

OPTIMIRANJE GEOMETRIJE ALATA I REŽIMSKIH PARAMETARA OBRADNE PO PRINCIPU MINIMALNE HRAPAVOSTI OBRADENE POVRŠINE

OPTIMIZATION OF TOOLS GEOMETRY AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS MACHINING ON MINIMUM ROUGHT SURFACE PRINCIPAL

**dr. Viktor Baričak, prof. dr.Džemo Tufekčić, Salahudin Nezirović, Ramiz Šelo,
Mašinski fakultet, Univerziteta u Tuzli, Univerzitetska 8, 75000 Tuzla , B&H**

REZIME

U radu su analizirani utjecaji uglova alata i režimi obrade na veličinu amplitude vibracija. Smanjenjem veličine amplitude, samim time i intenziteta vibracija povećao bi se i kvalitet obrađene površine sa aspekta hrapavosti. Cilj eksperimenta je bio da se sa variranjem najutjecajnijih parametara dođe do optimalne geometrije alata po principu minimalne hrapavosti.

Ključne riječi: optimizacija, uglovi alata, parametri obrade, hrapavost

SUMARY

In the study will be examined influence of angle tools and machining parameters on size amplitude vibrations. Decrease amplitude size and intensive vibrations increase surface quality roughness. The purpose of experiment was changing the most valuable parameters to get tools optimal geometry, using principle minimal roughness.

Key words: optimization, angle tools, machining parameters, rought

1. UVOD

Proces rezanja kao stanje međusobnog zahvata alata i obratka, se odvija uz slijedeće pojave:

- smicanje strugotine u području zadiranja alata u obradak,
- trenje grudne površine alata i strugotine,
- trenje leđne površine alata i obradka,

Za vrijeme kontakta alata i obradka u sistemu: mašina – alat – obradak dolazi do vibracija koje negativno djeluju na sistem. Negativno dejstvo se manifestira na:

- kvalitet obrađene površine,
- dinamičko ponašanje obradnog sistema,
- stanje alata (stepen zatupljenosti),
- naslage na grudnoj površini,
- tačnost obrade.

Smanjenjem vibracija ili dovođenjem u granice dozvoljenih vrijednosti moguće je povećati kvalitet obrađene površine.

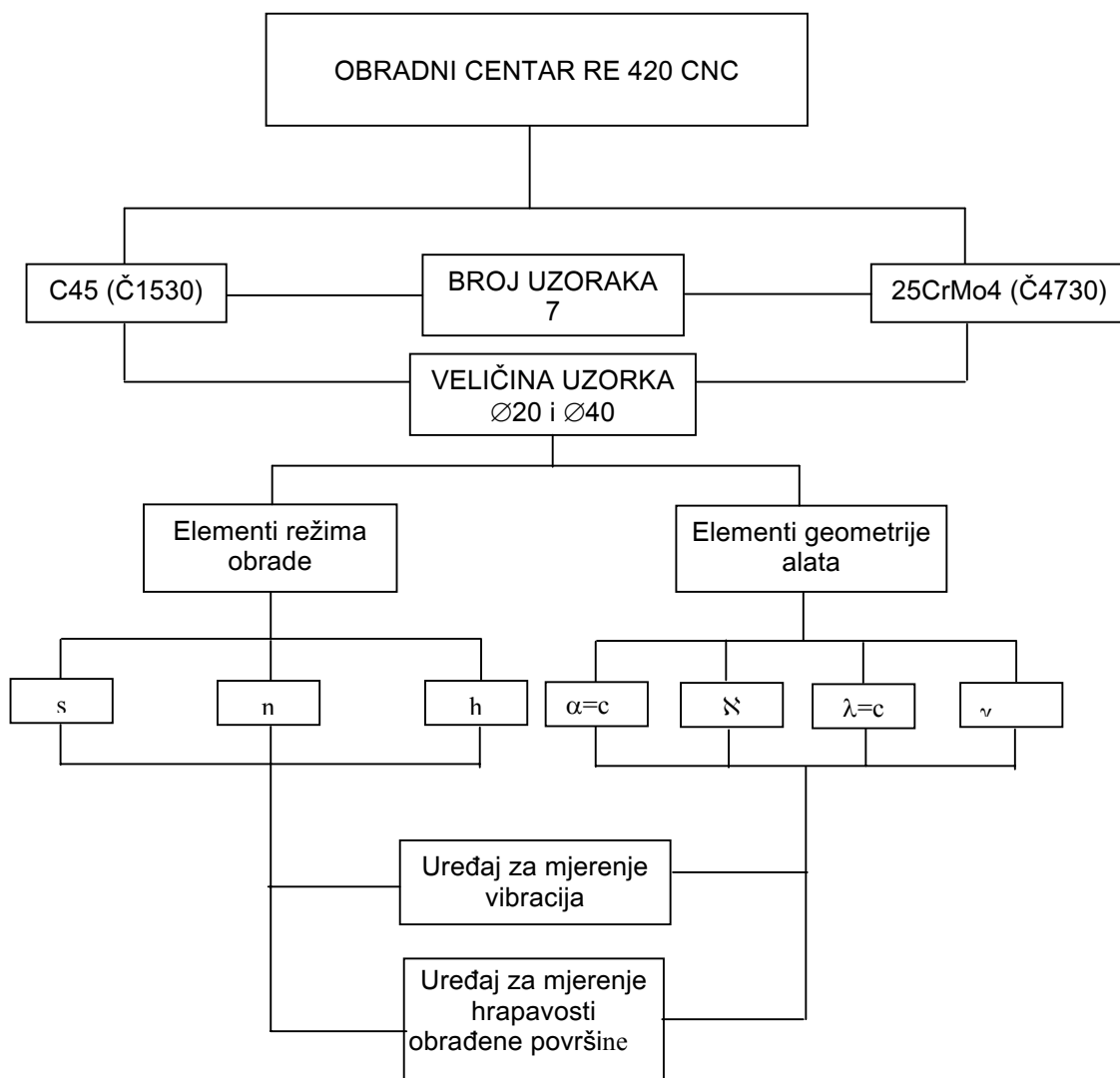
Analizirajući uzroke nastanka i intenzitet vibracija geometrija alata ima značajan utjecaj.

2. PLAN EKSPERIMENTA

Ekperiment je obavljen na obradnom centru RE 420 CNC na dvije vrste materijala Č. 1530 (C45) i Č. 4730 (25CrMo 4) prečnika $\varnothing 20$ i $\varnothing 40$ mm.

Oprema za mjerenje: 208 Data Acquisition Interface Unit and ADRE for Windows software, 7200 proximity Transducer 5 mm i 8 mm i Vekomitor Piezo – Velocity Sensor Hrapavost obrađenih površina mjerena je aparatom PERTHOMETER W5D.

Alati za obradu su desni noževi 16D16 16 ISO 6P30. Varirani su grudni i napadni uglovi. Plan eksperimenta prikazan je slikom 1.



Slika 1. Plan eksperimenta

Rezultati eksperimenata dati su u tabelama 1. i 2.

Br. radnog komada	RADNE POVRŠINE							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1.	26,7	38,3	37	44,7	26,2	34,5	28,1	22,4
2.	31,8	22,2	35,2	33,7	44	39,2	44,1	22,6
3.	20,9	17,5	26,3	27,7	34,5	38,3	24,7	14,5
4.	17,5	14,3	19,8	18,7	25,1	22,1	29,9	15,3
5.	23,5	19	22,8	5,7 korozija	28,4	27,3	22	23,5
6.	16,1	19	21	17,9	33,4	35,1	22,6	22,3
7.	6,35	11,37	12,97	12,71	17,0 9	15,97	8,85	8,77
Prosječna hrapavost	20,40	17,52	24,98	23,01	29,8 1	48,72	37,41	18,48
Redoslijed kvaliteta površina	3	1	5	4	6	8	7	2

Tabela 1. Prosječne vrijednosti hrapavosti radnih komada $\varnothing 20$

Br. radnog komada	RADNE POVRŠINE							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1.	8,7	5,76	9,94	9,28	10	10,49	11,4	8,84
2.	9,12	5,97	12,22	9,13	10,47	7,61	8,39	8,59
3.	9,15	5,67	6,46	7,56	11,26	12,55	11,62	8,8
4.	8,8	6,6	10,44	10,01	11,35	11,65	10,69	9,69
5.	9,55	6,72	10,02	9,91	10,78	10,87	11,54	8,33
6.	8,5	6,05	11,57	8,95	11,45	8,34	10,73	9,45
7.	8,57	7,23	11,77	10,44	10,84	10,57	10,16	8,51
Prosječna hrapavost	8,91	6,29	10,34	9,32	12,27	10,29	10,64	8,87
Redoslijed kvaliteta površina	3	1	6	4	8	5	7	2

Tabela 2. Sumarne vrijednosti hrapavosti radnih komada $\varnothing 40$

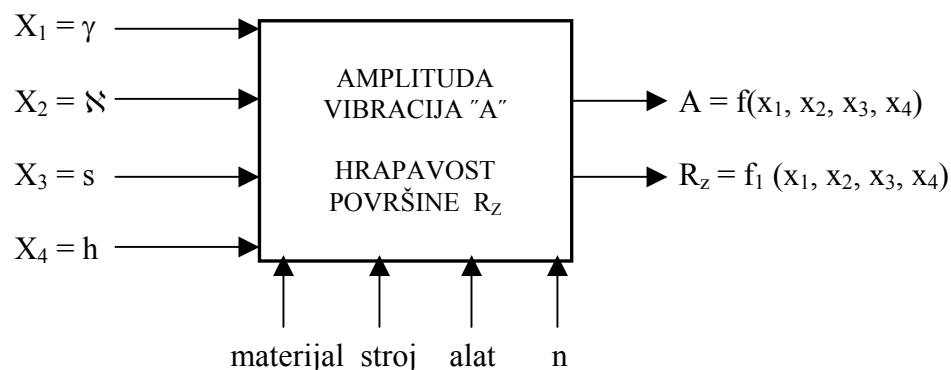
U eksperimentu su alati sa promjenjivim uglovoima dati u tabeli 3.

Broj noža	1	2	3	4	5	6	7	8
Uglovi alata								
α	8°	8°	8°	8°	8°	8°	8°	8°
β	82°	81°	80°	79°	78°	77°	76°	75°
γ	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°
δ	90°	89°	88°	87°	86°	85°	84°	83°

Tabela 3. Uglovi alata u eksperimentu

3. MODELIRANJE AMPLITUDE VIBRACIJA I HRAPAVOSTI OBRAĐENE POVRŠINE

Shema modela za statičko modeliranje na osnovu eksperimentalnih rezultata data je na slici 2.



Slika 2. Shema modela

Kodiranje parametara procesa izvedeno je prema izrazima:

$$X_{j3} = \frac{X_{j2} + X_{j1}}{2} = X_0 \quad (1)$$

$$\Delta X_i = \frac{X_{i\max} - X_{i\min}}{2} \quad (2)$$

$$X_i = \frac{x_i - x_{0i}}{\Delta x_i} \quad (3)$$

Fizikalne kodirane vrijednosti parametara varirane su u pet nivoa (tabela 4.)

UTJECAJNI FAKTORI		KODIRANE VRIJEDNOSTI				
		X_{j5}	X_{j2}	X_{j3}	X_{j1}	X_{j4}
		-2	-1	0	1	2
Prirodne vrijedno sti	$x_1 \equiv \gamma$	0,5	2,0	3,5	5,0	6,5
	$x_2 \equiv \nu$	83,5	85	86,5	88	89,5
	$x_3 \equiv s$	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
	$x_4 \equiv h$	0,075	0,15	0,225	0,30	0,375

Tabela 4. Tabela utjecajnih faktora

Ukupan broj proba $N = 2^k + n_\alpha + n_0 = 2^k + 2k + n_0 = 2^4 + 8 + 7 = 31$

Geometrijske vrijednosti radnog alata i kinematske vrijednosti postupka obrade date su u tabeli 5. U drugom dijelu tabele su date kodirane vrijednosti geometrijskih i kinematskih veličina. U trećem dijelu tabele se nalaze eksperimentalne vrijednosti amplituda samopobudnih vibracija i hrapavosti dok su u četvrtom dijelu iste te veličine dobijene na osnovu stohastičkog modeliranja.

3.1 Izbor polaznog matematičkog modela

U postupku modeliranja pripremljena su dva modela, i to:

a) matematički model polinomskog oblika:

$$Y = b_0x_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4 + b_{123}x_1x_2x_3 + b_{134}x_1x_3x_4 + b_{234}x_2x_3x_4 + b_{1234}x_1x_2x_3x_4 \quad (4)$$

b) matematički model višeg reda u obliku:

$$Y = b_0x_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4 + b_{123}x_1x_2x_3 + b_{134}x_1x_3x_4 + b_{234}x_2x_3x_4 + b_{1234}x_1x_2x_3x_4 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{44}x_4^2 \quad (5)$$

3.2 Matematički model sa interakcijama

Matematički model, jednačina (4) definira se na temelju izvršenog broja eksperimenata:

$$N = 2^k + n_0 = 2^4 + 7 = 23.$$

Ponavljanje eksperimenta izvršeno je u centralnoj tački plana (probe $17 + 23$).

- Izračunavanje koeficijenata modela (4)

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N X_{ij} Y_j^E \quad \text{gdje je } i = 0, 1, 2, 3, 4 \quad (6)$$

$$b_{im} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N X_{ij} X_{mj} Y_j^E \quad \text{gdje je } 1 \leq i < m \leq 4 \quad (7)$$

$$b_{imk} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N X_{ij} X_{mj} X_{kj} Y_j^E \quad \text{gdje je } 1 \leq i < m < k \leq 4 \quad (8)$$

$$b_o = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N X_{0j} Y_j \quad (9)$$

$$b_i = \frac{1}{N - n_0} \sum_{j=1}^N X_{ij} Y_j \quad (10)$$

$$b_{im} = \frac{1}{N - n_0} \sum_{j=1}^N X_{ij} X_{mj} Y_j \quad (11)$$

Na osnovu izračunatih vrijednosti koeficijenata matematički model ima oblik:

$$Y = A = 220,26x_0 + 113,87x_1 - 3,75x_2 + 10x_3 + 18,37x_4 - 0,75x_1x_2 - 0,75x_1x_3 - 2,125x_1x_4 + 4,25x_2x_3 + 4,25x_2x_4 + 0,25x_3x_4 + 2,62x_1x_2x_3 - 0,75x_1x_2x_4 - 0,5x_1x_3x_4 - 0,375x_2x_3x_4 + 2,375x_1x_2x_3x_4 \quad (12)$$

3.3 Ispitivanje signifikantnosti koeficijenata matematičkog modela amplituda

Prema kriteriju "Studenta" signifikantnost je određena uslovom:

$$|b_0| \geq \Delta b_0 = \pm t(f_0, \alpha) \frac{S_0}{\sqrt{N}} \quad (13)$$

$$|b_i| \geq \Delta b_i = \pm t(f_0, \alpha) \frac{S_0}{\sqrt{N - n_0}} \quad (14)$$

$$|b_{im}| \geq \Delta b_{im} = \pm t(f_0, \alpha) \frac{S_0}{\sqrt{N - n_0}} \quad (15)$$

gdje je:

$$S_0^2 = \frac{\sum_{j=1}^{n_0} (Y_{0j} - \bar{Y}_0)^2}{f_0} \quad (16)$$

Na osnovu izračunatih koeficijenata matematičkog modela (12) i ispitane signifikantnosti model ima oblik:

$$Y = A = 220,26x_0 + 113,87x_1 - 3,75x_2 + 10x_3 + 18,37x_4 - 4,25x_2x_3 + 4,25x_2x_4 + 2,62x_1x_2x_3 + 2,375x_1x_2x_3x_4 \quad (17)$$

Provjera adekvatnosti modela (17) izvršena je prema kriteriju Fishera:

$$F_a = \frac{S_a^2}{S_0^2} \leq F_t(f_1, f_2) = F_t(f_a, f_0) \quad \text{za } S_a^2 > S_0^2 \quad (18)$$

$$F_t(f_1, f_2) = F_t(f_a, f_0) = F_t(12, 6) = 4,012$$

Kako je $F_a = \frac{S_a^2}{S_0^2} = 1,258 < 4,012$ matematički model (17) je adekvatan, jer je koeficijent regresije $R = 0,999$. Matematski model višeg reda nije potrebno sprovesti jer je model (17) adekvatan.

4. MODELIRANJE HRAPAVOSTI

4.1. Matematski model nižeg reda nije zadovoljio jer nije adekvatan.

4.2. Matematski model višeg reda

Ovi modeli se koriste kada problem modeliranja zahtijeva nelinearnu funkciju. Matematički model drugog reda ima oblik:

$$Y = b_0x_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4 + b_{123}x_1x_2x_3 + b_{134}x_1x_3x_4 + b_{234}x_2x_3x_4 + b_{1234}x_1x_2x_3x_4 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{44}x_4^2 \quad (19)$$

Na osnovu izračunatih koeficijenata definira se model za hrapavost drugog reda:

$$\begin{aligned}
 Y = R_z = & 36,821x_0 + 14,532x_1 - 0,788x_2 + 1,726x_3 + 4,229x_4 - 0,181x_1x_2 \\
 & - 0,771x_1x_3 - 1,144x_1x_4 + 0,421x_2x_3 + 0,969x_2x_4 - 0,166x_3x_4 + 0,419x_1x_2x_3 \\
 & 0,494x_1x_3x_4 + 0,369x_2x_3x_4 + 0,341x_1x_2x_3x_4 + 2,983x_1^2 + 0,561x_2^2 - 2,1697x_3^2 \\
 & - 1,634x_4^2
 \end{aligned} \quad (20)$$

Provjera signifikantnosti modela izvršena je po predhodnim jednačinama. Na osnovu izračunatih koeficijenata matematskog modela (20) i ispitane signifikantnosti model ima oblik:

$$\begin{aligned}
 Y = R_z = & 36,821x_0 + 14,532x_1 - 0,788x_2 + 1,726x_3 + 4,229x_4 - 1,144x_1x_4 \\
 & + 0,421x_2x_3 + 0,969x_2x_4 + 0,419x_1x_2x_3 - 0,494x_1x_3x_4 + 0,369x_2x_3x_4 \\
 & + 2,983x_1^2 + 0,561x_2^2 - 2,1697x_3^2 - 1,634x_4^2
 \end{aligned} \quad (21)$$

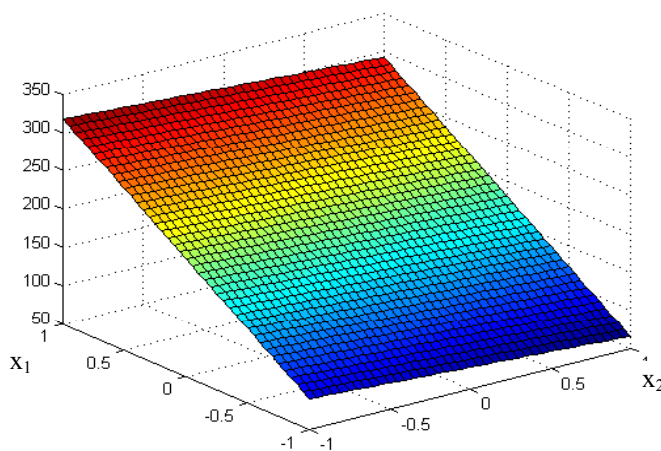
Provjera adekvatnosti modela (21) izvršena je prema kriteriju Fishera. Kako je $S_0^2 > S_a^2$ slijedi:

$$F_t(f_1, f_2) = F_t(f_a, f_0) = F_t(6, 10) = 3,22$$

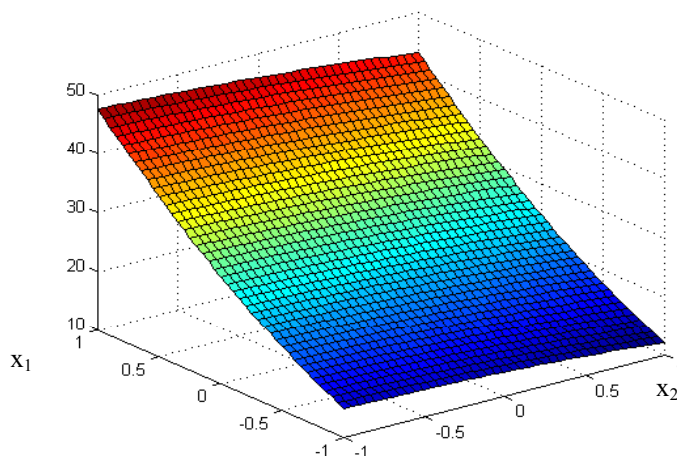
Kako je $F_a = \frac{S_a^2}{S_0^2} = 1,16 < 3,22$ matematički model (21) je adekvatan, jer je koeficijent višestruke regresije $R = 0,995$.

Grafički prikaz optimiziranja jednačine (17) (amplitude) u kodiranim granicama 1, -1 prikazuje slika 3. Grafički prikaz potvrđuje ranije dobijene podatke, da se optimalne vrijednosti obrade dobijaju za vrijednosti geometrije koju ima alat broj dva u eksperimentu.

Grafički prikaz optimizacije jednačine (21) (hrapavost) u kodiranim granicama 1, -1 prikazuje slika 4. Grafički prikaz i u ovom slučaju potvrđuje ranije dobijene podatke, da se optimalne vrijednosti obrade dobijaju za vrijednosti geometrije koju ima alat broj dva u eksperimentu.



Slika 3. Grafički prikaz optimalne amplitude



Slika 4. Grafički prikaz optimalne hrapavosti površine

5. DEKODIRANJE

Dekodiranje optimalnih vrijednosti funkcija samopobudnih vibracija i hrapavosti prikazanih slikama 3. i 4. vrši se jednačinama kako slijedi:

$$X_1 = \frac{\gamma - 3,5}{1,5} \quad (22)$$

$$X_2 = \frac{\kappa - 86,5}{1,5} \quad (23)$$

$$X_3 = \frac{s - 0,230}{0,05} \quad (24)$$

$$X_4 = \frac{h - 0,225}{0,075} \quad (25)$$

Optimalna vrijednost ugla γ po jednačini (22) iznosi:

$$\gamma = 1,5 X_1 + 3,5 = 1,5 (-1) + 3,5 = 2^\circ$$

Optimalna vrijednost ugla κ po jednačini (23) iznosi:

$$\kappa = 1,5 X_2 + 86,5 = 1,5 * 1 + 86,5 = 88^\circ$$

Optimalna vrijednost posmaka s po jednačini (24) iznosi:

$$S = 0,05 X_3 + 0,020 = 0,05 (-1) + 0,020 = 0,15 \text{ mm}$$

Optimalna vrijednost dubine rezanja h po jednačini (25) iznosi:

$$H = 0,075 X_4 + 0,225 = 0,075 (-1) + 0,225 = 0,15 \text{ mm}$$

6. ZAKLJUČAK

Variranjem manjeg broja promijenjivih vrijednosti kao što su γ , λ , s , h , n , došlo se do konstatacije da su optimalne vrijednosti:

- ugla $\gamma = 2^\circ$,
- ugla $\lambda = 88^\circ$,
- posmaka $s = 0,15$ mm
- dubine rezanja $h = 0,15$ mm

koje zadovoljavaju kvalitet obrađene površine po kriteriju optimalne hrapavosti.

Interesantna bi bila analiza dobijenih rezultata kada bi se uradila optimizacija parametara po troškovnom principu.

7. LITERATURA

- /1/ S.A. Tobias : Schwingungen an werkzeugmaschinen ,Munchen 1961.
- /2/ V.Mečanin, M.Jurković, V.Višekruna: Tehnološki procesi automatske proizvodnje "Svjetlost" Sarajevo, 1988.
- /3/ Dž. Tufekčić: Obrada rezanjem i alatne mašine, Tuzla, 1995.
- /4/ D.Rašković: Teorija oscilacija, Beograd, 1965.
- /5/ M. Jurković: Matematičko modeliranje i optimizacija obradnih procesa, Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet, Rijeka 1999.
- /8/ I.Karabegović, R.Halilagić, Dž.Gačo: Teorija mehanizama, Mašinski fakultet, Bihać 1998.
- /9/ Dž. Tufekčić, M. Jurković: Fleksibilni proizvodni sistemi, Univerzitet u Tuzli, Mašinski fakultet, Tuzla 1999.
- /10/ R.Zdenković: Atlas alatnih strojeva, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb 1991.