

**ТЕХНОЛОШКА ОПТИМИЗАЦИЈА ИЗРАДЕ  
ШЕСТОУГАОНИХ АЛУМИНИЈУМСКИХ  
ТАНКОВИДНИХ СТРУКТУРА**

**ДИПЛОМСКИ РАД**

Ментор: Доц. Др Стево Боројевић

Кандидат: Небојша Поповић

БАЊА ЛУКА.

# Садржај презентације рада

1. ТАНКОЗИДНЕ КОМПОНЕНТЕ
2. ОСНОВЕ ПРОЈЕКТОВАЊА ТЕХНОЛОШКИХ ПРОЦЕСА
3. ПРОЈЕКТОВАЊЕ ТЕХНОЛОШКИХ ПРОЦЕСА ЗА НУМА
4. ОПТИМИЗАЦИЈА ПРОЈЕКТОВАЊА ТЕХНОЛОШКИХ ПРОЦЕСА
5. РАЗВОЈ МЕТОДОЛОГИЈЕ ИЗБОРА ПУТАЊЕ КРЕТАЊА АЛАТА У ЦИЉУ ОПТИМИЗАЦИЈЕ ТЕХНОЛОШКОГ ПРОЦЕСА
6. РЕАЛИЗАЦИЈА ЕКСПЕРИМЕНТА
7. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА

# 1. ТАНКОЗИДНЕ КОМПОНЕНТЕ

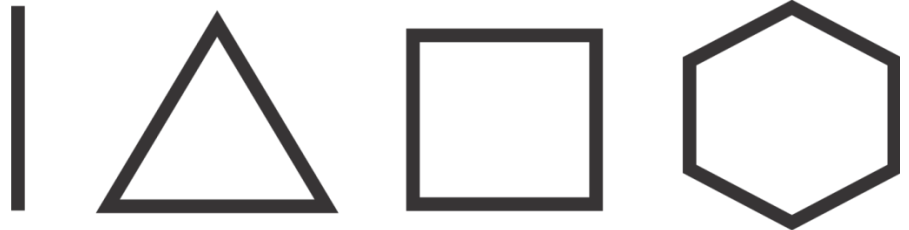
Монолитне (једнодијелне) компоненте се најчешће примјењују као структурни дијелови у ваздухопловној индустрији због своје хомогености и одличног односа носивости и масе. Ребра, носачи и преграде могу се навести као примјери.

Основна подјела танкозидних структура изводи се по односу димензија:

- мала висина у односу на дебљину  $15:1$ ,
- умјерена висина у односу на дебљину  $< 30:1$  и
- врло велика висина у односу на дебљину  $> 30:1$ .

Облици танкозидних структура се се могу подијелити на:

- облике линијског типа,
- облике троугаоног типа,
- облике правоугаоног типа,
- облике шестоугаоног типа и
- сложене облике.



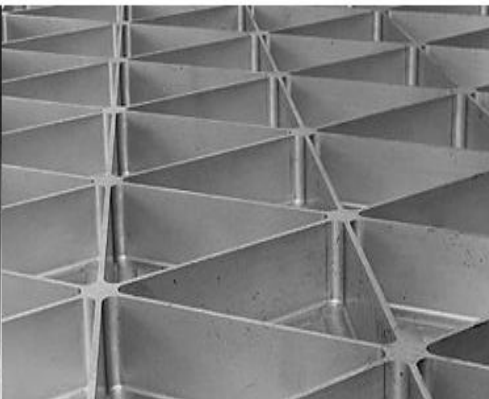
## Облицы танкозидних структура:



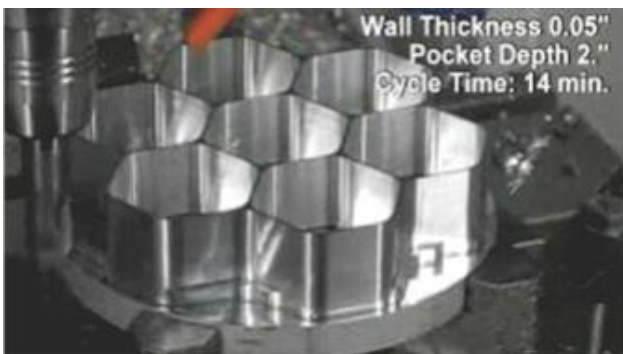
Линијски тип



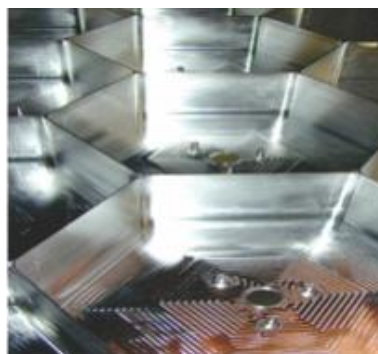
Троугаони тип (ISOGRID панел)



Правоугаони тип



Шестоугаони тип

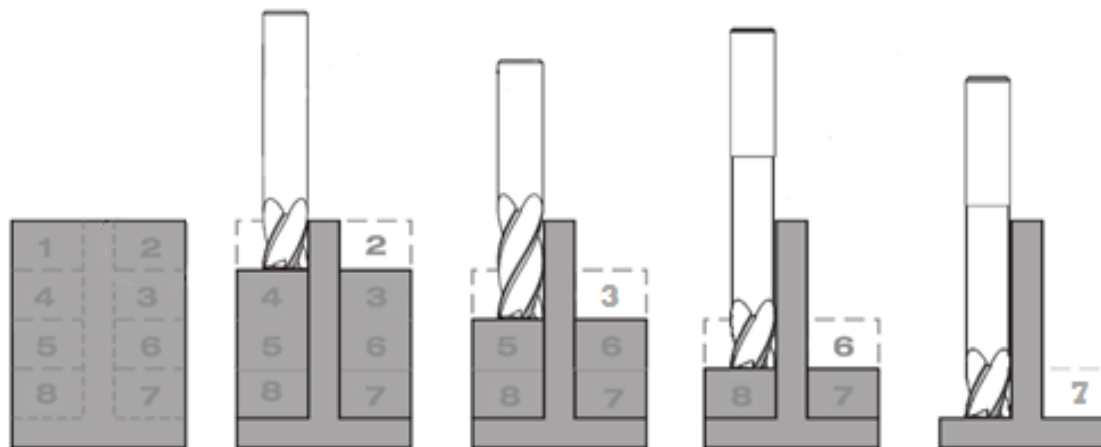


Сложени облици



## 1.1 Обрада танкозидних алуминијумских структура

У току израде танкозидне структуре дебљина плоче (почетног комада) мора се постепено смањивати, што процес обраде чини још сложенијим и захтијева примјену нумерички управљаних машина алатки (НУМА).



Постепено смањивање дебљине плоче (почетног комада)

## 1.2 Дефинисање проблема у току обраде

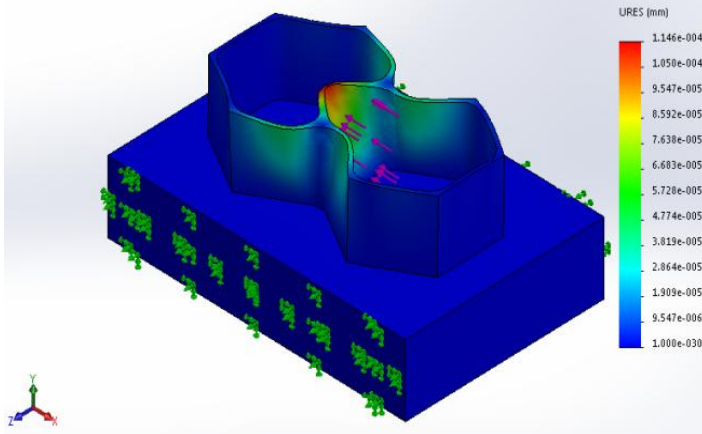
У процесу обраде танкозидних алуминијумских структура могу се јавити сљедећи проблеми:

- нетачност димензија и облика,
- висока храпавост обрађених површина,
- пластичне деформације танких зидова,
- појава вибрација,
- заостали напони у материјалу,
- генерисање велике количине топлоте у обратку и
- савијање алата и обратка.

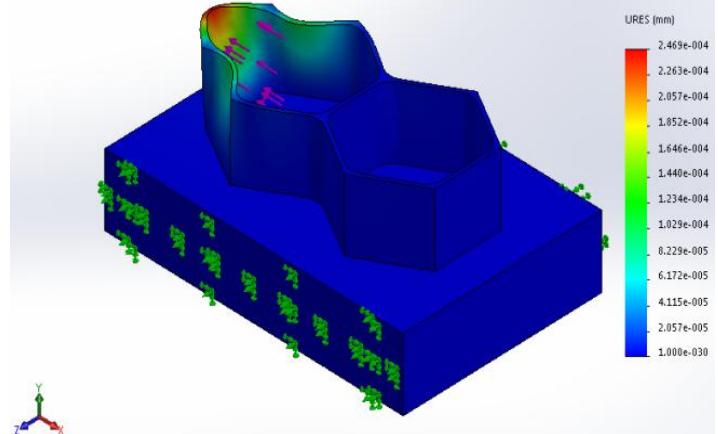
На појаву наведених проблема у процесу обраде танкозидних алуминијумских структура утичу сљедеће величине:

- путања кретања алата,
- режими обраде (посмак, број обртаја главног вретена и дубина резања),
- материјал обратка,
- алат и
- средство за хлађење и подмазивање.

Model name: 90x60\_1mm  
Study name: SimulationXpress Study-Default  
Plot type: Static displacement Displacement  
Deformation scale: 78559.1



Model name: 90x60\_1mm  
Study name: SimulationXpress Study-Default  
Plot type: Static displacement Displacement  
Deformation scale: 36463.2



## Еластичне деформације танких зидова структуре



Chatter

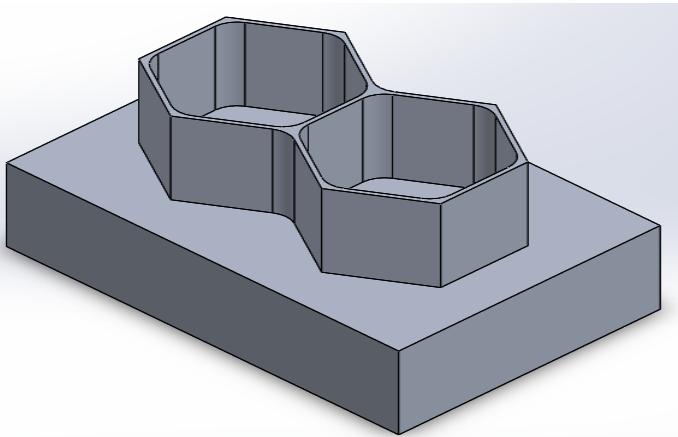


No chatter

Повишена храпавост на површини танких зидова

## 1.4 Сврха и циљеви истраживања танкозидних алуминијумских структура

Циљ овог завршног рада представља избор оптималне путање кретања алата и избор оптималне вриједности посмака који ће дати најбоље вриједности контролисаних величина (главног времена израде, одступања дебљине зидова, одступања димензија израдка, одступања паралелности зидова и храпавости обрађених површина зидова).



Експериментални облик танкозидне Алуминијумске структуре

## 1.5 Претпоставке

Претпоставке од којих се полази:

- промјена путање кретања алата машинске обраде утиче на вријеме обраде, тачност димензија и квалитет обрађене површине и
- могуће је развити методологију избора путање кретања алата при машинској обради у циљу оптимизације технолошких процеса израде танкозидних алуминијумских структура.



## 2. ОСНОВЕ ПРОЈЕКТОВАЊА ТЕХНОЛОШКИХ ПРОЦЕСА

Пројектовање технолошких процеса односи се на пројектовање процеса обраде и пројектовање процеса монтаже. Пројектовањем технолошких процеса обраде дефинише се обрада сваког појединачног дијела на обрадним системима, а пројектовање процеса монтаже обухвата поступак формирања подсклопова и склопова производа.

Пројектовање технолошких процеса може се дефинисати као системско одређивање детаљних метода, којим се производи, дијелови или склопови могу произвести економично и конкурентно.



Мјесто пројектовања технолошких процеса у производном систему

## **2.1 Врсте технолошких процеса**

У примјени се најчешће налазе сљедеће врсте технолошких процеса:

- појединачни,
- типски и
- групни технолошки процеси обраде.

## **2.2 Зависност технолошког процеса од типа производње**

Пројекат технолошког процеса зависи од типа производње. Постоје три типа производње:

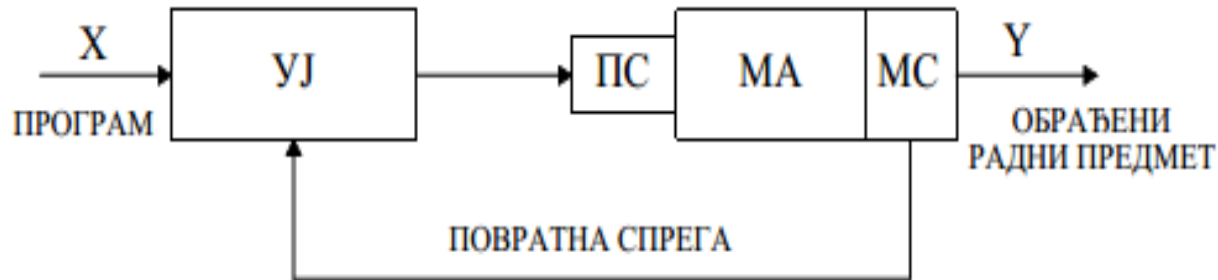
- појединачна,
- серијска и
- масовна производња.

## **2.3 Методи пројектовања технолошких процеса**

- класичан начин пројектовања,
- рачунаром подржано пројектовање и
- укључивање знања у рачунаром подржано пројектовање.

### 3. ПРОЈЕКТОВАЊЕ ТЕХНОЛОШКИХ ПРОЦЕСА ЗА НУМА

НУМА – Нумерички Управљане Машине Алатке



Општа структура НУМА

У општем случају, структура једне НУМА састоји се из сљедећих подсистема:

- управљачка јединица – УЈ,
- погонски систем – ПС,
- машина алатка – МА и
- мјерни систем – МС.

Програм садржи геометријске и технолошке информације.

Геометријске информације обухватају:

- правце,
- смјерове и
- величине кретања обрадка и алата.

Технолошке информације обухватају:

- величине главних и помоћних кретања,
- измјене алата,
- замјене обрадака и
- укључивање подмазивања и хлађења.

### **3.1 Врсте технолошке припреме за НУМА**

Технолошка припрема – програмирање

Технолошка припрема НУМА, у зависности од степена аутоматизације, може бити:

- ручна и
- примјеном рачунара.

Ручно програмирање је процес израде НУ програма, који изводи програмер на основу сопственог знања и расположивих информационих подлога.

### **3.2 Програмирање НУМА примјеном рачунара**

Програмирање технолошких процеса примјеном рачунара, у зависности од нивоа подршке рачунара, може бити [1]:

- програмирање примјеном програмских језика,
- програмирање у погону и
- програмирање примјеном CAD/CAM система.

## 4. ОПТИМИЗАЦИЈА ПРОЈЕКТОВАЊА ТЕХНОЛОШКИХ ПРОЦЕСА

### 4.1 Појам оптимизације

У основи појма и општег значења оптимизације садржана је методологија помоћу које се одређује најповољније рјешење за одређене услове.

Међу основне појмове техноекономске оптимизације спадају: циљеви, објекти, методе и услови под којима се оптимира дати објекат.



## 4.2 Основни објекти оптимизације у машинству

У основне објекте оптимизације у машинству спадају: технолошки процеси израде производа, производи, системи пројектовање производа, организација и управљање производњом.



Основни објекти оптимизације у машинству

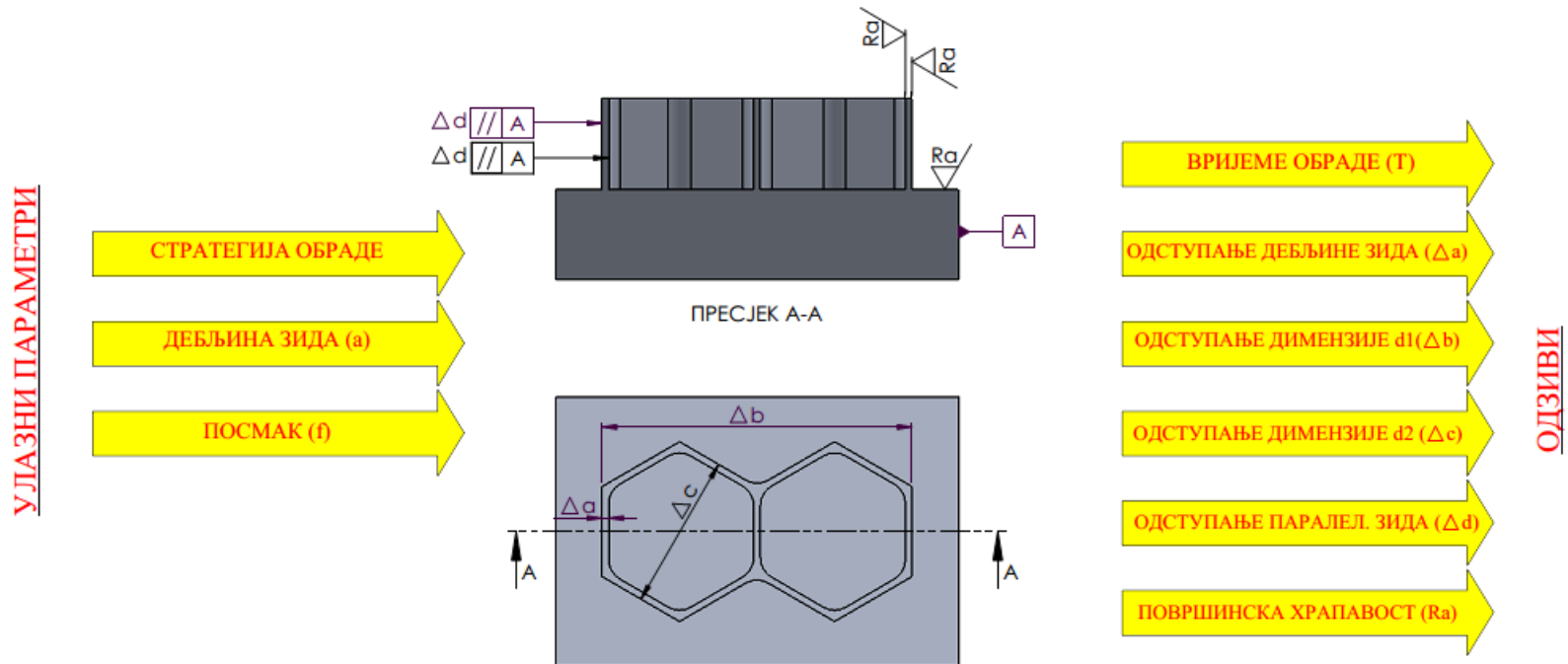
## 5. РАЗВОЈ МЕТОДОЛОГИЈЕ ИЗБОРА ПУТАЊЕ КРЕТАЊА АЛАТА У ЦИЉУ ОПТИМИЗАЦИЈЕ ТЕХНОЛОШКОГ ПРОЦЕСА

Поступак извођења експеримента за избор оптималне путање кретања алата и оптималне вриједности посмака у процесу машинске обраде и састоји се од осам фаза.



## 5.1 Дефинисање оптимизационог задатка

Одређивање оптималне путање алата и оптималних вриједности посмака ( $f$ ) за различите дебљине зида ( $a$ ) посматране шестоугаоне структуре.



Изразни параметри или контролни параметри, који требају заузимати минималне вриједности су: вријеме машинске обраде ( $T$ ), одступање дебљине зида ( $\Delta a$ ), одступање димензије  $d_1$  ( $\Delta b$ ), одступање димензије  $d_2$  ( $\Delta c$ ), одступање паралелности зида ( $\Delta d$ ) и вриједност површинске храпавости ( $Ra$ ).

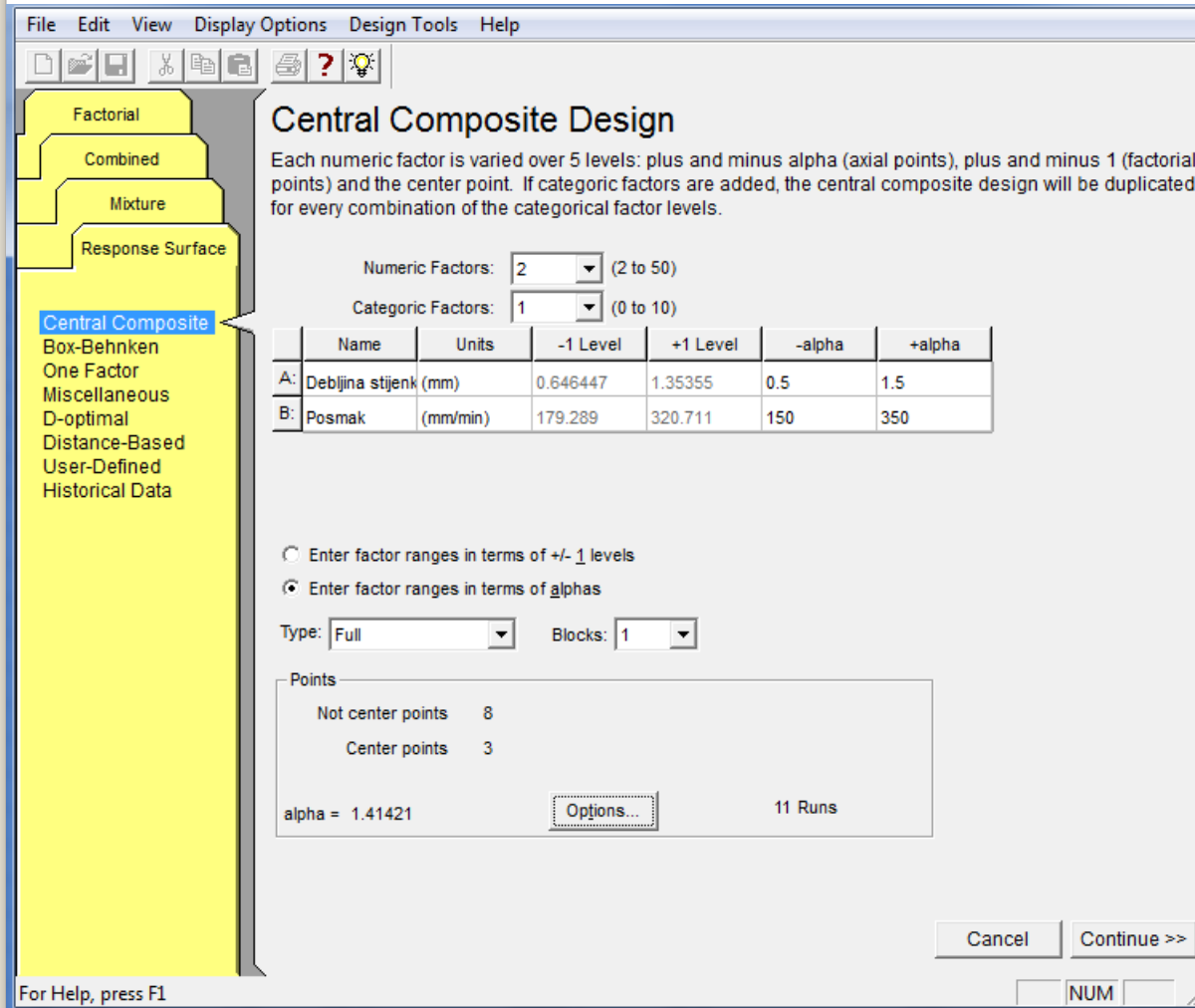


## 5.2 Постављање плана експеримента

Методологија за избор одговарајуће путање кретања алата у току машинске обраде танкозидних алуминијумских профила укључује у истраживање подршку програмског система *Design – Expert 7.1.5*.

Експеримент, у оквиру овог рада, састоји се од три промјенљиве величине (фактора) који су предмет истраживања. Два фактора (дебљина зида и посмак) представљају нумеричке вриједности, а један фактор (путање кретања алата) представља категоричку вриједност.

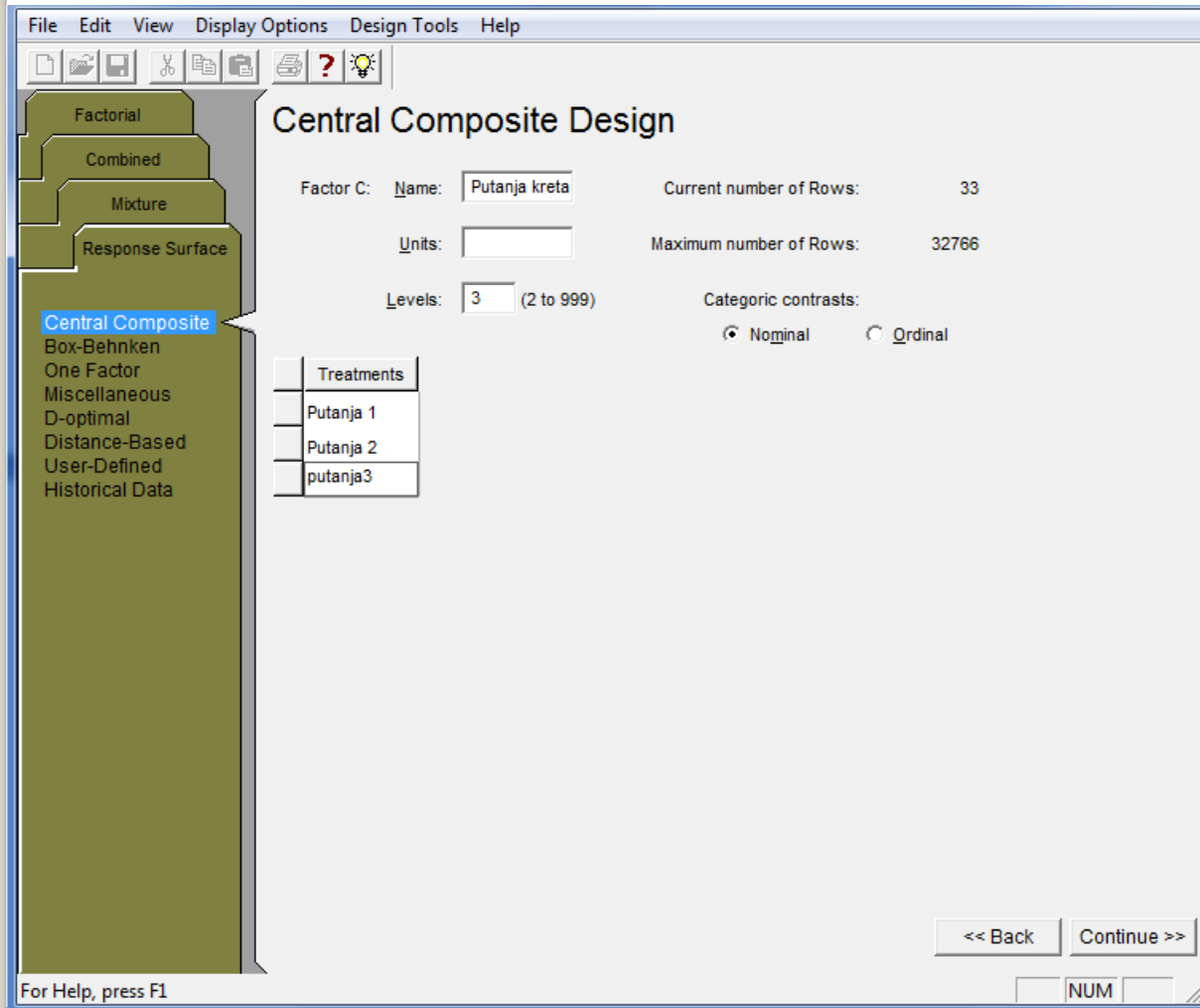
У оквиру програмског система *Design – Expert 7.1.5* садржана је метода *Central Composite*. Ова метода нам даје најбољу варијанту комбиновања фактора са прихватљивим бројем узорака и на основу тога је изабрана као метод за извођење експерименталног истраживања.



Дефинисање нумеричких фактора:

-А: Дебљина зида [mm]  
**0,5, 0,65, 1, 1,35 и 1,5**

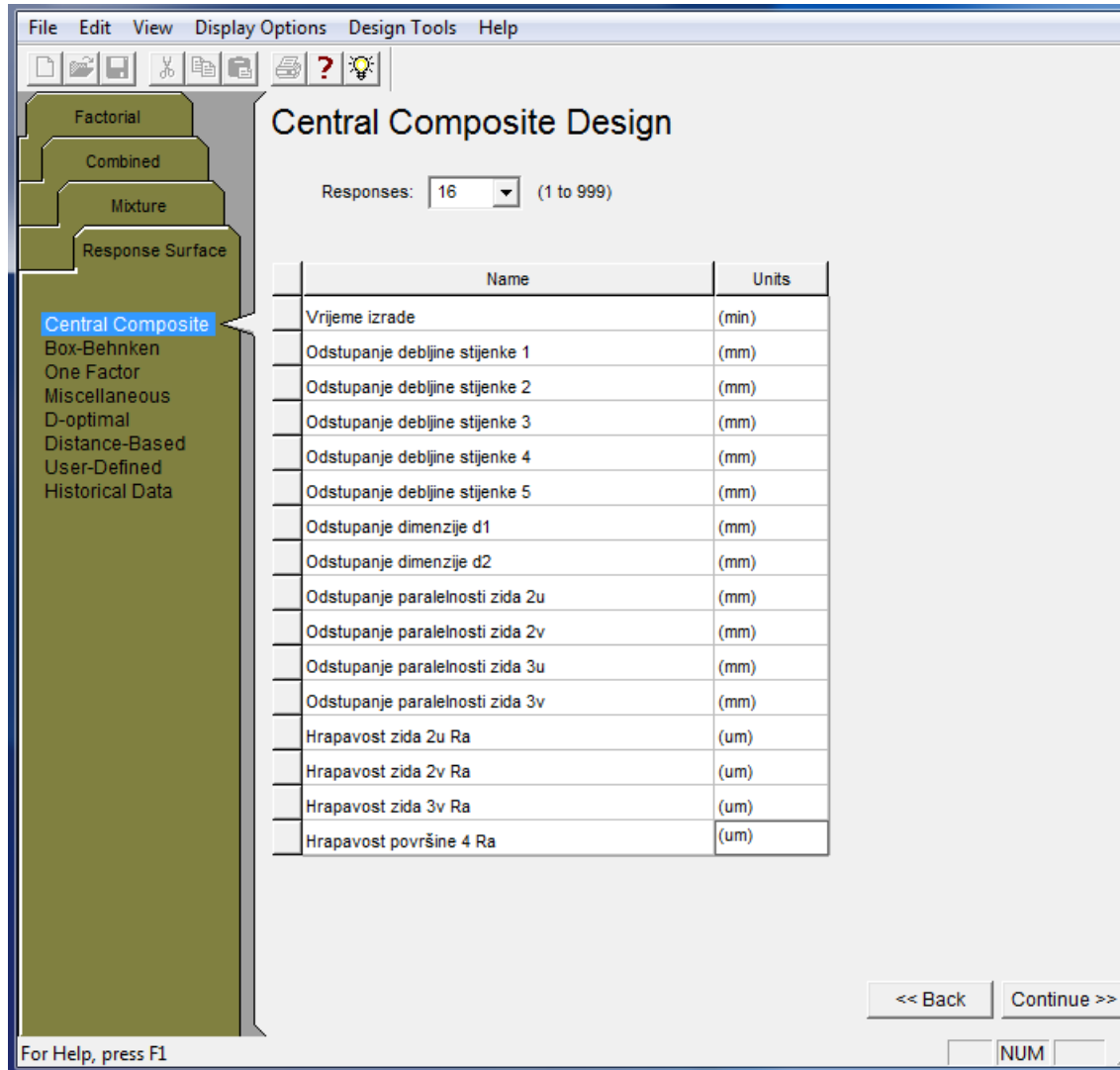
-В: Посмак [mm/min]  
**150, 179, 250, 320 и 350**



Дефинисање категоричког фактора:

-C: Путања кретања алата

- Путања 1,
- Путања 2 и
- Путања 3.



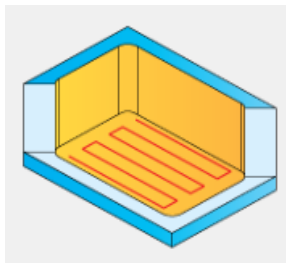
Дефинисање излазних величина (одзива)

File Edit View Display Options Design Tools Help											
УЛАЗИ											
ИЗЛАЗИ											
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 stijenke 1 (mm)	Response 3 Odstupanje debljine stijenke 2 (mm)	Response 4 Odstupanje debljine stijenke 3 (mm)	Response 5 Odstupanje debljine stijenke 4 (mm)	Response 6 Odstupanje debljine stijenke 5 (mm)
	1	22	0.65	179.29	Putanja 1	85.37	0.142	0.119	0.125		
	2	6	1.35	179.29	Putanja 1	84.12	0.121	0.095	0.102		
	3	29	0.65	320.71	Putanja 1	55.28	0.148	0.12	0.119		
	4	17	1.35	320.71	Putanja 1	54.51	0.144	0.09	0.095		
	5	11	0.50	250.00	Putanja 1	66.75	0.168	0.103	0.124		
	6	18	1.50	250.00	Putanja 1	64.98	0.148	0.094	0.099		
	7	7	1.00	150.00	Putanja 1	98.05	0.118	0.1	0.102		
	8	5	1.00	350.00	Putanja 1	51.69	0.142	0.09	0.108		
	9	33	1.00	250.00	Putanja 1	65.71	0.151	0.097	0.101		
	10	3	1.00	250.00	Putanja 1	65.71	0.127	0.103	0.102		
	11	8	1.00	250.00	Putanja 1	65.71	0.137	0.128	0.128		
	12	12	0.65	179.29	Putanja 2	103.59	0.041	0.023	0.025		
	13	2	1.35	179.29	Putanja 2	102.06	0.032	0.025	0.026		
	14	9	0.65	320.71	Putanja 2	65.09	0.042	0.021	0.042		
	15	23	1.35	320.71	Putanja 2	64.52	0.034	0.02	0.027		
	16	31	0.50	250.00	Putanja 2	86.87	0.048	0.047	0.046		
	17	32	1.50	250.00	Putanja 2	76.69	0.024	0.033	0.026		
	18	15	1.00	150.00	Putanja 2	119.36	0.036	0.023	0.031		
	19	30	1.00	350.00	Putanja 2	60.89	0.026	0.028	0.02		
	20	21	1.00	250.00	Putanja 2	78.3	0.039	0.03	0.024		
	21	26	1.00	250.00	Putanja 2	78.3	0.034	0.029	0.03		
	22	4	1.00	250.00	Putanja 2	78.3	0.033	0.034	0.031		
	23	28	0.65	179.29	Putanja 3	84.96	0.051	0.065	0.095		
	24	13	1.35	179.29	Putanja 3	83.75	0.026	0.058	0.06		
	25	19	0.65	320.71	Putanja 3	54.87	0.035	0.071	0.065		
	26	16	1.35	320.71	Putanja 3	54.25	0.03	0.059	0.059		

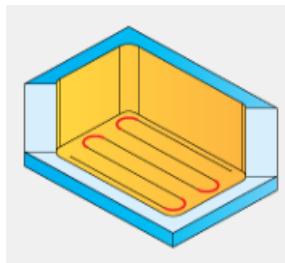
For Help, press F1

Табела плана експеримента

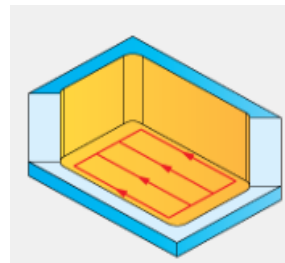
### 5.3 Избор стратегије машинске обраде



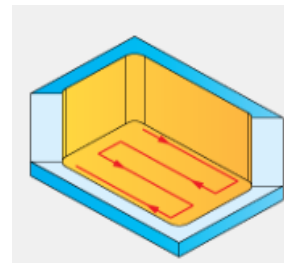
*Hatch*



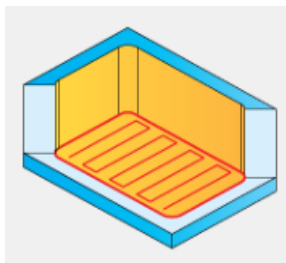
*Hatch/Fillet*



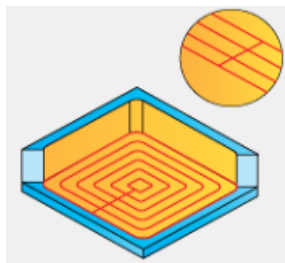
*Hatch/One Way*



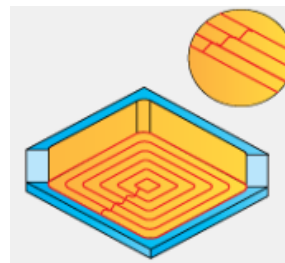
*Hatch/Zigzag*



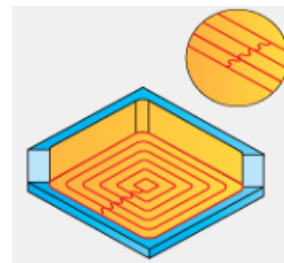
*Hatch+Finish*



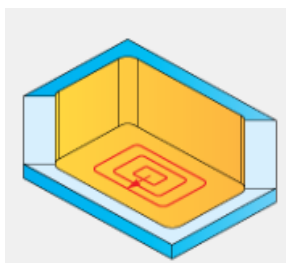
*Contour/Linear*



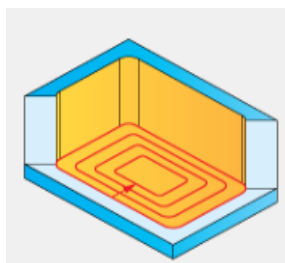
*Contour/Smooth*



*Contour/Rounded*



*Contour/Inside*



*Contour/Outside*

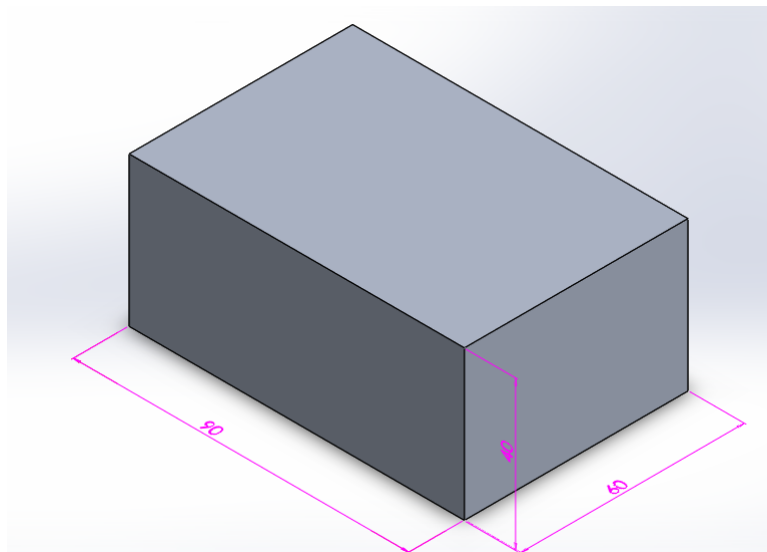
Понуда путања кретања алата програмског система *SolidCAM*.

Избор путање кретања алата:

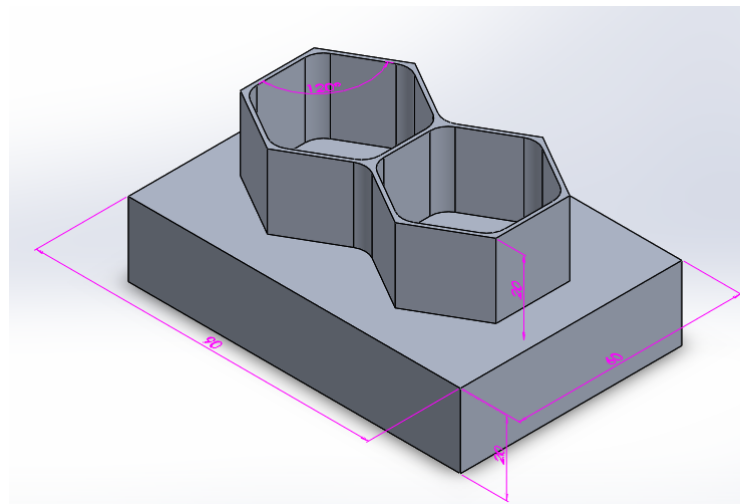
1. Путања бр.1 – *Contour/Inside*
2. Путања бр.2 – *Hatch+Finish*
3. Путања бр.3 – *Contour/Outside*

## 6. РЕАЛИЗАЦИЈА ЕКСПЕРИМЕНТА

### 6.1 Експериментални узорак – израдак



Припремак



Израдак

Материјал: легура алуминијума 7075 (AlZnMg1.5)

## 6.2 Алат

Изабрани алат – глодало, који ће се користити за израду експерименталних комада, је вретенасто глодало од тврдог челика (HS) намјењено за обраду алуминијумских легура произвођача *Hoffman Garant*, ознаке 202480. Пречник алата је 10 (mm), има четири резне ивице (пера) у дужини од 24 (mm) и његова геометрија у потпуности одговара геометрији израђиваних комада.



Алат - глодало



### 6.3 Машина алатка

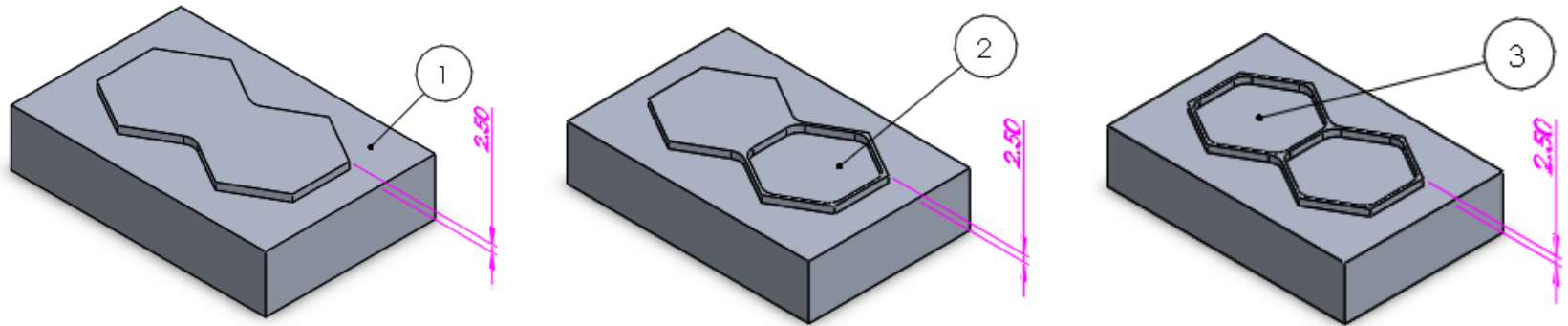
Изабрана машина алатка за извођење експеримента је троосни обрадни центар *EMCO MILL 450* која се налази у Лабораторији за Пројектовање технолошких процеса помоћу рачунара Машинског факултета у Бања Луци. Ова НУ машина алатка испуњава захтјеве експеримента и због тога је изабрана за извођење машинске обраде експерименталних комада.



*Обрадни центар EMCO Concept MILL 450*

## 6.4 Режи ми обраде

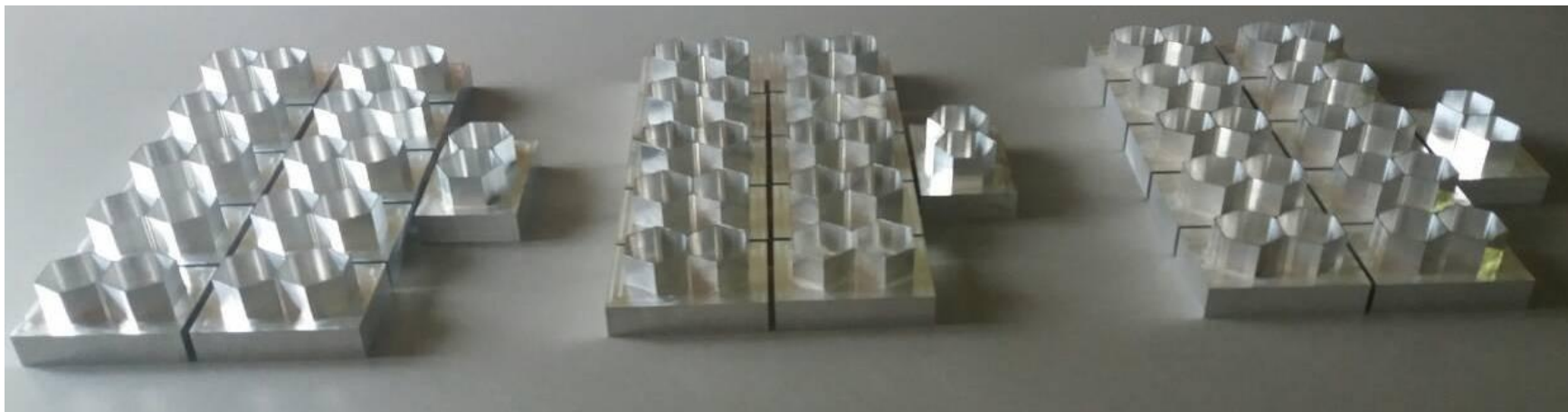
Брзина резања за реализацију овог експеримента изабрана је на основу доступне литературе и препорука произвођача алата и износи  $V=130$  м/мин. На основу прорачуна усвојен је број окретаја главног вретена  $n=4000$  мин<sup>-1</sup>. Ширина резања у односу на пречних алата износи 40%, односно 4 мм. Дубина резања износи 2,5 мм.



*Стратегија дефинисања пролаза*

## 6.5 Експериментални узорци

На основу претходно дефинисаног плана експеримента и усвојеног модела експеримента (*Central Composite*) утврђен је број од 33 експериментална узорка.

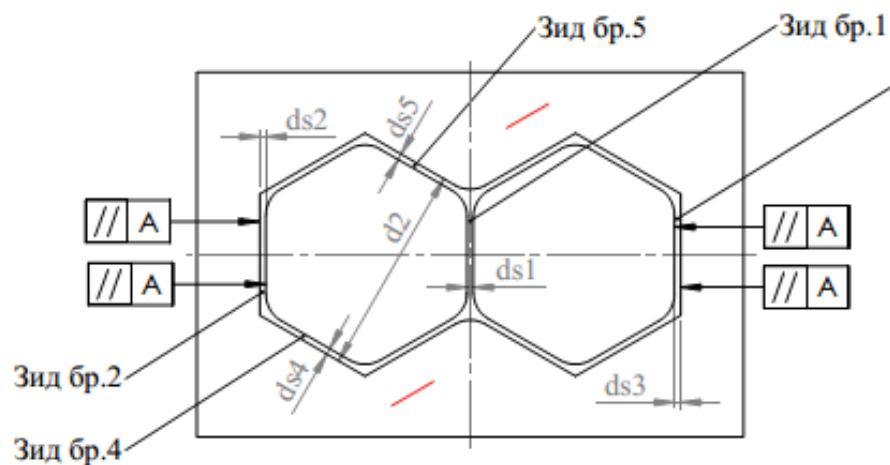
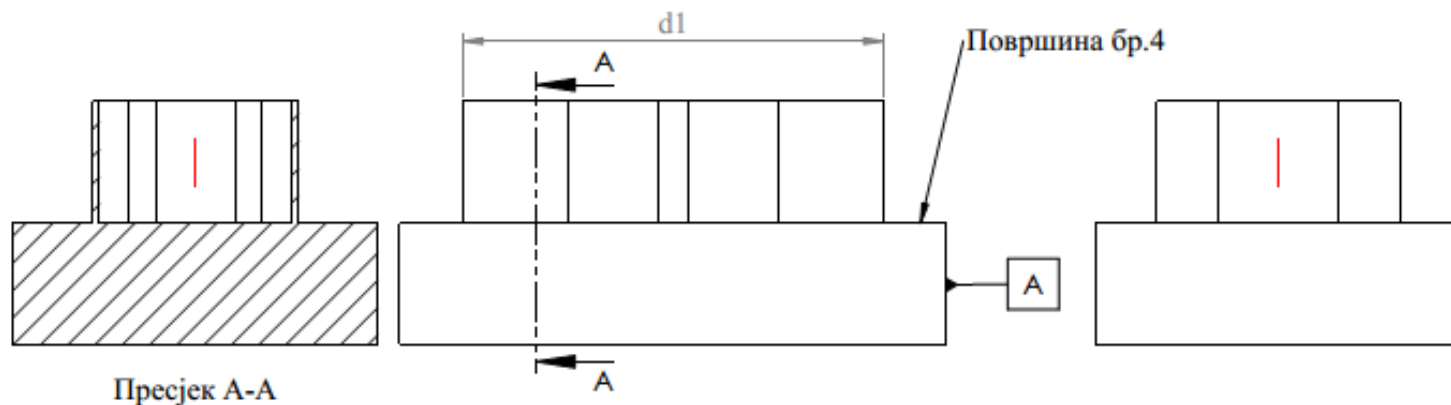


Обрађени експериментални узорци

## 6.6 Мјерење контролисаних (излазних) величина

Планом експеримента, у оквиру овог рада, предвиђено је мјерење и обрада сљедећих излазних параметара:

- вријеме обраде ( $T$ ),
- одступања дебљина зидова 1, 2, 3, 4 и 5 ( $\Delta a$ ),
- одступања димензија  $d_1$  и  $d_2$  ( $\Delta b$  и  $\Delta c$ ),
- одступања паралелности унутрашње и вањске стране зидова 2 и 3 ( $\Delta d$ ) и
- површинска храпавост унутрашње и вањске стране зида 2, вањске стране зида 3 и површине 4 ( $Ra$ ).



-подручја мјерења храпавости, у дужини од 8 мм, односе се на вањску и унутрашњу страну зида 2, вањску страну зида 3 и на површину 4 на два подручја.

-мјерење паралелности је извршено за вањске и унутрашње стране зидова 2 и 3 у односу на површину А.

-мјерење одступања дебљине зидова је извршено за зидове 1,2,3,4 и 5.

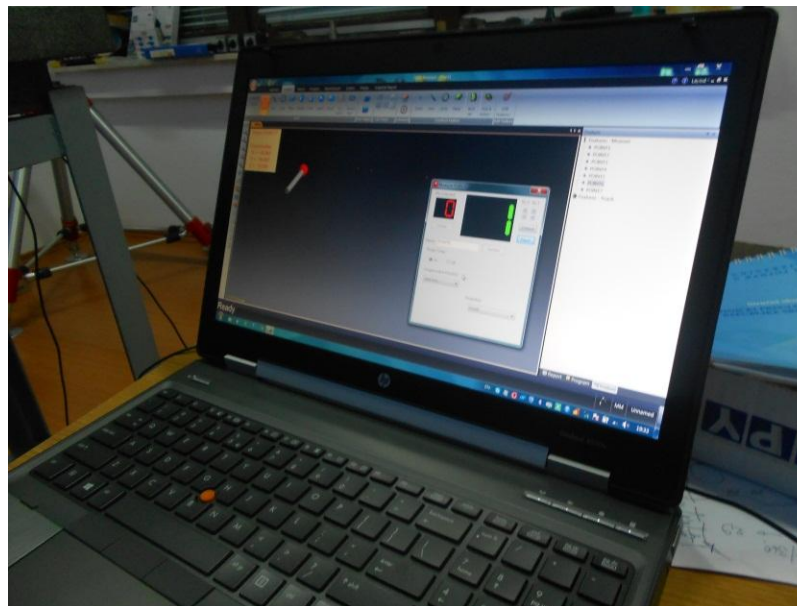
-извршено је и мјерење одступања димензија  $d1$  и  $d2$ .

Шема мјерења излазних величина

Мјерење одступања дебљина зидова, одступања димензија  $d_1$  и  $d_2$  и одступања паралелности зидова је извршено у Лабораторији за мјерну технику на Машинском факултету у Бања Луци помоћу мјерне руке МСАx.



Мјерна рука МСАx



Програмски систем за подршку при мјерењу мјерном руком МСАx

Мјерење храпавости односно средње висине неравнина ( $Ra$ ) обрађених површина извршено је у просторијама за контролу квалитета “ПМП ЈЕЛШИНГРАД – ФАБРИКА МАШИНА“ а.д. Градишка. Мјерење је извршено мјерним уређајем за мјерење храпавости обрађених површина под називом „*Mitutoyo Surftest SJ 310*“ приказаним.



*Уређај за мјерење храпавости Mitutoyo Surftest SJ 310*

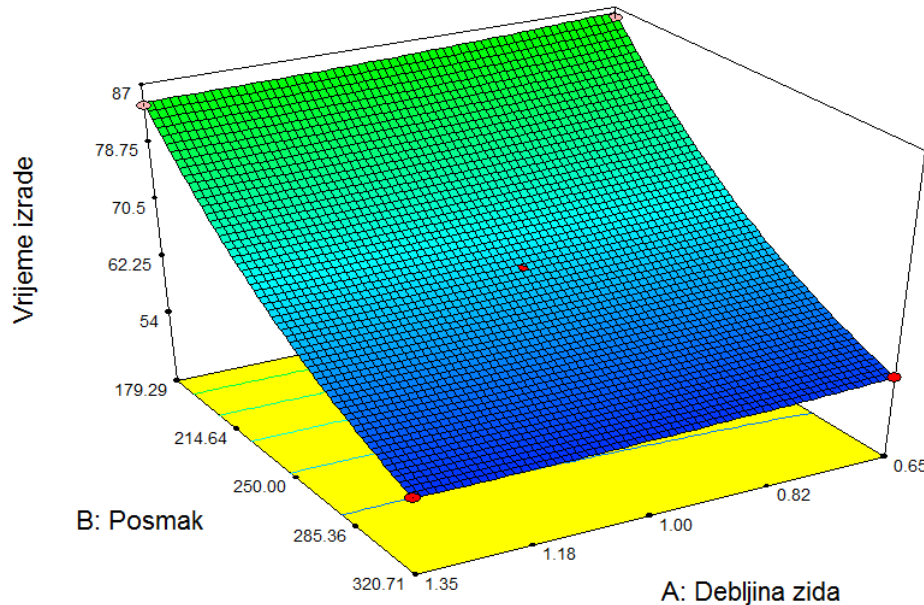
## 6.7 Анализа контролираних величина и контрола граничних вриједности

На основу анализе измјерених величина за одговарајуће посматране одзиве и толеранција одступања може се закључити да све три путање кретања алата уопштено задовољавају постављене критеријуме.

Контролисана величина	Износ толеранције
Вријеме обраде ( $T$ )	<120 (min)
Одступање дебљине зида за зидове бр.1,2,3,4 и 5 ( $\Delta a$ )	$\pm 0,1$ (mm)
Одступање димензија $d1$ и $d2$ ( $\Delta b$ и $\Delta c$ ),	$\pm 0,1$ (mm)
Одступања паралелности унутрашње и вањске стране зидова “2u”, “2v”, “3u” и “3v” ( $\Delta d$ , $\Delta e$ , $\Delta f$ , $\Delta g$ )	$\pm 0,05$ (mm)
Максимална вриједност хрпавости површине ( $Ra$ )	<3,2 ( $\mu\text{m}$ )

Толеранције одступања за контролисане величине

## 6.8 Анализа одзива Вријеме израде



На основу графичког модела за одзив *Вријеме израде* могуће је уочити да главни утицај на вријеме израде, приликом коришћења путање кретања алата бр.1, има промјена вриједности посмака, док промјена дебљине зида даје незнатан утицај на вријеме израде. Резултати су потпуно очекивани и показују јасну зависност између контролисаних величина.

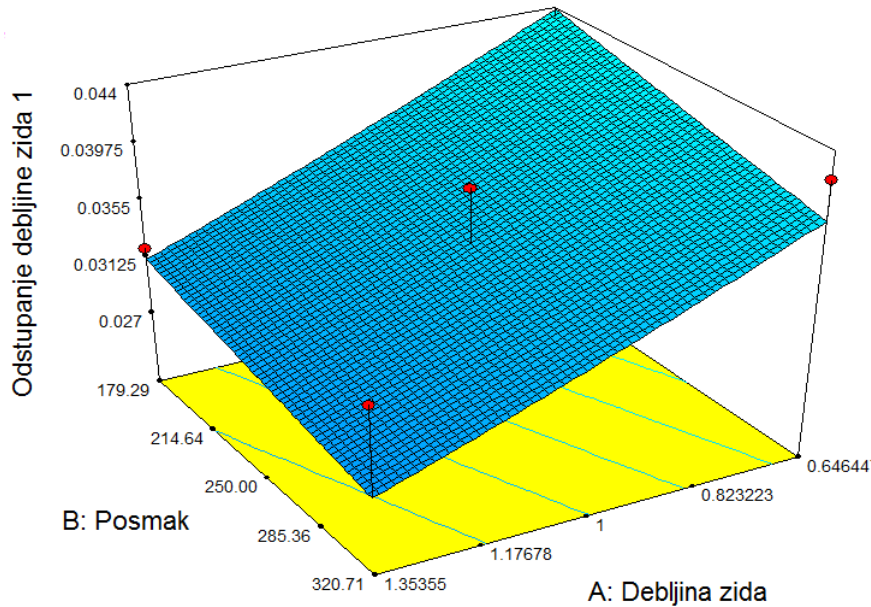
Графички модел за одзив Вријеме израде (путања 1)

Математички модел:

$$\ln T = 5.52537 - 0.11318 \cdot a - 7.06618 \cdot 10^{-3} \cdot f + 3.26276 \cdot 10^{-5} \cdot a \cdot f + 0.0407 \cdot a^2 + 7.79563 \cdot 10^{-6} \cdot f^2$$



## 6.9 Анализа одзива Одступање дебљине зида 1 – $\Delta a1$



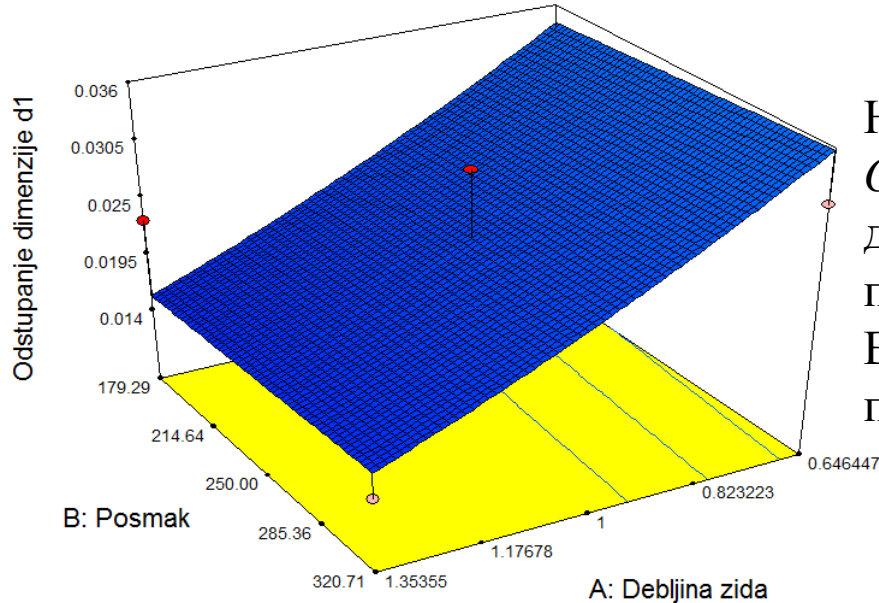
На основу графичког модела за одзив *Одступање дебљине зида 1* могуће је уочити да главни и највећи утицај, приликом коришћења путање кретања алата 2 има дебљина зида.

Графички модел за одзив *Одступање дебљине зида 1 -  $\Delta a1$*  (путања 2)

Математички модел:

$$\Delta a1 = 0.25386 - 0.046428 \cdot a - 8.09 \cdot 10^{-5} \cdot f$$

## 6.10 Анализа одзива Одступање димензије $d1 - \Delta b$



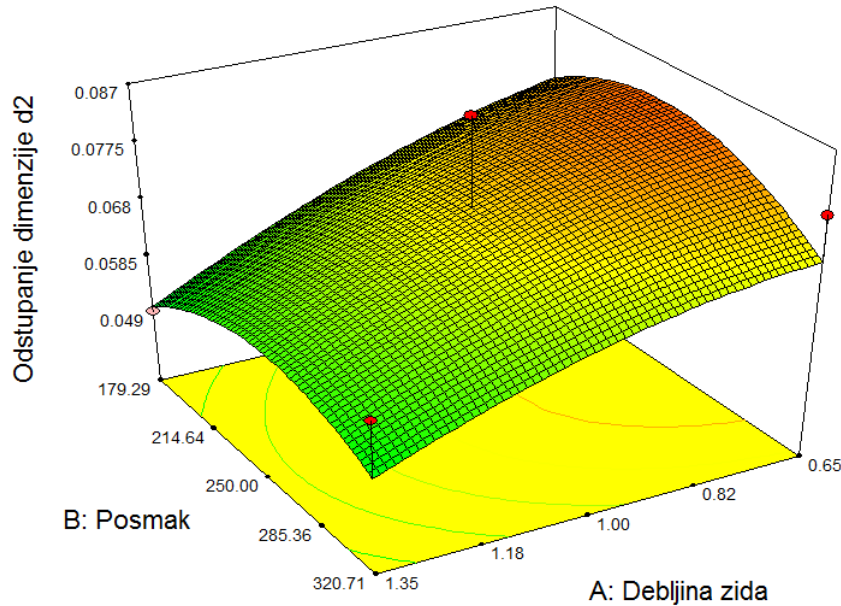
На основу графичког модела за одзив *Одступање димензије  $d1$*  могуће је уочити да главни утицај, приликом коришћења путање кретања алата 2, има дебљина зида. Вриједности посматраног одзива знатно падају са повећањем дебљине зида.

Графички модел за одзив Одступање димензије  $d1 - \Delta b$  (путања 2)

Математички модел:

$$\Delta b = 0.23530 - 0.08596 \cdot a + 2.9519 \cdot 10^{-5} \cdot f$$

## 6.11 Анализа одзива Одступање димензије $d2 - \Delta c$



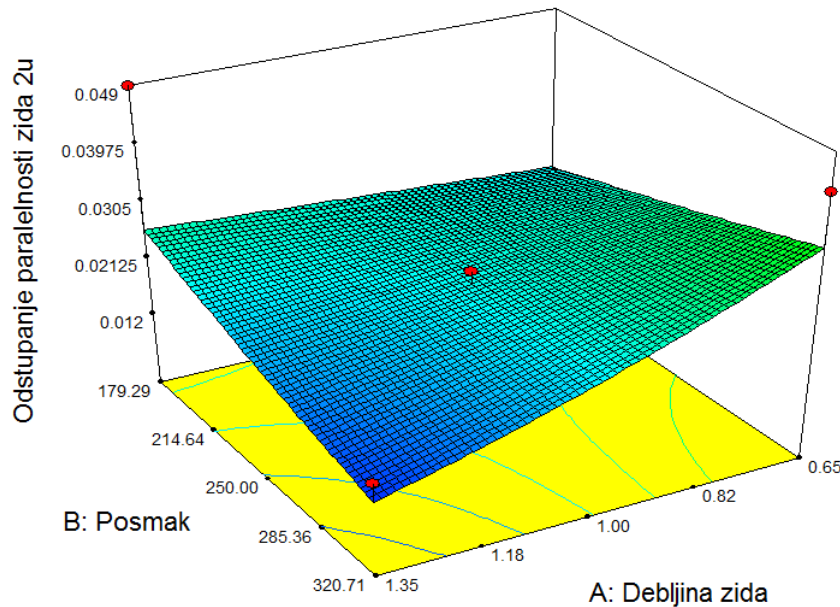
На основу графичког модела за одзив Одступање димензије  $d2$  могуће је уочити да главни утицај, приликом коришћења путање кретања алата 3, има дебљина зида.

Графички модел за одзив Одступање димензије  $d2 - \Delta c$  (путања 3)

Математички модел:

$$\sqrt{\Delta c} = 0.13036 + 9.75326 \cdot a + 1.32838 \cdot 10^{-3} \cdot f + 1.59823 \cdot 10^{-4} \cdot a \cdot f - 0.054828 \cdot a^2 - 3.00524 \cdot 10^{-6} \cdot f^2$$

## 6.12 Анализа одзива Одступање паралелности зида $2u - \Delta d$



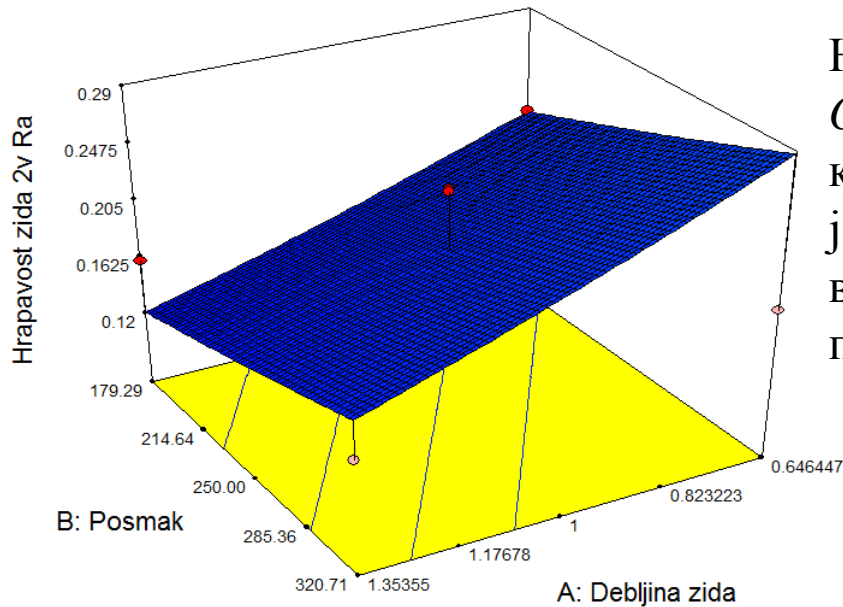
На основу графичког модела за одзив *Одступање паралелности зида 2u* могуће је уочити да главни утицај, приликом коришћења путање кретања алата 3, има подједнако дебљина зида и посмак. Порастом дебљине зида и посмака опада посматрани одзив.

Графички модел за одзив *Одступање паралелности зида 2u - Δd* (путања 3)

Математички модел:

$$\sqrt{\Delta d} = -0.010017 + 0.17568 \cdot a + 8.27969 \cdot 10^{-4} \cdot f - 8.83424 \cdot 10^{-4} \cdot a \cdot f$$

## 6.13 Анализа одзива Одступање храпавости $2v - \Delta i$



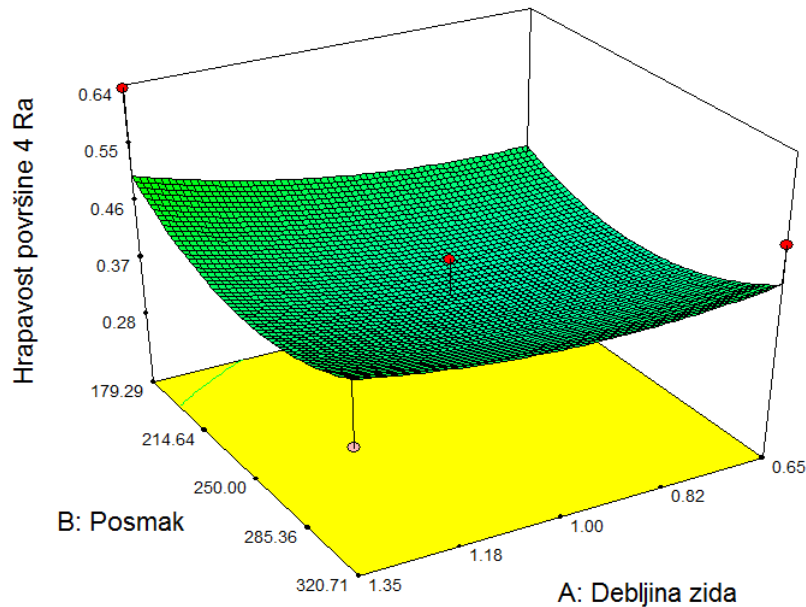
На основу графичког модела за одзив *Одступање храпавости зида  $2v$* , приликом коришћења путање кретања алата 2, могуће је уочити да је утицај промјене дебљине зида више изражен у односу на утицај промјене посмака.

Графички модел за одзив Одступање храпавости зида  $2v - \Delta i$  (путања 2)

Математички модел:

$$\sqrt{\Delta i} = +0.46536 - 0.15933 \cdot a + 5.43407 \cdot 10^{-4} \cdot f$$

## 6.14 Анализа одзива Одступање храпавости површине 4 – $\Delta k$



На основу графичког модела за одзив *Одступање храпавости површине 4* могуће је уочити да, приликом коришћења путање кретања алата 3, нити посмак, нити промјена дебљине зида немају значајан утицај.

Графички модел за одзив *Одступање храпавости површине 4 –  $\Delta k$*

Математички модел:

$$\sqrt{\Delta k} = +1.20791 - 0.13280 \cdot a - 4.47867 \cdot 10^{-3} \cdot f - 4.59107 \cdot 10^{-4} \cdot a \cdot f + 0.15267 \cdot a^2 + 9.83426 \cdot 10^{-6} \cdot f^2$$

## 6.15 Евалуација и оптимизација излазних величина

Након процеса емпиријског моделирања одзива у функцији од контролисаних величина, поступак генерисања коначних резултата овог истраживања наставља се реализацијом активности која обухвата евалуацију излазних величина (одзива). Евалуација излазних величина врши се поступком генерисања оптималних вриједности за контролисане величине у функцији одзива.

Поступак евалуације излазних величина у програмском систему *Design Expert* врши се нумеричком оптимизацијом у неколико корака, и то:

1. Избором посматраног одзива или контролисане величине, затим
2. Дефинисању ограничења, критеријума, граница прихватљивости и тежинских коефицијената за сваки одзив или контролисану величину,
3. Генерисањем оптималних вриједности и
4. Графичком приказу оптималних вриједности.

C:\Users\user1\Desktop\NOVI FAJL.dx7 - Design-Expert 7.1.5

File Edit View Display Options Design Tools Help

Notes for NOVI FAJL.dx7

- Design (Actual)
  - Summary
  - Graph Columns
  - Evaluation
- Analysis
  - Vrijeme izrade (Analyzed)
  - Odstupanje debljine zida 1 (Analyzed)
  - Odstupanje debljine zida 2 (Analyzed)
  - Odstupanje debljine zida 3 (Analyzed)
  - Odstupanje debljine zida 4 (Analyzed)
  - Odstupanje debljine zida 5 (Analyzed)
  - Odstupanje dimenzije d1 (Analyzed)
  - Odstupanje dimenzije d2 (Analyzed)
  - Odstupanje paralelnosti zida 2u (Analyzed)
  - Odstupanje paralelnosti zida 2v (Analyzed)
  - Odstupanje paralelnosti zida 3u (Analyzed)
  - Odstupanje paralelnosti zida 3v (Analyzed)
  - Hrapavost zida 2u Ra (Analyzed)
  - Hrapavost zida 2v Ra (Analyzed)
  - Hrapavost zida 3v Ra (Analyzed)
  - Hrapavost površine 4 Ra (Analyzed)
- Optimization
  - Numerical
  - Graphical
  - Point Prediction

Criteria Solutions Graphs

**Debljina zida**

Posmak  
Putanja kretanja al  
Vrijeme izrade  
Odstupanje debljin  
Odstupanje debljin  
Odstupanje debljin  
Odstupanje debljin  
Odstupanje dimen:

Goal: equal to -> 1

	Lower	Upper
Limits:	0.646447	1.35355
Weights:	1	1

Importance: +++

Options...

1.00

0.65 1.35

Debljina zida

For Help, press F1

NUM

Интерфејс програмског система *Design Expert* намјењен за поступак оптимизације



У сврху генерисања оптималних вриједности одзива у функцији контролираних параметара, у оквиру овог рада, усвојена су сљедећа ограничења и критеријуми:

Назив посматране величине	Циљ	Ограничења	Тежински коефицијент за границе	Важност
Дебљина зида	0.5; 0.6; 0.7;0.8; 0.9;1;1.1;1.2;1.3 ;1.4 и 1.5	0.5-1.5 мм	1 - 1	+++
Посмак	у опсегу	150-350 мм/мин	1 - 1	+++
Путања кретања алата	у опсегу	Путања 1 Путања 2 Путања 3	1 - 1	+++
Вријеме израде	минимално	51.46 – 119.36	1 – 10	+++++
Одступање дебљине зида 1	минимално	0.002-0.168	1 – 10	+++++
Одступање дебљине зида 2	минимално	0.02-0.128	1 - 10	+++++
Одступање дебљине зида 3	минимално	0.02-0.128	1 - 10	+++++
Одступање дебљине зида 4	минимално	0.002-0.097	1 - 10	+++++
Одступање дебљине зида 5	минимално	0.001-0.11	1 - 10	+++++
Одступање димензије d1	минимално	0.002-0.32	1 - 10	+++
Одступање димензије d2	минимално	0.022-0.087	1 - 10	+++
Одступање паралелности зида 2u	минимално	0.01-0.06	1 – 1	++
Одступање паралелности зида 2v	минимално	0.003-0.076	1 – 1	++
Одступање паралелности зида 3u	минимално	0.007-0.056	1 – 1	++
Одступање паралелности зида 3v	минимално	0.003-0.095	1 – 1	++
Храпавост зида 2u	минимално	0.118 - 1.775	1 – 1	++
Храпавост зида 2v	минимално	0.078 - 3	1 – 1	++
Храпавост зида 3v	минимално	0.076 - 4.59	1 – 1	++
Храпавост зида 4	минимално	0.128 – 0.86	1 – 1	++

Табела ограничења и критеријума за посматране величине

Након дефинисања циљева, ограничења и тежинских коефицијената за границе, као и важности посматранег одзива, врши се генерисање оптималних вриједности. У оквиру овог рада постављен је циљ да се посматра прије свега зависност одзива у функцији дебљине зида, посмака и изабране путање кретања алата. Најинтересантнији одзиви су одступања дебљине зида, и то је разлог због чега су тим одзивима додијељена највећа важност. Оптималне и очекиване вриједности одзива у функцији контролисаних вриједности дате су наредној табели. У овој табели извршена је оптимизација поменутих величина у зависности од дебљине зида, што је представљено као циљ у претходној табели.

Ред. бр.	Дебин. зида	Посмак	Путања	Врије. израде	Одступ ање дебљине зида 1	Одступ ање дебљине зида 2	Одступ ање дебљине зида 3	Одступ ање дебљине зида 4	Одступ ање дебљине зида 5	Одступ ање димензије d1	Одступ ање димензије d2	Одступ ање паралелности зида 2u	Одступ ање паралелности зида 2v	Одступ ање паралелности зида 3u	Одступ ање паралелности зида 3v	Храпавост зида 2u	Храпавост зида 2v	Храпавост зида 3v	Храпавост површине 4
1	0.5	323	П 2	67.37	0.041	0.033	0.037	0.013	0.011	0.040	0.024	0.051	0.060	0.037	0.019	0.13	0.32	0.23	0.78
2	0.6	336	П 2	64.88	0.039	0.032	0.035	0.012	0.009	0.037	0.023	0.050	0.053	0.036	0.018	0.13	0.31	0.23	0.82
3	0.7	343	П 2	63.44	0.037	0.031	0.034	0.011	0.008	0.034	0.022	0.047	0.046	0.033	0.017	0.14	0.29	0.22	0.82
4	0.8	347	П 2	62.35	0.035	0.030	0.032	0.010	0.007	0.031	0.022	0.043	0.040	0.029	0.017	0.14	0.28	0.21	0.82
5	0.9	350	П 2	61.68	0.033	0.029	0.030	0.010	0.006	0.028	0.022	0.039	0.035	0.025	0.016	0.15	0.26	0.20	0.80
6	1	350	П 2	61.17	0.032	0.028	0.029	0.009	0.005	0.025	0.022	0.034	0.031	0.021	0.015	0.16	0.25	0.19	0.79
7	1.1	350	П 2	60.75	0.030	0.027	0.027	0.009	0.004	0.023	0.021	0.030	0.028	0.017	0.015	0.17	0.23	0.18	0.78
8	1.2	350	П 2	60.41	0.028	0.026	0.026	0.008	0.003	0.020	0.021	0.025	0.027	0.013	0.014	0.18	0.22	0.17	0.77
9	1.3	350	П 2	60.13	0.027	0.025	0.024	0.008	0.002	0.018	0.020	0.022	0.026	0.010	0.014	0.19	0.20	0.16	0.77
10	1.4	350	П 2	59.9	0.025	0.024	0.023	0.007	0.002	0.016	0.019	0.018	0.026	0.008	0.013	0.20	0.19	0.16	0.78
11	1.5	350	П 2	59.71	0.024	0.023	0.021	0.007	0.001	0.014	0.017	0.015	0.026	0.006	0.013	0.21	0.17	0.15	0.79

Оптималне и очекиване вриједности одзива у функцији контролисаних вриједности

Из претходне табелетабеле могу се уочити сљедећи закључци:

- путања кретања алата која даје оптималне одзиве је путања кретања алата бр.2,
- посмак приликом израде шестоугаоних танкозидних структура са димензијама зида од 0,5 до 1,5 потребно је одржавати у горњим тестираним границама у износу око 350 мм/мин,
- вријеме израде је у директној спрези са величином посмака (што је познато),
- одступања дебљине зидова се смањују са повећањем дебљине зида,
- одступања димензија се такође смањују са повећањем дебљине зида,
- храпавост унутрашњих страна зидова се незнатно повећава са повећањем дебљине зида,
- храпавост спољашњих страна зидова се незнатно смањују са повећањем дебљине зида,
- храпавост доње површине (базне површине) шестоугаоних танкозидних структура се не мјења са промјеном дебљине зида.

## 7. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА

Приликом пројектовања технолошких процеса потребно је водити рачуна да се посматрани производ (дио) изради у захтјеваном квалитету и временским роковима, уз минимални утрошак ресурса (енергије, људских ресурса, информација, материјала, радних сати, алата и др.).

Модерни и савремени програмски системи омогућавају релативно брзо и једноставно вршење процеса оптимизације и постизање бољих резултата у процесима производње (краће вријеме израде, бољи квалитет, мањи утрошак ресурса).

У оквиру овог дипломског рада представљања је методологија за избор оптималне путање кретања алата, посмака и дебљине зида (улазни параметри) у зависности од контролисаних величина тј. посматраних излаза (одзива).

Приликом реализације експеримента коришћени су програмски системи, и то:

- у области пројектовања дијела и генерисања путање кретања алата *SolidWorks* и *SolidCAM*, и
- у области планирања експеримента и обраде резултата *Design Expert*.

За реализације експеримента коришћен је *Central Composite* план експеримената и методологија површинских одзива (*Surface Response Methodology*). Укупно је извршено 33 експеримента на пројектованим дијеловима у сагласности са *Central Composite* планом експеримената.

Претпоставке или хипотезе које су усвојене у оквиру овог рада дате су у поглављу I овог рада и могу се сажети у двије тврдње, и то:

- промјена путање кретања алата машинске обраде утиче на вријеме обраде, тачност димензија и квалитет обрађене површине, и
- могуће је развити методологију избора путање кретања алата при машинској обради у циљу оптимизације технолошких процеса израде танкозидних алуминијумских структура.

Након извршених експерименталних истраживања и обраде резултата, постављене хипотезе се у потпуности могу усвојити.

Прва хипотеза је потврђена обрадом експерименталних резултата у којима се јасно може видјети да промјена путање кретања алата има значајан утицај на вријеме обраде, тачност димензија и квалитет обрађене површине.

Друга хипотеза је доказана изведеним поступком, од саме припреме експеримента до генерисања оптималних вриједности за одзиве, који је показао да је могуће развити методологију за избор путање кретања алата у циљу оптимизације технолошких процеса израде танкозидних алуминијумских структура.

ХВАЛА НА ПАЖЊИ

ПОПОВИЋ НЕБОЈША

ДИПЛОМСКИ РАД

БАЊА ЛУКА