelnim mehanizmom, Zbornik radova, 26. JUPITER konferencija, 22. simpozijum NU*ROBOTI*FTS, 2000.
- [4] Živanović S., Parallel Kinematic Machines, International Journal of Production Engineering and Computers, Volume 3, Number 3, pp.49-54, 2000.
- [5] Čović N., Živanović S., Glavonjić M., Osnovna koncepcija jednog prototipa troosne mašine sa paralelnom kinematikom, 28. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Zbornik radova, Mašinski fakultet Kraljevo, Mataruška banja, 2000.
- [6] Živanović, S., Jedan model tehnološkog modula sa paralelnim mehanizmom, VII Međunarodna konferencija Fleksibilne tehnologije mma 2000 Zbornik radova str. 81-82, Novi Sad, 08. jun 2000.
- [7] Živanović S., Modeli tehnoloških modula sa paralelnim mehanizmom, IRMES 2000, Zbornik radova, str.163-168, Mašinski fakultet u Podgorici, Kotor, 2000.

S. Živanović

AN EXAMPLE OF P3-PARALLEL KINEMATICS MACHINE PROGRAMMING

Summary

This paper presents an approach to parallel kinematics machine programming based on an already realized and installed simulator of Parallel Kinematics Machine called P3. Given methodology is used for education, as well as for further research, because this type of machines requests new knowledge, new assembly components, new programming systems and new users to whom this knowledge will, sooner or later, be useful.