

UNIVERZITET U BEOGRADU
MAŠINSKI FAKULTET

Pavao Bojanić
Radovan Puzović

PROIZVODNI SISTEMI

APT - JEZIK

PROGRAMIRANJE NUMERIČKI
UPRAVLJANIH MAŠINA ALATKI

BEOGRAD, 2010.

Autori:
Prof. dr Pavao Bojanić
Doc. dr Radovan Puzović

**PROIZVODNI SISTEMI
APT - JEZIK
PROGRAMIRANJE NUMERIČKI
UPRAVLJANIH MAŠINA ALATKI**

Drugo izdanje

Recezent:
Prof. dr Miroslav Pilipović
Prof. dr Miloš Glavonjić

Izdavač:
MAŠINSKI FAKULTET
UNIVERZITETA U BEOGRADU
11120 Beograd 35, Kraljice Marije br. 16

Za izdavača: prof. dr Milorad Milovančević, dekan

Štampanje odobrila
Komisija za izdavačku delatnost
Mašinskog fakulteta u Beogradu,
28.01.2010.godine

Odgovorni urednik: prof. dr Aleksandar Obradović

Tiraž: 200 primeraka

Štampa:
Planeta print
11000 Beograd, Ruzveltova 10,
tel.: 011 3088 129

© *Preštampavanje ili fotokopiranje nije dozvoljeno
Sva prava zadržavaju izdavač i autori*

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Numerički upravljane mašine alatke	1
1.2. Tehnološka priprema za NUMA.....	5
1.2.1. NU-program.....	5
1.2.2. Vrste tehnološke pripreme NUMA.....	6
1.2.2.1. Ručno programiranje NUMA.....	7
1.2.2.2. Programiranje NUMA primenom kompjutera.....	8
1.3. APT-sistem.....	12
2. ELEMENTI APT-JEZIKA	15
3. ARITMETIČKE DEFINICIJE	17
4. DEFINISANJE ULAZA I IZLAZA	19
5. DEFINISANJE KOORDINATNOG SISTEMA	21
5.1. Definisanje koordinatnog sistema na radnom predmetu.....	21
5.1.1. Definisanje matrice	22
5.2. Definisanje odnosa između koordinatnog sistema mašine alatke i radnog predmeta	24
6. IMPLICITNA DEFINICIJA Z-KOORDINATE	27
7. DEFINISANJE GEOMETRIJE	29
7.1. Definisanje tačke.....	30
7.2. Definicija prave.....	32
7.3. Definisanje kruga.....	35
7.4. Definisanje ravni.....	37
7.5. Definisanje kružnog cilindra	39
7.6. Definisanje elipse.....	39
7.7. Definisanje hiperbole	39
7.8. Definisanje kružnog konusa.....	40
7.9. Definisanje opšteg oblika konusnog preseka.....	40
7.10. Definisanje loft konusnog preseka.....	41
7.11. Definisanje vektora.....	41
7.12. Definisanje skupa tačaka	43
7.13. Definisanje sfere.....	45
7.14. Definisanje algebarske površine drugoga reda.....	46
7.15. Definisanje tabelarnog cilindra.....	47
7.16. Definisanje površine dobijene kotrljanjem.....	48
8. DEFINISANJE TOLERANCIJA I OGRANIČENJA	49
8.1. Definisanje tolerancija.....	49
8.2. Definisanje ograničenja.....	50

9.	DEFINISANJE ALATA.....	50
10.	POSTPROCESORSKE DEFINICIJE.....	55
11.	DEFINISANJE KRETANJA	59
11.1.	Naredbe za definisanje pozicioniranja.....	59
11.2.	Naredbe za definisanje kontinualnog kretanja.....	61
11.2.1.	Naredba za definisanje početnog kontinualnog kretanja	62
11.2.1.1.	Definisanje površine radnog predmeta PS.....	65
11.2.1.2.	Definisanje pravca kretanja alata.....	66
11.2.2.	Definisanje nastavka kontinualnog kretanja	68
11.2.3.	Naredbe konturnog kretanja proširene sa rečima kojima se definiše pozicija alata prema upravljačkim površinama.....	72
12.	DEFINISANJE PUTANJE ALATA.....	77
12.1.	Definisanje kontinualne putanje alata.....	77
12.2.	Definisanje putanje alata tačka po tačka.....	78
12.2.1.	Definisanje kretanja alata po skupu tača.....	80
12.3.	Definisanje kombinovane putanje alata.....	83
12.4.	Definisanje putanje alata pomoću rutine-POCKET pri glodanju zatvorenih poligonalnih površina.....	83
13.	DEFINISANJE TRANSFORMACIJA.....	85
14.	DEFINISANJE PROGRAMSKIH CIKLUSA I PODPROGRAMA	89
14.1.	Definisanje programskog ciklusa	89
14.2.	Definisanje podprograma	92
15.	DEFINISANJE OSE ALATA U SEKVENCAMA KRETANJA PRI OBRADI NA VIŠEOSNIM NUMA	95
16.	STRUKTURA APT-PROGRAMA.....	97
17.	PRIMERI ZADATAKA I REŠENJA.....	99
18.	LITERATURA.....	123
19.	APT-REČNIK.....	125

1. UVOD

Današnji nivo razvoja civilizacije uslovio je, kao nikada do sada da svet postane veliko tržište, a čovek pre svega potrošač. To je dovelo do toga da skraćenje životnog veka proizvoda, povećana konkurencija i tehnološke inovacije, postanu izazovi sa kojima se suočavaju proizvođači. Priroda tržišta i proizvodnih procesa uslovili su da savremenu proizvodnju u mašingradnji i metaloprerađivačkoj industriji sve više karakterišu male serije, česta promena proizvoda, težnja ka povećanju produktivnosti i smanjenju vremena izrade. U finalnim proizvodima se sve više pojavljuju delovi vrlo složenog oblika čija izrada na konvencionalnim mašinama postaje vrlo komplikovana. Pojava složenih delova uslovlila je uvođenje modernih obradnih sistema: numerički upravljanih mašina alatki (NC-Numerical Control i CNC-Computer Numerical Control) i obradnih centara itd... U nastavku se daju samo osnovni podaci o numerički upravljanim mašinama alatkama, koji su od značaja za njihovu tehnološku pripremu (u praksi vrlo prisutan termin programiranje mašina).

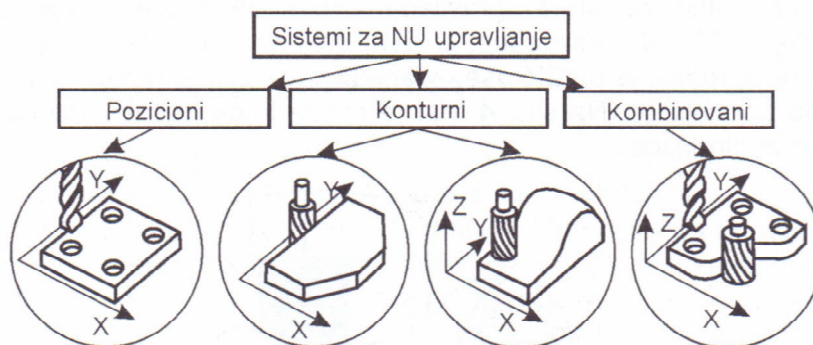
1.1. Numerički upravljane mašine alatke

Kod NUMA (Numerički Upravljana Mašina Alatka) ili NC-sistema sve informacije za obradu radnog predmeta dobijaju se u vidu brojnih, slovni i drugih simbola. Brojni, slovni i drugi simboli sređeni po određenim pravilima i kodirani u zahtevanom obliku čine program, neophodan za obezbeđenje predviđenih funkcija radnih organa mašine. U opštem slučaju jedna NUMA (slika 1.) sastoji se od sledećih podistema: UJ (Upravlačka Jedinica), MS (Merni Sistem), PS (Pogonski Sistem) i MA (Mašina Alatka).

UJ je kompleksan hardver, a danas i softver sistem koji prima informacije-program, obrađuje ih i upravlja radom mašine [12]. UJ preko interpolatora koji može biti unutar ili van nje obezbeđuje zahtevanu interpolaciju putanje alata i/ili obratka. Za opisivanje složenih ravanskih ili prostornih putanja koristi se: linearna, kružna i parabolična interpolacija. Istorijski posmatrano razlikujemo dve generacije upravljačkih jedinica: prva bazirana na tehnologiji numeričkog upravljanja (NU), a druga na tehnologiji kompjuterskog numeričkog upravljanja (KNU). UJ automatski ostvaruje sledeće funkcije:

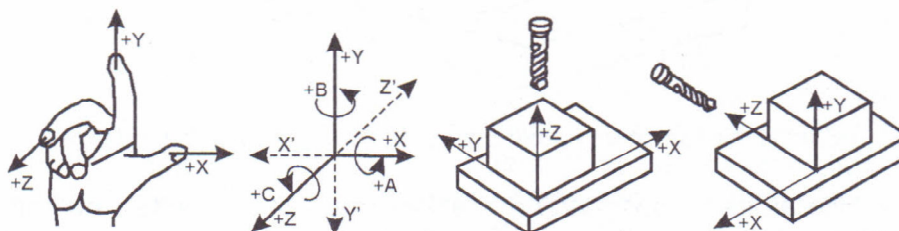
- Startovanje i zaustavljanje mašine.
- Ukjučivanje i isključivanje sredstva za hlađenje.
- Izmenu alata prema redosledu elementarnih operacija.
- Pozicioniranje radnog stola.
- Startovanje glavnog vretena prema programiranoj brzini i smeru, kao i njegovo zaustavljanje.

- *Sisteme pozicionog NU* kod kojih se vrši upravljanje kretanjem radnih organa NUMA tačka po tačka. Mašine na kojima se primenjuju ovakvi sistemi upravljanja su tipa bušilica i horizontalnih i vertikalnih bušilica-glodalica (za zahvate bušenja, proširivanja, razvrtnja i dr.).
- *Sisteme konturnog NU* kod kojih se upravljanje kretanjem radnih organa mašine obezbeđuje po programiranoj putanji. Brzina kretanja alata je po svom pravcu uvek tangenta na putanju u svakoj tački zadate konture obrade.
- *Kombinovane sisteme NU* kod kojih je obuhvaćeno upravljanje kombinovanim kretanjem radnih organa mašine po pojedinim osama poziciono, a po drugim osama konturno.



Slika 2. Podela NU-sistema prema vrsti upravljanja

Za svaki tip mašine alatke propisan je standardom ISO/R841 (JUS M.GO.030) položaj, orijentacija i oznaka osa pravouglkog koordinatnog sistema (slika 3.).

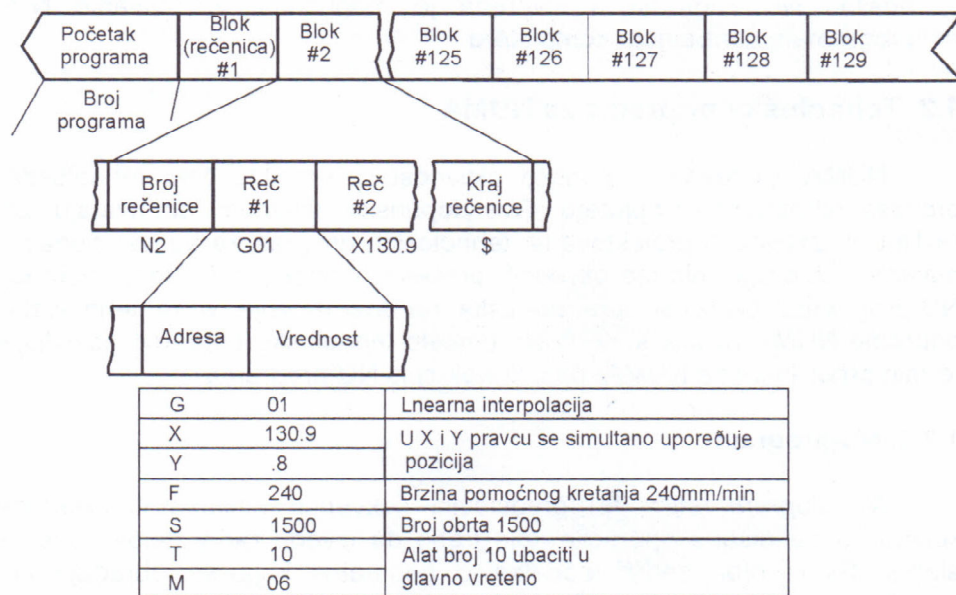


Slika 3. Orijentacija osa kod mašine alatke

Glavne ose pravouglkog koordinatnog sistema X , Y i Z čiji pozitivni smerovi odgovaraju kretanju alata u odnosu na radni predmet su definisane prema pravilu desne ruke. Palac desne ruke pokazuje pravac X -ose, kažiprst pravac Y -ose i srednji prst pravac Z -ose koja se poklapa sa osom glavnog vretena. Prilikom definisanja osa NUMA pomoću ovog pravila rukovodi se time da se srednji prst postavi u pravcu glavnog vretena

- *Naredbe za definisanje prekida i izmena* kao što su: izmene definisane pomoćnim funkcijama (M) (izmena alata, izmena smera obrtanja alata, obrtanje radnog stola, izmena paleta), isključivanje/uključivanje sredstva za hlađenje, isključivanje/uključivanje glavnog vretena, naredbe za korekciju dužine alata (H), naredbe za korekciju prečnika alata (D), i naredbe za pozivanje nulte tačke (G55-G59).
- *Naredbe za definisanje ciklusa (G81-G86) ili podprograma (Q)* koji se često pozivaju u programu.

Adrese su obično definisane alfa karakterom i mogu se pojaviti samo jednom u nekom bloku.



Slika 5. Segment NU-programa

1.2.2. Vrste tehnološke pripreme za NUMA

Primena NUMA pretpostavlja razvijen sistem tehnološke pripreme (tj. sistem za projektovanje tehnoloških procesa) u praksi poznatije kao programiranje NUMA.

Tehnološka priprema, odnosno programiranje NUMA u zavisnosti od stepena automatizacije može biti:

- ručno i
- primenom kompjutera.

7. DEFINISANJE GEOMETRIJE

Da bi bilo moguće upravljati položajem alata u prostoru od strane upravljačke jedinice pri mašinskoj obradi radnog predmeta, potrebno je u APT-programu prvo definisati seriju geometrijskih elemenata. APT jezik omogućava definisanje određenog broja osnovnih geometrijskih elemenata navedenih paralelno sa glavnim APT rečima u tablici 6. (prema [2],[8],[10]). S tim što svaki tip geometrijskog elementa može biti definisan na nekoliko različitih načina.

Tablica 6. Spisak geometrijskih elemenata sa odgovarajućim APT rečima

Red. broj	Naziv geometrijskog elementa	APT-reči
1	Tačka	POINT
2	Prava (u x-y ravni)	LINE
3	Krug (u x-y ravni)	CIRCLE
4	Ravan	PLANE
5	Kružni cilindar	CYLINDR
6	Elipsa	ELLIPS
7	Hiperbola	HYPARB
8	Kružni konus	CONE
9	Opšti oblik konusnog preseka	GCONIC
10	Loft konusni preseci	LCONIC
11	Vektor	VECTOR
12	Sup tačaka	PATERN
13	Sfera	SPHERE
14	Algebarske površine drugog reda	QUADRIC
15	Tabelarno definisan cilindar	TABCYL
16	Površni dobijene kotrljanjem	RLDSRF

Definisanje geometrijskih elemenata vrši se naredbama propisanim u APT-jeziku. Opšti format naredbi za definisanje geometrijskih elemenata je:

Oznaka=Tip geometrijskog elementa/Opšti podaci

gde:

- *Oznaka* - predstavlja simbol (simboličko ime) geometrijskog elementa koji se definiše, bira se od strane programera i u daljem izvođenju programa se poziva umesto APT naredbe.
- *Tip geometrijskog elementa* - je APT reč kojom se definiše tip geometrijskog elementa. Raspoložive reči su date u tablici 6. sa naznakom koji geometrijski element opisuju. Pisanje, pomenutih reči ne mora da odgovara rečima u engleskom jeziku, što zahteva striktno pridržavanje APT-rečnika. Važno je imati na umu da su geometrijski elementi tipa *CIRCLE* i *LINE* samo specijalni slučaj *CYLINDR* i *PLANE*. Krug, *CIRCLE*, je cilindar koji je normalan na

16. STRUKTURA APT-PROGRAMA

Programske naredbe moraju da budu napisane u logičkom redosledu. Nemoguće je npr. opisati kretanje alata, a da prethodno nisu definisani alat i geometrijski elementi koji formiraju konturu gotovog dela. APT-program ima sledeći logički redosled naredbi:

1. PARTNO/ Naziv gotovog dela ili broj crteža.
2. MACHIN/Naziv postprocesora i broj verzije.
3. Naredbe za definisanje geometrijskih elemenata koji formiraju konturu gotovog dela.
4. Naredbe za definisanje tolerancija.
5. Naredbe za definisanje alata.
6. Naredbe za definisanje početnog položaja alata.
7. Naredbe za definisanje režima rezanja (broj obrta, brzina pomoćnog kretanja ili korak) i sredstva za hlađenje.
8. Naredbe za pozicioniranje alata prema radnom predmetu.
9. Naredbe za definisanje putanje alata.
10. Naredbe za zaustavljanje glavnog vretena i isključenje sredstva za hlađenje.
11. FINI Definiše kraj programa.

Gore pomenuti segmenti 8 i 9, se mogu postavljati kao subsegmenti više puta u programu. Kada se određeni segment konture radnog predmeta ne može opisati kao kontinualna putanja alata, tada se alat mora premestiti u drugu poziciju prema radnom predmetu pomoću naredbi koje se koriste za upravljanje kretanjem alata tačka-po-tačka.

Posle premeštanja alata, on se mora ponovo pozicionirati prema radnom predmetu, a zatim se definiše nova putanja alata. Ovaj postupak se može ponavljati onoliko puta koliko je potrebno, da bi se definisale putanje alata potrebne za izradu zadatog radnog predmeta.

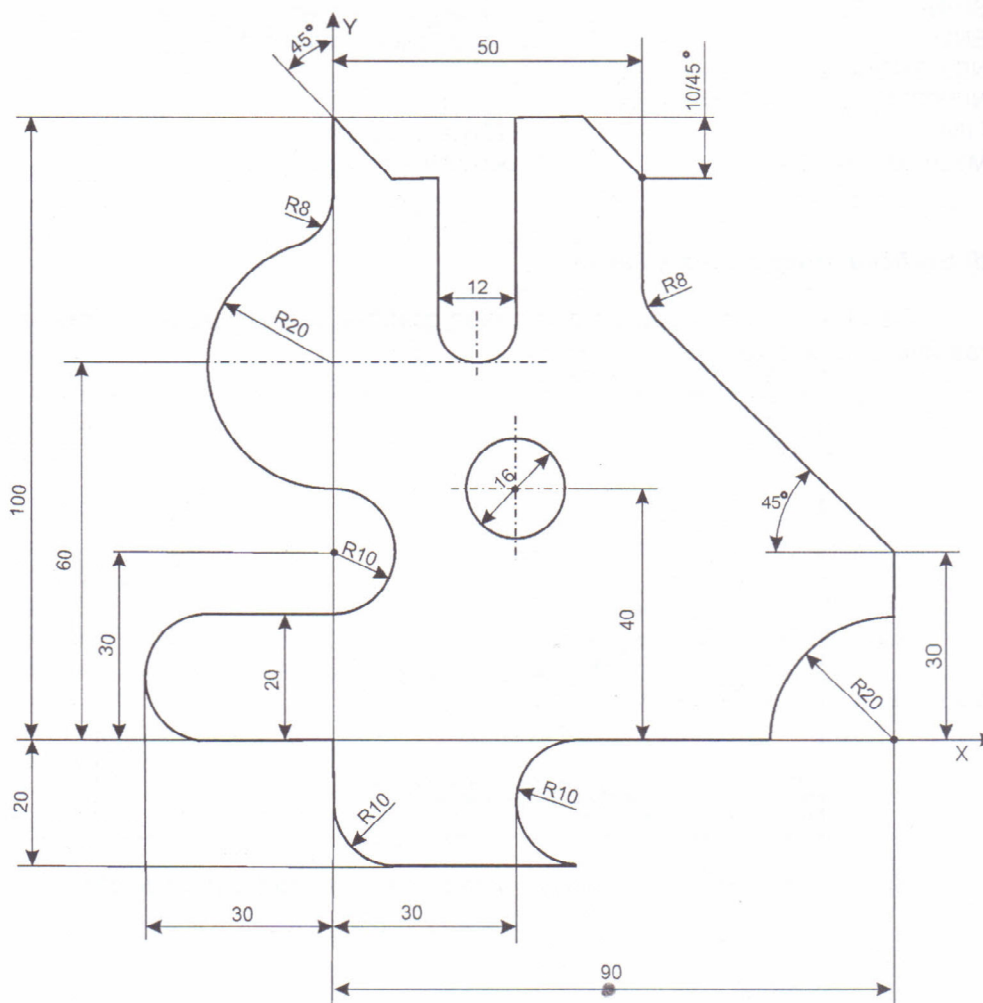
Pre prelaska na prikaz primera programiranja obradnih procesa u APT jeziku daju se neka opšta pravila kojih se treba pridržavati:

- U programu APT-reči treba da budu zapisane velikim slovima kao što je predviđeno pravilima jezika.
- Između svake dve reči ili broja treba da stoji jedan od interpunkcijskih znakova: zarez ili znak jednakosti ili kosa crta.
- Na kraju naredbe ne sme da stoji interpunkcijski znak.
- U naredbama interpunkcijski znak tačka se koristi samo kao decimalna tačka i ne sme se pojaviti na kraju naredbe.
- Blanko znak može da bude ubačen ili izostavljen (nema razlike između toga da li je napisano *GO LFT* ili *GOLFT*). Izuzetak čine neke reči kao što je na primer *PARTNO*.

Zadatak 2

Napisati program u APT- jeziku za grubu obradu spoljašnje konture dela datog na slici 16. Obrada se izvodi glodalom prečnika $d=8$ [mm], koje ima broj obrta $n=1400$ [o/min] i brzinu pomoćnog kretanja $v_s=200$ [mm/min], i bušenje otvora burgijom $d=16$ [mm], koja ima broj obrta $n=400$ [o/min] i kreće se korakom $s_o=0.5$ [o/min].

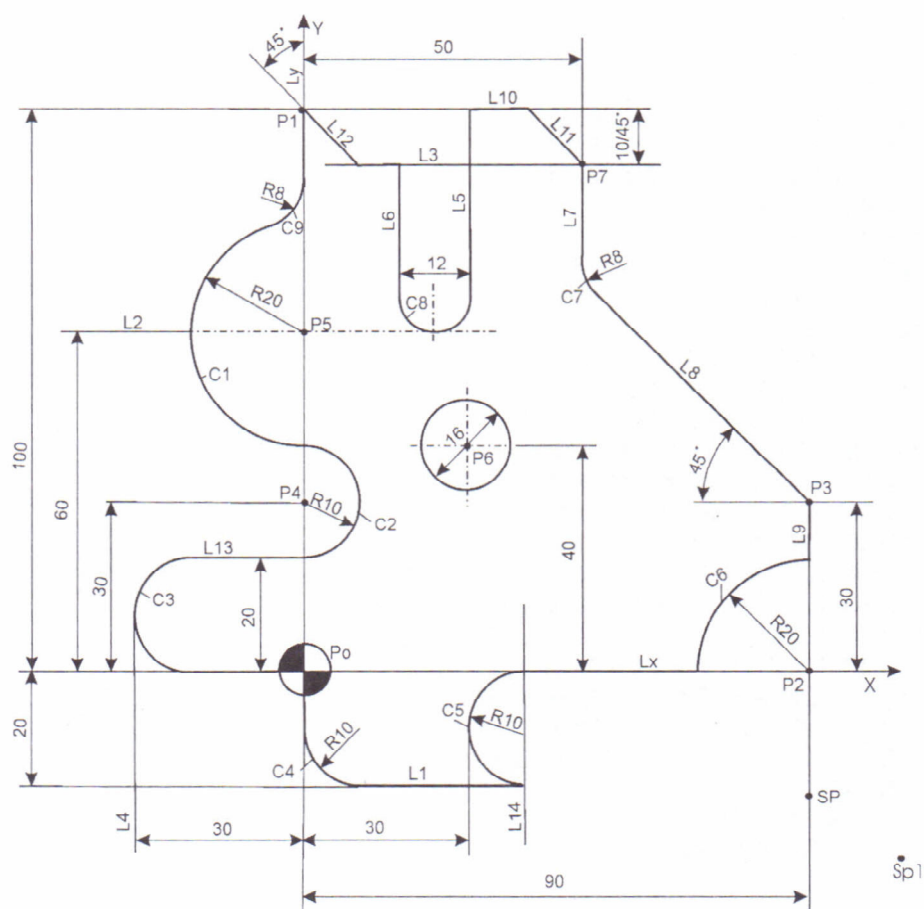
Napomena: Debljina dela je 10 [mm].



Slika 16. Skica gotovog dela

Rešenje zadatka:**a) Dodeljivanje simbola (simboličkih imena) geometrijskim elementima**

Na slici 17. su prikazani simboli (simbolička imena) kojima se identifikuju svi geometrijski elementi potrebni za definisanje putanje alata po pripremk, a u cilju formiranja tražene(ih) konture(a) gotovog dela prema zadatku.



Slika 17. Prikaz simbola geometrijskih elemenata

b) APT- program

```
PARTNO/PRIMER2(ISPITNIZADATAK)
MACHIN/MMPOST,1,UNIT,3
CLPRNT
ZSURF/15
```

\$\$OPISGEOMETRIJE

```
P0=POINT/0,0
P1=POINT/0,100
P2=POINT/90,0
P3=POINT/90,30
P4=POINT/0,30
P5=POINT/0,60
P6=POINT/30,40
P7=POINT/50,90
LX=LINE/0,0,100,0
LY=LINE/P0,PERPTO,LX
L1=LINE/PARLEL,LX,YSMALL,20
L2=LINE/PARLEL,LX,YLARGE,60
L3=LINE/PARLEL,LX,YLARGE,90
L4=LINE/PARLEL,LY,XSMALL,30
L5=LINE/P6,PARLEL,LY
L6=LINE/PARLEL,L5,XSMALL,12
L7=LINE/P7,PARLEL,LY
L8=LINE/P3,ATANGL,135
L9=LINE/P3,PERPTO,LX
L10=LINE/PARLEL,L3,YLARGE,10
L11=LINE/P7,ATANGL,135
L12=LINE/P1,ATANGL,-45
L13=LINE/PARLEL,LX,YLARGE,20
L14=LINE/PARLEL,LY,XLARGE,40
C1=CIRCLE/CENTER,P5,RADIUS,20
C2=CIRCLE/CENTER,P4,RADIUS,10
C3=CIRCLE/XLARGE,L4,YLARGE,LX,RADIUS,10
C4=CIRCLE/XLARGE,LY,YLARGE,L1,RADIUS,10
C5=CIRCLE/XLARGE,L5,YSMALL,LX,RADIUS,10
C6=CIRCLE/CENTER,P2,RADIUS,20
C7=CIRCLE/XLARGE,L7,YLARGE,L8,RADIUS,8
C8=CIRCLE/XSMALL,L5,YLARGE,L2,RADIUS,6
C9=CIRCLE/XSMALL,LY,YLARGE,OUT,C1,RADIUS,8
SP=POINT/90,-20
SP1=POINT/150,-50
$$KINEMATIKAOBRADE
INTOL/0.01
OUTTOL/0.01
CUTTER/8
FROM/SP1
SPINDL/400,CLW
RAPID
GOTO/SP
RAPID
GODLTA/-17
AUTOPS
FEDRAT/200
```