

TEHNOLOŠKA OPTIMIZACIJA IZRADE ALUMINIJUMSKIH TANKOSTIJIENIH STRUKTURA NA OSNOVAMA IZBORA PUTANJE KRETANJA ALATA

Završni rad – II ciklus studija

Mentor: Prof. dr Vid Jovišević

Kandidat: Bojan Marković

Banja Luka

Sadržaj prezentacije rada

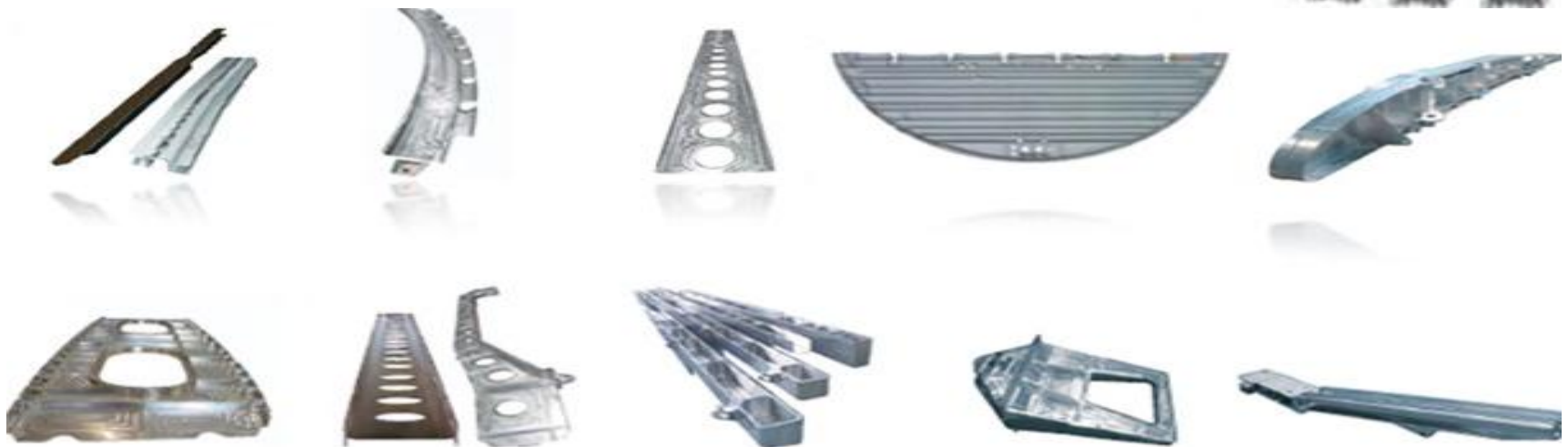
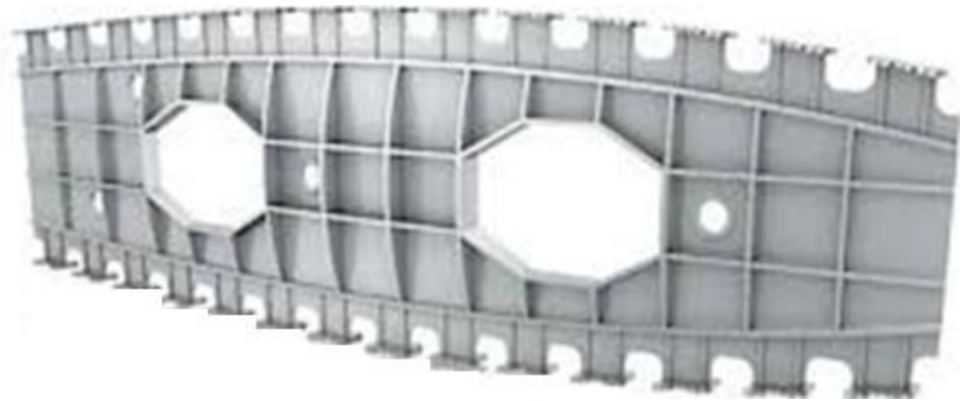
1. Primjena i oblici aluminijumskih tankostijenih struktura;
2. Problemi u toku izrade i uticajne veličine;
3. Pretpostavke i ciljevi istraživanja;
4. Teorijska znanja za analizu pretpostavki i dostizanje ciljeva;
5. Razvoj metodologije izbora putanje kretanja alata u cilju tehnološke optimizacije;
6. Primjena metodologije izbora putanje kretanja alata u procesu mašinske obrade;
7. Zaključak;

1. Primjena i oblici aluminijumskih tankostijenih sturktura

U poslednje vrijeme, tankostijene komponente se koriste kao strukturalni dijelovi u vazduhoplovnoj industriji zbog svoje homogenosti i odličnog odnosa između nosive snage i težine.

Kao primjeri tih komponenti

- uzdužna rebra,
- poprečna rebra,
- nosači,
- pregrade i drugi.

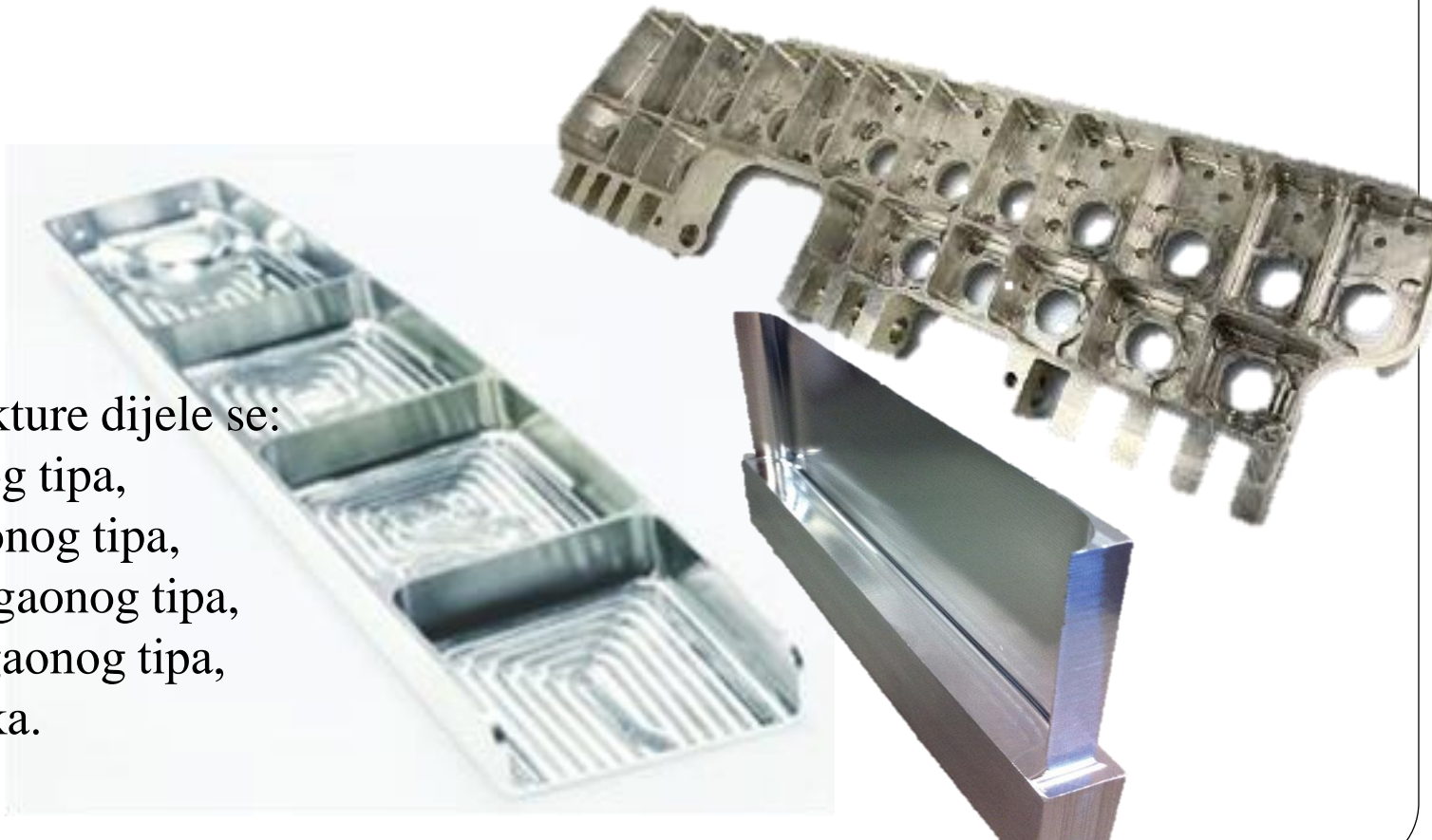


1. Primjena i oblici aluminijumskih tankostijenih sturktura

Otkrivanjem prednosti aluminijumskih tankostijenih struktura, počele su se primjenjivati u mnogim granama industrije gdje je prvenstveno važno da proizvodi budu što manje mase radi svoje funkcionalnosti, a njihova krutost i nosivost u dozvoljenim granicama.

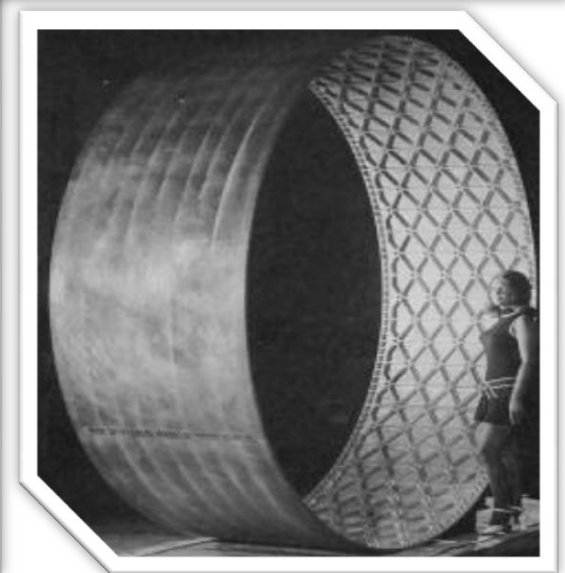
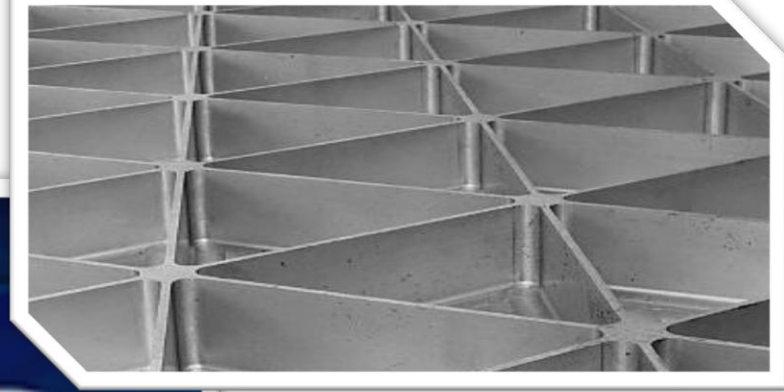
Prema obliku stukture dijele se:

- oblike linijskog tipa,
- oblike troukaonog tipa,
- oblike pravougaonog tipa,
- oblike šestougonaog tipa,
- složenog oblika.

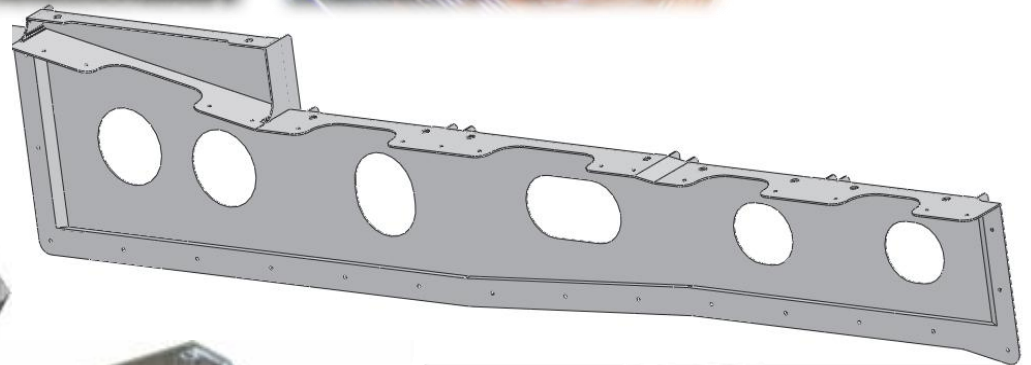
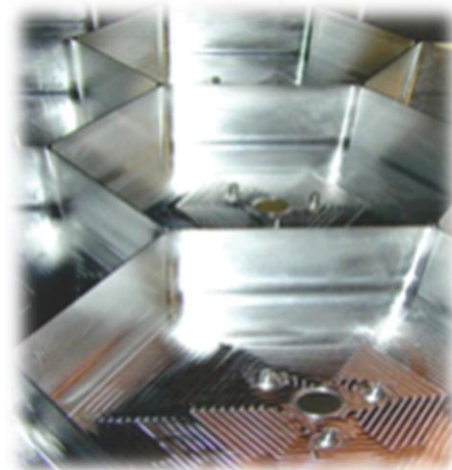
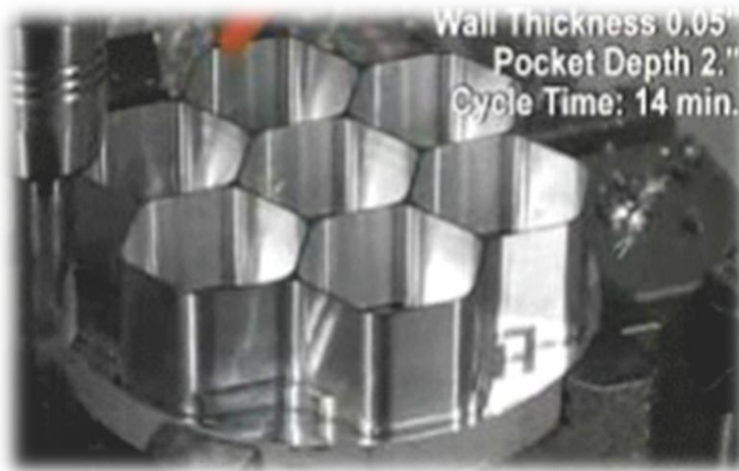


1. Primjena i oblici aluminijumskih tankostijenih sturktura

Tankostijena struktura oblika trougaonog tipa imaju primjenu u proizvodnji ISOGRID panela i sličnih konstrukcionih oblika. Odlika ovih struktura je da mogu prenositi opterećenja u svim pravcima rasprostiranja strukture.



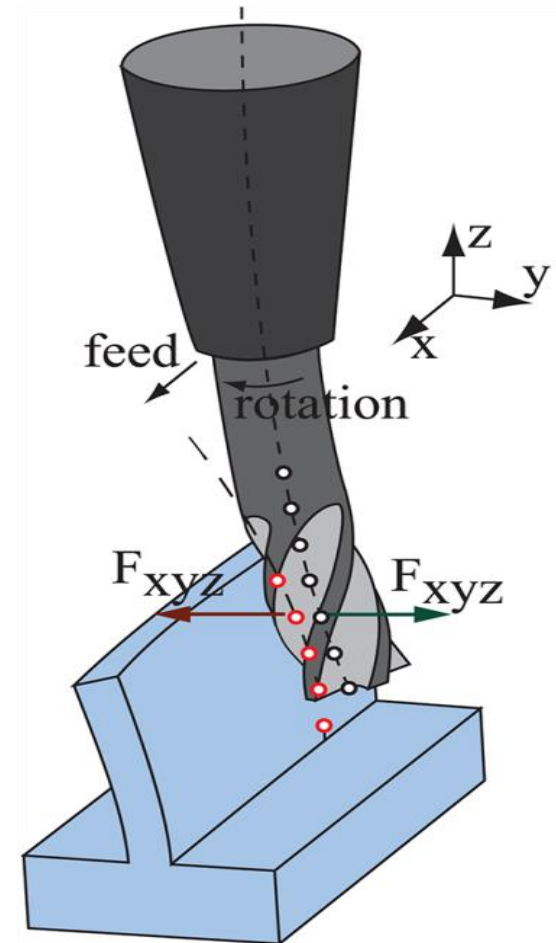
1. Primjena i oblici aluminijumskih tankostijenih sturktura



2. Problemi u toku izrade i uticajne veličine

U procesu izrade aluminijumskih tankostijenih struktura mogu se pojaviti sledeći problemi:

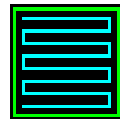
- netačnost dimenzija oblika i površina,
- visoka hrapavost obrađenih površina,
- plastične deformacije tankih zidova stukture,
- pojava vibracija,
- zaostali neponi u materijalu,
- savijanje alati i obratka,
- generisanje velike količine toplote u obratku.



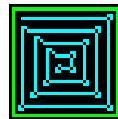
2. Problemi u toku izrade i uticajne veličine

Na pojavu navedenih problema utiču sledeće veličine:

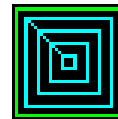
- putanja kretanja alata,
- parametri obrade (posmak, broj obrtaja glavnog vretena, dubina),
- materijal obrade,
- alat,
- sredstvo za hlađenje i podmazivanje.



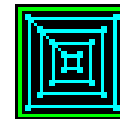
Zigzag



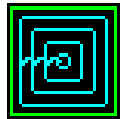
Constant
Overlap Spiral



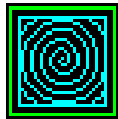
Parallel Spiral



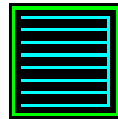
Parallel Spiral,
Clean Corners



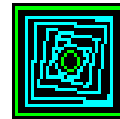
High Speed



True Spiral



One Way



Morph Spiral

PUTANJA KRETANJA ALATA

3. Pretpostavke i celjevi istraživanja

Pretpostavke

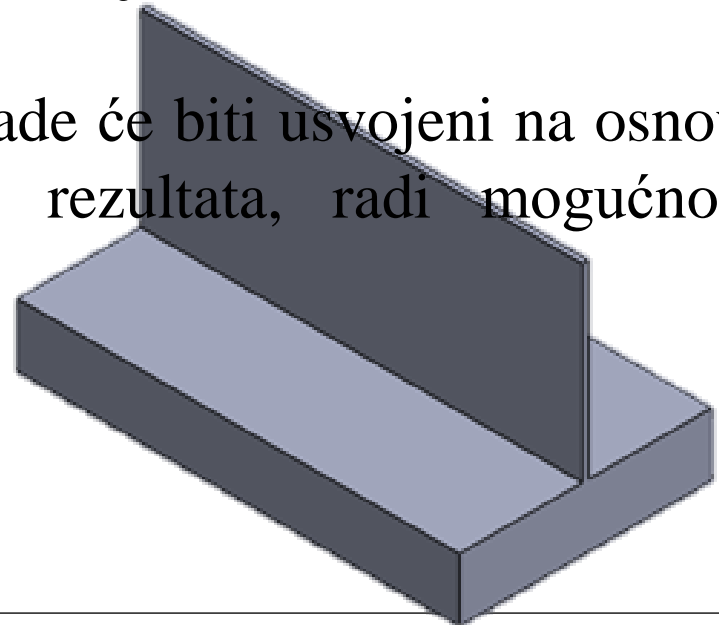
- ❑ Promijena putanje kretanja alata za proces mašinske obrade aluminijskih tankostijenih struktura utiče na vrijeme obrade, kvalitet obrađene površine i na tačnost dimenzija radnog predmeta;
- ❑ Moguće je razviti metodologiju izbora putanje kretanja alata pri mašinskoj obradi u cilju optimizacije tehnoloških procesa izrade aluminijskih tankostijenih struktura;

3. Pretpostavke i celjevi istraživanja

Cilj rada predstavlja izbor optimalne putanje kretanja alata i izbor optimalne vrijednosti posmaka za proces mašinske obrade koja ostvaruje maksimalnu produktivnost izrade aluminijumskih tankostijenih struktura.

Tankostijene strukture **linijskog tipa** predstavljaju osnovni oblik, kao sastavni u svim ostalim oblicima tankostijenih struktura, iz tog razloga izabrana je kao predmet istraživanja.

Ostali uticajni parametri procesa obrade će biti usvojeni na osnovu prethodnih istraživanja i poznatih rezultata, radi mogućnosti izvođenja eksperimenta.



4. Teorijska znanja za analizu pretpostavki i dostizanje ciljeva

4.1 Osnove projektovanja tehnoloških procesa

Projektovanje tehnološkog procesa može se definisati kao sistemsko određivanje detaljnih metoda kojima se dijelovi ili sklopovi mogu proizvesti ekonomično i konkurentno, od početne do završne faze.



Metodi projektovanja tehnoloških procesa:

- klasični način projektovanja,
- računarom podržano projektovanje,
- uključivanje znanja u računarom podržano projektovanje.

4. Teorijska znanja za analizu pretpostavki i dostizanje ciljeva

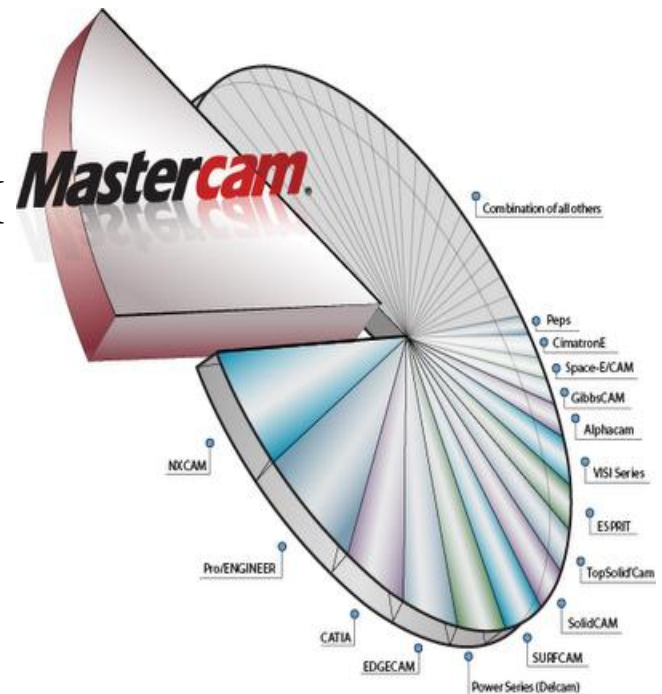
4.2 Projektovanje tehnoloških procesa za numeričke mašine

Postupak programiranja :

- Ručno programiranje;
- Programiranje pomoću programskih jezika;
- Programiranje pomoću CAD/CAM programskih sistema;

Neki od danas najzastupljenijih CAD/CAM sistema:

- MasterCAM,
- SolidCAM,
- CATIA i drugi.

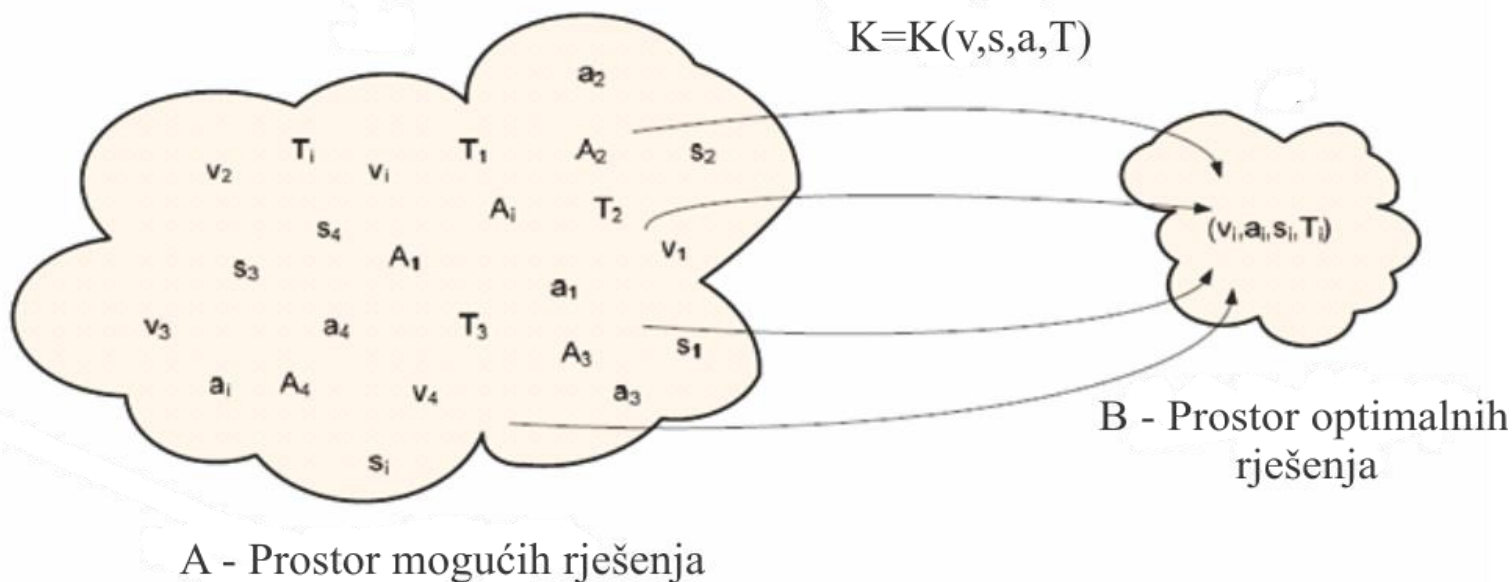


4. Teorijska znanja za analizu pretpostavki i dostizanje ciljeva

4.3 Optimizacija tehnoloških procesa

Pod pojmom optimizacije se podrazumijeva: Postupak definisanja najpovoljnijih rješenja za date početne uslove, iz skupa mogućih rješenja.

Kvalitet proizvoda, **efektivnost** proizvodnje i proizvodni **troškovi** su osnovni tehnološki i ekonomski pokazatelji koji se razmatraju pri projektovanju tehnološkog procesa.



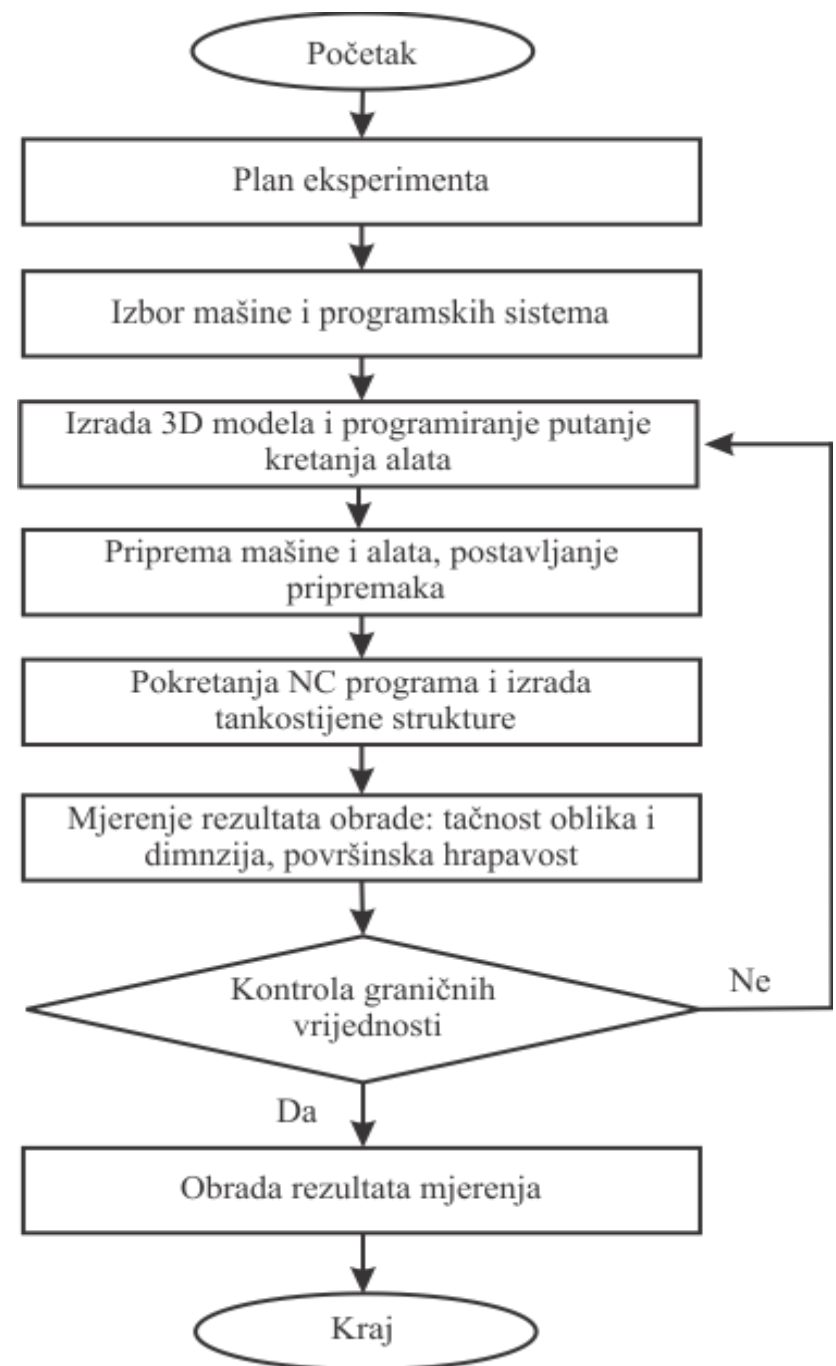
4. Teorijska znanja za analizu pretpostavki i dostizanje ciljeva

Među osnovne pojmove tehnoekonomske optimizacije spadaju:



5. Razvoj metodologije izbora putanje kretanja alata u cilju tehnološke optimizacije

➤ Sastoji se iz 8 faza aktivnosti



6. Primjena metodologije izbora putanje kretanja alata u procesu mašinske obrade

6.1 Definisane plana eksperimenta

Razvijena metodologija za izbor odgovarajuće putanje kretanja alata uključuje u istraživanje podršku programskog sistema pod nazivom *Desing-Expert 7.1.5*

Pomenuti programski sistem podržava veliki broj metoda za eksperimentalna istraživanja.

Eksperimentalna istraživanja u okviru ovog rada sastoje se iz tri promjenljive veličine (faktora) koji su predmet istraživanja. Od toga dva faktora predstavljaju numeričke vrijednosti a jedan faktor je nenumerička vrijednost. Na osnovu analize metoda utvrđeno je da metoda pod nazivom *Central Composite* podržava preliminarni plan eksperimenta.

6.1 Definisiranje plana eksperimenta

Numerički faktori

- A: Debljina stijenke
(**0.5**, 0.65, 1, 1.35, **1.5**)
- B: Vrijednost posmaka
(**150**, 179, 250, 320, **350**)

Central Composite Design

Each numeric factor is varied over 5 levels: plus and minus alpha (axial points), plus and minus 1 (factorial points) and the center point. If categoric factors are added, the central composite design will be duplicated for every combination of the categoric factor levels.

Numeric Factors: 2 (2 to 50)
Categoric Factors: 1 (0 to 10)

	Name	Units	-1 Level	+1 Level	-alpha	+alpha
A:	A		0.646447	1.35355	0.5	1.5
B:	B		179.289	320.711	150	350

Enter factor ranges in terms of +/- 1 levels
 Enter factor ranges in terms of alphas

Type: Full Blocks: 1

Points
Not center points: 8
Center points: 5

alpha = 1.41421 Options... 13 Runs

Cancel Continue >>

Nenumerički faktori

- C: Putanja kretanja alata
(Putanja 1, Putanja 2, Putanja 3)

Central Composite Design

Factor C: Name: C Current number of Rows: 33
Units: Maximum number of Rows: 32766
Levels: 3 (2 to 999) Categoric contrasts: Nominal Ordinal

Treatments
Putanja 1
Putanja 2
Putanja 3

<< Back Continue >>

6.1 Definisiranje plana eksperimenta

C:\Users\Markovic\Desktop\Plan eksperimneta\plan_eksp.dx7 - Design-Expert 7.1.5

File Edit View Display Options Design Tools Help

ULAZ IZLAZ

Select	Std	Run	Factor 1 A:Debljina stijenke mm	Factor 2 B:Posmak mm/min	Factor 3 C:Putanja kretanja alata	Response 1 Vrijeme izrade min	Response 2 Odstupanje debljine delta a (mm)	Response 3 Odstupanje upravnosti delta b (mm)	Response 4 Odstupanje ravnosti delta c (mm)	Response 5 Hrapavost ob. površine Ra (um)
1		32	0.65	179.29	Putanja 1	42.66	0.050	0.040	0.038	0.49
2		3	1.35	179.29	Putanja 1	42.65	0.074	0.036	0.022	1.17
3		8	0.65	320.71	Putanja 1	24.85	0.006	0.041	0.036	0.55
4		24	1.35	320.71	Putanja 1	24.78	0.028	0.033	0.019	1.16
5		12	0.50	250.00	Putanja 1	30.91	0.016	0.060	0.035	0.49
6		2	1.50	250.00	Putanja 1	31.11	0.048	0.029	0.011	1.41
7		27	1.00	150.00	Putanja 1	50.35	0.032	0.018	0.017	0.97
8		6	1.00	350.00	Putanja 1	23	0.009	0.025	0.018	1.06
9		5	1.00	250.00	Putanja 1	31.21	0.031	0.017	0.030	1.12
10		7	1.00	250.00	Putanja 1	31.21	0.032	0.013	0.026	1.35
11		29	1.00	250.00	Putanja 1	31.21	0.025	0.015	0.029	1.37
12		20	0.65	179.29	Putanja 2	31.75	1.252	1.060	0.417	1.98
13		30	1.35	179.29	Putanja 2	31.33	0.123	0.510	0.271	2.21
14		21	0.65	320.71	Putanja 2	18.9	1.051	1.469	0.668	2.96
15		16	1.35	320.71	Putanja 2	18.65	0.401	0.872	0.361	2.07
16		11	0.50	250.00	Putanja 2	23.6	1.906	1.221	0.336	2.18
17		14	1.50	250.00	Putanja 2	22.76	0.179	0.729	0.332	2.03
18		9	1.00	150.00	Putanja 2	36.96	0.585	1.765	0.692	2.37
19		28	1.00	350.00	Putanja 2	16.71	1.085	0.841	0.306	2.08
20		15	1.00	250.00	Putanja 2	23.46	0.867	0.598	0.301	2.35
21		23	1.00	250.00	Putanja 2	23.46	0.713	0.952	0.028	2.17
22		22	1.00	250.00	Putanja 2	23.46	0.678	0.789	0.032	2.53
23		31	0.65	179.29	Putanja 3	68.8	0.161	0.054	0.052	0.38
24		1	1.35	179.29	Putanja 3	67.73	0.140	0.028	0.018	0.83
25		18	0.65	320.71	Putanja 3	38.21	0.121	0.059	0.034	0.4
26		17	1.35	320.71	Putanja 3	37.86	0.167	0.032	0.018	0.69
27		19	0.50	250.00	Putanja 3	49.58	0.112	0.047	0.070	0.5
28		13	1.50	250.00	Putanja 3	48.28	0.065	0.023	0.017	0.83

Notes for plan_eksp

- Design (Actual)
 - Summary
 - Graph Columns
 - Evaluation
- Analysis
 - Vrijeme izrade (Analyzed)
 - Odstupanje debljine (Analyzed)
 - Odstupanje upravnosti (Analyzed)
 - Odstupanje ravnosti (Analyzed)
 - Hrapavost ob. površine (Analyzed)
- Optimization
 - Numerical
 - Graphical
 - Point Prediction

6.1 Definisavanje plana eksperimenta

Pripremak od kojeg se izrađuje tankostijena aluminijumska struktura ima prizmatični oblik dimenzija (40 x 40 x 70)mm, a materijal je legura aluminijuma 7075 (AlZnMgCu1.5).

Za obradu tankostijenih aluminijumskih struktura izabran je alat - glodalo od brzoreznog čelika, dužina rezne ivice 32 mm što ispunjava zahtjeve geometrije tankostijene strukture, prečnik glodala 10 mm, sa četiri zavojnice.



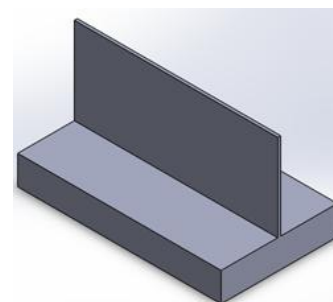
Vretenasto glodalo (R216.32-10025-AK32A)

6.2. Izbor mašine i programskih sistema



Troosni obradni centar EMCO MILL 450

CAD
Solid Works 2013



CAM
MasterCAM X7



Zigzag



Constant
Overlap Spiral



Parallel Spiral



Parallel Spiral,
Clean Corners



High Speed



True Spiral

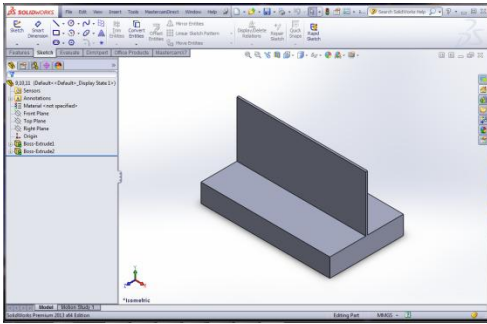


One Way



Morph Spiral

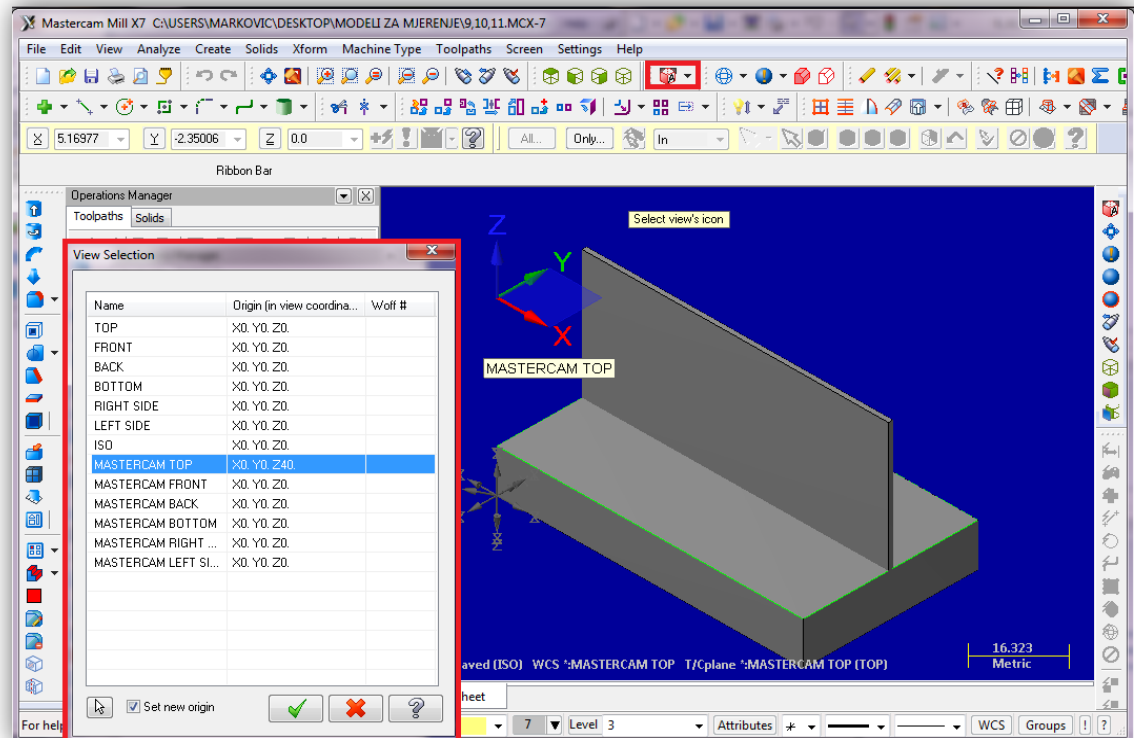
6.3 Izrada 3D modela i programiranje putanje kretanja alata



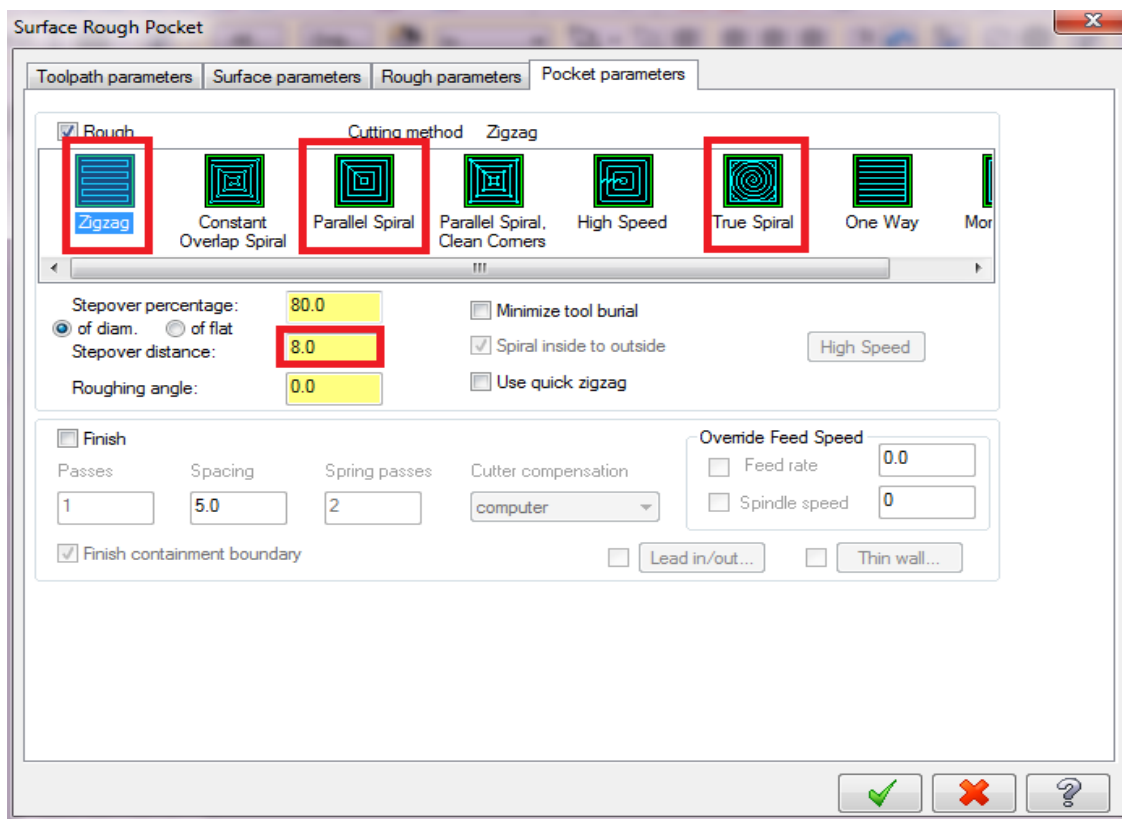
Izrađen model aluminijumske tankostijene strukture linijskog tipa u programskom sistemu Solid Works 2013

Programiranje putanje kretanja alata u programskom sistemu MasterCAM X7

- Preuzimanje modela
- Definisane koordinatnog sistema

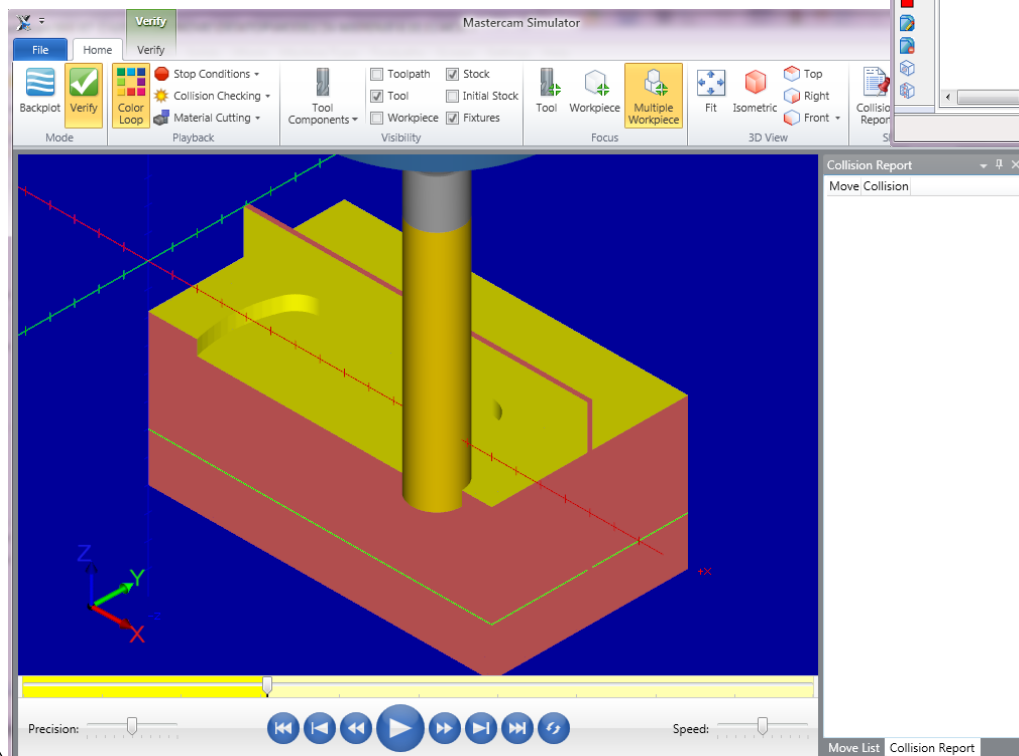
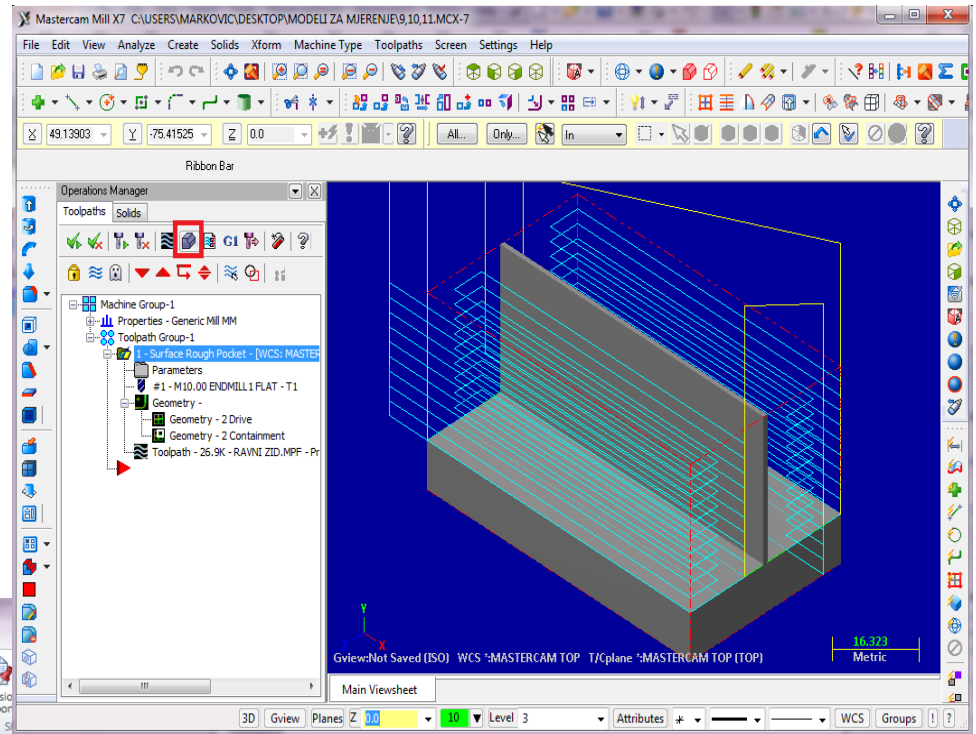


- Definisane zapremine priprema
- Izbor programskog alata
- Definisane geomerije za obradu
- Izbor alata za obradu iz baze raspoloživih alata
- Definisane parametara obrade (posmak, broj obrtaja glavnog vretena, dubina)
- Izbor putanje kretanja alata



Izbor putanje kretanja alata

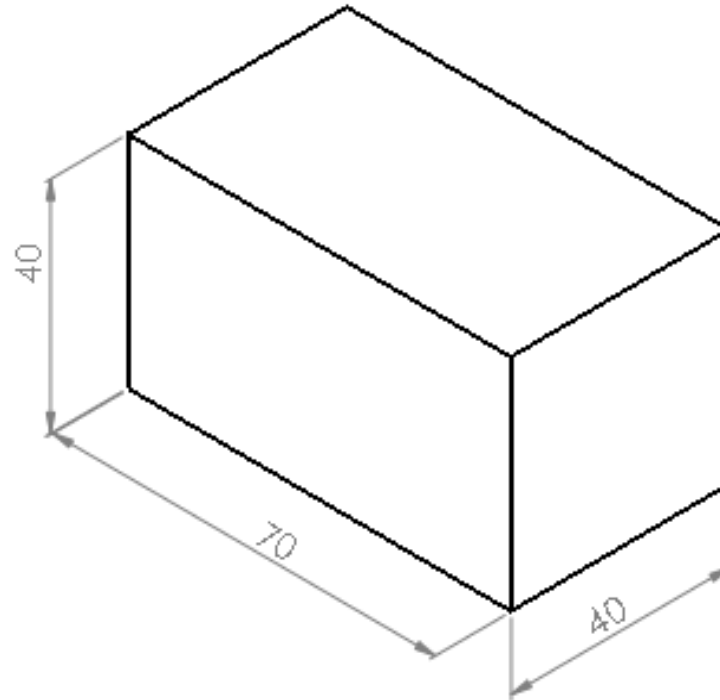
➤ **Putanja kretanja alata za procese obrade aluminijumske tankostijene strukture**



➤ **Simulacija obrade**

6.4. Postavljanje pripremk i umjeravanje mašine i alata

➤ PRIPREMAK



Nakon postavljanja pripremk u stezni pribor na radnom stolu mašine, izvršeno je:

- umjeravanje nul-tačke pripremk,
- postavljanje alata sa prihvatom u glavno vreteno mašine i
- umjeravanje alata, odnosno definisanje dužine alata.

6.5. Pokretanje upravljačkog koda (programa)



Generisani upravljački kod u programskom sistemu MasterCAM X7 prenesen je na upravljačku jedinicu numeričke mašine alatke.

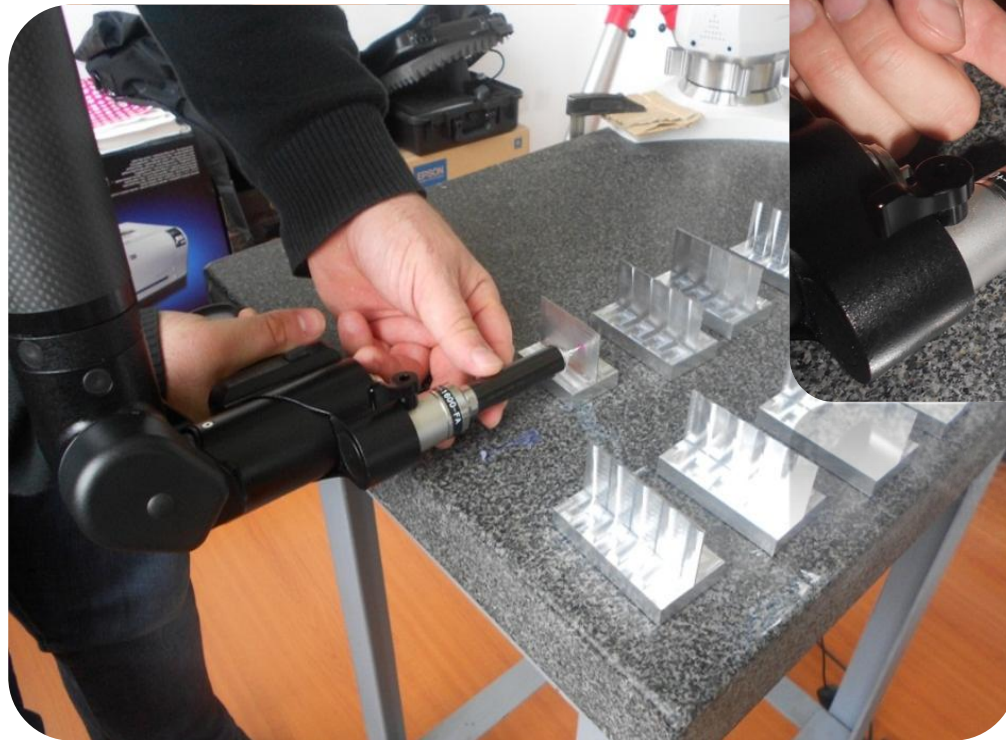
- izvršena simulacija mašinske obrade na upravljačkoj jedinici,
- zatim pokretanje mašine,
- i nakon obrade dobijemo tankostijenu aluminijumsku strukturu.

6.6. Mjerenje rezultata obrade

Planom eksperimenta predviđeno je mjerenje i obrada sljedećih parametara:

- Glavno vrijeme izrade - T (min)
- Odstupanje debljine stijenke - Δa (mm)
- Odstupanje upravnosti - Δb (mm)
- Odstupanje ravnosti - Δc (mm)
- Hrapavost obrađene površine - R_a

Mjerenje odstupanja: **debljine, upravnosti i ravnosti** izvršeno je pomoću mjerne ruke MCAX.

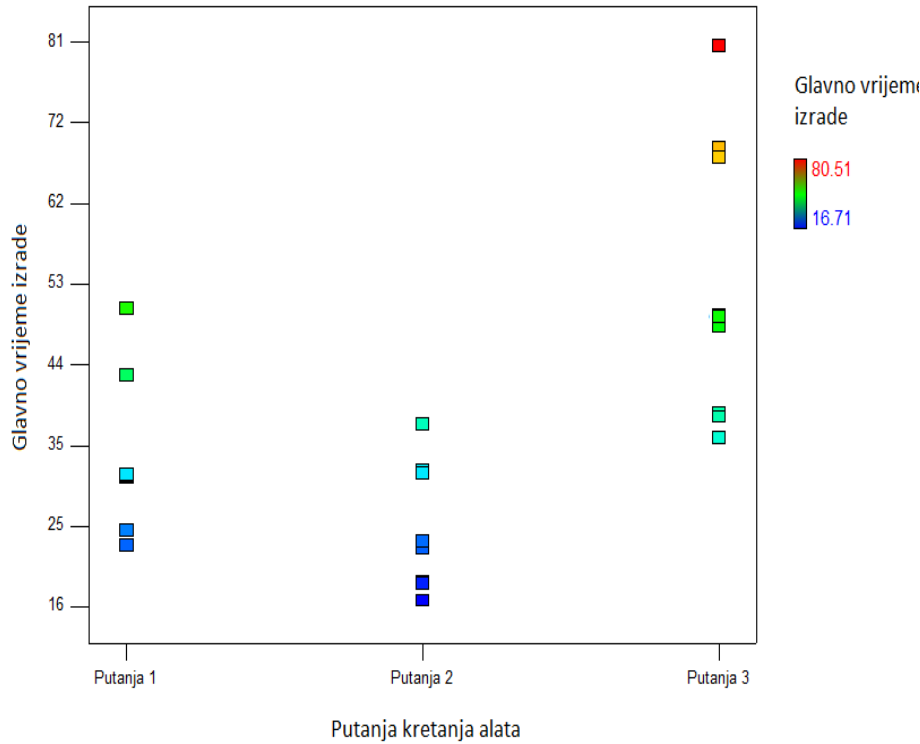


Mjerenje **hrapavosti** obrađene površine
Mjerni uređaj INNOVATEST
Ra (0,03-6,35)

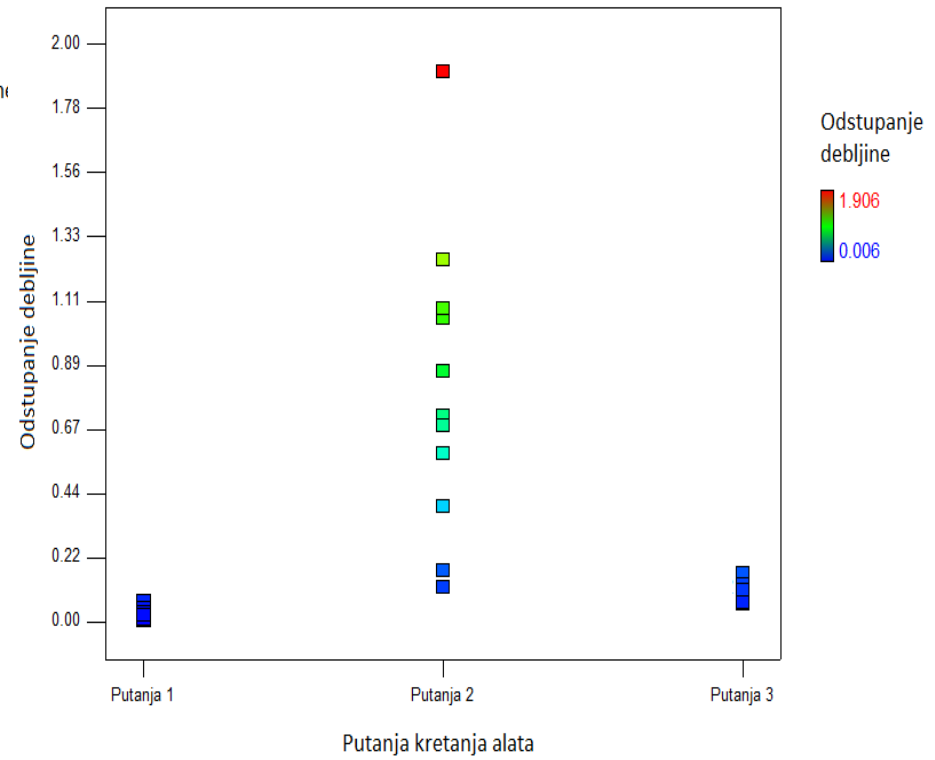


6.7. Kontrola graničnih vrijednosti dimenzija i hrapavosti obrađene površine

Analiza vremena izrade

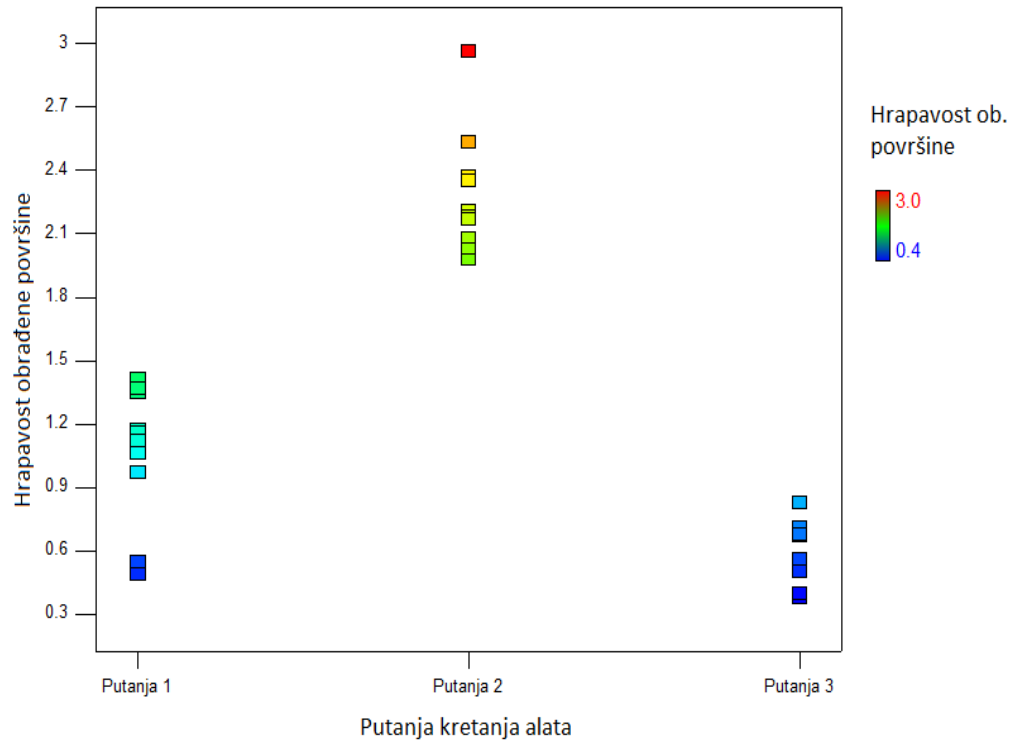


Granična vrijednost za odstupanje debljine $\Delta a=0.2\text{mm}$.



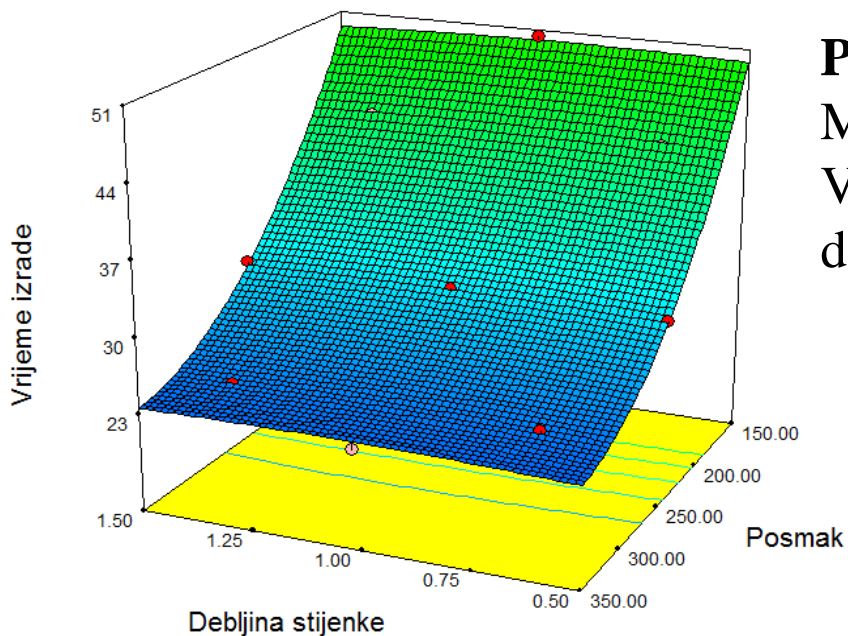
Granična vrijednost za hrapavost obrađenih površina

$R_a = 1.8$



6.8. Obrada rezultata mjerenja

6.8.1 Analiza vremena izrade tankostijene aluminijumske strukture



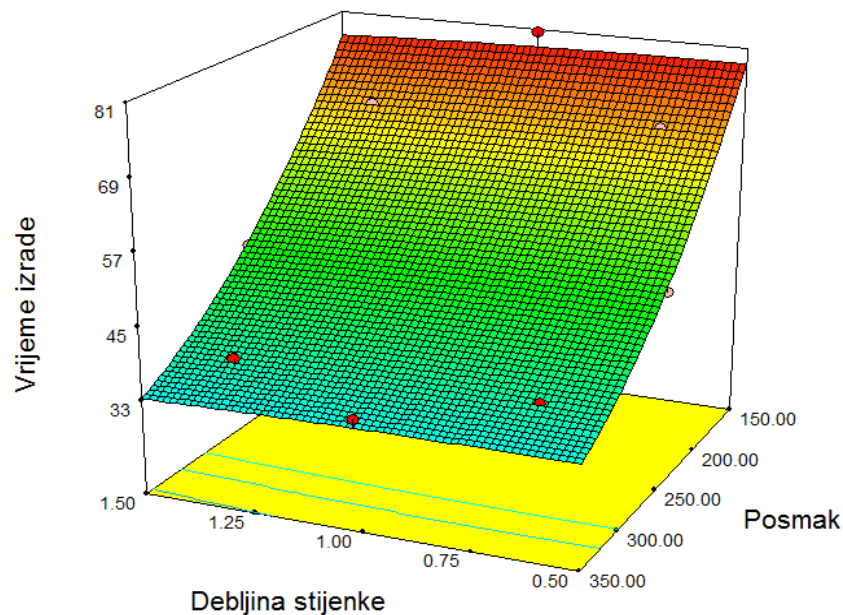
Putanja kretanja alata broj 1

Minimalno vrijeme izrade je 23 min

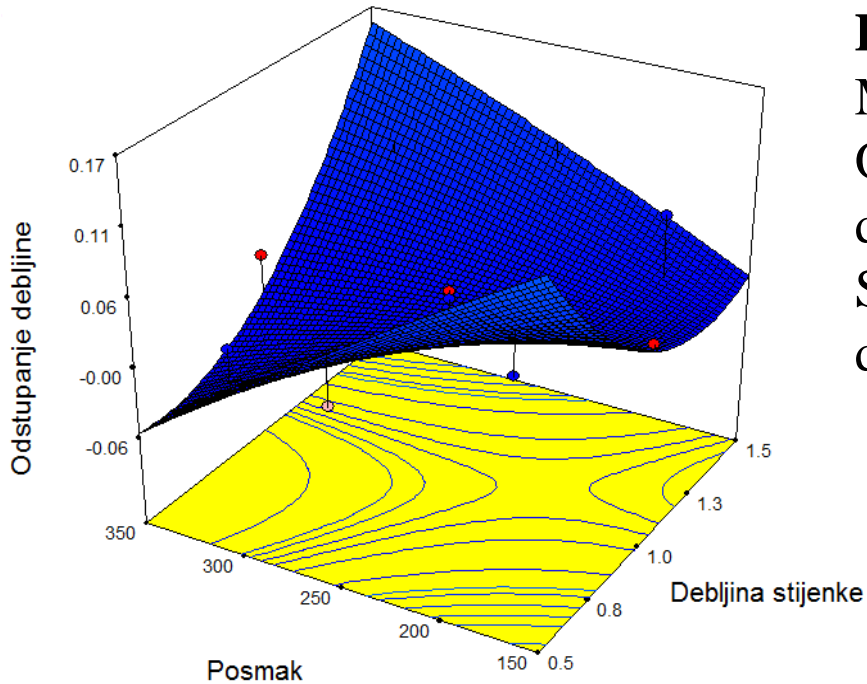
Vrijeme se neznajno mjenja sa promjenom debljine stijenke

Putanja kretanja alata broj 3

Minimalno vrijeme izrade je 33 min



6.8.2. Analiza odstupanja debljine stijenke



Putanja kretanja alata broj 1

Maks. odstupanje iznosi 0.16 mm

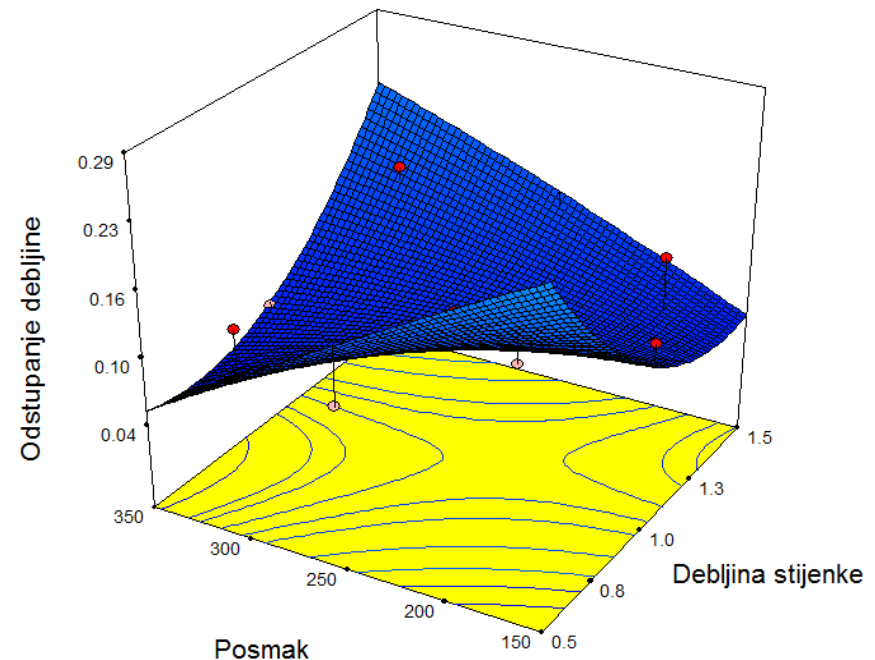
Optimalna vrijednost posmaka zavisi od debljine stijenke.

Sa dijagrama vidi se da sa smanjenjem debljine stijeke potrebno je povećati posmak

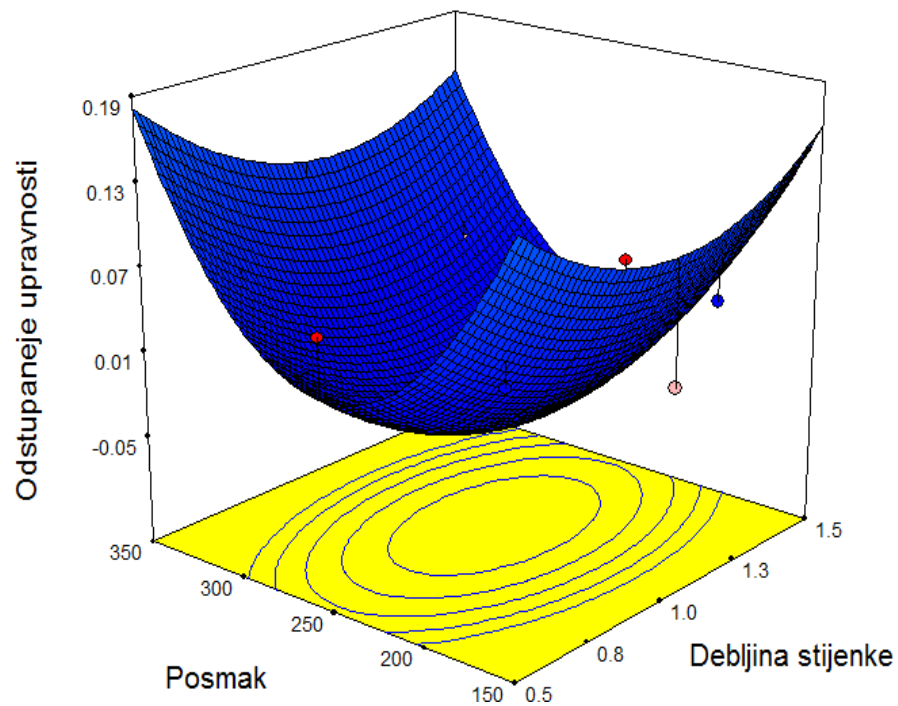
Putanja kretanja alata broj 3

Maks. Odstupanje iznosi 0.23 mm

Optimalne vrijednosti se rasprostiru kao kod putanje broj 1



6.8.3. Analiza odstupanja upravnosti stijenke

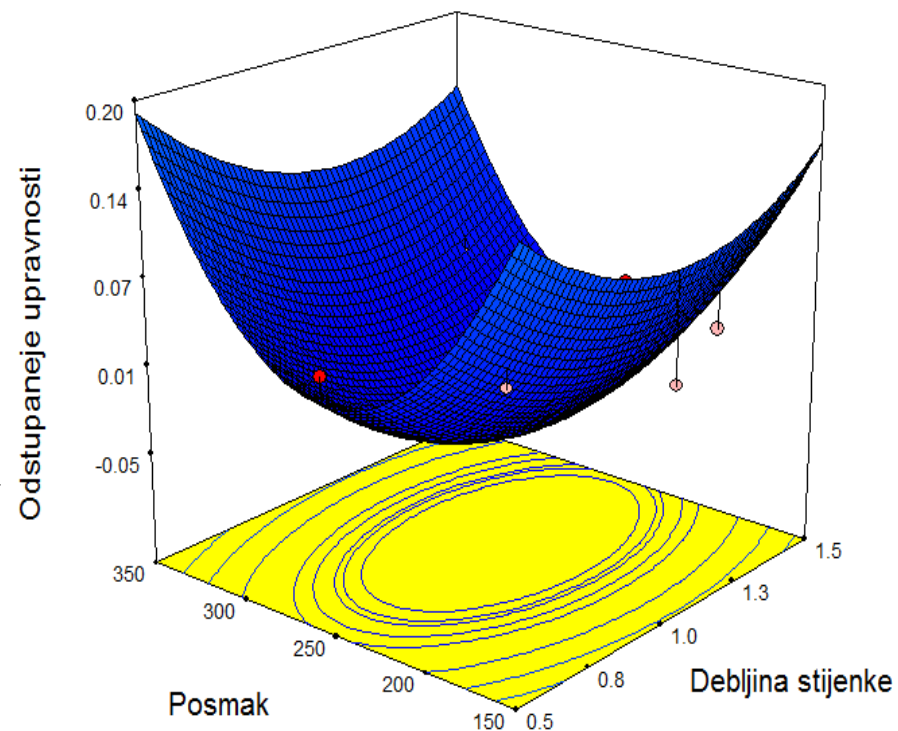


Putanja kretanja alata broj 1

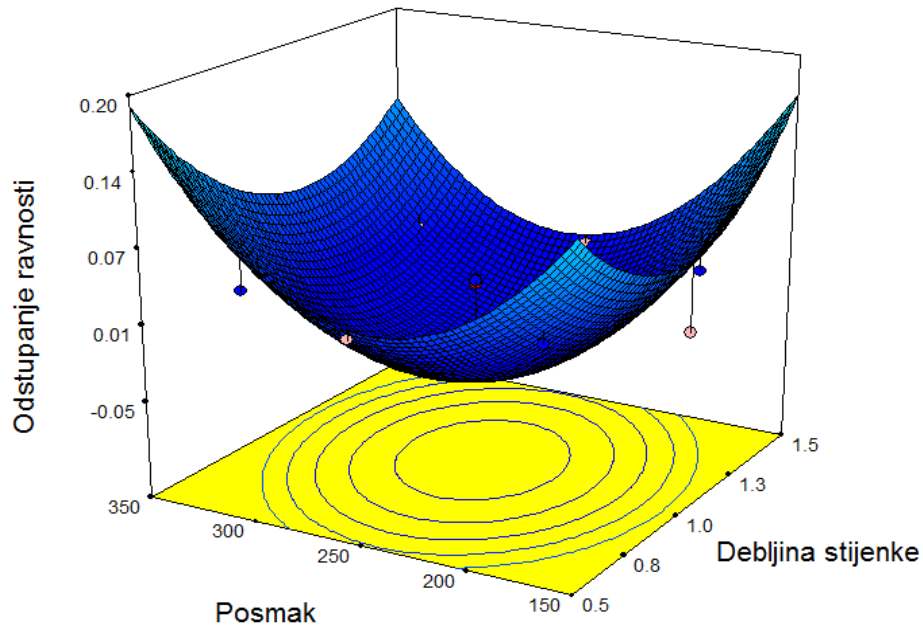
Minimalno odstupanje upravnosti je za vrijednost posmaka 250 m/min, što se može usvojiti za sve debljine stijenki.

Putanja kretanja alata broj 3

Veličina odstupanja upravnosti se ponaša približno jednako za primjenu putanja broj 1 i putanje broj 3.



6.8.4. Analiza odstupanja ravnosti stijenke



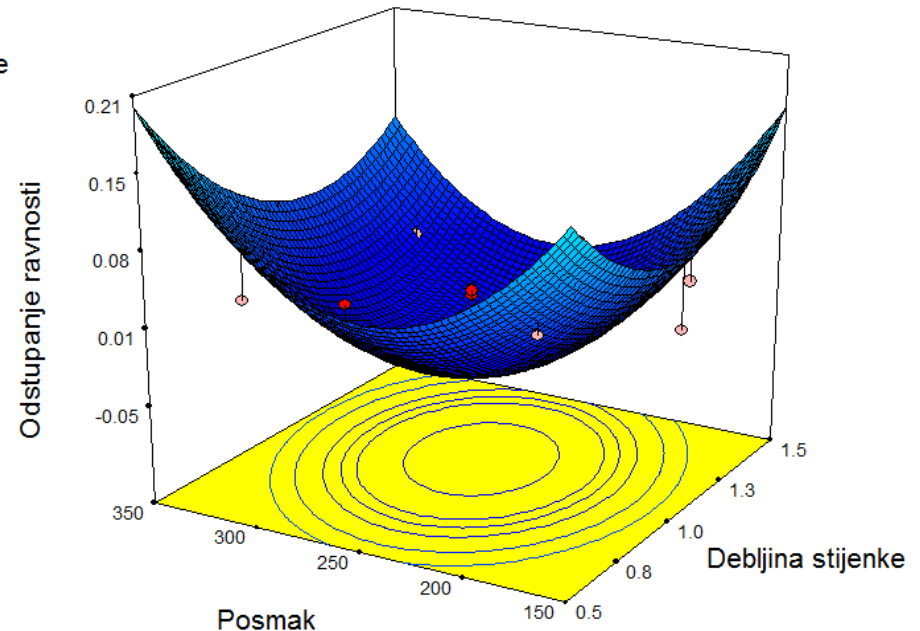
Putanja kretanja alata broj 1

Minimalno odstupanje ravnosti je za vrijednost posmaka 250 m/min, što se može usvojiti za sve debljine stijenki.

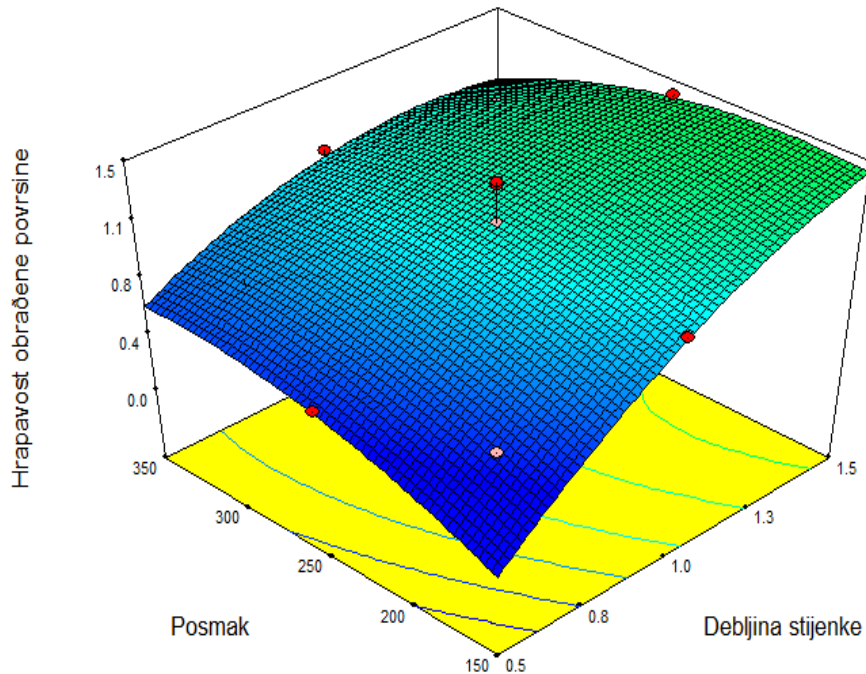
Putanja kretanja alata broj 3

Daje približno iste vrijednosti odstupanja kao i putanja kretanja alata broj 1.

Maks. odstupanje dostiže do 0.2 mm



6.8.5. Analiza hrapavosti obrađene površine



Putanja kretanja alata 1

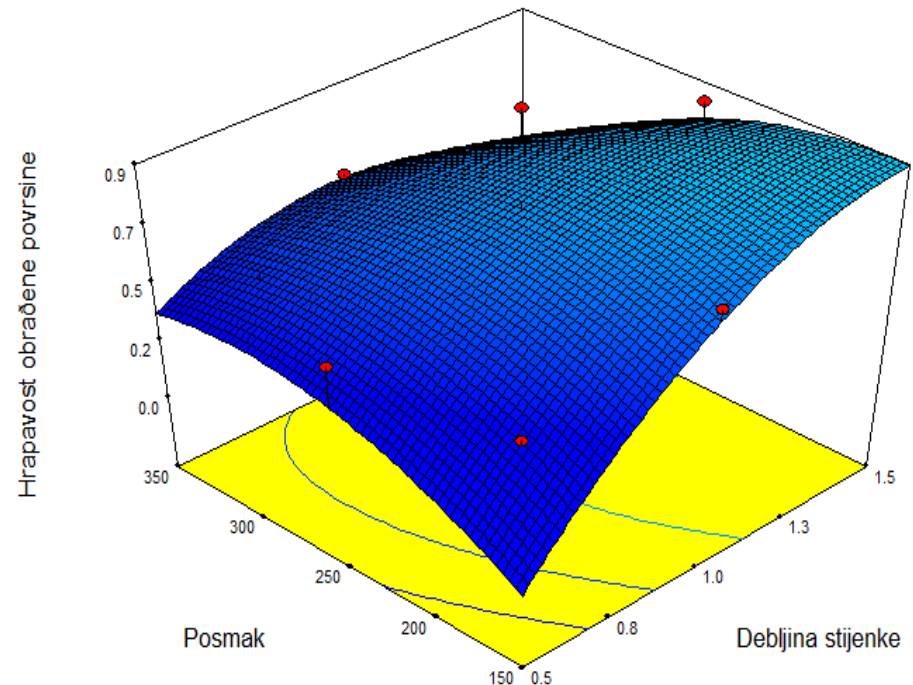
Vrijednost hrapavosti se smanjuje sa smanjenjem debljine stijenke.

Maks. hrapavost površina je $Ra = 1.5$

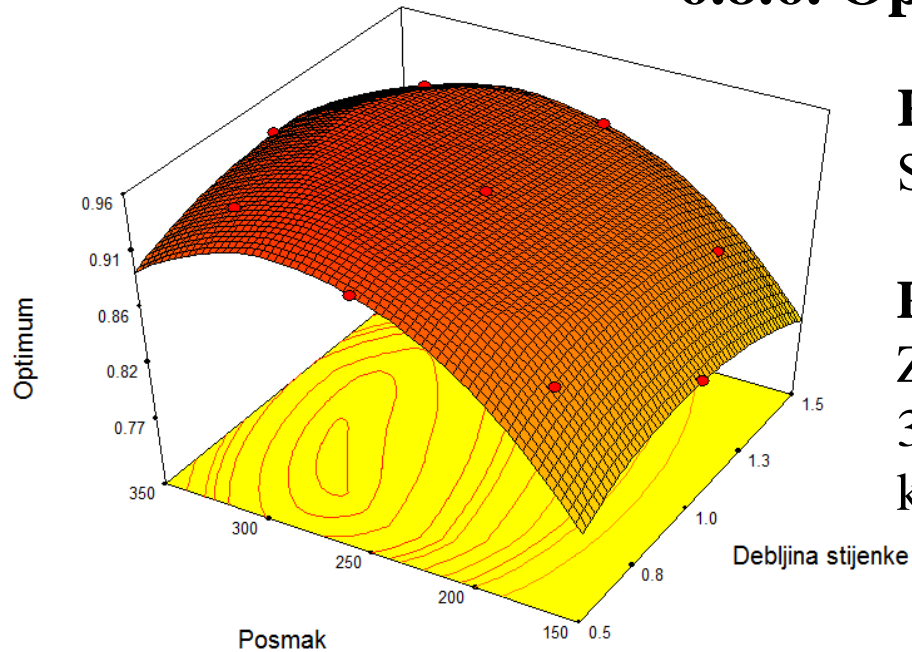
Putanja kretanja alata 3

Ova putanja ostvaruje manju hrapavost obrađenih površina

Maks. hrapavost površina $Ra = 0.9$



6.8.6. Optimizacija

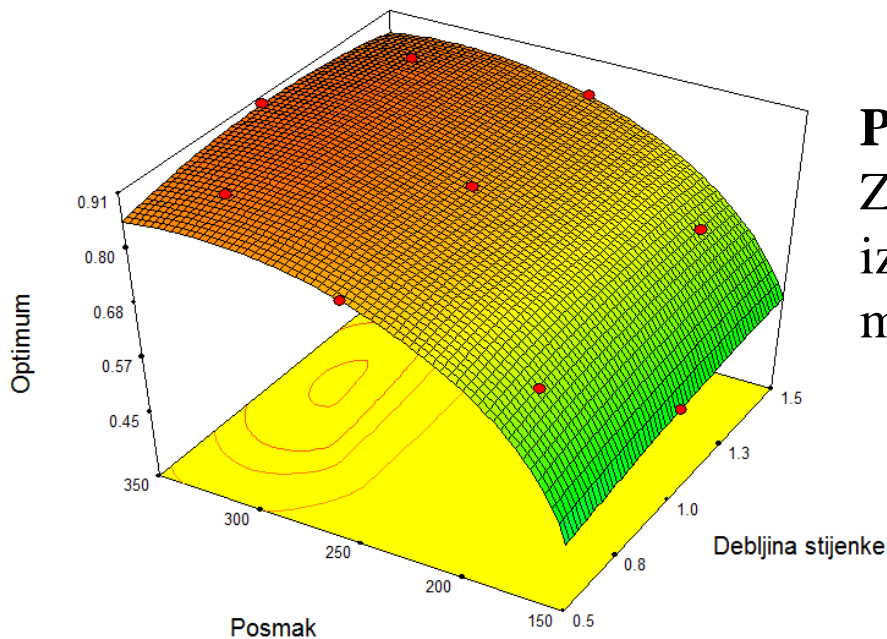


Kriterijum optimizacije

Svesti sve mjerene veličine na minimum.

Putanja kretanja alata broj 1

Za optimalnu vrijednost posmaka koja iznosi 300 m/min ostvaruje preko 90 % postavljenih kriterijuma



Putanja kretanja alata broj 3

Za optimalnu vrijednost posmaka koja iznosi 330 m/min ostvaruje do maksimalnih 88 % postavljenih kriterijuma

Tabela optimalnih vrijednosti

Red. Br.	Debljina stijenke a (mm)	Putanja kretanja alata	Posmak f (m/min)	Glavno vrijeme izrade T (min)	Odstupanje debljine stijenke Δa (mm)	Odstupanje upravnosti Δb (mm)	Odstupanje ravnosti Δc (mm)	Hrapavost obrađene površine Ra	Ostvareni kriterijumi optimizacije (%)
1.	0.5	Putanja 1	292	26.12	0.009	0.050	0.075	0.6	94
2.	0.6	Putanja 1	293	26.17	0.004	0.029	0.043	0.7	94
3.	0.7	Putanja 1	294	26.21	0.011	0.013	0.018	0.8	94
4.	0.8	Putanja 1	304	25.55	0.019	0.015	0.011	0.9	94
5.	0.9	Putanja 1	314	25.02	0.017	0.024	0.011	1.0	94
6.	1	Putanja 1	319	24.77	0.020	0.029	0.011	1.1	94
7.	1.1	Putanja 1	320	24.71	0.022	0.031	0.011	1.1	94
8.	1.2	Putanja 1	319	24.81	0.035	0.030	0.011	1.2	93
9.	1.3	Putanja 1	311	25.14	0.041	0.024	0.011	1.2	93
10.	1.4	Putanja 1	298	26.01	0.050	0.013	0.011	1.3	92
11.	1.5	Putanja 1	293	26.20	0.058	0.025	0.032	1.3	91

7. Zaključak

- Razvijena je metodologija koja doprinosi izboru optimalne putanje kretanja alata u procesu mašinske obrade i izboru optimalne vrijednosti posmaka .
- Pronalaskom optimalnih vrijednosti došlo je do povećanja efektivnost procesa obrade, povećanja produktivnosti proizvodnje i smanjenja troškova, što predstavlja doprinos u izradi aluminijumskih tankostijenih struktura linijskog tipa.

Pravci budućih istraživanja:

- Istraživanje većeg odnosa visine i debljine stijenke ($30 > : 1$);
- Istraživanja debljina stijenki do 3 mm;
- Izbor putanje kretanja alata za izradu ostalih oblika aluminijumskih struktura;
- Optimizacija brzine rezanja;

HVALA NA PAŽNJI

Završni rad – II ciklus studija

Bojan Marković

Banja Luka