

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

**NOVA METODA PROJEKTOVANJA I TEHNOLOGIJE IZRADE  
PROFILNIH PRIZMATIČNIH -TANGENCIJALNIH  
STRUGARSKIH NOŽEVA**

**BEOGRAD, 2010.**

<b>Vrsta tehničkog rešenja</b>	<b>Nova metoda projektovanja sa tehnologijom izrade M85</b>
<b>Autori tehničkog rešenja</b>	<b>Prof. dr Ljuodrag Tanović, Prof. dr Pavao Bojanić, Doc. dr Radovan Puzović, mr Mihajlo Popović dipl. ing. maš., mr Milan Milutinović dipl. ing. maš., Goran Mladenović dipl. ing. maš.</b>
<b>Naziv tehničkog rešenja</b>	<b>Nova metoda projektovanja i tehnologije izrade profilnih prizmatičnih-tangencijalnih strugarskih noževa</b>
<b>Za koga je rađeno tehničko rešenje</b>	<b>Nova metoda projektovanja prizmatičnih profilnih strugarskih noževa je razvijena u saradnji Mašinskog fakulteta u Beogradu i privrede u okviru projekta Razvoj tehnologija višeosne obrade složenih alata za potrebe domaće industrije TR-14034</b>
<b>Ko koristi tehničko rešenje</b>	<b>Fabrika reznog alata-Alatnica 32000 Čačak, Srbija</b>
<b>Godina izrade tehničkog rešenja</b>	<b>2009/2010</b>
<b>Verifikacija rezultata</b>	<b>Od strane recezenata: 1. Prof. dr Radomir Slavković, Tehnički fakultet Čačak 2. Prof dr Miloš Glavonjić, Mašinski fakultet Beograd</b>
<b>Ko je prihvatio tehničko rešenje</b>	<b>Mašinski fakultet u Beogradu</b>
<b>Primena rezultata</b>	<b>Industrija-Proizvodnja alata za obradu rezanjem delova sa složenim površinama</b>

## 1. OBLAST NA KOJU SE TEHNIČKO REŠENJE ODNOSI

Tehničko rešenje pripada oblasti novih metoda u domenu proizvodnih tehnologija.

## 2. PROBLEM PROJEKTOVANJA I IZRADE PRIZMATIČNIH PROFILNIH STRUGARSKIH NOŽEVA

Povećanje proizvodnosti obradnih sistema i smanjenje troškova obrade postiže se poboljšanjem karakteristika i radnih mogućnosti svih elemenata obradnog sistema: mašine alatke, reznog alata, pomoćnog, mernog i kontrolnog pribora. Jedan od pravaca razvoja tehnologije obrade rezanjem u narednom periodu baziraće se na stvaranju novih reznih alata kako sa aspekta konstrukcije tako i primeni novih alatnih materijala.

Izrada rotacionih delova složene konfiguracije standardnim strugaskim noževima (koji su daleko jednostavnije i jeftinije od profilnih noževa) zahteva veću stručnu kvalifikaciju radnika a sem toga i vreme potrebno za obradu je znatno duže. Upravo zbog toga se obični strugarski noževi koriste za obradu profila u pojedinačnoj i maloserijskoj proizvodnji. Velikoserijska i masovna proizvodnja je zasnovana na delimičnoj ili potpunoj automatizaciji procesa proizvodnje **i zato se kod ovih tipova proizvodnje pri obradi delova složenog oblika koriste profilni strugarski noževi**. Primenom profilnih noževa dolazi do uštede vremena obrade i smanjenja troškova radne snage.

Zbog prethodno navedenog kao problem kome je posvećeno ovo tehničko rešenje je izabran u domenu unapređenja metodologije projektovanja i tehnologije izrade prizmatičnih profilnih noževa koji se koriste za izradu rotacionih delova složene konfiguracije.

## 3. ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ ALATA SA POSEBNIM OSVRTOM NA PRIZMATIČNE PROFILNE STRUGARSKO NOŽEVE

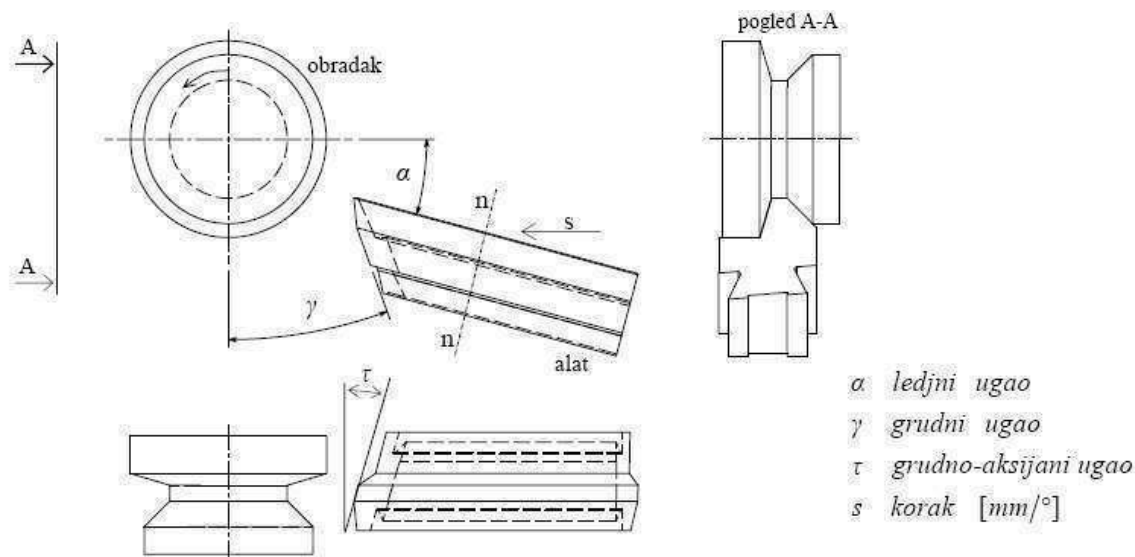
Odlučujući uticaj na intenzivniji razvoj tehnike uopšte, pa i tehnologije obrade rezanjem, bilo je otkriće metala. Dalje razvoj obrade rezanjem je povezan sa razvojem alatnih materijala (brzorezni čelik, tvrdi metal, alatna keramika i supertvrdi metali). Domen koji je razmatran su profilni strugarski noževi koji se primenjuju pri izradi delova složenog oblika u serijskoj i masovnoj proizvodnji.

U konstruktivnom smislu profilni noževi su mnogo složeniji od običnih strugarskih noževa i zahtevaju korekcijske proračune, a sem toga su mnogo teži za izradu. Tačno konstruisan i izrađen profilni nož pri pravilnom postavljanju na mašinu osigurava visoku proizvodnost, indentičnost oblika profila i tačnost dimenzija izradka. Sečivo ovih noževa je složene konture, a obrada se vrši prostim primicanjem noža obratku. Prizmatični profilni strugarski noževi dele se prema položaju sečiva u odnosu na površinu obradka na: radijalne i tangencijalne.

Tangencijalni profilni prizmatični strugarski nož – glavno kretanje je obrtno i izvodi ga obradak a pomoćno kretanje koje izvodi alat je translatorno i paralelno površini koja se obrađuje odnosno tangencijalano u odnosu na radni predmet, slika 1 [16]. Prečnici obrađenog predmeta zavise od položaja noža u odnosu na obradak. Kod prizmatičnih profilnih tangencijalnih strugarskih noževa sečivo je izvedeno pod uglom  $\tau$  tako da nož postepeno prodire u materijal što rezultira mirnijim radom i manjim otporima rezanja. Usled toga što se smanjuje i sila rezanja tangencijalnim nožem mogu da se obrađuju i profili većih dužina bez opasnosti da će nastati vibracije.

Sa slike 1 se može zaključiti da grudna površina tangencijalnog noža leži u ravni koja je definisana uglovima  $\gamma$  i  $\tau$ . Važno je napomenuti da se projekcija grudne površine tangencijalnog prizmatičnog noža poklapa sa profilom izratka, pogled A-A. Profil sečiva noža u njegovom normalnom preseku N-N razlikuje se od profila sečiva noža u pogledu A, odnosno oblika i mera izradka. Prizmatični profilni strugarski noževi dele se prema položaju sečiva u odnosu na površinu obradka na: radijalne i tangencijalne.

Pored podele prizmatičnih profilnih noževa prema položaju sečiva u odnosu na površinu obradka navodi se jos jedan kriterijum podele a to je podela prema geometrijskoj šemi oblikovanja koja je prikazana u tabeli 1.



Slika 1. Tangencijalni prizmatični profilni strugarski nož

Tabela 1. Podjela strugarskih noževa prema geometrijskoj šemi oblikovanja, [11]

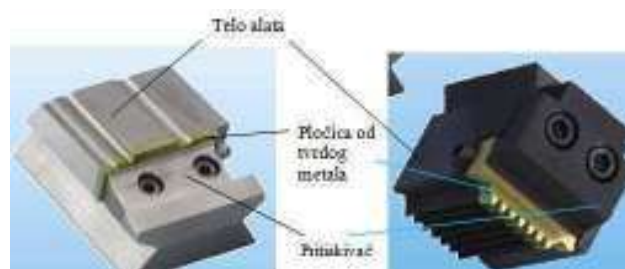
Tip	Naziv profilnog prizmatičnog noža	Trajanje dodira profilnog sečiva i površine obrade	Vrsta kontakta profilnog sečiva alata sa površinom koja se obrađuje
1	Radijalni	Neprekidno	Poklapaju se
2	Tangencijalni	Jednokratno momentalno	Dodiruju se po liniji

Prizmatični profilni noževi obično se izrađuju od visokolegiranog alatnog čelika koji je podvrgnut termičkoj obradi, kaljenju, neposredno pre završnog brušenja pri njegovoj izradi. Na slici 2 prikazan je prizmatični profilni strugarski nož koji je u potpunosti izrađen od brzoreznog čelika. Uz korišćenje sredstva za hlađenje i podmazivanje i pravilno baziranje alata preko lastinog repa u nosač ovi alati obezbeđuju visoku proizvodnost.

Razvojem CNC petoosnih brusilica kao što je SIRIUS (Svedskog proizvođača Schneberger) omogućen je brz način izrade profilnih noževa uopšte. Ubrzo su se pojavile nove konstrukcije profilnih strugarskih noževa sa izmenjivim pločicama od sinterovanog tvrdog metala. Izgled alata ovog tipa prikazan je na slici 3.



Slika 2 Prizmatični profilni strugarski nož izrađen od brzoreznog čelika



Slika 3 Prizmatični profilni strugarski nož sa izmenjivim pločicama od tvrdog metala

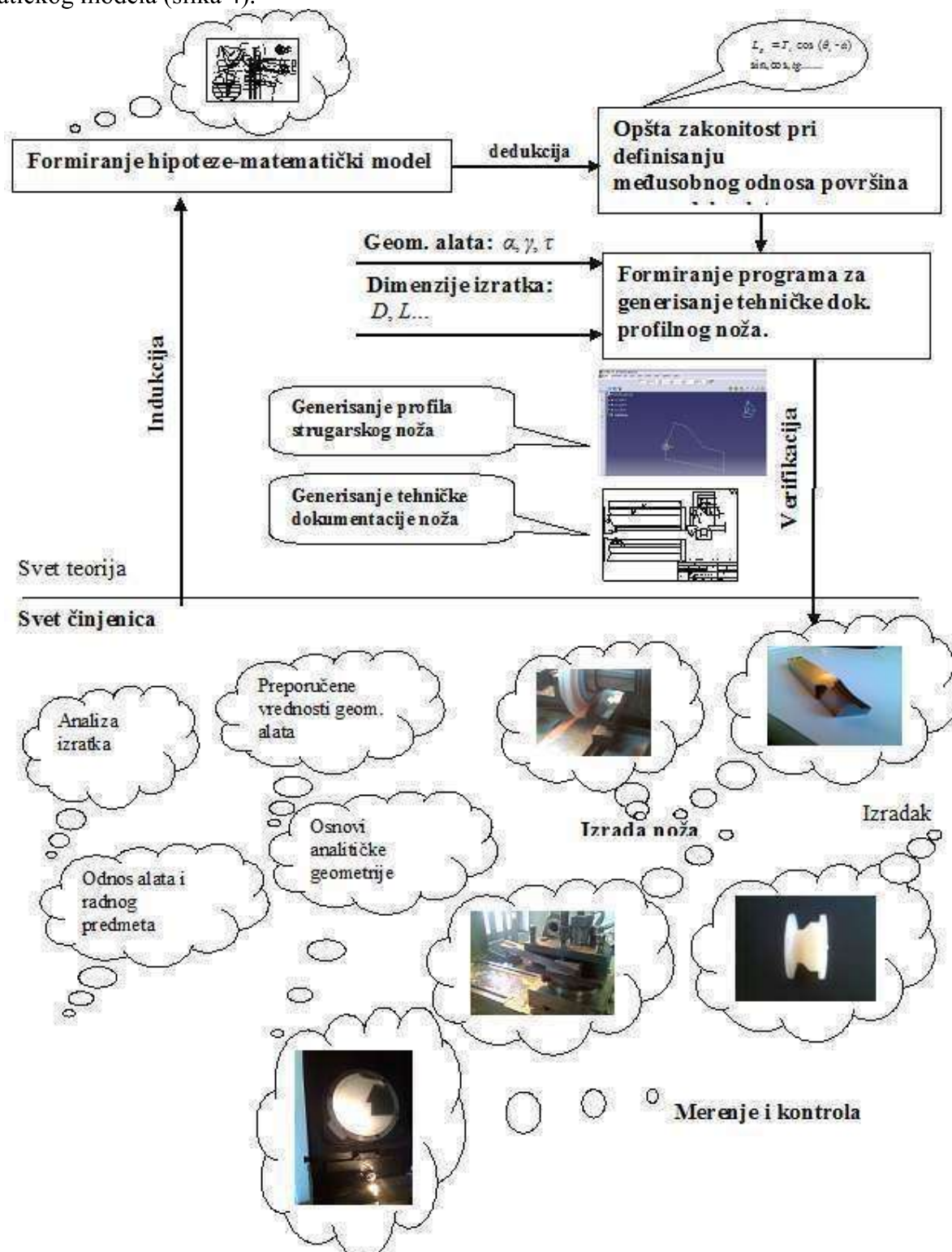
Telo alata izrađeno je od konstrukcionog čelika na koga je pričvršćena profilisana pločica od tvrdog metala pomoću pritiskivača i dva imbus vijka. Ovaj sistem stezanja omogućava brzu izmenu pločice u slučaju loma. Rezni deo alata – pločica koja je izrađena od tvrdog metala ima znatno veću postojanost od klasičnog profilnog strugarskog noža koji je prikazan na slici 3, [22].

Od domaćih proizvođača alata najpoznatija je firma GAVRO I SINOVI doo iz Beograda koja se bavi i proizvodnjom prizmatičnih profilnih strugarskih noževa. Od svetskih proizvođača koji su specijalizovani za proizvodnju prizmatičnih i okruglih profilnih strugarskih noževa najpoznatija je francuska firma ADEMVA. Pod održavanjem alata podrazumeva se njegovo pravilno oštrenje koje zavisi od stepena pohabanosti ili oštećenja reznog dela alata. Radijalni i tangencijalni profilni strugarski noževi oštire se na univerzalnim brusilicama za alat uz primenu specijalnog pomoćnog pribora.

#### 4. SUŠTINA TEHNIČKOG REŠENJA

U konstruktivnom smislu profilni prizmatični noževi su daleko složeniji od običnih noževa i zahtevaju specijalne korekzione proračune, a sem toga su mnogo složeniji i teži za izradu, iz čega se može zaključiti da su znatno skuplji od standardnih noževa.

Na osnovu u literaturi poznatih osnovnih karakteristika prizmatičnih profilnih noževa u pogledu geometrije uopšte i međusobnog odnosa alata i obradka upostavljena je nova metodologija projektovanja profilnih strugarskih noževa koja ima za cilj efikasno projektovanje noževa na bazi matematičkog modela (slika 4).



Slika 4. Šematski prikaz metodologije projektovanja prizmatičnog profilnog strugarskog noža

Osnovu uspostavljene metodologije projektovanja prizmatičnih profilnih strugarskih noževa čine:

**1. Poznate činjenice od kojih se polazi:**

- Definisane međusobnog odnosa alata i obratka ,
- Analiza obratka: oblika, dimenzija, materijala... ,
- Preporučene vrednosti za definisanje grudnog, leđnog i tangencijalnog ugla u zavisnosti od materijala izratka,
- Osnovi analitičke geometrije.

**2. Formiranje matematičkog modela**

Na osnovu skupa poznatih činjenica formira se hipoteza o spregnutosti i odnosu površina prizmatičnog profilnog strugarskog noža. Postavljena hipoteza data je kao matematički model kojim se jednoznačno definiše geometrija reznog dela noža. Matematički model temelji se na osnovama analitičke geometrije i zakonima transcendentnih funkcija.

**3. Algoritam za definisanje profila i radioničke dokumentacije profilnog noža**

Nakon što je matematički model postavljen razvijen je algoritam za određen tip profila izratka koji definiše profil prizmatičnog strugarskog noža na osnovu koga se lako generiše tehnička dokumentacija neophodna za izradu alata.

**4. Projektovanje tehnologije izrade prizmatičnog profilnog strugarskog noža**

Na osnovu generisane tehničke dokumentacije noža, vrši se projektovanje tehnologije izrade bilo da obradu na konvencionalnim ili CNC mašinama alatkama, prema proceduri opisanoj u [5], [6] .

**5. Verifikacija uspostavljene nove metodologije projektovanja na bazi konkretnog primera kroz sledeće korake:**

- Definisane oblika, dimenzija i materijala izratka,
- Na osnovu programa generiše se profil prizmatičnog profilnog strugarskog noža sa tehničkom dokumentacijom,
- Tehnologija izrade prizmatičnog profilnog strugarskog noža na osnovu generisane dokumentacije,
- Merenje i kontrola izrađenog strugarskog noža,
- Obrada dela na strugu primenom profilnog strugarskog noža,
- Merenje karakterističnih dimenzija izratka i poređenje sa dimenzijama koje su date radioničkim crtežom izradka.

Na osnovu utvrđenje metodologije odnosno matematičkog modela razvijen je program napisan u FORTRAN-u koji generiše tehničku dokumentaciju profilnog noža. Program omogućava efikasno projektovanje alata. Na konkretnom primeru izvršena je provera uspostavljene metodologije.

## **5. DETALJAN OPIS TEHNIČKOG REŠENJA**

Usposavljanje metodologije projektovanja profilnih strugarskih noževa ima za cilj efikasno projektovanje noževa na bazi matematičkog modela. Ovde se pošlo od poznatih činjenica kao što su:

- Definisane odnosa alata i obratka pri obradi prizmatičnim profilnim strugarskim nožem,
- Analiza izratka: oblika, dimenzija, tačnosti, materijala... ,
- Preporučene vrednosti grudnog, leđnog i dopunskog grudnog ugla za materijal izratka,
- Osnovi analitičke geometrije.

Na osnovu skupa poznatih činjenica formira se hipoteza o spregnutosti i odnosu površina prizmatičnog profilnog strugarskog noža. Postavljena hipoteza data je kao matematički model kojim se jednoznačno definiše geometrija reznog dela noža. Matematički model temelji se na osnovama analitičke geometrije i zakonima transcendentnih funkcija. Nakon što je matematički model postavljen razvijen je algoritam za određen tip profila izratka koji definiše profil prizmatičnog strugarskog noža na osnovu koga je lako generiše tehnička dokumentacija neophodna za izradu alata. Provera matematičkog modela izvršena je na konkretnom primeru.

### **5.1. Poznate činjenice i pretpostavke od kojih se polazi**

Ovde su radi lakšeg daljeg praćenja opisa nove metode date su i osnovne preporuke koje se koriste pri projektovanju prizmatičnih profilnih strugarskih noževa u pogledu izbora geometrije reznog dela alata u zavisnosti od materijala obratka, konstruktivne prihvatne elemente noža kao što je dimenzija lastinog repa koji služi za njegovo baziranje u nosaču alata i dr.

Na osnovu materijala izratka vrši se izbor preporučenih vrednosti grudnog i leđnog ugla u početnoj tački sečiva. U tabeli 2 date su preporučene vrednosti grudnog i leđnog ugla alata od brzoreznog čelika u zavisnosti od materijala obratka, [13].

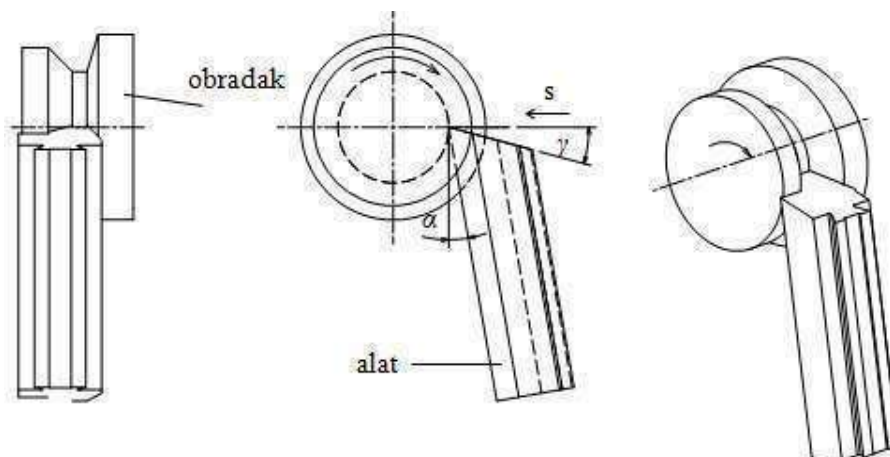
Tabela 2. Preporučene vrednosti grudnog i leđnog ugla alata od brzoreznog čelika u zavisnosti od materijala obratka

Redni broj	Materijal koji se obrađuje	Zatezna čvrstoća $R_m$ [ $daN/mm^2$ ]	Grudni ugao $\gamma_0$ [°]	Leđni ugao $\alpha_0$ [°]
1.	AlCu – legure		25 - 30	8 - 15
2.	Čelik	34 - 50	20	
3.	Čelik	50 - 60	15	
4.	Čelik	60 - 70	10	
5.	SL140; SL180		10	
6.	Čelik	65 - 75	10	
7.	Čelik	80 - 90	5	
8.	SL220		5	
9.	SL300 bronza, mesing		0	

Ukoliko je na noseću konstrukciju prizmatičnog noža pričvršćena pločica od tvrdog metala orijentacione vrednosti uglova reznog klinaalata prikazani su u tabeli 3. Na slici 5 prikazan je profilni tangencijalni strugarski nož sa osnovnim karakteristikama za koga se preporučuju osnovne konstrukcione mere.

Tabela 3. Preporučene vrednosti grudnog i leđnog ugla alata sa pločicom od tvrdog metala

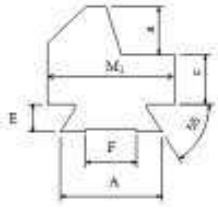
Materijal obratka	Leđni ugao $\alpha_0$ [°]	Grudni ugao $\gamma_0$ [°]	
		Lakši uslovi rada	Teži uslovi rada
Konstruktivni čelik $R_m \sim 100 daN/mm^2$	6	15 - 10	6 - 10
Konstruktivni čelik $R_m \sim 80 daN/mm^2$	6	10 - (-6)	10 - (-15)
Alatni čelici $R_m > 180 daN/mm^2$	5	6 - (-6)	0 - (-10)
Bakar	8	25 - 15	
Legure bakra	6	15 - 6	
Aluminijum	12- 8	35 - 15	
Tvrda guma	8	30 - 12	
Tvrđi papir	8	30 - 20	
Staklo	6	- 3 - (-6)	
Kamen	8 - 5	8 - (-10)	
Drvo	20	35 - 20	



Slika 5. Međusobni odnos alata i obratka pri obradi profilnim prizmatičnim strugarskim nožem;  $\alpha$  -leđni ugao,  $\gamma$  -grudni ugao,  $s$  - korak

Konstruktivne mere prizmatičnih profilnih noževa usvajaju se u zavisnosti od najveće dubine profila  $a_{\max}$  na izratku. Dubina profila obratka definiše se na osnovu razlike maksimalne i minimalne vrednosti prečnika profilne površine izratka. Konstrukcioni elementi prizmatičnih profilnih noževa mogu se odrediti prema tabeli 4.

Tabela 4. Karakteristične dimenzije profila prizmatičnog noža, [9]

	Širina noža $M_1$ [mm]	Dimenzije u [mm]	
		E	F
	od 10 do 14	2	6
	od 14 do 20	3	9
	od 20 do 28	4	12
	od 28 do 40	6	18
	od 40 do 56	8	24

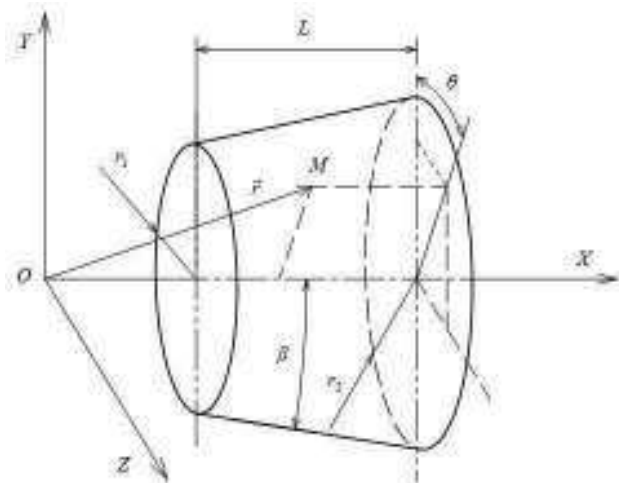
E- visina lastinog repa  
 $M_1$ - širina noža

Debljina prizmatičnog profilnog noža  $S$  određuje se  $S = a + C + E$  [mm] gde je:  
 a-dubina profila noža [mm], c- širina tela noža [mm] koja iznosi  $0.25 < C < 0.5M_1$ .

## 5.2. Matematički model reznog sečiva profilnog noža

Reznu ivicu prizmatičnog profilnog strugarskog noža u opštem slučaju se definiše kao liniju preseka površine obratka sa grudnom površinom koja se zatim translira duž pravca koga definiše ledni ugao noža. Da bi se izvršilo ovakvo definisanje rezne ivice noža neophodno je:

1. Analitički opisati izradak u koordinatnom sistemu XOYZ. Na slici 6. definisan je izradak koji ima oblik zarubljene kupe. Tačka M na omotaču zarubljene kupe može se definisati jednačinama 1.



Slika 6. Definisane koničnog izratka

$\rho$  - vektor položaja tačke M (na omotaču konusa) u koordinatnom sistemu XYZ.

$\beta$  - ugao konusa,  $r_1, r_2$  - najmanji i najveći prečnici konusa ( $r \in [r_1/\sin \beta, r_2/\sin \beta]$ ),

$L$  - dužina koničnog izratka,

$\theta$  - ugao koji definiše tačku M ( $\theta \in [0, 2\pi]$ ).

$$x = r \cos \beta;$$

$$y = r \sin \beta \cos \theta; \quad (1)$$

$$z = r \sin \beta \sin \theta$$

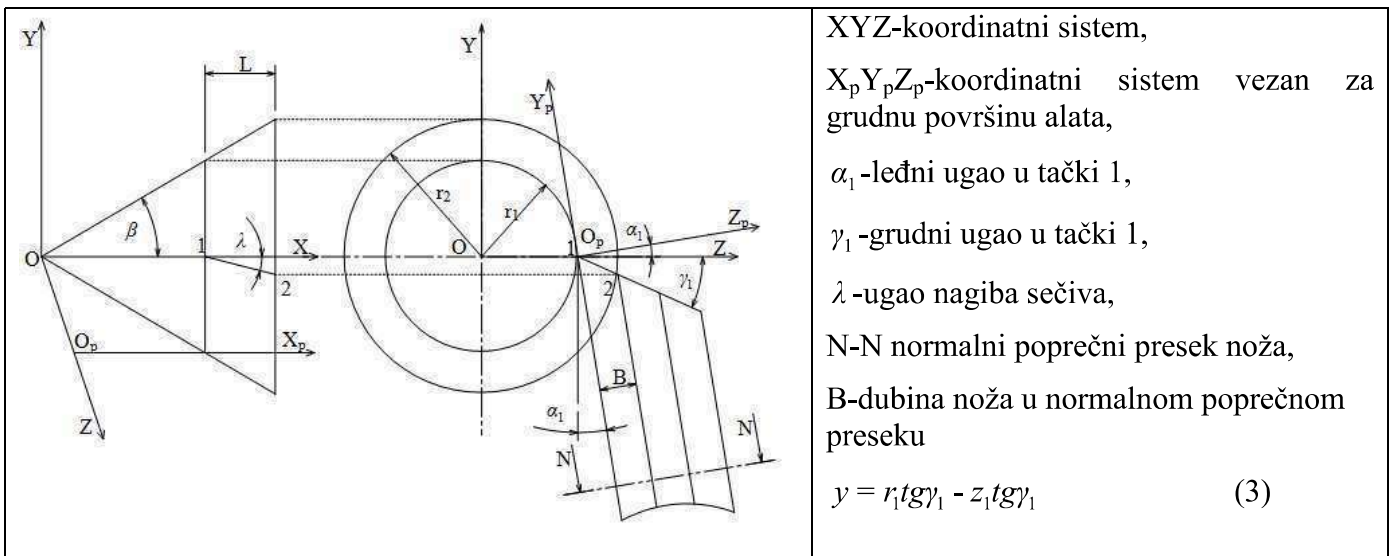
A na osnovu jednačine (1) dobija se

$$y = x \operatorname{tg} \beta \cos \theta,$$

$$z = x \operatorname{tg} \beta \sin \theta. \quad (2)$$

2. Jednačina koja definiše grudnu površinu alata u koordinatnom sistemu XYZ na osnovu slike 7 može se izraziti jednačinom 3.





Slika 7. Model za analitičko definisanje prizmatičnog profilnog noža

3. Zamenom jednačine koja definiše grudnu površinu alata u jednačinu 3 dobijaju se jednačine koje definišu sečivo alata u koordinatnom sistemu XYZ:

$$\begin{aligned} y &= x \operatorname{tg} \beta \cos \theta; \\ z &= x \operatorname{tg} \beta \sin \theta; \\ \theta &= \arccos \left( \frac{r_1 \sin \gamma_1}{x \operatorname{tg} \beta} \right) + \gamma_1 \end{aligned} \quad (4)$$

4. Transformacija koordinata iz koordinatnog sistema XYZ u koordinatni sistem  $X_p Y_p Z_p$  koji je vezan za grudnu površinu alata definiše se pomoću matrice na sledeći način:

$$\begin{pmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (5)$$

gde je M transformaciona matrica kojom se vrši prevođenje iz jednog u drugi koordinatni sistem. Matrica M definisana je na sledeći način:

$$M = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_1 & -\sin \alpha_1 & r_1 \sin \alpha_1 \\ 0 & \sin \alpha_1 & \cos \alpha_1 & -r_1 \cos \alpha_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (6)$$

Veza između koordinata iz koordinatnog sistema XYZ i koordinatnog sistema  $X_p Y_p Z_p$  date su jednačinama 7.

$$\begin{aligned} x_p &= x; \\ y_p &= y \cos \alpha_1 - z \sin \alpha_1 + r_1 \sin \alpha_1; \\ z_p &= y \sin \alpha_1 + z \cos \alpha_1 - r_1 \cos \alpha_1. \end{aligned} \quad (7)$$

5. Zamenom koordinata koje su definisane jednačinama 4 u jednačine 7 dobija se jednačina rezne ivice u koordinatnom sistemu  $X_p Y_p Z_p$ :

$$\begin{aligned}
 x_p &= x; \\
 y_p &= xtg\beta \cos(\theta + \alpha_1) + r_1 \sin \alpha_1; \\
 z_p &= xtg\beta \sin(\theta + \alpha_1) - r_1 \cos \alpha_1
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

6. Uvođenjem koordinatnog sistema  $X_p, Y_p, Z_p$ , koji se poklapa sa koordinatnim sistemom  $X_p, Y_p, Z_p$  i tekuće koordinate  $y'_p$  u koordinatnom sistemu  $X_p, Y_p, Z_p$ , definiše se ledna površina alata kao:

$$\begin{aligned}
 x'_p &= x; \\
 y'_p &= xtg\beta \cos(\theta + \alpha_1) + r_1 \sin \alpha_1 \pm H; \\
 z'_p &= xtg\beta \sin(\theta + \alpha_1) - r_1 \cos \alpha_1
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

7. Cilj je matematički definisati reznu ivicu u koordinatnom sistemu alata  $X_p, Y_p, Z_p$ , što se može postići ukoliko je vrednost koordinate  $y'_p = 0$  :

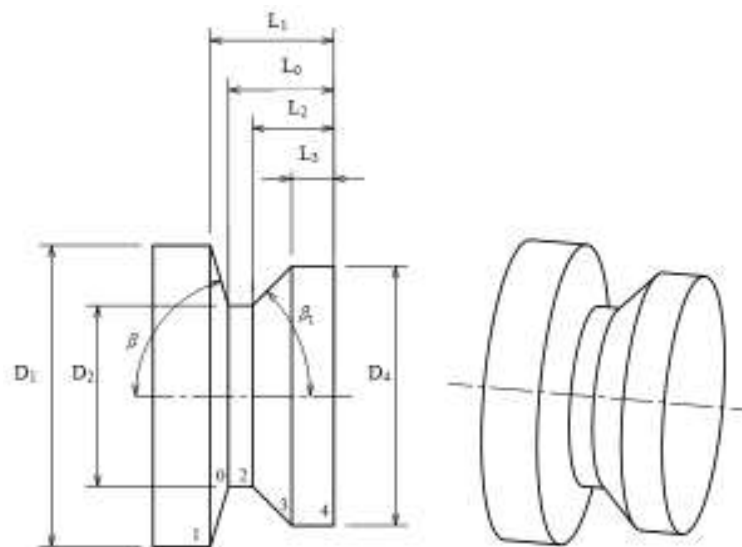
$$\begin{aligned}
 x'_p &= x; \\
 z'_p &= xtg\beta \cos(\theta + \alpha_1) - r_1 \sin \alpha_1; \\
 \theta &= \arccos\left(\frac{r_1 \sin \gamma_1}{xtg\beta}\right) + \gamma_1.
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

### 5.2.1 Matematički model prizmatičnog tangencijalnog strugarskog noža

Matematički model tangencijalnog prizmatičnog profilnog strugarskog noža ima za cilj definisanje međusobnog odnosa površina reznog dela alata pomoću trigonometrijskih transcendentnih funkcija. Da bi se definisao matematički model prizmatičnog profilnog tangencijalnog strugarskog noža neophodno je izvršiti analizu izratka.

#### ○ Analiza izratka-radnog predmeta

Na strugu se izrađuju rotaciono simetrični predmeti. Na slici 8. je prikazan izgled izradka koga treba izraditi na strugu prizmatičnim profilnim tangencijalnim nožem.

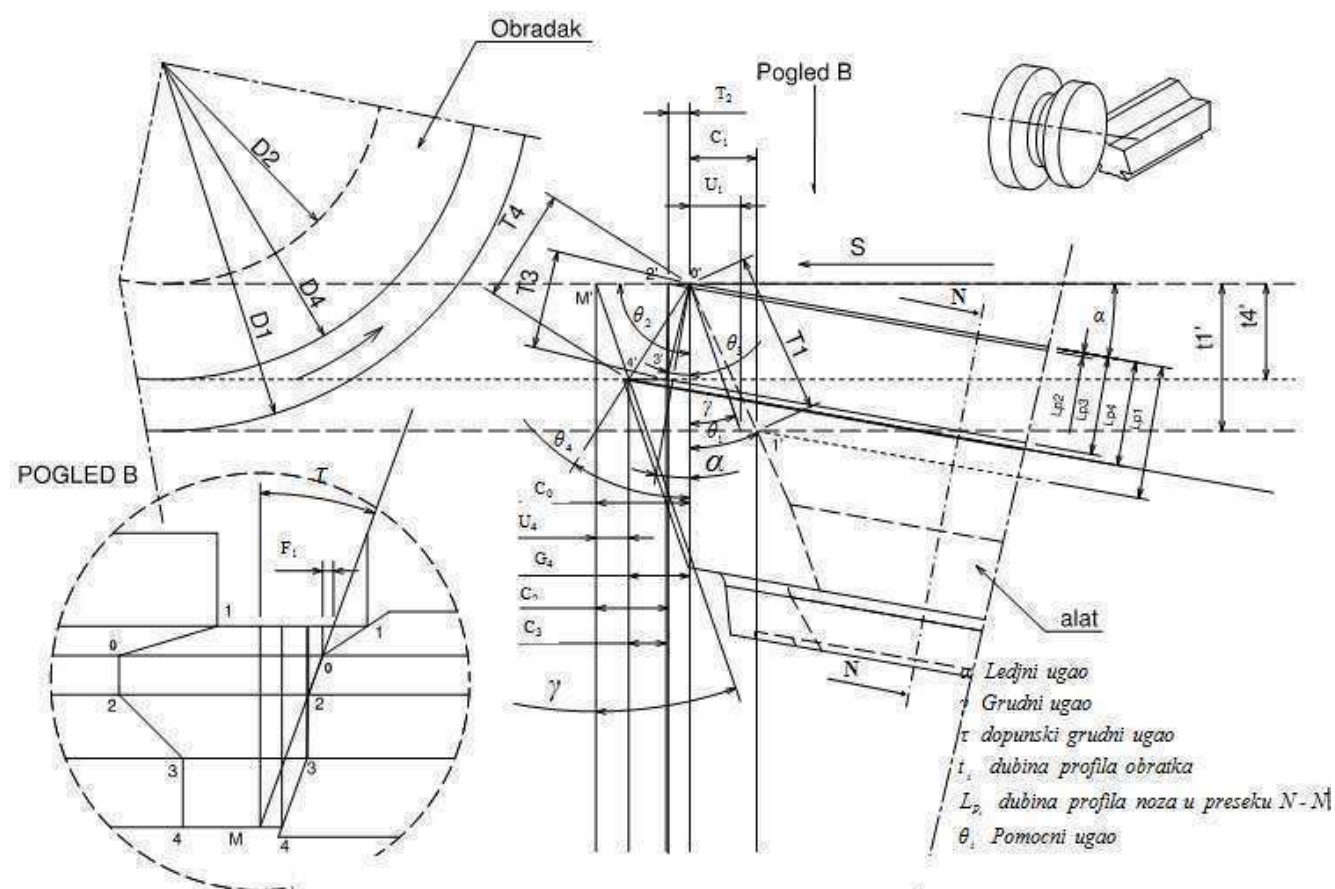


Slika 8. Oblik i dimenzije izratka

Profili rotaciono simetričnih tela se u dijametralnom preseku sastoje od pravih i krivih linija. Tangencijalnim prizmatičnim profilnim strugarskim nožem treba izraditi složenu površinu čija je izvodnica podeljena na niz segmenata i povezana tačkama 1-0-2-3-4.

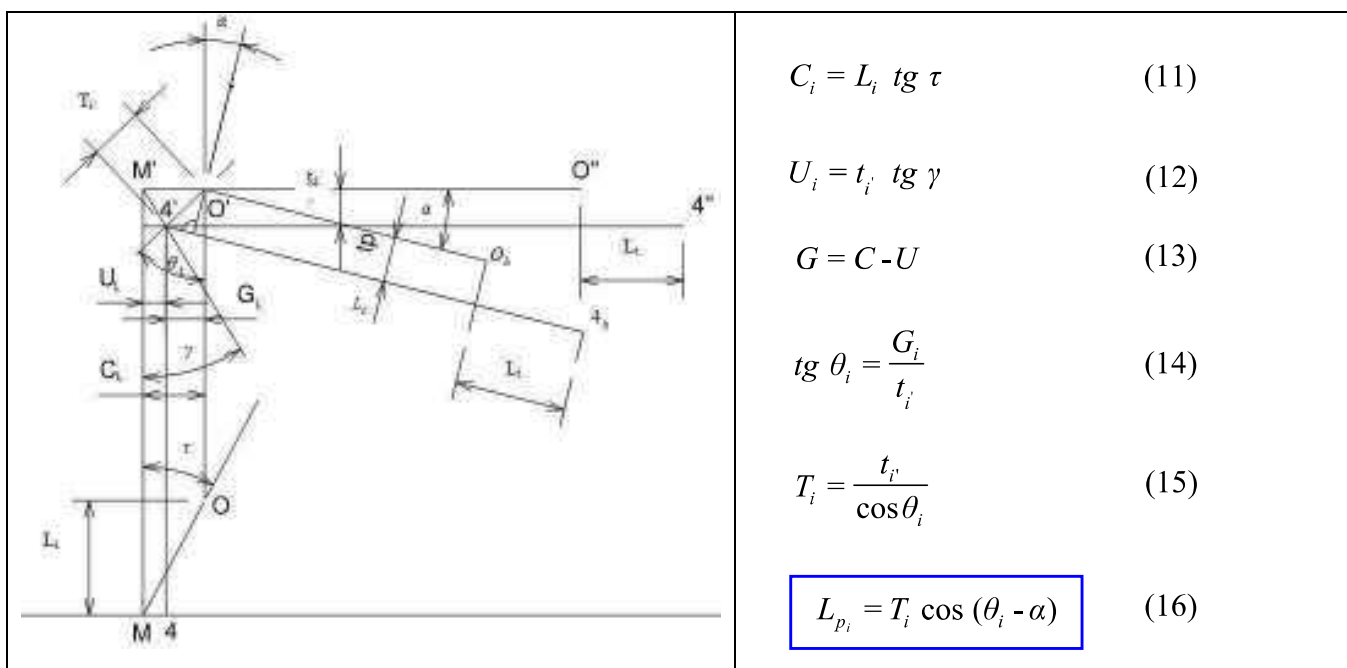
Pri rotaciji pravolinijskog dela 3-4 koji sa osom rotacije zaklapa ugao  $\beta = 0^\circ$  nastaje cilindrična površina, dok pri rotaciji pravolinijskog dela 2-3 koji zaklapa sa osom rotacije ugao  $\beta_1$  nastaje zarubljena kupa. Pri rotaciji pravolinijskog dela 2-0 nastaje cilindar i pri rotaciji dela 0-1 koji sa osom rotacije zaklapa ugao od  $\beta$  nastaje zarubljena kupa. Ukoliko se kontura izratka sastoji od krivolinijskih rotacionih površina onda se ona deli na veći broj krivolinijskih segmenata koji se mogu aproksimirati pravolinijskim. Što je broj podela veći to je aproksimacija profila tačnija.

Na osnovu skupa poznatih činjenica, koje su date ranije, kao i osnovnih karakteristika prizmatičnih noževa formira se hipoteza o spregnutosti i odnosu površina prizmatičnog profilnog strugarskog noža. Postavljena hipoteza data je kao matematički model kojim se jednoznačno definiše geometrija reznog dela noža. Matematički model prikazan je na slici 9. temelji se na osnovama analitičke geometrije i zakonima transcendentnih funkcija.



Slika 9. Grafički prikaz parametara tangencijalnog prizmatičnog strugarskog noža koji se koriste u Matematičkom modelu

Matematički model tangencijalnog prizmatičnog profilnog strugarskog noža prikazan je u tri projekcije koje su povezane i na kojima su definisane karakteristične dimenzije koje imaju za cilj određivanje veličine  $L_{pi}$  koja predstavlja dubinu profila noža u njegovom normalnom poprečnom preseku N-N za svaku karakterističnu tačku profila noža. Veličina  $L_{pi}$  je važna obzirom da definiše dubinu noža u normalnom preseku koji je osnova za njegovu izradu. Na slici 10 je prikazan način određivanja karakterističnih dimenzija koje su prikazane u matematičkom modelu i to za karakterističnu tačku 4 profila noža. Jednačine koje važe za tačku 4 profila noža, zbog konstantnih vrednosti grudnog i dopunskog grudnog ugla,  $\gamma = const$  i  $\tau = const.$ , imaju opšti karakter i važe za svaku karakterističnu tačku profila noža, jednačine 11 i 12 [16].



Slika 10. Određivanje karakterističnih dimenzija profila prizmatičnog tangencijalnog noža

Jednačina 16 definiše dubinu profila karakteristične tačke noža u njegovom normalnom poprečnom preseku na osnovu koga se generiše radionička dokumentacija prizmatičnog profilnog tangencijalnog strugarskog noža. Matematički model definisan je u radnom položaju alata u odnosu na obradak. To znači da se preko geometrije profilnog noža u kinematičkom koordinatnom sistemu definišu međusobni odnosi površina reznog dela odnosno definiše statička geometrija alata.

Kao što se vidi iz matematičkog modela koji je prikazan na slici 9. da se pri određivanju dubine profila noža u karakterističnoj tački, što je osnovni cilj matematičkog modela, postoji dosta međurezultata čije izračunavanje je potrebno ponavljati za svaku tačku profila alata. Zbog toga se daje algoritam kojim je obuhvaćen matematički model prizmatičnog tangencijalnog strugarskog noža. Algoritam ima za cilj lakše pisanje programa u programskom paketu FORTRAN kojim se generiše tehnička dokumentacija noža, [8].

### 5.3. Algoritam za definisanje profila i radioničke dokumentacije profilnog noža

Na osnovu detaljno izvršenog matematičkog modeliranja tangencijalnog prizmatičnog profilnog strugarskog noža formira se algoritam u cilju lakšeg pisanja programa u programskom paketu FORTRAN.

#### Ulazni podaci:

- Podaci o izratku:

$D_1, D_2, D_4$  - prečnici izratka (uslov  $D_1 > D_4 > D_2$ )

$L_0, L_1, L_2, L_3$  - karakteristične dužine izratka (uslov  $L_1 > L_0 > L_2 > L_3$ )

Vrednosti prečnika i karakterističnih dužina izratka date su u [mm]

- Podaci o geometriji alata:

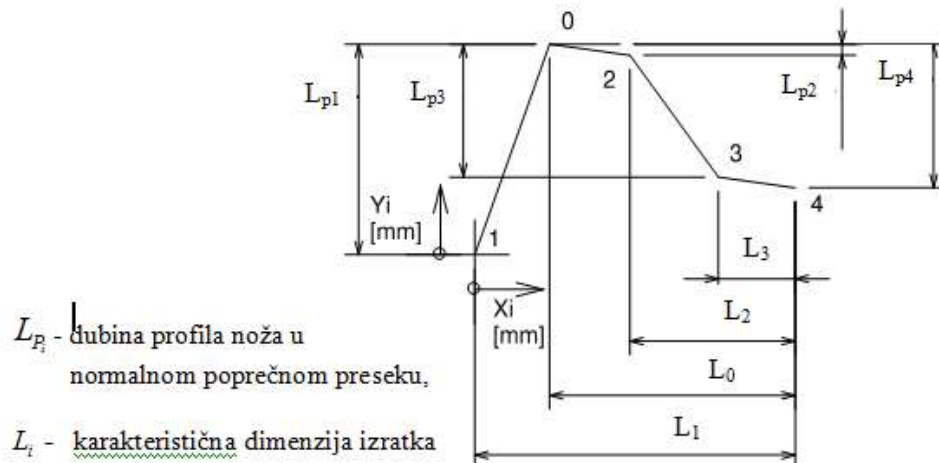
Grudni ugao  $\gamma$  [°], leđni ugao  $\alpha$  [°], dopunski grudni ugao  $\tau$  [°]

### Obrada ulaznih podataka:

Izračunavanje karakterističnih dimenzija profilnog strugarskog noža u njegovom normalnom poprečnom preseku prema jednačinama 11-16.

Uspostavljanje koordinatnog sistema u ravni normalnog poprečnog preseka strugarskog noža N-N i definisanje koordinata karakterističnih tačaka profila:

Na slici 11. je prikazan način određivanja koordinata karakterističnih tačaka profila strugarskog noža na osnovu predhodno izračunate veličine  $L_{P_i}$  koja predstavlja dubinu profila noža u normalnom poprečnom preseku i već poznate dimenzije koja je karakteriše izradak  $L_i$ .



**Slika 11. Određivanje koordinata karakterističnih tačaka profila strugarskog noža u njegovom normalnom poprečnom preseku**

Određivanje koordinata karakterističnih tačaka profila noža:

**Tačka 1:**  $X_1 = 0; Y_1 = 0$

**Tačka 0:**  $X_0 = L_1 - L_0; Y_0 = L_{P_1}$

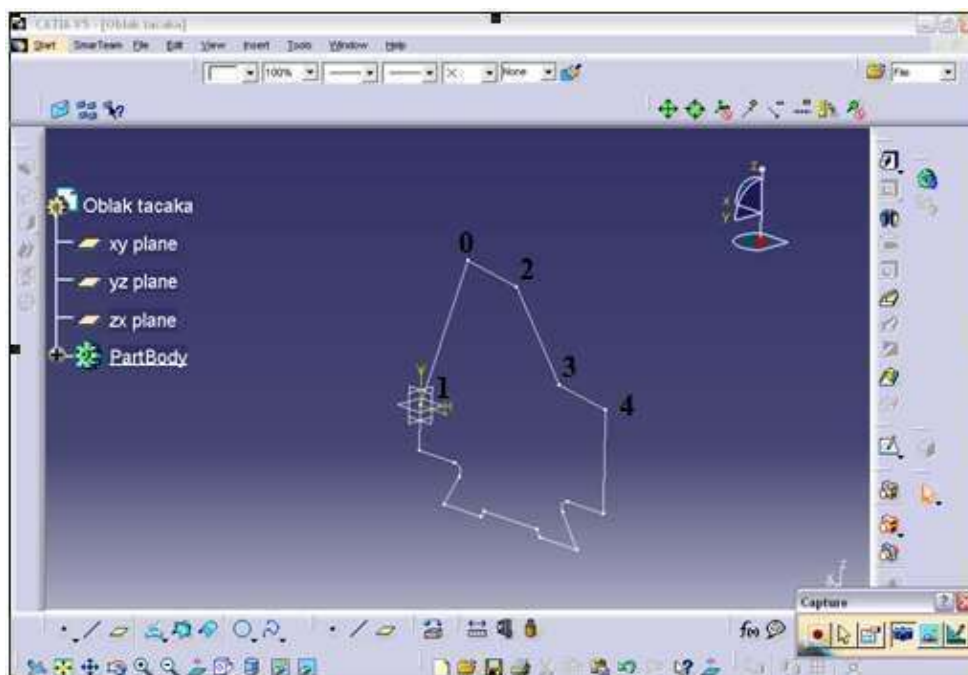
**Tačka 2:**  $X_2 = L_1 - L_2; Y_2 = L_{P_1} - L_{P_2}$

**Tačka 3:**  $X_3 = L_1 - L_3; Y_3 = L_{P_1} - L_{P_3}$

**Tačka 4:**  $X_4 = L_1; Y_4 = L_{P_1} - L_{P_4}$

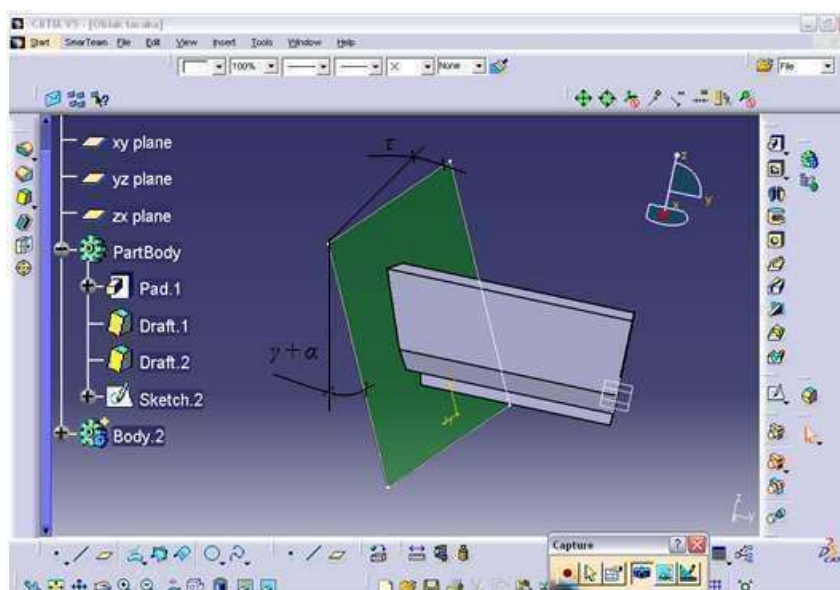
### Formiranje datoteke 'koordinate.dat' :

Datoteka se sastoji od koordinata karakterističnih tačaka profila. Preimenovanjem imena datoteke koord.dat u koordinate.rpm i importovanjem kao oblaka tačaka u programski paket CATIA kao i njihovim spajanjem se dobija profil koji je prikazan na slici 12.



Slika 12 Profil strugarskog noža generisan u programskom paketu CATIA na osnovu datoteke koordinata karakterističnih tačaka koja je dobijena kao izlaz iz programa

Translacijom generisanog profila duž prave linije i presekom sa ravni koja je definisana zbirom grudnog i leđnog ugla kao i tangencijalnim uglom dobija se trodimenzioni model prizmatičnog noža na osnovu koga se lako dobija radionička dokumentacija, slika 13.



Slika 13. CAD model prizmatičnog profilnog prizmatičnog strugarskog noža

Na osnovu ovog algoritma sačinjen je jednostavan program *GeomTanStNoza.f* u programskom jeziku FORTRAN na osnovu koga se generiše tehnička dokumentacija prizmatičnog profilnog tangencijalnog strugarskog noža. Izvorni kod programa *GeomTanStNoza.f* dat je u prilogu ovog rada.

#### 5.4. Verifikacija postavljenog matematičkog modela i razvijene programske podrške

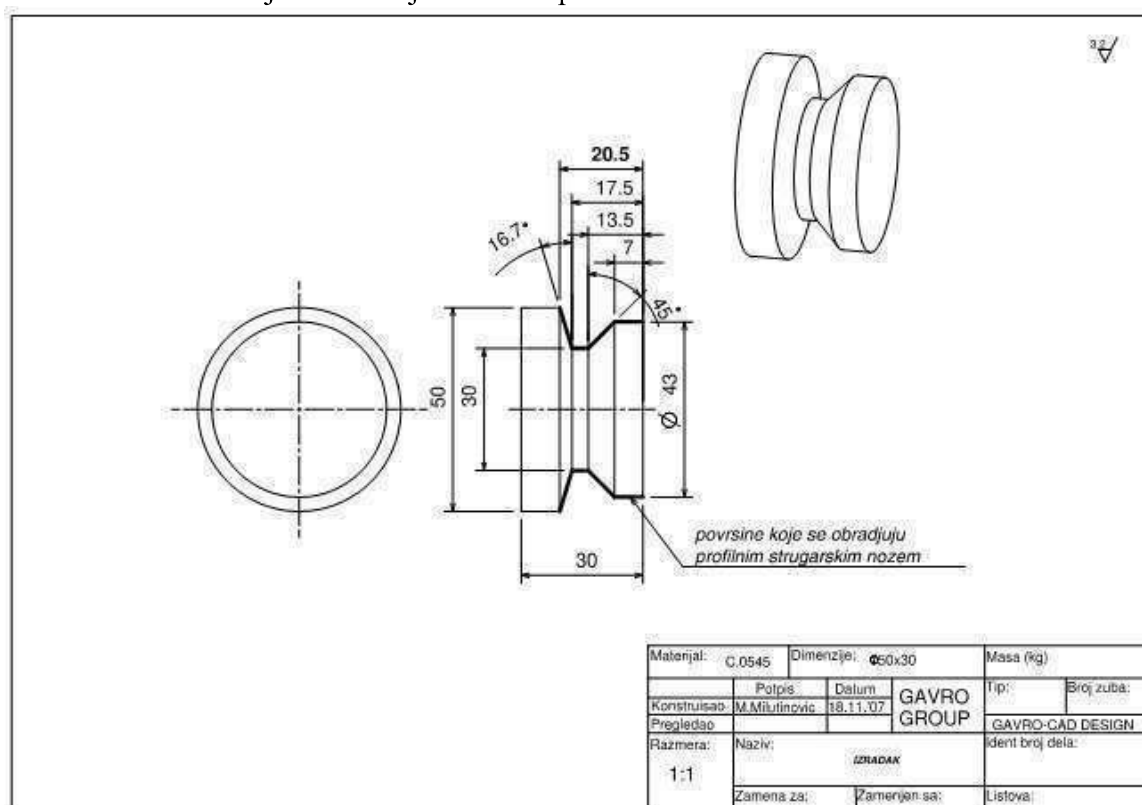
Na osnovu uspostavljenog matematičkog modela tangencijalnog prizmatičnog profilnog strugarskog noža razvijen je program na osnovu koga se generiše tehnička dokumentacija noža.

Verifikacija postavljene hipoteze ima za cilj proveru postavljenog matematičkog modela i izvodi se na konkretnom izratku što podrazumeva:

- Definisane oblika, dimenzija, tolerancija oblika, položaja i materijala izratka,
- Na osnovu programa generiše se profil prizmatičnog profilnog strugarskog noža sa tehničkom dokumentacijom,
- Tehnologiju izrade prizmatičnog profilnog strugarskog noža na osnovu generisane dokumentacije,
- Merenje i kontrolu izrađenog profilnog strugarskog noža,
- Obradu komada na strugu,
- Merenje karakterističnih dimenzija izratka i poređenje sa dimenzijama koje su date radioničkim crtežom izratka.

##### 5.4.1 Definisane oblika, dimenzija i materijala izratka

Na slici 14 prikazani su oblik i dimenzije dela koji se izrađuje prizmatičnim tangencijalnim profilnim strugarskim nožem. Materijal obratka je tehnička plasika.



Slika 14. Oblik i dimenzije izratka

##### 5.4.2 Generisanje tehničke dokumentacije profilnog noža na osnovu razvijenog programa

Na osnovu izratka koji je dat na slici 14 može se primetiti da je za proračun dubine profila svake karakteristične tačke noža u njegovom normalnom poprečnom preseku neophodno dosta vremena. U cilju efikasnijeg proračuna radijalnih dubina noža i njegovog konstruisanja na osnovu algoritma za generisanje tehničke dokumentacije koji je objašnjen u tački 5.3 izvršena je verifikacija programa GeomTanStNoza.f.

Na osnovu ulaznih podataka o izratku i geometriji profilnog tangencijalnog strugarskog noža (dati u tabeli 5) koji predstavljaju ulazne parametre u program GeomTanStNoza.f generišu se izlazni podaci koji su prikazani zajedno sa izgledom ekrana nakon generisanja izlaznih podataka na slici 15.

Tabela 5. Ulazni podaci o izratku i geometriji profilnog noža sa slike 14

Ulazni podaci o izratku:		Ulazni podaci o geometriji profilnog noža:
$D_1 = 50 \text{ mm}$	$L_0 = 17.5 \text{ mm}$	$\gamma = 19^\circ$ $\alpha = 10^\circ$ $\tau = 20^\circ$
$D_2 = 30 \text{ mm}$	$L_1 = 20.5 \text{ mm}$	
$D_4 = 43 \text{ mm}$	$L_2 = 13.5 \text{ mm}$	
	$L_3 = 7 \text{ mm}$	

```

[Inactive GeomTanStNoza.exe]
Uneti podatke o izratku
Uneti vrednosti precnika D1, D2, D4 [mm]:
50.,30.,43.
Uneti vrednosti..... L0, L1, L2, L3 [mm]:
17.5,20.5,13.5,7.
Uneti vrednosti uglova tang. prof. strug noza:
Uneti vrednost ledjnog ugla al (alfa) u stepenima:
10.
Uneti vrednost grudnog ugla ga (gama) u stepenima:
19.
Uneti vrednost tangencijalnog ugla t (tau) u step.:
20.
*****
Za tacku 1 dobijaju se vrednosti respektivno      :
F1,   U1,   C1,   tet1,   T1,   LP1
1.0919106  3.44327593  4.53518677  24.3951797  10.9803429  9.06055069
*****
Za tacku 2 dobijaju se vrednosti respektivno      :
C2,   tet2,   LP2
4.91359806  90.  0.252810955
*****
Za tacku 3 dobijaju se vrednosti respektivno      :
C3,   G3,   tet3,   T3,   LP3
2.54779148  1.58355808  13.6919203  6.69011593  6.67623186
*****
Za tacku 4 dobijaju se vrednosti respektivno      :
U4,   tet4,   G4,   T4,   lp4
2.23812938  32.439724  4.13134956  7.70182133  7.11865187

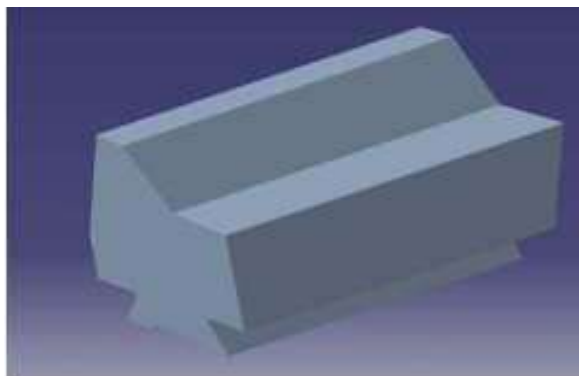
```

↓

Koordinate.dat	Xi [mm]	Yi [mm]
	0.00	0.00
	3.00	9.06
	7.00	8.81
	13.50	2.38
	20.50	1.94

Slika 15. Izlazni podaci iz programa GeomTanStNoza.f

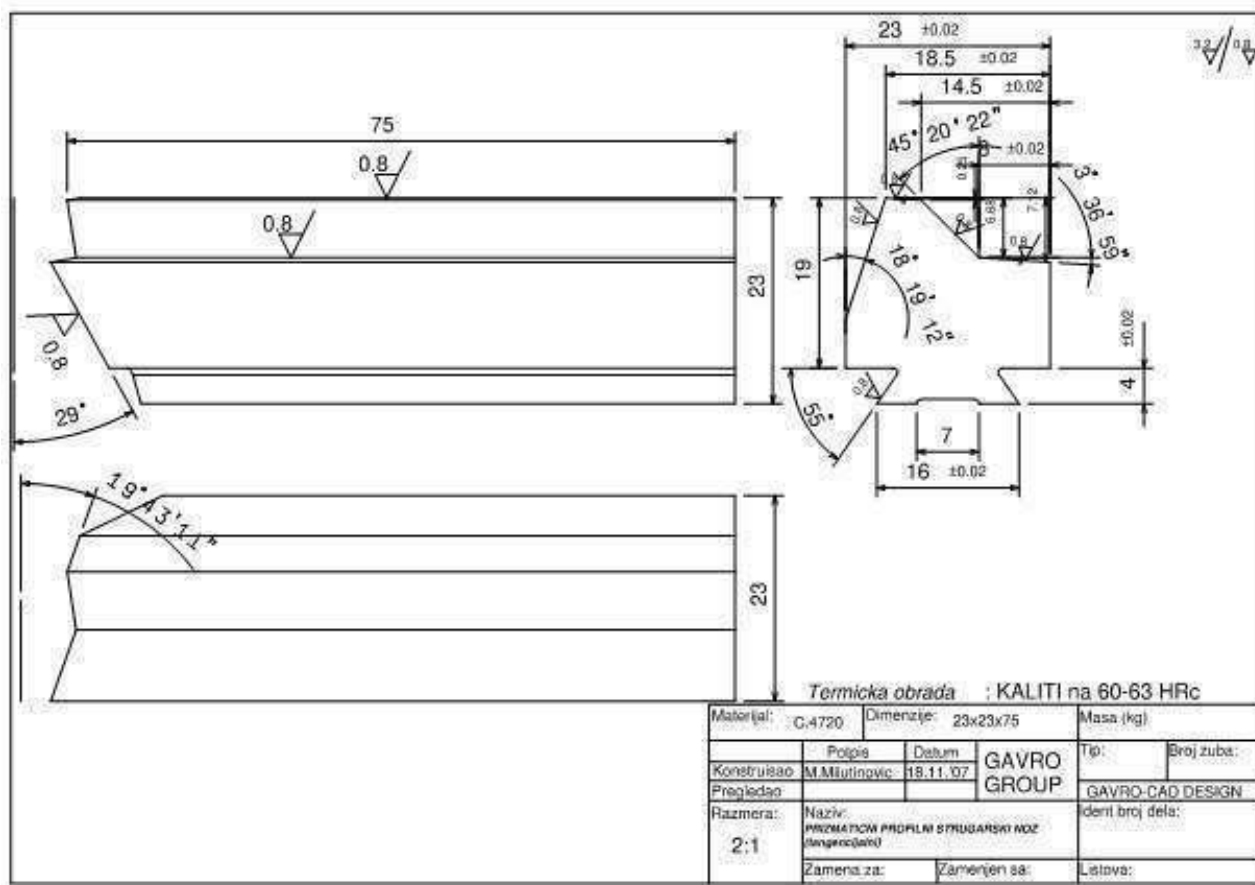
Na osnovu izlaznih podataka odnosno na osnovu datoteke koordinate.dat i njenim prilagođavanjem programskom paketu CATIA dobija se profil strugarskog noža u normalnom poprečnom preseku. Translacijom dobijenog profila noža duž prave linije i presekom sa ravni koja je definisana zbirom grudnog i lednog ugla,  $\gamma + \alpha$ , i dopunskim grudnim uglom  $\tau$  dobija se trodimenzioni profil strugarskog noža koji je prikazan na slici 16.



Slika 16. Trodimenzioni model prizmatičnog profilnog tangencijalnog strugarskog noža u programskom paketu CATIA



Na osnovu 3D CAD modela koji je prikazan na slici 16 generisana je tehnička dokumentacija profilnog prizmatičnog strugarskog noža koja je prikazana na slici 17.



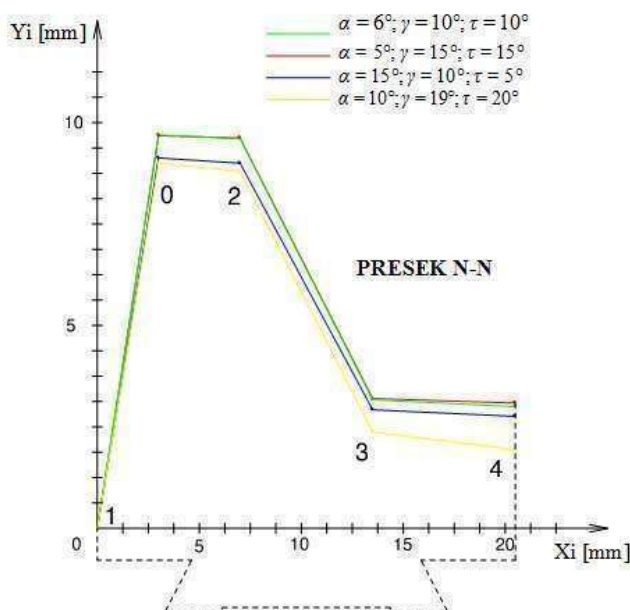
Slika 17. Tehnička dokumentacija tangencijalnog prizmatičnog profilnog strugarskog noža generisana na osnovu programa GeomTanStNoža.f

Poređenjem rezultata proračuna karakterističnih dimenzija izračunatih za svaku tačku profila tangencijalnog prizmatičnog profilnog strugarskog noža koji su sistematizovani u tabeli 6 (prema jednačinama datim u tački 5.2) sa izlaznim rezultatima dobijenih na osnovu programa GeomTanStNoža.f koji su prikazani na slici 15 zaključuje se da su rezultati identični što potvrđuje da je program ispravno napisan.

Tabela 6. Vrednosti karakterističnih dimenzija profila strugarskog noža

Redni broj tačke profila	Grudni ugao $\gamma$ [°]	Leđni ugao $\alpha$ [°]	Tangencijalni ugao $\tau$ [°]	$U_i$ [mm]	$\theta_i$ [°]	$G_i$ [mm]	$T_i$ [mm]	$L_i$ [mm]	$L_{p_i}$ [mm]
1	19	10	20	3.44	24.37	-	11	20.5	9
2				-	90	-	1.45	13.5	0.25
3				-	13.74	1.59	6.69	7	6.67
4				2.23	32.43	4.13	7.7	-	7.11

Koristeći napisan FORTRAN-ski program GeomTanStNoža.f na slici 18 prikazani su profili tangencijalnih prizmatičnih strugarskih noževa u njihovim normalnim preseccima za različite vrednosti grudnog, leđnog i dopunskog grudnog ugla. Dimenzije izratka su identične u svim slučajevima odgovaraju izratku koji je prikazan na slici 14.



Slika 18. Profili noževa u normalnom poprečnom preseku za različite vrednosti grudnog, leđnog i tangencijalnog ugla generisan programom GeomTanStNoza.f

Sa slike 18 može se zaključiti da za različite vrednosti grudnog, leđnog i tangencijalnog ugla odgovaraju različite korekcije profila strugarskog noža.

Na osnovu generisane tehničke dokumentacije profilnog noža može se izvršiti projektovanje tehnologije izrade noža.

Materijal profilnog strugarskog noža je brzorezni čelik Č4150 koji se termički obradjuje zbog povećanja tvrdoće. Gabaritne dimenzije noža su 23mm x 23mm x 75. Sve površine profila noža su brušene. U narednom koraku definiše se tehnologija izrade prizmatičnog profilnog strugarskog noža.

#### 5.4.3. Tehnologija izrade tangencijalnog prizmatičnog profilnog strugarskog noža

Broj operacija i zahvata pri izradi profilnih strugarskih noževa zavisi od složenosti profila i njegovih mera i najčešće obuhvata sledeće operacije: sečenjem priprema, glodanje bočnih površina noža, glodanje ili rendisanje profila noža, čišćenje i obaranje ivica, kaljenje i otpuštanje, oštrenje (brušenjem) uglova i kontrola i merenje. Operacije glodanja i brušenja mogu se izvoditi na konvencionalnim ili CNC mašinama alatkama u zavisnosti od veličine serije i složenosti profila noža.

Ovde je na osnovu tehničkog crteža prizmatičnog-tangencijalnog koji je prikazan na slici 17 izvršeno projektovanje tehnologije izrade tangencijalnog prizmatičnog profilnog strugarskog noža na konvencionalnim mašinama.

Prizmatični tangencijalni profilni strugarski nož izrađuje se u tri operacije odnosno 10 zahvata. Napominje se da prilikom izrade noža lastin rep nije napravljen zbog plana stezanja alata na univerzalnom strugu o čemu će biti reči kasnije. U tabeli 7. daje se pregled operacija i zahvat obrade profilnog noža bez navođenja režima rezanja.

Zbog relativno male dubine profila kompletna obrada noža izvršena je na **univerzalnoj brusilici za oštrenje alata** i bez predobrade na glodalici. Za pripremak je izabran **polufabrikat od brzoreznog čelika Č4150** (nekaljen) sa dimenzijama 23x23x80 mm. A izabrani su **rezni alati (tocila)**: koturasto (veštački korund) i lončasto tocilo.

Tabela 7. Redosled operacija i zahvata obrade prizmatičnog-tangencijalnog strugarskog noža



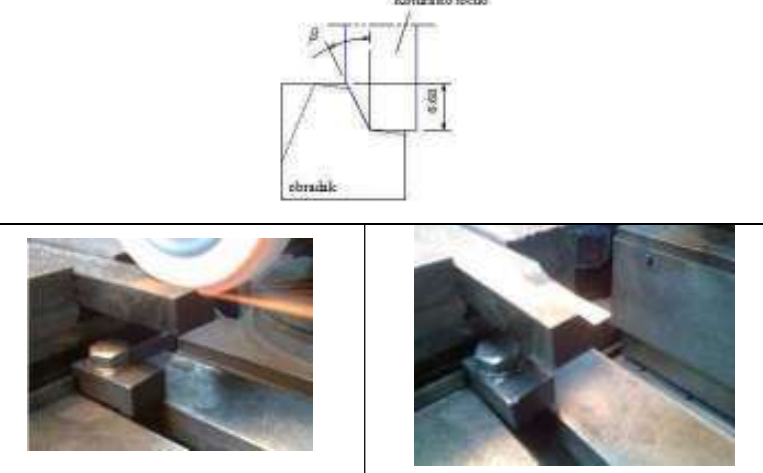
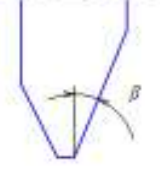
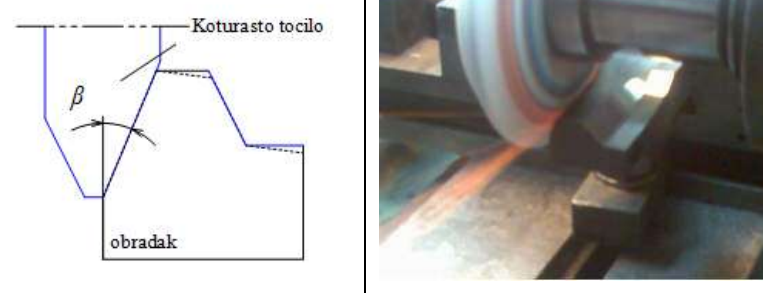

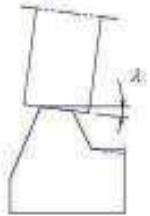

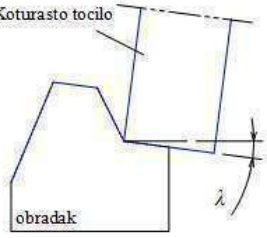


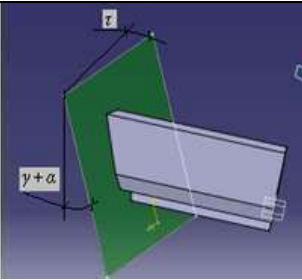

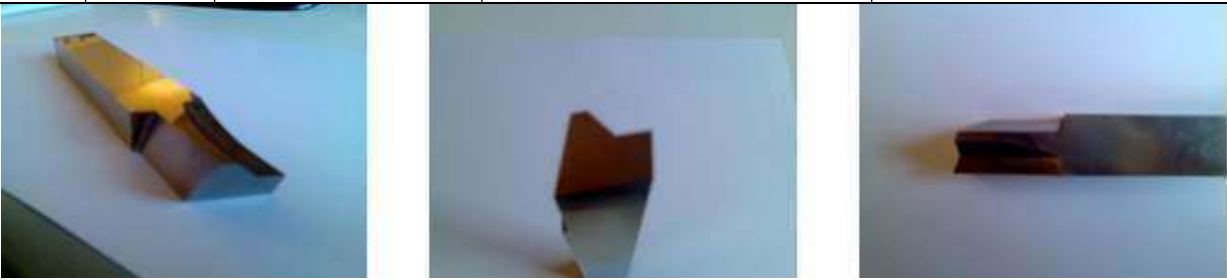
Broj operacije	Broj zahvata	Naziv zahvata	Skica zahvata
10	01	Brušenje dela leđne površine prizmatičnog-tangencijalnog profilnog strugarskog noža.	 <p>Diagram showing a cross-section of a tool with a flat grinding surface. Labels include 'obradak' (workpiece), 'Koturasto točilo' (grinding wheel), and '6 mm' (grinding depth). Two photographs show the grinding process in progress.</p> <p>Ravnim koturastim točilom na dubinu 6 mm.</p>
	02	Profilisanje točila pod uglom $\beta=45^{\circ}20'22''$ .	 <p>Diagram showing a cross-section of a tool with a beveled tip. Labels include 'Koturasto točilo' (grinding wheel) and the angle <math>\beta</math>. A photograph shows the grinding process.</p>
	03	Brušenje istovremeno ravne površine na dubinu 6,68 mm i leđne površine (koja je definisana uglom profilnog točila) prizmatičnog-tangencijalnog profilnog strugarskog noža.	 <p>Diagram showing a cross-section of a tool with a flat grinding surface and a beveled tip. Labels include 'Koturasto točilo' (grinding wheel), 'obradak' (workpiece), and '6,68 mm' (grinding depth). Two photographs show the grinding process.</p>
	04	Profilisanje koturastog glodala pod uglom $\beta=18^{\circ}19'$ .	 <p>Diagram showing a cross-section of a tool with a rounded tip. Label includes the angle <math>\beta</math>.</p>
	05	Brušenje dela leđne površine prizmatičnog-tangencijalnog profilnog strugarskog noža koturastim točilom.	 <p>Diagram showing a cross-section of a tool with a flat grinding surface. Labels include 'Koturasto točilo' (grinding wheel), 'obradak' (workpiece), and the angle <math>\beta</math>. A photograph shows the grinding process.</p>

Tabela 7. Redosled operacija i zahvata obrade prizmatičnog-tangencijalnog strugarskog noža (nastavak 1)

	06	Profilisanje koturastog tocila.		
	07	Brušenje leđne površine prizmatičnog-tangencijalnog profilnog strugarskog noža.		
			Glavno vreteno univerzalne brusilice zakreže se za ugao $\lambda=3^{\circ}36'$ koji odgovara uglu na nožu.	
	08	Brušenje leđne površine prizmatičnog-tangencijalnog profilnog strugarskog noža.		
			Glavno vreteno univerzalne brusilice zakreže se za ugao $\lambda=3^{\circ}36'$ koji odgovara uglu izratka.	
20	01	Brušenje složene leđne površine prizmatičnog-tangencijalnog profilnog strugarskog noža lončastim točilom.		
30	02	Brušenje grudne površine prizmatičnog-tangencijalnog profilnog strugarskog noža.		
				
Model prizmatičnog profilnog tangencijalnog strugarskog noža				

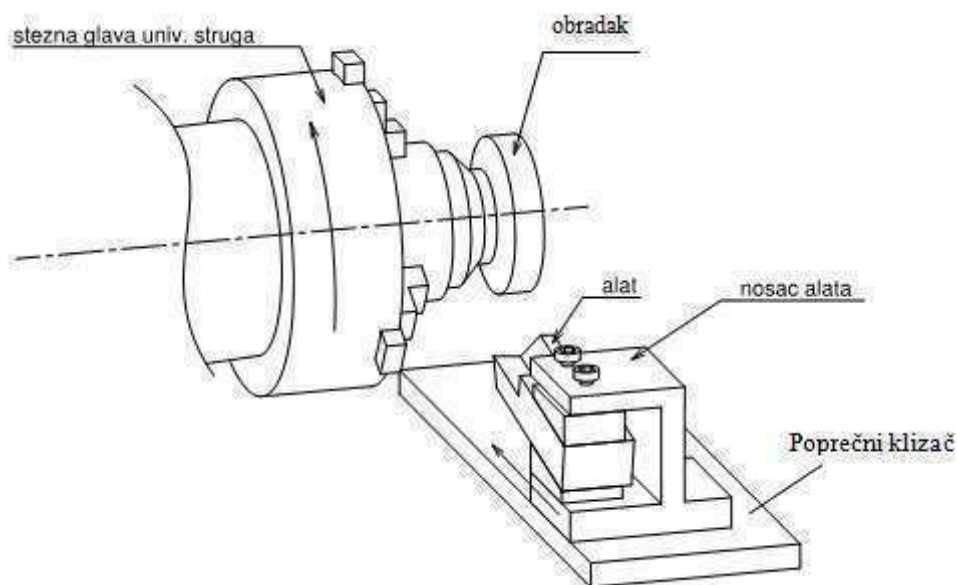
Pomoću profil projekora izvršena je kontrola izrađenog profilnog noža. Meren je zbir grudnog i leđnog ugla profilnog noža,  $\alpha + \gamma = 29^\circ$ , koji je definisan u tehničkoj dokumentaciji koja je prikazana na slici 17. Kontrola zbira grudnog i leđnog ugla prikazana je na slici 19. Izmereni ugao odgovara vrednosti koja je zadata tehničkom dokumentacijom. Na osnovu generisane tehničke dokumentacije, propisane tehnologije izrade, merenja i kontrole utvrđeno je da oblik i dimenzije izrađenog prizmatičnog profilnog tangencijalnog strugarskog noža odgovaraju zahtevima propisanim tehničkom dokumentacijom, [13].



Slika 19 Merenje i kontrola zbira grudnog i leđnog ugla tangencijalnog profilnog strugarskog noža

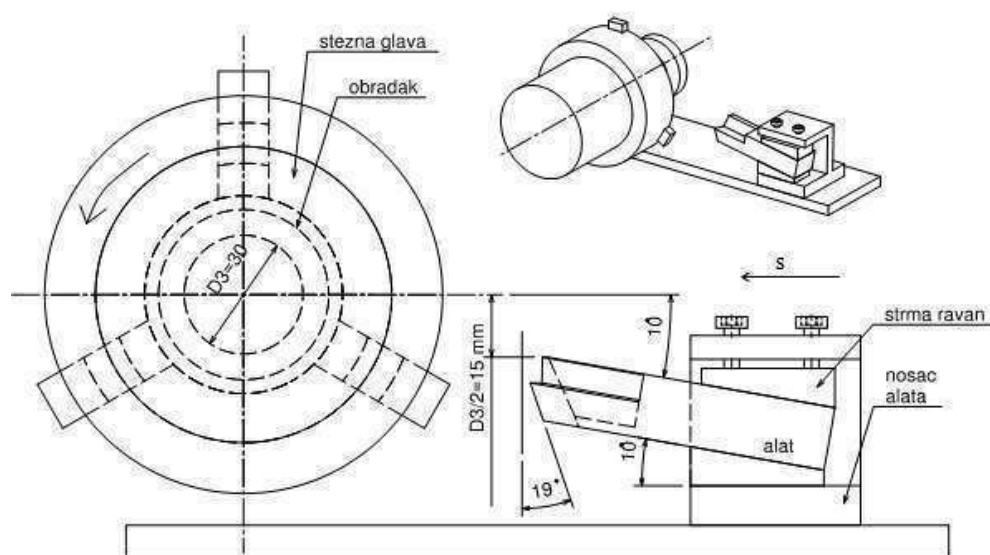
#### 5.4.4. Obrada na strugu napravljenim prizmatičnim profilnim tangencijalnim strugarskim nožem

Nakon izrade i kontrole profilnog strugarskog noža izvršeno je geometrijsko modeliranje i simulacija kretanja alata u odnosu na obradak koja je prikazana na slici 20. Simulacija je modelirana u programskom paketu CATIA. Napravljeni profilni nož biće upotrebljen na univerzalnom strugu Ada Potisje. Materijal koji će se obrađivati je tehnička plastika. Razlog zašto profilni nož nije upotrebljen za obradu metala jeste prevelika vrednost njegovog dopunskog grudnog ugla i to što je potreban specijalan nosač za ovakve tipove alata, [13].



Slika 20. Simulacija kretanja alata u odnosu na obradak u programskom paketu CATIA.

Usled toga što je potreban specijalan nosač alata za baziranje i stezanje profilnog noža osmišljeno je stezanje u postojećem nosaču alata struga. Tačnost oblika i dimenzija izratka zavisi od ispravnog baziranja i stezanja profilnog noža u nosač alata. U nosaču alat ostvaruje projektovani grudni i leđni ugao. Ispravan rad noža važi samo ako se u nosaču alata ostvare projektovane vrednosti grudnog, leđnog i dopunskog grudnog ugla. U ovom slučaju pravilan položaj alata u odnosu na obradak ostvaren je pomoću strme ravni koja je izradjena od čelika u određenoj toleranciji. Međusobni odnos alata u odnosu na obradak sa planom stezanja prikazan je na slici 21. Alat je u nosaču pozicioniran tako da se nalazi na rastojanju  $\frac{D_3}{2} = 15 \text{ mm}$  u odnosu na osu obratka. Pomoću strme ravni čiji ugao odgovara vrednosti leđnog ugla  $\alpha = 10^\circ$  postignuto je pravilno baziranje i stezanje profilnog noža u nosač alata univerzalnog struga.



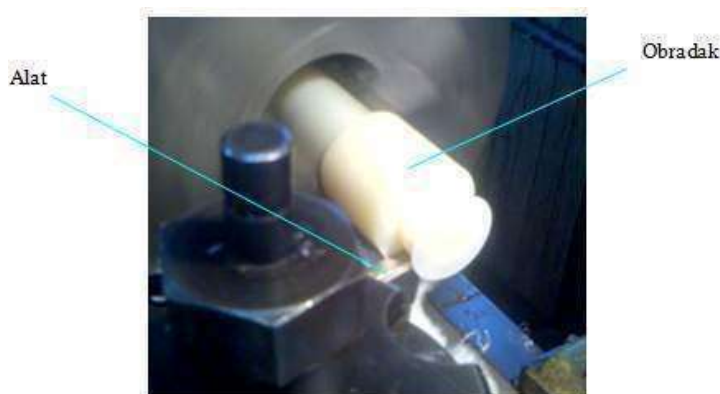
Slika 21. Međusobni odnos alata u odnosu na obradak. Plan stezanja profilnog noža u nosač univerzalnog struga.

Translatornim kretanjem alata u odnosu na radni predmet vrši se obrada složene površine prizmatičnim profilnim strugarskim nožem. Nakon izvršene simulacije kretanja alata u odnosu na obradak izrađeni profilni nož baziran je u nosač alata na univerzalnom strugu po planu stezanja koji je prikazan na slici 22.



Slika 22. Plan stezanja profilnog noža u nosač alata na univerzalnom strugu

Nakon postavljanja alata u nosač izvršena je obrada prizmatičnim profilnim tangencijalnim strugarskim nožem, slika 23. Materijal obratka je tehnička plastika. Nakon završenog procesa obrade dobijen je izradak koji je prikazan na slici 24.



Slika 23. Obrada prizmatičnim tangencijalnim strugarskim nožem

Slika 24. Izradak

Merenjem i kontrolom izratka dobijenim obradom prizmatičnim tangencijalnim profilnim strugarskim nožem, slika 24, koji je projektovan primenom uspostavljene metodologije utvrđeno je da su njegove dimenzije identične sa oblikom i dimenzijama koje su definisane radioničkim crtežom izratka koji je prikazan na slici 14.

Ovim je dokazano da je uspostavljena metodologija projektovanja prizmatičnog profilnog tangencijalnog strugarskog noža tačna i da omogućava efikasno projektovanje alata. Ovim je stvorena osnova za dalje istraživanje i razvoj prizmatičnih profilnih strugarskih noževa.

## 6. ZAKLJUČAK

Cilj uspostavljanja nove metodologije projektovanja i izrade prizmatičnih profilnih strugarskih noževa (kojim je izuzetno malo pažnje posvećeno u domaćoj i stranoj literaturi) je povećanje proizvodnosti i ekonomičnosti procesa obrade rotacionih delova sa složenim površinama. Prilikom razvoja nove metodologije pošlo se od činjenice koji značaj ima podsistema alata [3] kao dela obradnog sistema i na bazi toga nova metodologija je obuhvatila:

- Uspostavljanje matematičkog modela profilnih noževa,
- razvijanje programa koji generiše tehničku dokumentaciju profilnog noža,
- projektovanje tehnologije izrade profilnog noža,
- merenje i kontrola izrađenog profilnog strugarskog noža,
- obrada komada na strugu napravljenim profilnim nožem,
- merenje karakterističnih dimenzija izradka i poređenje sa dimenzijama koje su date radioničkim crtežom izradka čime je izvršena verifikacija novog metoda projektovanja.

Razvijeni algoritam i na bazi njega program GeomTanStNoza.f (napisan u FORTRANU) omogućava u kombinaciji sa programskim paketom CATIA efikasno generisanje tehničke dokumentacije prizmatičnog profilnog tangencijalnog strugarskog noža za zadate dimenzije izratka. Takođe se može ubrzati projektovanje CNC tehnologije izrade prototipa profilnog prizmatičnog strugarskog noža kao i izvršiti simulacija procesa obrade profilnog noža i obratka pre proizvodnje većeg broj profilnih noževa. Daljim istraživanjem mogao bih se razviti softver opšteg tipa koji generiše radioničku dokumentaciju profinog strugarskog noža za sve tipove izratka u smislu različitosti njihove konfiguracije.

## 7. LITERATURA

- [1] Bojanić P., Predavanja iz predmeta Kompjuterska grafika, Mašinski fakultet Beograd, 2000-2001.
- [2] Chang T., Wysk R., Wang H., Computer-Aided Manufacturing, Third Edition, Prentice Hall, 2006
- [3] Дарманчев С., Фасонные резцы. М., Машиностроение, 1968. 166 с.
- [4] Harrington S., Computer Graphics a programming approach, International student edition, 1983
- [5] Kalajdžić M., i grupa autora., Tehnologija obrade rezanjem priručnik, Mašinsku fakultet Beograd, 1998
- [6] Kalajdžić M., Tahnologija masinogradnje, Mašinski fakultet Beograd, 1988
- [7] Kalpakijan S., Schmid S., Manufacturing Engineering and Technology, Fourth edition, Prentice Hall, 2000
- [8] Карсунцев А., И., Дерябин., Фасонные резцы, Челябинск Издательство ЮУПГУ, 2004
- [9] Каневцов В., М., Тангенциальное точение. М., Машгиз, 1954. 156 с.
- [10] Lynch M., Parametric programming for Computer numerical control Machine tools and touch probes, Society of Manufacturing Engineers, Mitchigan 48121, 1997
- [11] McMahon C., Browne J., CAD-CAM Principles, practice and manufacturing management, USA, Hall, 2005
- [12] Milutinović M., Tanović Lj., Design Methodology of Prismatic Form Tools for Lathe, Инженерия поверхности и реновация изделий, Материалы 8-й Международной научно-технической конференции, 2008 Киев
- [13] Musafija B., Projektovanje tehnoloških procesa steznih pribora, Sarajevo, 1979
- [14] Milutinović M., Metodologija projektovanja prizmatičnih profilnih noževa, Magistarska teza, Mašinski fakultet u Beogradu, 21.07.2008
- [15] Родин П.,Р., Основы проектирования пезущих инструментов, Вища Школа, Киев, 1990
- [16] Семко М.,Ф., Перепелица Б.,А., Фасонное точение., Вища Школа, 1977
- [17] Tanović Lj., Alati i pribori- Predavanja. Mašinski fakultet Beograd školska 2002/2003
- [18] Tanović Lj., Petrakov Ju., Teorija i simulacija procesa obrade, Mašinski fakultet Beograd 2007
- [19] Tanovic, Lj., Bojanic P., Puzovic, R., Klimenko, S., 2009, Experimental Investigation of Micro-cutting Mechanisms in Marble Grinding, Journal of Manufacturing Science and Engineering, ASME Transactions, 131/6: pp. 064507(1-5).
- [20] Tanovic, Lj., Bojanic P., Puzovic, M., Milutinovic, S., 2010, Experimental Investigation of Micro-cutting Mechanisms in Granite Grinding, Journal of Manufacturing Science and Engineering, ASME Transactions, u završnoj procesuri.
- [21] Godišnji izveštaj projekta MA14034, Interni materijal u formi elaborata i tehničke dokumentacije za 2009 i 2010. godinu.
- [22] [www.ademva.com](http://www.ademva.com)
- [23] [www.coromant.sandvik.com](http://www.coromant.sandvik.com)
- [24] [www.info.instrumentmr.ru](http://www.info.instrumentmr.ru)
- [25] [www.iskar.com](http://www.iskar.com)
- [26] [www.mitsubishi.com](http://www.mitsubishi.com)
- [27] [www.sumitomo.com](http://www.sumitomo.com)